ELSEVIER
MASSON

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte

Coordination
Raphaël Seringe
Jean-Luc Besse
Philippe Wicart

Préfaces
Gérard Bollini
Norman Biga

Cahiers d'enseignement de la SOFCOT
Collection dirigée par D. Hutin

LES DÉFORMATIONS DU PIED DE L'ENFANT ET DE L'ADULTE

(À L'EXCLUSION DE L'AVANT-PIED)

Retrouvez la collection des Cahiers d'enseignement de la Sofcot sur le site
http://france.elsevier.com/sofcot

→ **consultez les titres, résumés et mots clés** des articles composant les Conférences d'enseignement (parues depuis 1990) et les monographies (parues depuis 1995).

→ **fonction d'index électronique :** rechercher les articles à partir de leur titre, de leurs mots clés, des noms d'auteur, de l'année de publication.

BUREAU DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE ET TRAUMATOLOGIQUE (SOFCOT 2010)

Président de la SOFCOT	Gérard BOLLINI
Premier vice-président SOFCOT	Bernard MOYEN
Deuxième vice-président SOFCOT	Jean-Pierre COURPIED
Ancien président :	Laurent SEDEL
Secrétaire général	Christian GARREAU DE LOUBRESSE
Secrétaire général adjoint	Alain SAUTET
Trésorier	Philippe LANDREAU
Trésorier adjoint	Arnaud BLAMOUTIER
Membres	Jean-Marc GLASSON, Pierre JOURNEAU, Henri MATHEVON, Jean-Paul VIGROUX

Représentants de l'AOT (Académie d'orthopédie traumatologie) :

Président de l'Académie	Jacques CATON
Premier Vice-président de l'Académie	Jean-Paul LEVAI
Deuxième Vice-président de l'Académie	Alain-Charles MASQUELET

Représentants du CFCOT (Collège Français des chirurgiens orthopédistes et traumatologues) :

Président du CFCOT	Dominique CHAUVEAUX
Secrétaire général du CFCOT	Christophe GLORION

Représentants du SNCO (Syndicat National des chirurgiens orthopédistes) :

Président du SNCO	Patrice PAPIN
Secrétaire Général du SNCO	Olivier BADELON

CAHIERS D'ENSEIGNEMENT DE LA SOFCOT

Comité de rédaction

Rédacteur en chef	Denis HUTEN
Secrétaires de rédaction	
Orthopédie pédiatrique	Rémi KOHLER
Orthopédie de l'adulte	Patricia THOREUX
Secrétaire général de la Sofcot	Christian GARREAU DE LOUBRESSE
Membre fondateur	Jacques DUPARC
Comité de lecture	Bernard AUGEREAU, Thierry BÉGUÉ, P. BONNEVIALLE, Jean-Michel CLAVERT, Jérôme COTTALORDA, Jean-Pierre COURPIED, Bruno DOHIN, Luc FAVARD, Joaquin FENOLLOSA, Christophe GLORION, Thierry JUDET, André KAELIN, Roger LEMAIRE, Dominique LE NEN, Pierre MARY, Emmanuel MASMEJEAN, Didier MAINARD, Philippe NEYRET, Jacques-Yves NORDIN, Norbert PASSUTI, Raphaël SERINGE, Jean-Marc VITAL

Cahiers d'enseignement de la SOFCOT

Collection dirigée par D. HUTEN

LES DÉFORMATIONS DU PIED DE L'ENFANT ET DE L'ADULTE
(À L'EXCLUSION DE L'AVANT-PIED)

Sous la direction de

Raphaël Seringe, Jean-Luc Besse, Philippe Wicart

Préfaces

Pr Gérard Bollini et Pr Norman Biga

Avec la collaboration de

A. BADINA, P. BARBET, F. BECK, F. BONNEL, J.-A. COLOMBIER, E. CONTI, G. CURVALE, P. DENORMANDIE, E. DESAILLY, S. DESCAMPS, B. FERRE, C. GLORION, M. GUILLAUMAT, T. JUDET, N. KHOURI, T. LEEMRIJSE, G. LONJON, P. LORIOT, M. MAESTRO, E. MASCARD, C. MAYNOU, S. NAUDI, T. ODENT, J.-P. PADOVANI, E. PANSARD, Z. PEJIN, F. PFLIGER, A. TANGUY, C. THÉVENIN-LEMOINE, V. TOPOUCHIAN, E. TOULLEC, Y. TOURNÉ



ELSEVIER
MASSON

Cahiers d'enseignement de la SOFCOT
Collection dirigée par Denis HUTEN

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
(à l'exclusion de l'avant-pied)

Coordinateurs :

Raphaël SERINGE
Professeur des Universités, Praticien Hospitalier, ancien chef du service de chirurgie orthopédique pédiatrique de l'Hôpital St-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris

Jean-Luc BESSE
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique et traumatologique, centre hospitalier Lyon Sud, 69495 Pierre-Bénite cedex

Philippe WICART
Professeur des Universités, Praticien Hospitalier, service de chirurgie orthopédique pédiatrique, Hôpital St-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
(à l'exclusion de l'avant-pied)
Responsable éditoriale : Marie José Rouquette
Secrétaire de rédaction : Évelyne Lambert
Éditeur : Peggy Lemaire
Chef de projet : Aude Cauchet
Conception graphique et maquette de couverture : Véronique Lentaigne

---

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés
62, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex
http://www.elsevier-masson.fr/

L'éditeur ne pourra être tenu pour responsable de tout incident ou accident, tant aux personnes qu'aux biens, qui pourrait résulter soit de sa négligence, soit de l'utilisation de tous produits, méthodes, instructions ou idées décrits dans la publication. En raison de l'évolution rapide de la science médicale, l'éditeur recommande qu'une vérification extérieure intervienne pour les diagnostics et la posologie.

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés réservés pour tous pays. En application de la loi du 1er juillet 1992, il est interdit de reproduire, même partiellement, la présente publication sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).
All rights reserved. No part of this publication may be translated, reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any other electronic means, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without prior permission of the publisher.

Photocomposition : SPI Publisher Services, Pondichéry, Inde
ISBN : 978-2-84299-912-4
Imprimé en Espagne par Grafos
Dépôt légal : novembre 2010

Liste des auteurs

BADINA Alina
Praticien hospitalier, service d'orthopédie pédiatrique, hôpital Necker-Enfants-malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris

BARBET Patrick
Professeur des universités, praticien hospitalier, laboratoire de pathologie pédiatrique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 74, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris

BECK Frédéric
Chirurgien vasculaire, clinique du Tonkin, 18, rue du Tonkin, 69100 Villeurbanne

BESSE Jean-Luc
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique et traumatologique, centre hospitalier Lyon Sud, 69495 Pierre-Bénite cedex

BONNEL François
Professeur des universités, laboratoire d'anatomie, 2, rue de l'École de Médecine, 34000 Montpellier

COLOMBIER Jean-Alain
Chirurgien orthopédiste, clinique de l'Union, boulevard de Ratalens, 31240 Saint-Jean

CONTI Elvira
Praticien hospitalier, centre de traitement des brûlures, unité de chirurgie des brûlés, hôpital d'enfants Armand-Trousseau-La-Roche-Guyon, 26, avenue du Dr-Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12

CURVALE Georges
Professeur des universités, praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique et traumatologie, hôpital de la Conception, 145, boulevard Baille, 13385 Marseille cedex

DENORMANDIE Philippe
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, boulevard Raymond-Poincaré, 92380 Garches

DESAILLY Éric
Docteur en biomécanique, Laboratoire d'analyse du mouvement, fondation Ellen-Poidatz, 77310 Saint-Fargeau-Ponthierry, France

DESCAMPS Stéphane
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique, traumatologie et chirurgie reconstructive, CHU hôpital Gabriel-Montpied, 30, place Henri-Dunand, BP 38, 63001 Clermont-Ferrand cedex 1

FERRE Bruno
Chirurgien orthopédiste, centre orthopédique du forum, 41, rue Louis-Vallière, 34300 Agde

GLORION Christophe
Professeur des universités, praticien hospitalier, université Paris V, service d'orthopédie pédiatrique, hôpital Necker Enfants malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris

GUILLAUMAT Michel
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Joseph, 185, rue Raymond-Losserand, 75014 Paris

JUDET Thierry
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, avenue Raymond-Poincaré, 92280 Garches

KHOURI Nejib
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique, hôpital d'enfants Armand-Trousseau, 26, avenue du Dr-Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12

LEEMRIJSE Thibaut
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique et traumatologique, cliniques universitaires Saint-Luc, 10, avenue Hippocrate, 1200 Bruxelles, Belgique

LONJON Guillaume
Interne des hôpitaux, hôpital Raymond-Poincaré, 104, avenue Raymond-Poincaré, 92280 Garches

LORIAUT Philippe
Interne des hôpitaux de Paris, université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris

MAESTRO Michel
Chirurgien orthopédiste, Institut monégasque médicochirurgical du sport (IM2S), 11, avenue d'Ostende, 98000 Monaco

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

MASCARD Éric
Chirurgien orthopédiste, praticien hospitalier, service d'orthopédie pédiatrique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris, clinique Arago, 95, boulevard Arago, 75014 Paris

MAYNOU Carlos
Professeur des universités, praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique A, hôpital Roger-Salengro, CHRU Lille, rue Émile-Laine, 59037 Lille cedex

NAUDI Stéphane
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique A, hôpital Roger-Salengro, CHRU Lille, rue Émile-Laine, 59037 Lille cedex

ODENT Thierry
Professeur des universités, praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique pédiatrique, hôpital Necker Enfants malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris

PADOVANI Jean-Paul
Praticien hospitalier, service d'orthopédie pédiatrique, hôpital Necker-Enfants-malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris

PANSARD Erwan
Praticien hospitalier, service d'orthopédie du professeur Judet, hôpital Raymond-Poincaré, 104, avenue Raymond-Poincaré, 92280 Garches

PEJIN Zagorka
Praticien attaché, service d'orthopédie pédiatrique, hôpital Necker-Enfants-malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris

PFLIGER Frédéric
Chirurgien orthopédiste, polyclinique de Bordeaux-Tondu, 151, rue du Tondu, 33000 Bordeaux

SERINGE Raphaël
Professeur des universités, praticien hospitalier, université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris

TANGUY Alain
Professeur des universités, praticien hospitalier, service de chirurgie pédiatrique, CHU Hôtel-Dieu, 30, place Henri-Dunand, BP 38, 63001 Clermont-Ferrand cedex 1

THÉVENIN-LEMOINE Camille
Chef de clinique-assistant, service de chirurgie orthopédique, hôpital d'enfants Armand-Trousseau, 26, avenue du Dr-Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12

TOPOUCHIAN Vicken
Praticien hospitalier, service de chirurgie orthopédique, hôpital Necker Enfants malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris

TOULLEC Éric
Chirurgien orthopédiste, polyclinique de Bordeaux-Tondu, 151, rue du Tondu, 33000 Bordeaux

TOURNÉ Yves
Groupe chirurgical République, 15, rue de la République, 38000 Grenoble

WICART Philippe
Praticien hospitalier, professeur des universités, université Paris-Descartes, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Préface

On ne peut que se féliciter de la parution prochaine (congrès de la SOFCOT 2010) de ce très intéressant ouvrage regroupant, de façon fort originale, les principaux domaines de pathologie du pied vus sous l'angle conjoint de l'orthopédiatrie et de l'orthopédie d'adultes. Il faut remercier les trois auteurs, Raphaël Seringe, Philippe Wicart et Jean-Luc Besse, d'avoir conçu et mené à son terme cet ambitieux projet, fruit de l'action synergique de deux orthopédiatres et d'un orthopédiste d'adultes réunis par l'excellence de l'expertise et la qualité de l'engagement pédagogique, amplement démontrées par leurs actions au sein de la SOFCOT et de ses sociétés-filles (GEOP et AFCP), ainsi que du Collège d'orthopédie.

L'association à la rédaction des meilleurs spécialistes des deux disciplines confirme l'apport pédagogique et les très nombreux points d'intérêt de ce travail. Parmi ceux-ci, le rétablissement du lien entre « chirurgiens des enfants » et « chirurgiens des adultes » atténue les conséquences de la gestion rigide, sur la seule base de l'état-civil, du secteur d'hospitalisation. Il rappelle à tous l'étymologie de notre discipline et le sens du logo de notre Société.

Ce travail communautaire, au-delà de l'objectif unitaire et normatif en matière de définitions, d'imagerie et de cheminement diagnostique et thérapeutique, rappelle deux autres notions fondamentales. Aux orthopédistes d'adultes, la nécessité de prise en compte, chez les enfants, des mécanismes de croissance à l'origine, certes, de phénomènes de compensation, mais aussi de séquelles anatomiques et fonctionnelles par épiphysiodèse précoce. Aux orthopédiatres, le caractère non inéluctable de la mauvaise tolérance à l'âge adulte des déformations constitutionnelles ou acquises constatées dans l'enfance.

Dès lors, ce travail est susceptible, dans une certaine mesure, d'atténuer et d'éclairer l'inquiétude « structurelle » de l'orthopédiatre en présence d'une imperfection résiduelle post-thérapeutique grâce à l'évaluation, par les orthopédistes d'adultes, de la tolérance à long terme des vices architecturaux présents depuis l'enfance. Ainsi, l'identification des troubles morphostatiques nécessitant une correction précoce modifie la relation bénéfices/risques (plus que jamais d'actualité) et la gestion de la notion de « retour à la normalité » face aux risques de troubles de croissance postchirurgicaux.

L'orthopédiste d'adultes est confronté à la difficulté de prise en charge de patients, adultes jeunes le plus souvent, réclamant, à l'issue d'une action thérapeutique réalisée dans l'enfance, la mise en conformité de leur(s) pied(s) aux canons de la normalité. Une indication chirurgicale rapidement décidée et une correction incomplète comportent le risque de rompre les phénomènes de compensation induits par la croissance et d'aboutir certes à une amélioration cosmétique, mais aussi à une décompensation fonctionnelle gênante (la correction isolée, par exemple, d'un varus de l'arrière-pied via une chirurgie d'ankylose en présence d'une déformation complexe associant varus-équin et verticalisation de M1 aboutissant à une surcharge antéromédiale symptomatique). Dans cette situation, l'évaluation fonctionnelle précise, l'analyse de toutes les composantes de la déformation et l'impératif d'une correction complète dans tous les plans sont les trois règles à ne jamais transgresser.

L'expérience et l'expertise des auteurs a permis, grâce à une collaboration étroite avec les coauteurs, la construction d'un ouvrage à forte portée pédagogique. Ce dernier s'inscrit avec d'autres travaux, dans le courant d'optimisation des moyens de formation des orthopédistes d'enfants ou d'adultes, généralistes ou hyperspécialisés développé par la SOFCOT, ses sociétés-filles et le Collège d'orthopédie. Dans cette perspective de formation globale et non pas ponctuelle purement technicienne, cet ouvrage doit faire partie de la bibliothèque de tout orthopédiste en formation et/ou s'intéressant plus particulièrement au pied.

Pr Norman Biga

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Préface

Raphaël Seringe, qui a toujours porté un regard novateur sur le pied de l'enfant et ses déformations, a réuni autour de lui un panel d'experts pour réaliser cet ouvrage dans lequel le pied est étudié tout au long de l'existence, depuis la naissance jusqu'à la fin de vie.

Toute l'expérience de l'école de Saint-Vincent-De-Paul sur ce sujet avec Raphaël Seringe, Philippe Wicart et Éric Mascard, s'est associée à celle de Trousseau avec Nejib Khouri et à celle de Necker avec l'équipe de Christophe Glorion.

Jean-Luc Besse, qui coordonne l'ouvrage pour la partie « adulte », a choisi des experts provenant de tout l'Hexagone et même au-delà avec Thibaut Leemrijse de Bruxelles et Michel Maestro de Monaco.

Un ouvrage de plus, me direz-vous ! Pour répondre à cette remarque, nous reprendrons à notre compte une phrase de cette monographie qui dit :

> « La décision thérapeutique en médecine doit toujours être prise grâce à une comparaison faite entre les bénéfices que notre action est supposée apporter au malade, et les risques qu'elle lui fait courir. Cette démarche s'applique, sans restriction, aux traitements des déformations du pied qu'elles soient dynamiques, statiques ou structurales, congénitales ou acquises, fixées ou évolutives. Elle doit s'appuyer sur des connaissances objectives et s'intègre parfaitement dans le concept de médecine basée sur les preuves. »

Ce livre, dont le cœur repose sur l'expérience acquise par le coordonateur et auteur principal, enrichie par les apports des différents experts, propose une nouvelle classification des déformations des pieds. Cette nouvelle classification s'appuie sur une analyse précise des déformations élémentaires, puis sur leurs différentes combinaisons pour décrire toutes les déformations complexes que l'on peut observer en clinique. Plus qu'une simple description de ces déformations, cette nouvelle classification ouvre aux lecteurs une compréhension approfondie des causes et conséquences de ces déformations et les aide dans leur éventuel projet thérapeutique.

Cette nouvelle classification s'appuie sur une parfaite connaissance de l'anatomie fonctionnelle du pied où le concept de bloc calcanéopédieux, popularisé par Raphaël Seringe, sert de fil conducteur à la compréhension de ces différentes déformations. Cet éclairage nouveau est un précieux guide pour nos décisions thérapeutiques et s'intègre donc parfaitement dans le nouveau concept de médecine fondée sur les preuves.

Et puis, quoi de plus satisfaisant pour le président de la SOFCOT que je suis de voir que la connaissance s'enrichit de la collaboration de chirurgiens orthopédistes d'horizons différents ? L'orthopédie, comme en témoigne cet ouvrage, reste une et indivisible, et même si elle a évolué en sous-spécialités, la réunion de compétences, venant de ces différentes approches autour d'un projet commun, redonne tout son sens à notre appartenance à cette maison commune qui est l'orthopédie et que la SOFCOT a l'ambition de représenter.

Pr Gérard Bollini
Président de la SOFCOT

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Avant-propos

« C'est le pied qui donne à l'homme son statut d'être humain. »

Wood Jones

La prise en charge des déformations et malformations du pied a toujours représenté une part très importante de l'activité du chirurgien orthopédiste. Jusque dans les années 1980, quel que soit l'âge du patient, le chirurgien orthopédiste était l'unique intervenant et avait ainsi une vision globale de la pathologie de la naissance à l'âge adulte. Avec l'individualisation de l'orthopédie pédiatrique, ce qui a d'ailleurs permis d'importants progrès dans la compréhension et le traitement des déformations du pied, les relations et la communication entre les spécialistes de l'enfant et de l'adulte se sont estompées. Les deux branches pédiatrique et « adulte » de l'orthopédie ont ensuite évolué pour leur propre compte sur des chemins parallèles, voire divergents.

C'était l'une des volontés des coordonnateurs de cette monographie de regrouper la pathologie de l'enfant et de l'adulte et de faire cosigner la plupart des chapitres par les meilleurs experts des deux spécialités en les faisant travailler ensemble pour réaliser des textes homogènes et éviter redites et contradictions.

L'avant-pied a été délibérément exclu, puisqu'il a déjà fait l'objet d'une publication séparée dans la collection des Cahiers d'enseignement de la SOFCOT sous la direction de B. Valtin et T. Leemrijse.

La pathologie de l'arrière-pied et du médio-pied est moins connue, moins étudiée, et pourtant elle pose des problèmes très complexes. En effet, avec l'articulation talocrurale, elle concerne neuf pièces osseuses, sept articulations, de nombreux muscles dont aucun ne se fixe sur le talus, expliquant les multiples déformations possibles du pied selon les axes de chaque articulation ; de plus, les déformations ont des causes multiples, en particulier neurologiques, qui impriment leur marque et leur spécificité sur cette configuration anatomique déjà complexe.

L'étude quantifiée de la marche analyse très bien la hanche, le genou et la cheville et connaît un développement récent au niveau du pied. Cependant, ce type d'approche se heurte à des difficultés techniques en voie de résolution. Il nous faut donc améliorer nos connaissances par d'autres moyens et faire évoluer les concepts sur la physiologie et la physiopathologie du pied : c'est le but principal de cette monographie.

Elle est divisée en 5 sections :

- la première, intitulée « notions fondamentales », comporte 12 chapitres qui forment la base des connaissances actuelles sur le pied (dont beaucoup sont peu ou mal connues). Le lecteur y trouvera des notions nouvelles et originales dans des domaines aussi variés que l'anatomie, la biomécanique, le testing musculaire, l'imagerie, la baropodométrie, la classification des déformations du pied ;
- la deuxième section traite des « anomalies congénitales », principalement le pied bot varus équin mais aussi le pied convexe, le pied en Z, les synostoses congénitales ;
- la troisième section traite des « déformations acquises idiopathiques » comme le pied plat valgus, mais aussi le pied creux idiopathique, la démarche en équin idiopathique ;
- la quatrième section concerne « le pied neurologique » avec neuf chapitres développant les spécificités selon les étiologies, en particulier la paralysie cérébrale, la neuropathie de Charcot-Marie-Tooth, les myopathies, sans oublier la poliomyélite, le spina bifida, les séquelles de traumatisme crânien, le pied neuroarthropathique diabétique, pour ne citer que les causes les plus fréquentes ;
- enfin, la cinquième section correspond à des « problèmes divers » parmi lesquels les séquelles traumatiques, le pied inflammatoire, les pieds syndromiques, le pied vasculaire diabétique, les séquelles du pied tumoral.

Un autre souhait des coordonnateurs était d'harmoniser notre langage et de clarifier la terminologie de façon à utiliser les mêmes mots avec le même sens tout au long de cet ouvrage. C'est pourquoi nous avons choisi de supprimer certains termes utilisés dans le jargon francophone et de les remplacer par une terminologie internationale, compréhensible par tous. Ainsi la double arthrodèse (à la française) est remplacée par la triple arthrodèse car cette opération concerne,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

effectivement, non pas deux mais trois articulations : talocalcanéenne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne ; en outre, il existe des arthrodèses doubles si deux des trois articulations précitées font l'objet d'une arthrodèse. De la même façon, l'expression « couple de torsion » utilisée couramment est remplacée par le nom précis des articulations concernées. Enfin, la nomenclature anatomique française est remplacée par la nomenclature internationale présentée plus loin.

Nous remercions vivement tous les auteurs qui ont bien voulu apporter leur grande expérience et contribuer à la qualité de cet ouvrage, fruit d'un riche travail interactif « enfant-adulte ». C'est peut-être l'avenir de nos spécialités de se retrouver après s'être si longtemps individualisées.

Raphaël Seringe,
Jean-Luc Besse et Philippe Wicart

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Lexique anatomique

Nomenclature internationale francisée	Ancienne nomenclature
Talus	**Astragale**
processus latéral	apophyse externe
processus postérieur	os trigone
trochlée	poulie
sillon du talus	sinus du tarse
tubercule latéral	tubercule postéro-externe
tubercule médial	tubercule postéro-interne
Calcaneus	**Calcanéum**
petite apophyse	sustentaculum tali
grande apophyse	apophyse antérieure
sillon calcanéen	sinus du tarse
trochlée fibulaire	tubercule des péroniers latéraux
tubérosité	grosse tubérosité
processus latéral de la tubérosité	tubérosité postéro-externe
Os naviculaire	**Scaphoïde**
os cunéiforme médial	premier cunéiforme
os cunéiforme intermédiaire	deuxième cunéiforme
os cunéiforme latéral	troisième cunéiforme
Articulations	
talocrurale	tibiotarsienne
sous-talienne ou subtalaire	sous-astragalienne
transverse du tarse (ou de Chopart)	médiotarsienne
tibiofibulaire distale	péronéotibiale inférieure
Muscles	
court extenseur des orteils	pédieux
long extenseur des orteils	extenseur commun des orteils
long extenseur de l'hallux	extenseur propre du gros orteil
tibial antérieur	jambier antérieur
troisième fibulaire	péronier antérieur
court fibulaire	court péronier latéral

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Nomenclature internationale francisée	Ancienne nomenclature
long fibulaire	long péronier latéral
plantaire	plantaire grêle
tendon calcanéen	tendon d'Achille
chef latéral du gastrocnémien	jumeau externe (triceps)
chef médial du gastrocnémien	jumeau interne
long fléchisseur des orteils	long fléchisseur commun des orteils
long fléchisseur de l'hallux	long fléchisseur propre du gros orteil
tibial postérieur	jambier postérieur
court fléchisseur des orteils	court fléchisseur plantaire
court fléchisseur de l'hallux	court fléchisseur du gros orteil
carré plantaire	chair carrée de Sylvius
abducteur de l'hallux	adducteur du gros orteil
Aponévroses et ligaments	
fascia crural	aponévrose jambière
aponévrose plantaire	aponévrose plantaire moyenne superficielle
septum médial	cloison intermusculaire interne de la plante
ligament plantaire long	grand ligament plantaire
ligament calcanéonaviculaire plantaire *(spring ligament)*	ligament calcanéoscaphoïdien plantaire (ligament à ressort)
rétinaculum inférieur des muscles extenseurs	ligament annulaire antérieur du tarse (ligament frondiforme)
rétinaculum des fibulaires	ligament annulaire externe
rétinaculum des fléchisseurs	ligament annulaire interne
ligament interosseux talocalcanéen	ligament interosseux astragalocalcanéen de Farabeuf
ligament bifurqué	ligament en Y de Chopart
ligament collatéral fibulaire	ligament latéral externe (articulation tibiotarsienne)
ligament collatéral tibial	ligament latéral interne
ligament talofibulaire antérieur	ligament péronéoastragalien antérieur
ligament talofibulaire postérieur	ligament péronéoastragalien postérieur
ligament calcanéofibulaire	ligament péronéocalcanéen
ligament tibiofibulaire antérieur	ligament péronéotibial antérieur
Artères	
tarsienne latérale	dorsale du tarse
dorsale du pied	pédieuse
fibulaire	péronière
perforante fibulaire	péronière antérieure
plantaire latérale	plantaire externe
plantaire médiale	plantaire interne
Veines	
petite veine saphène	saphène externe
grande veine saphène	saphène interne
plantaires latérales	plantaires externes
plantaires médiales	plantaires internes

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Nomenclature internationale francisée	Ancienne nomenclature
Nerfs	
cutané sural latéral	cutané péronier (saphène accessoire)
cutané sural médial	saphène tibial
fibulaire superficiel :	musculocutané de la jambe :
– cutané dorsal intermédiaire	– branche externe
– cutané dorsal médial	– branche interne
sural	saphène externe
saphène	saphène interne
rameau communiquant fibulaire du nerf fibulaire	saphène péronier
cutané dorsal latéral	branche terminale du nerf saphène tibial
fibulaire commun	sciatique poplité externe (SPE)
tibial (au-dessus de l'arcade du soléaire)	sciatique poplité interne (SPI)
tibial (au-dessous de l'arcade du soléaire)	tibial postérieur
fibulaire profond	tibial antérieur

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Partie I

Notions fondamentales

Rappel d'embryologie du pied

Anatomie de l'arrière-pied et croissance

Biomécanique et anatomie fonctionnelle de l'arrière-pied et du médio-pied

Concept de « bloc calcanéopédieux »

Examen clinique du pied

Testing musculaire du pied

Radiologie et imagerie

Morphotypes

Baropodométrie

Pied et analyse de la marche

Analyse segmentaire des déformations et nouvelle classification

Principes thérapeutiques

Rappel d'embryologie du pied

P. BARBET[1]

Les bourgeons des membres inférieurs constituent un « champ morphogénétique », qui est spécifié précocement et se développe selon un gradient proximodistal grâce à des morphogènes intervenant notamment au niveau du segment distal ou *autopode* [1].

Le mésoblaste induit la formation de la *crête épiblastique apicale*, qui induit à son tour une *zone de progression* conduisant à la formation des segments longitudinaux du membre. De même, la détermination des axes antéropostérieur et dorsoventral fait appel à l'apparition d'une zone de polarisation (impliquant l'acide rétinoïque) et à l'expression de différents agents morphogènes. Certaines malformations témoignent de l'implication de tels gènes (en particulier *Hox*) dans la formation des membres inférieurs chez l'Homme [2].

Développement du pied de la 4e à la 8e semaine

Les membres inférieurs se forment pendant la période postsomitique du développement embryonnaire, entre les stades 13 et 23 de la classification Carnegie (de la 4e à la 8e semaine du développement), « en retard » par rapport aux membres supérieurs [3,4].

La palette du pied apparaît au stade 15 (vers 33 j de développement, embryon de 7 à 9 mm), par allongement de la moitié caudale de l'ébauche des membres inférieurs [5]. Les racines nerveuses lombaires donnent leurs premiers troncs tandis que du mésenchyme se condense à la racine du membre, et que se forme la *crête épiblastique apicale*.

Au stade 16 (vers 37 j, 11 à 14 mm) s'individualisent trois centres de croissance dont le plus distal donnera le pied. Parallèlement, les troncs nerveux se divisent et une partie du nerf tibial s'étend à la base de la palette du pied.

Au stade 17 (vers 41 j, 11 à 14 mm), des condensations mésenchymateuses distinctes apparaissent pour le tibia et la fibula tandis que les masses prémusculaires deviennent identifiables. La limite entre jambe et tarse devient nette [6] et la palette du pied donne naissance à une région centrale (tarse) en bordure de laquelle se projette un épais bourrelet périphérique, la *plaque digitale*, dont la face plantaire regarde en direction crâniale du fait de la rotation latérale du membre. Le pied présente alors trois rayons (principal médian, latéraux rudimentaires).

Le stade 18 (vers 44 j, 13 à 17 mm) se caractérise par l'allongement des membres inférieurs tandis que *le tarse et le métatarse commencent leur chondrification* et que les rayons des 2e–4e orteils apparaissent comme des prolongements des condensations mésenchymateuses.

Au stade 19 (vers 47–48 j, 17 à 20 mm), les axes des membres supérieurs et inférieurs sont plus ou moins parallèles, et chaque pied présente un bord préaxial et un bord postaxial.

Au stade 20 (vers 50–51 j, 21 à 23 mm), les membres inférieurs s'incurvent vers la ligne médiane et *les pieds présentent des encoches interdigitales*. Une condensation mésenchymateuse s'individualise pour le tubercule du calcaneus tandis qu'apparaissent les ébauches des ligaments collatéraux de la cheville.

Au stade 21 (vers 52 j, 22 à 24 mm), les deux pieds se rapprochent et les orteils peuvent parfois se toucher sur la ligne médiane. Le pied est alors plat avec un métatarse situé dans le prolongement direct du tarse. La petite apophyse du calcaneus (sustentaculum tali) se présente comme une condensation mésenchymateuse tandis que se forment la tubérosité postérieure du calcaneus, l'os naviculaire ainsi que le cuboïde et le cunéiforme médial. Les métatarsiens apparaissent et, dans la plupart des cas, les phalanges proximales des trois rayons médians [7].

Au stade 22 (vers 54 j, 25 à 27 mm), le degré d'équin et de flexion plantaire commence à diminuer, ce qui rend encore plus évidentes l'inversion et l'adduction physiologiques du pied à ce stade (figures 1 et 2) [8]. L'ossification périostique commence au niveau du tibia. Le contact tibiofibulaire se fait, et à partir de ce stade, la malléole fibulaire descend plus bas que la malléole tibiale. Les deux derniers cunéiformes

[1] Laboratoire de pathologie pédiatrique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 74, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

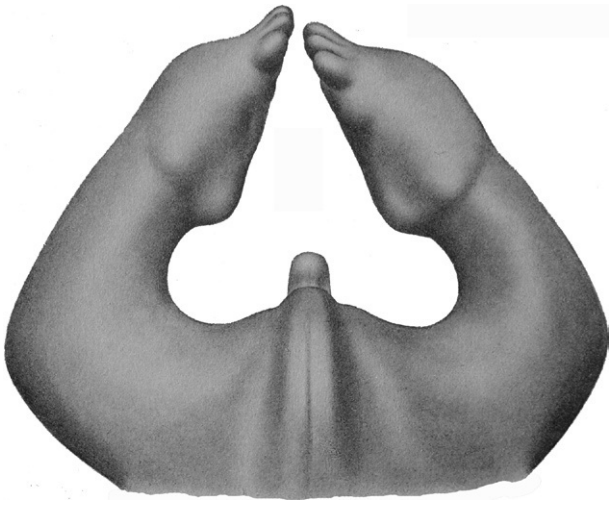


Figure 1. Vue inférieure d'un embryon au stade 22 (vers 54 j) [8]. Noter l'équin et la flexion plantaire des pieds, à ce stade où les orteils se joignent sur la ligne médiane.



Figure 2. Coupe histologique axiale du pied dans un embryon au stade 22 (vers 54 j).
Importante flexion physiologique du pied, à ce stade où les ébauches des os sont encore totalement cartilagineuses.

apparaissent. L'interligne tarsométatarsien est dans l'ensemble convexe en avant, avec un retrait du 5e métatarsien.

Au stade 23 (*fin de la 8e semaine, vers 56–57 j*, 23 à 32 mm), les pieds, d'une longueur d'environ 4,5 mm, sont en varus équin-adduction et les surfaces plantaires se regardent l'une l'autre en direction médiale.

Pour Uhthoff [9], l'équinisme est dû à trois éléments : une désorientation postérieure de la surface articulaire distale du tibia (en rapport avec une courbure diaphysaire à concavité postérieure), un aplatissement de la trochlée talienne et un creux du médio-pied. L'ossification périostique commence au niveau de la fibula. Tous les éléments du tarse et les orteils sont chondrifiés (sauf les sésamoïdes). Des cavités sont apparues au niveau des articulations talotibiale, talofibulaire, talocalcanéenne et calcanéocuboïdienne. Enfin, des ponts cartilagineux persistent fréquemment entre talus et calcaneus (habituellement au niveau du sustentaculum tali) ainsi qu'entre le cunéiforme latéral et le 3e métatarsien, sans qu'il soit certain qu'ils conduisent par la suite à une coalition du tarse [8].

Développement du pied de la 9e à la 12e semaine

Au niveau du pied, le degré d'équin, de varus et d'adduction diminue graduellement après 10 semaines et une position neutre est atteinte à la fin de la 11e semaine en même temps que disparaît l'adduction du 1er métatarsien et du 1er orteil (figure 3).

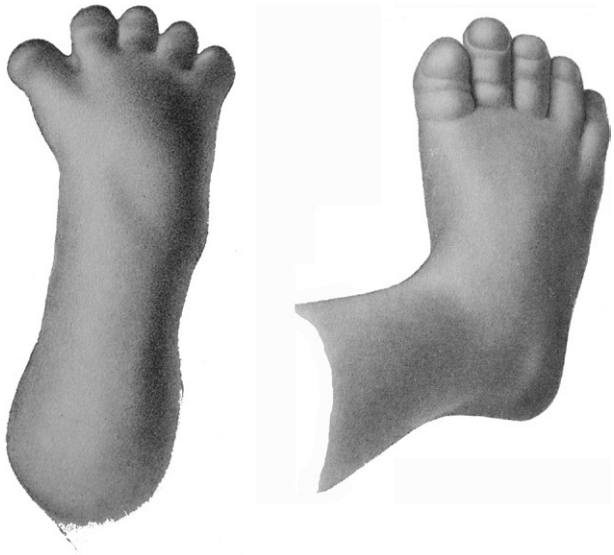


Figure 3. Vues dorsales du pied dans un embryon au stade 22 (vers 54 j) et dans un fœtus vers 11 semaines [8].
Disparition de l'adduction du 1er métatarsien et du 1er orteil.

Développement du pied pendant la vie fœtale

Ainsi, le développement embryonnaire a conduit à la formation de deux pieds dont le plan général paraît très achevé à la fin de la période embryonnaire. La suite du développement est essentiellement marquée par des phénomènes de différenciation tissulaire et de croissance, qui s'accompagnent de modifications posturales significatives. Ainsi, le membre inférieur

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

va subir une rotation médiale qui commence dès la fin de la période embryonnaire pour s'achever après la naissance [9]. La formation des pieds s'accompagne d'une différenciation tissulaire qui se poursuit pendant la vie fœtale et bien au-delà après la naissance.

Chondrification et ossification

Pratiquement dès son apparition, le mésoblaste se condense pour former des ébauches « mésenchymateuses », qui se transforment rapidement en *centres de chondrification*. Les ébauches cartilagineuses à l'origine des futures pièces osseuses apparaissent précocement, selon un ordre proximodistal jusqu'aux orteils qui, dans la plupart des cas, sont tous chondrifiés à la fin de la période embryonnaire [10]. À ce stade, aucun des os du pied n'a habituellement commencé à s'ossifier.

En fait, l'ossification des pieds débute au niveau des métatarsiens entre 8 et 10 semaines par l'apparition d'une collerette périostique, suivie vers 11 semaines de l'invasion vasculaire et de l'ossification endochondrale de chaque ébauche. Les phalanges proximales et intermédiaires s'ossifient plus tardivement, vers 16 semaines (figure 4). L'ossification des phalanges distales, quant à elle, débute vers 11 semaines par une ossification membranaire distale suivie par une ossification endochondrale de progression proximale (qui ne s'achève parfois qu'après la naissance).

Au niveau du tarse, l'ossification commence au niveau du calcaneus par un début d'ossification, périostique vers 13–14 semaines puis endochondrale vers 15–16 semaines. Les radiographies permettent une appréciation assez précise de la maturation osseuse fœtale pour ce qui concerne le début d'ossification du calcaneus (24 ± 2 semaines) ainsi que du talus (28 ± 2 semaines). En fait, l'essentiel de l'ossification du tarse se produit après la naissance, avec l'apparition successive des points primaires du cuboïde (1 à 6 mois), des os cunéiformes (1 à 3 ans) et de l'os naviculaire (3 à 5 ans). Les noyaux secondaires du calcaneus apparaissent entre 8 et 9 ans. Les points d'ossification épiphysaires des métatarsiens apparaissent entre 3 et 4 ans.

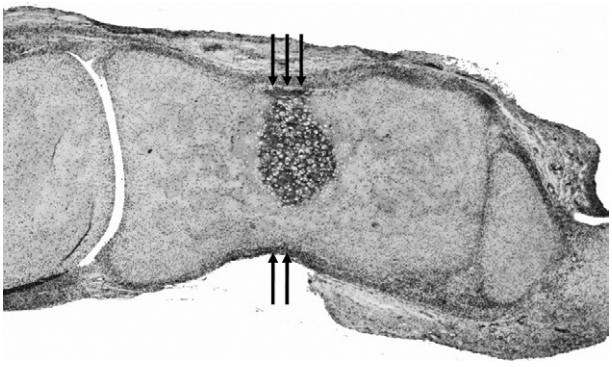


Figure 4. Coupe histologique axiale d'un orteil dans un fœtus vers 16 semaines.
Début d'ossification de la phalange avec une fine collerette périostique en périphérie de l'ébauche cartilagineuse (flèches) et un noyau d'ossification endochondrale en position centrale.

Formation des articulations

Pendant cette période, les articulations sont préformées entre les ébauches primordiales des os, tandis que les ligaments et tendons se forment in situ par condensation du mésenchyme. La cavitation de la cheville est habituellement visible vers 9 semaines, et l'ensemble de la cavité articulaire avec sa synoviale est visible à 10–11 semaines, ce qui permet l'apparition du mouvement [8]. Finalement, une cavité articulaire avec des villosités synoviales se forme après 14 semaines dans la plupart des articulations du tarse [8,10,11].

Formation des muscles

Les ébauches musculaires s'organisent d'abord en deux masses ventrale et dorsale colonisées par des précurseurs musculaires d'origine somitique, et conditionnant l'évolution parallèle de branches nerveuses homologues.

Formation des vaisseaux

Les vaisseaux apparaissent dès les premiers stades, comme l'artère tibiale postérieure qui se termine par l'artère plantaire médiale, se continuant par l'arcade plantaire. L'artère plantaire latérale ne se forme que secondairement [11]. Les réseaux veineux et lymphatiques se développent parallèlement et sont en place à la fin de la période embryonnaire.

Conclusion

Pour l'orthopédiste, l'élément le plus important du développement embryonnaire du pied se situe à la fin de la 8e semaine : le pied est alors en position de « pied bot varus équin physiologique ». À partir de la 9e semaine, le pied se redresse progressivement pour aboutir à un pied d'aspect normal et d'orientation neutre par rapport à la jambe à partir de la 12e semaine [8,10].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Références

1 Sadler TW. Langman's medical embryology. 10e éd. Baltimore : Lippincott Williams & Wilkins ; 2006.
2 Clavert JM. Embryologie normale et pathologique des membres inférieurs. Essai de classification des malformations. In : Carlioz H, Clavert JM, éds. Malformations congénitales des membres inférieurs. Cahier d'enseignement de la SOFCOT no74. Paris : Elsevier ; 2001. p. 3-15.
3 O'Rahilly R, Müller F. Developmental stages in human embryos. Washington : Carnegie Institution of Washington ; 1987.
4 Barbet JP. Pathologie embryofœtale. Paris : Masson ; 1997.
5 Retzius G. Zur Kenntnis der Entwicklung der Körperformen des Menschen während der Fötalen Lebensstufen. In : Biologische Untersuchen von Prof. Dr. Gustaf Retzius. Neue Folge XI. Stockholm : Aftonbladets Druckerei ; 1904. p. 33-76. Taf. XIV-XXVI.
6 O'Rahilly R, Bossy J, Müller F. Introduction à l'étude des stades embryonnaires chez l'Homme. Bull Assoc Anat 1981 ; 65 : 141-234.
7 Olivier G. Formation du squelette des membres. Paris : Vigot ; 1962.
8 Kawashima T, Uhthoff HK. The development of the ankle and foot. In : Uhthoff HK, editor. The embryology of the human locomotor system. Berlin : Springer ; 1990. p. 141-53.
9 Kamina P. Précis d'anatomie clinique. Tome I. Paris : Maloine ; 2002.
10 Kawashima T, Uhthoff HK. Development of the foot in prenatal life in relation to idiopathic clubfoot. J Pediatr Orthop 1990 ; 10 : 232-7.
11 Gardner E, Gray DJ, O'Rahilly R. The prenatal development of the skeleton and joints of the human foot. J Bone Joint Surg 1959 ; 41 : 847-76.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Anatomie de l'arrière-pied et croissance

F. BONNEL[1], R. SERINGE[2]

Par leurs morphologies et leurs agencements, les structures anatomiques du pied doivent faire face à un programme mécanique adapté à la station debout et aux chocs violents. Concernant essentiellement la cheville, l'arrière-pied et le médio-pied, ce chapitre fait le lien entre l'embryologie traitée précédemment et les chapitres suivants sur l'anatomie fonctionnelle, la biomécanique, le concept du bloc calcanéopédieux et le testing musculaire [1].

Les articulations de l'arrière-pied sont une structure complexe qui n'a fait l'objet que de rares études exhaustives. L'analyse précise des structures osseuses et articulaires permet de comprendre les amplitudes des mouvements et leur traduction en pathologie. Toutes les notions d'anatomie classiques sont à revoir en fonction des différences morphologiques individuelles. *Notre objectif est de mettre l'accent sur les spécificités des structures osseuses de l'arrière-pied à la suite de mesures personnelles sur des pièces anatomiques.*

Les os du pied en croissance

La croissance du pied se fait à partir d'une quarantaine de cartilages de croissance qui participent dans une programmation subtile, hiérarchisée, ordonnée dans le temps et dans l'espace. Dans l'avant-pied, il s'agit de cartilages de croissance rectangulaires pour les métatarsiens et les phalanges alors que dans l'arrière-pied et le médio-pied ainsi que dans les épiphyses fibulaire et tibiale distales, il s'agit de cartilages sphériques permettant une ossification rayonnante.

Noyaux d'ossification et croissance fœtale (figures 1 et 2)

Le calcaneus dispose d'un cartilage de croissance supplémentaire qui s'exprime à l'âge de 6 ans dans la région postérieure, responsable en partie de la croissance en longueur du calcaneus et participant à la forme de la tubérosité calcanéenne. C'est au sein de la tubérosité calcanéenne qu'apparaît, vers l'âge de 6 ans, le noyau d'ossification complémentaire. À partir de cette période, l'action du triceps par l'intermédiaire du tendon calcanéen va modeler la croissance de la tubérosité du calcaneus en corrélation avec le muscle court abducteur de l'hallux, aboutissant à différentes morphologies.

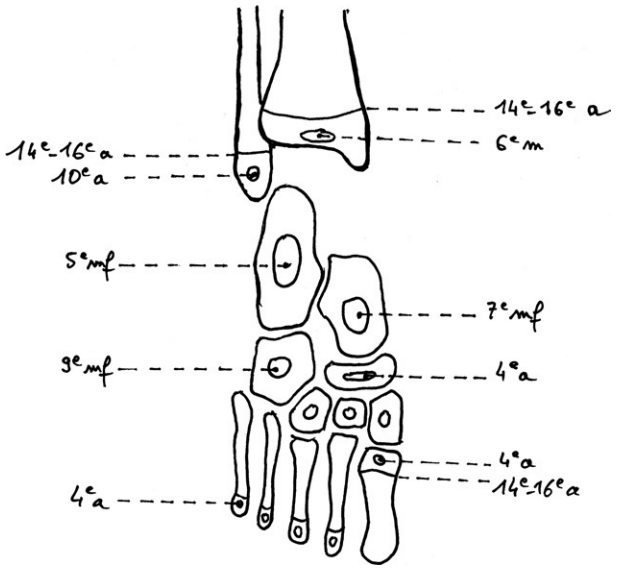


Figure 1. Âges d'apparition des noyaux d'ossification et âges de soudure des cartilages de croissance épiphysaires.
mf : mois fœtal ; m : mois de la vie ; a : année de la vie ; os cunéiforme médial : 2e–3e année ; os cunéiforme intermédiaire : 3e–4e année ; os cunéiforme latéral : 1re année.

Vitesse de croissance du pied après la naissance

À la naissance, le pied mesure en moyenne 7,5 cm, puis à l'âge de 1 an 12 cm (ce qui représente 44 % de la taille

[1] Laboratoire anatomie, 2, rue de l'École de médecine, 34000 Montpellier.
[2] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

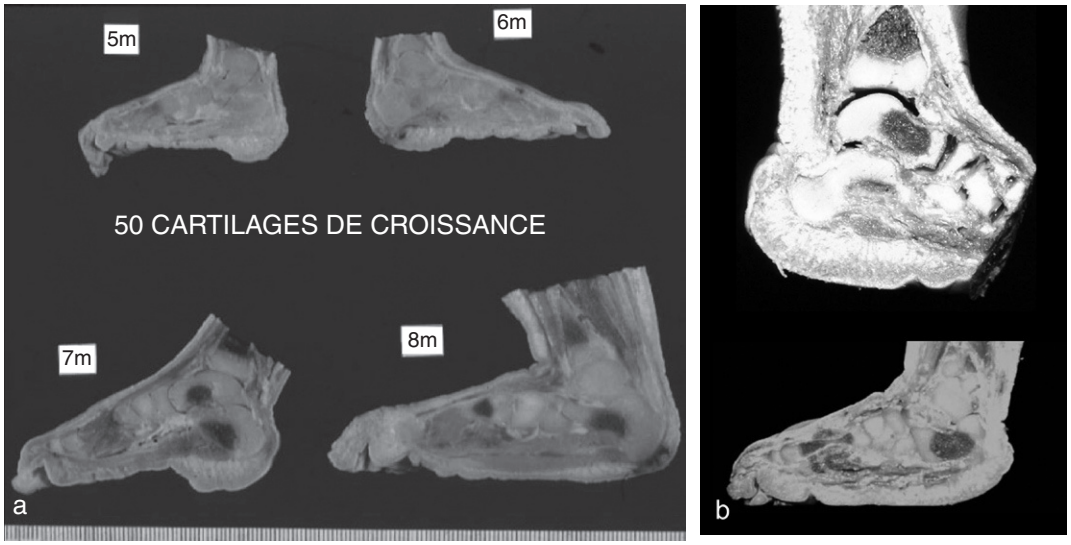


Figure 2. Coupes anatomiques de pieds de fœtus à différents stades.

finale). Cette poussée de croissance de la 1re année de la vie est la plus forte enregistrée. Ensuite, la vitesse de croissance annuelle est de l'ordre de 0,9 cm/an. À l'âge de 5 ans, le pied mesure 17 cm (63 % de la longueur totale) ; à l'âge de 10 ans, il mesure 22 cm. En réalité, il y a une grande variation de longueur des pieds et une différence sexuelle, puisque le pied du garçon est habituellement nettement plus long que le pied de la fille. La longueur du pied adulte est en moyenne de 27 cm, ce qui correspond à la pointure de chaussure 42. La croissance du pied se termine vers 14 ans d'âge osseux chez la fille et vers 16 ans chez le garçon.

Variétés de longueur du talus vis-à-vis du calcaneus

À partir de 70 pièces anatomiques des deux sexes, nous avons fait une étude de la largeur et de la longueur du talus et du calcaneus [2] (tableau 1). Selon la longueur du talus par rapport au calcaneus, la morphologie du ligament calcanéonaviculaire plantaire *(spring ligament)* était variable. Il semble que plus la longueur du talus était importante par rapport au calcaneus, plus l'amplitude du mouvement entre le talus et le bloc calcanéopédieux était importante.

Il existait une discordance entre les surfaces articulaires antérieure et postérieure dans le plan sagittal de 10,4 mm. Cette disposition permettait de définir trois types : le type I avec une longueur articulaire identique, le type II avec une longueur du talus moindre par rapport au calcaneus, et le type III avec une longueur du talus plus importante. Cette discordance est compensée par le contact de la surface antérieure du talus avec le ligament calcanéonaviculaire plantaire et son fibrocartilage glénoïdien. Cette disposition offrait une possibilité supplémentaire dans le mouvement entre le talus et le calcaneus.

Tableau 1
Biométrie du talus et du calcaneus de 70 pièces anatomiques des deux sexes

Longueur totale	**Moyenne (cm)**	**Variance**	**Écart-type**
Talus	6,12	0,07	0,27
Calcaneus	8,8	0,09	0,90
Largeur	**Moyenne (cm)**	**Variance**	**Écart-type**
Talus	4,26	0,09	0,31
Calcaneus	3,2	0,09	1,20

La morphologie des surfaces articulaires du talus et du calcaneus est un élément indispensable pour la compréhension du comportement articulaire lors de la marche. La biométrie que nous avons réalisée objective les différents types anatomiques à l'origine de troubles pathologiques qui, dans le cadre d'une analyse erronée par manque de moyens, permettent de démembrer les symptômes cliniques jusqu'à présent mal étiquetés (tableau 2).

Le rayon de courbure de la surface talaire antérieure, dans le plan sagittal, était de 0° et, dans le plan transversal, il existait une courbure à convexité supérieure de 21°.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Tableau 2
Rayon de courbure des surfaces articulaires calcanéennes

Calcaneus	Type	Rayon de courbure sagittal (mm)	Rayon de courbure frontal (mm)
Surface talaire postérieure	I	0	5
	II	0	10
	III	0	15

Tableau 3
Rayon de courbure des surfaces articulaires taliennes

Talus (laboratoire) Nombre : 40	Type	Rayon de courbure médial (mm)	Rayon de courbure latéral (mm)
	I (86 %)	18,9	22,3
	II (11 %)	22	22
	III (3 %)	18	22

Il existait des variations individuelles concernant le rayon de courbure de la partie médiale et latérale du talus.

Nous avons mesuré [2] 40 talus de sujets de laboratoire et avons mis en évidence trois types de talus (tableau 3). Cette variabilité des rayons de courbure est fondamentale pour la compréhension des mouvements du talus dans le cadre de l'articulation talocrurale, qui a trois possibilités de déplacement dans le plan horizontal : soit médial, soit sagittal, soit latéral, avec des possibilités de compensation sous-jacente dans l'articulation sous-talienne selon le même principe, en fonction des rayons de courbure.

Ces variations entraînent un état de tension du ligament talofibulaire antérieur variable lors du mouvement de flexion-extension. Dans une étude tomodensitométrique de 32 talus, Bedin et Mabit [3] rapportaient des variations avec un type I (75 %) avec un rayon de courbure médial en moyenne de 18,63 mm (15,3–22,8) et un rayon latéral en moyenne de 19,66 mm (16–24,6), un type II (9 %) avec un rayon de courbure médial et latéral identique, et un type III (16 %) avec un rayon de courbure médial plus grand que le rayon latéral.

Torsion tibiale

À la naissance, la torsion tibiale est voisine de 0° et il s'installe progressivement une torsion latérale du tibia qui peut atteindre à l'âge adulte 15 à 35°. Notre étude d'une série de 100 tibias d'adultes de laboratoire a montré que dans 8 % des cas, la torsion latérale était faible entre 5 et 10°, dans 25 % des cas, la torsion était entre 10 et 20° et enfin dans la majorité des cas (67 %), l'angle de torsion était compris entre 20 et 35° [2]. Il s'agissait bien d'une torsion osseuse diaphysaire du tibia, phénomène indépendant des problèmes rotationnels qui sont strictement articulaires dans la hanche, le genou ainsi qu'entre l'unité talo-tibio-fibulaire et le bloc calcanéopédieux.

Les articulations et leurs ligaments

Ligament interosseux talocalcanéen

De tous les ligaments, c'est le ligament interosseux qui est le plus important. Nous le considérons, en raison de sa disposition oblique à 45°, comme un ligament croisé de stabilisation rotatoire. Ce ligament, qui constitue le principal moyen d'union des deux os, est formé de deux faisceaux, l'un antérieur et l'autre postérieur avec des trousseaux fibreux, les uns verticaux, les autres obliques, réunis en lames et entremêlés de tissus adipeux. Le ligament talocalcanéen latéral est plurifasciculaire avec un faisceau talocalcanéen propre et un ligament antérieur parallèle qui constitue le ligament cervical [3].

Ligament calcanéonaviculaire

Connu dans le monde anglo-saxon sous le nom de « *spring ligament* » ou ligament à ressort des auteurs français, ce ligament est constitué de deux faisceaux, l'un plantaire et l'autre supéromédial. Le ligament plantaire s'insère sur le bord médial plantaire de la surface articulaire antérieure du calcaneus, se dirige en avant et cravate la tête du talus pour se terminer sur le bord inférieur du naviculaire ; il est renforcé à sa face articulaire par un fibrocartilage. Le ligament collatéral tibial (deltoïde) se fixe sur la face médiale du ligament calcanéonaviculaire. Ce ligament est d'autant plus développé que le talus est plus long que le calcaneus.

Muscles

Tendon calcanéen (tendon d'Achille)

Il appartient au système achilléo-suro-plantaire (courroie de transmission élastodynamique) et constitue la structure qui remplit le contrat mécanique de suspension, soutènement, adhérence au sol, transmission et propulsion. Les fibres constitutives de ce tendon ne sont pas

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

rectilignes mais torsadées (angle de torsion en moyenne de 15°). Cette disposition constitue le point de stabilisation rotatoire du calcaneus dans le plan horizontal. Cette action dynamique va être relayée par le ligament interosseux talocalcanéen et limiter la rotation du bloc calcanéopédieux sous l'unité talo-tibio-fibulaire.

Gaines tendineuses

Le changement de direction des tendons nécessite des structures de stabilisation représentées par les coulisses ostéofibreuses, qui maintiennent à la face latérale du talus et du calcaneus les tendons en bonne position. Les bourses conjonctives rétro- et sous-malléolaires médiales individualisent les tendons des trois muscles : tibial postérieur, long fléchisseur des orteils et long fléchisseur de l'hallux. Chacun de ces tendons est isolé et possède une gaine propre, avec parfois une communication. Ces gaines ostéofibreuses avec leur tendon sont au contact des interlignes articulaires sous-taliens (le long fléchisseur de l'hallux au contact de l'interligne postérieur et le long fléchisseur des orteils au contact de l'interligne antérieur), ce qui permet de comprendre les possibles intrications sur le plan pathologique.

Croisements tendineux (figures 3a et 3b)

Il existe un triple verrouillage dynamique du pied grâce au croisement des tendons des muscles long fléchisseur des orteils, fléchisseur long de l'hallux et tibial postérieur, dans leur trajet rétro-, sous- et prémalléolaire. Si les tendons étaient strictement parallèles, ils ne pourraient pas assurer le verrouillage permanent dans les mouvements de flexion-extension de l'articulation talocrurale et de l'articulation talonaviculaire.

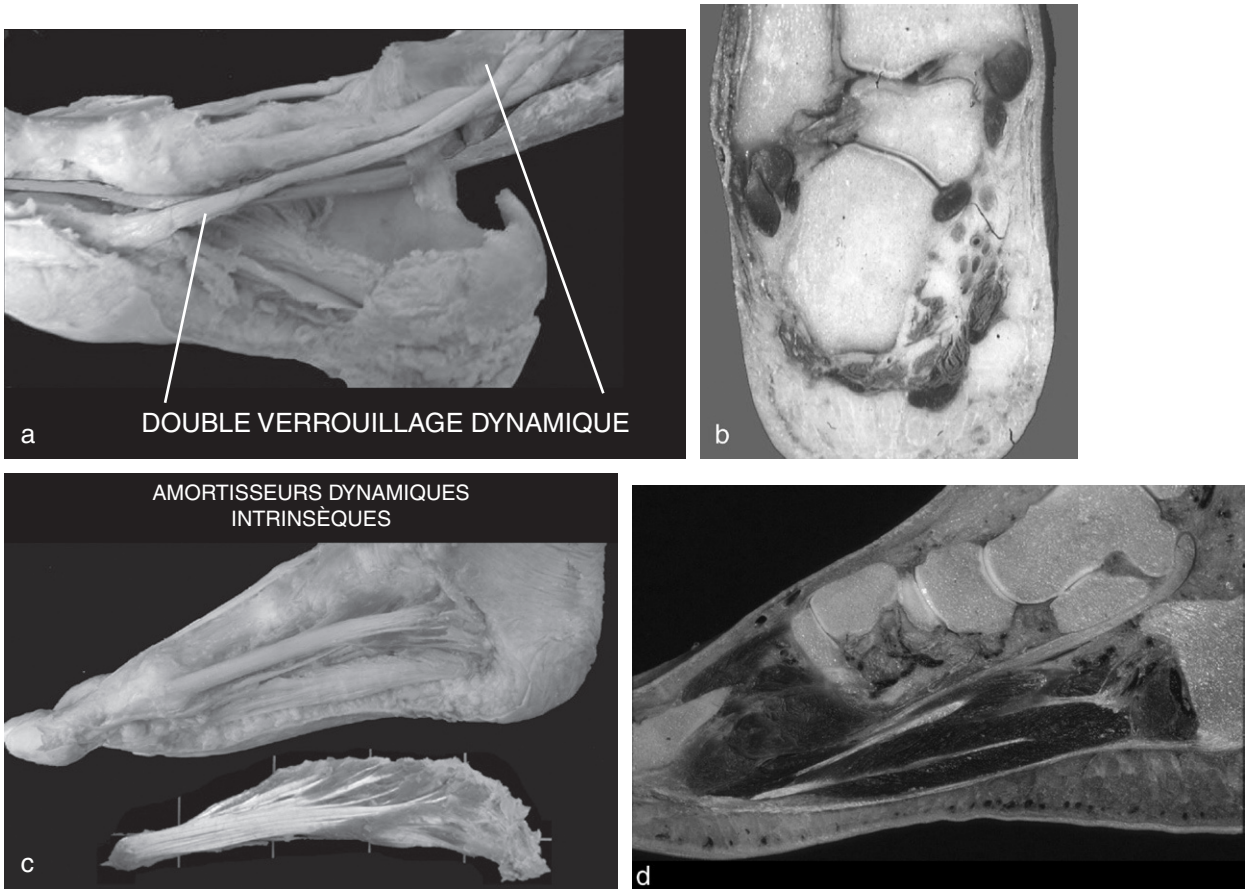


Figure 3. Double verrouillage des tendons tibial postérieur, fléchisseur de l'hallux et fléchisseur des orteils.
a. Vue médiale des tendons dans la gouttière rétro- et sous-malléolaire. **b.** Coupe frontale de l'arrière-pied mettant en évidence la disposition des tendons périarticulaires. **c.** Vue anatomique du muscle et de l'aponévrose du muscle court abducteur de l'hallux. **d.** Coupe sagittale du muscle abducteur de l'hallux avec l'aponévrose centrale et le mode d'insertion des fascicules musculaires avec des angles de pennation aigus.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

• Les tendons des muscles long fléchisseur des orteils et tibial postérieur se croisent dans la gouttière rétro-malléolaire médiale en X allongé, ce qui permet, quelle que soit la position de l'articulation, de maintenir une tension constante de soutènement de l'arche médiale du pied et de rétropulsion du bloc calcanéopédieux.
• Les tendons des muscles long fléchisseur de l'hallux et long fléchisseur des orteils se croisent à l'aplomb de l'articulation transverse du tarse et échangent constamment une expansion tendineuse de couplage mécanique. Cette disposition agit activement avec une double fonction de soutènement et de stabilisation rotatoire.
• Le mode de terminaison des tendons des muscles tibial postérieur et long fibulaire à la plante du pied constitue un hamac puissant, dynamique, de soutènement et de stabilisation rotatoire des mouvements de pronosupination du médio-pied.

Muscles intrinsèques du pied

(figures 3c et 3d)

Ils sont caractérisés par la présence de très nombreuses aponévroses qui sont essentielles comme facteur de soutien de la voûte plantaire en complément des muscles extenseurs. Ils constituent un verrouillage activo-passif de premier ordre.

Les muscles intrinsèques du pied (muscle abducteur de l'hallux, muscle abducteur du petit orteil) avec des fascicules musculaires de 2 à 3 cm de long et des angles de pennation de 10 à 30° sont caractérisés par la présence d'aponévroses intramusculaires qui sont essentielles comme facteur de soutien de la voûte plantaire en complément des muscles extrinsèques. Ils constituent un verrouillage activopassif de premier ordre. Ces aponévroses protègent les fascicules musculaires et restituent l'énergie lors de la marche, du saut et de la course.

Nerfs

Innervation motrice

Elle est assurée par des branches des trois nerfs principaux de la jambe : le nerf tibial (tibial postérieur), le nerf fibulaire profond (tibial antérieur) et le nerf fibulaire superficiel (nerf musculocutané).
• Le nerf fibulaire profond assure l'innervation de tous les muscles de la loge antérieure de la jambe ainsi que du muscle court extenseur des orteils.
• Le nerf fibulaire superficiel assure l'innervation des muscles long et court fibulaires.
• Le nerf tibial assure l'innervation du triceps et des muscles de la loge postérieure de la jambe ainsi que de la totalité des muscles intrinsèques du pied avec la répartition suivante
– pour le nerf plantaire médial, il s'agit de l'abducteur de l'hallux, du court fléchisseur de l'hallux, du court fléchisseur des orteils et des 1er et 2e lombricaux ;
– pour le nerf plantaire latéral, il s'agit du muscle carré plantaire, des petits muscles du 5e orteil, des lombricaux 3 et 4, du chef transverse de l'adducteur de l'hallux et de tous les muscles interosseux.
• L'innervation radiculaire (ou médullaire) doit être connue pour cinq muscles principaux : la racine L4 pour le muscle tibial antérieur, la racine L5 pour le muscle long extenseur de l'hallux et la racine S1 pour les muscles fibulaires ainsi que le triceps.

Innervation sensitive (figures 4 et 5)

• Le nerf fibulaire profond assure la sensibilité d'une zone très restreinte correspondant à la peau dorsale du 1er espace interdigital.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

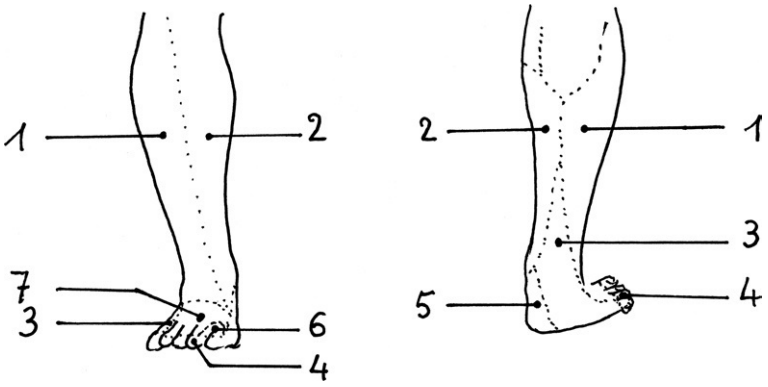


Figure 4. Territoires cutanés des nerfs sensitifs.
1 nerf cutané sural latéral (provenant du nerf fibulaire commun)
2 nerf saphène (provenant du nerf fémoral)
3 nerf sural
4 nerfs plantaires
5 nerf calcanéen médial (provenant du nerf tibial)
6 nerf fibulaire profond
7 nerfs cutanés dorsaux (provenant du nerf fibulaire superficiel).

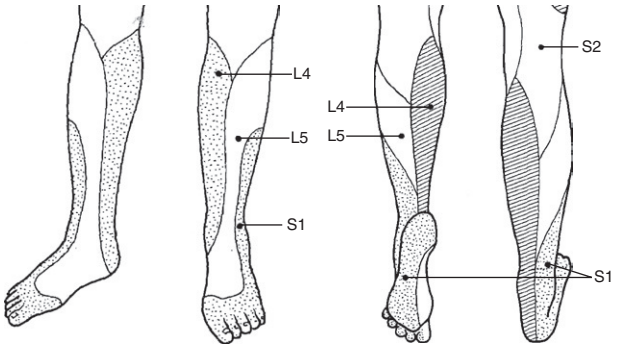


Figure 5. Territoires d'innervation sensitive radiculaire.

• Le nerf fibulaire superficiel est responsable de la sensibilité de tout le dos du pied et des orteils en excluant le bord latéral du pied et les régions périunguéales.
• Le nerf tibial est responsable de la sensibilité d'une grande partie du pied
– région antéromédiale du cou-de-pied par le nerf cutané sural médial ;
– bord latéral du pied et du talon par le nerf sural ;
– plante du pied, face plantaire des orteils et région unguéale correspondante des orteils par les deux nerfs plantaires médial et latéral.
• L'innervation radiculaire du pied est visualisée sur la figure 5.

Variations anatomiques

En réalité, il existe un grand nombre de variations dans le mode de division des différents nerfs du pied, avec des rameaux anastomotiques aussi bien pour les nerfs sensitifs que pour les nerfs musculaires.

Incidences chirurgicales

Elles concernent les voies d'abord chirurgicales.
• *La voie médiane antérieure* comporte un risque pour le nerf fibulaire superficiel. Les différentes variantes en S et en zigzag nous semblent dangereuses pour ce nerf.
• *La voie antérolatérale,* utilisée pour l'arthrodèse talocrurale, sous-talienne et médiotarsienne, se termine habituellement au niveau de la tubérosité du 5e métatarsien et comporte un risque de lésion du nerf fibulaire superficiel ou de ses branches. C'est pourquoi il faut lui préférer une incision moins oblique partant 2 ou 3 cm au-dessus de la malléole fibulaire et se dirigeant vers le 4e espace interosseux. L'incision est alors entre le nerf cutané dorsal intermédiaire en dedans et le nerf sural en dehors. Cette voie d'abord peut être agrandie à ses deux extrémités en fonction du geste chirurgical et permet d'avoir une vision complète sur l'articulation transverse du tarse, l'articulation sous-talienne ou l'articulation talocrurale.
• *La voie antéromédiale* pour ostéosynthèse de la malléole médiale, parallèle au tendon tibial antérieur, peut être plus latérale mais ne doit pas dépasser le milieu de la ligne bimalléolaire pour ne pas risquer d'atteindre le nerf fibulaire superficiel.
• *L'abord du sinus du tarse,* voie verticale ou arciforme, menace l'anastomose entre le nerf sural et le nerf cutané dorsal intermédiaire.
• *La voie prémalléolaire latérale* se recourbe fréquemment vers l'avant à la partie basse de l'incision et risque de léser le rameau malléolaire latéral du nerf fibulaire superficiel ainsi que le nerf cutané dorsal intermédiaire si l'incision n'est pas au ras de la malléole latérale.
• *La voie médiale* (et également postéromédiale), pour la chirurgie de libération des parties molles dans le pied bot, dans le pied creux…, doit préserver les rameaux calcanéens médiaux provenant du nerf tibial. Lors de la libération du nœud fibreux antéromédial de Henry, il faut connaître les rapports intimes entre le nerf plantaire médial et la face inférieure de la gaine fibreuse du tendon long fléchisseur des orteils. À ce niveau, la gaine fibreuse du tendon long fléchisseur de l'hallux n'existe pas, car elle s'arrête en amont, et le tendon lui-même est libre dans du tissu cellulograisseux (y compris dans le pied bot varus équin congénital). En outre, le nœud de Henry, tel qu'il est habituellement représenté, avec une gaine commune ou un nœud fibreux entre les deux tendons fléchisseurs, ne correspond pas à la réalité.

Vaisseaux du talus

L'absence d'insertions musculaires sur le talus caractérise l'importance de cet élément squelettique qui est parfois le siège de nécrose aseptique. Le système vasculaire diffère notablement de celui d'autres éléments osseux.

La vascularisation du talus est tributaire de trois pédicules artériels. Celui naissant de l'artère dorsale du tarse ou de la fibulaire se distribue par deux systèmes à la face supérieure du talus et au sinus du tarse. Le second pédicule naît de l'artère tibiale postérieure au voisinage de sa bifurcation en deux artères plantaires ; il se distribue par deux systèmes, l'un pour le périoste de la face interne du talus, l'autre pour le canal tarsien. Le troisième pédicule est représenté par le système anastomotique du

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

sinus du tarse et du canal tarsien. Il existe une anastomose à plein canal entre l'artère du sinus du tarse, issue de la pédieuse ou de la fibulaire, et l'artère du canal tarsien, issue de la tibiale postérieure. Cette anastomose s'effectue selon deux types différents : soit par l'anastomose directe entre ces deux artères, soit par l'anastomose entre les ramifications de ces deux vaisseaux. De cette arcade vasculaire particulièrement importante représentant l'apport vasculaire principal naissent de nombreuses branches qui pénètrent l'os dans cette région.

La plus grande partie des pédicules vasculaires ainsi définis se distribue dans le périoste qui est richement vascularisé ; en revanche, la vascularisation intraosseuse est plus pauvre. Le pédicule intraosseux principal pénètre l'os au niveau du canal tarsien. De là, les artères se ramifient en s'épuisant vers la tête, le col et le corps du talus. Il existe des pédicules accessoires moins importants, en particulier sur la face supérieure du col, sur les faces latérale et médiale ; la face postérieure présente quelques discrets vaisseaux. Tous ces vaisseaux secondaires se ramifient peu à l'intérieur du tissu osseux et leur territoire reste superficiel. Pratiquement, il n'y a pas d'anastomoses entre les différents territoires, les injections vasculaires nous permettent d'opposer la pauvreté du système intraosseux avec la richesse du système périosté qui est largement anastomotique.

Conclusion

La croissance des os du pied sous contrainte mécanique est un exemple d'organisation dont la mise en place n'est pas parfaitement connue. L'intervention des formations musculoaponévrotiques est permanente et participe au remodelage osseux. La difficulté d'évaluation de la morphologie des structures osseuses en clinique constitue un des écueils dans la compréhension des déformations. Les analyses radiographiques conventionnelles ne sont pas adaptées et les mesures angulaires sont entachées d'erreurs. Les mesures par d'autres moyens, telle la tomodensitométrie en tridimensionnel, avec des logiciels d'analyse spécifiques permettront d'obtenir des valeurs réelles. Le rôle des muscles intrinsèques avec des angles de pennation aigus qui s'insèrent sur les aponévroses, restituant l'énergie lors de la marche, est souvent sous-estimé. Des axes de recherche fondamentale sont indispensables pour aboutir à des procédés thérapeutiques logiques.

Références

1 Sarrafian SK. Anatomy of the foot and ankle. Philadelphie : Lippincott ; 1983.

2 Bonnel F, Canovas F, Braun S. Anatomie de l'avant-pied. Cahier d'enseignement de la SOFCOT n° 54. Paris : Expansion Scientifique Française ; 1997. p. 1-21.

3 Mabit C, Boncœur-Martel MP, Chaudruc JM, Valleix D, Descottes B, Caix M. Anatomic and MRI study of the subtalar ligamentous support. Surg Radiol Anat 1997 ; 19 : 11-117.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Biomécanique et anatomie fonctionnelle de l'arrière-pied et du médio-pied

A. TANGUY[1], S. DESCAMPS[2]

L'organisation simplifiée du pied en un arrière-pied qui reçoit la charge verticale et un médio-pied suspendu et arqué qui la distribue sur un avant-pied horizontal laisse bien apparaître l'interdépendance de ces parties. La biomécanique et l'anatomie fonctionnelle de l'arrière- et du médio-pied répondent aux nécessités de l'ensemble : résistance à la charge, mobilité et marche.

Résistance à la charge

Le pied statique résiste à la charge et maintient un creux médial à sa partie moyenne (figure 1).

Sa stabilité intrinsèque tient à son squelette soutenu par les éléments capsuloligamentaires.

Squelette

Le tissu osseux résiste aux contraintes et s'adapte à leur orientation. Chez l'enfant dont seulement 25 % du squelette du pied sont ossifiés à la naissance, l'adéquation entre maturation squelettique et charge est ajustée par une croissance qui devance largement la progression de la courbe de poids : à 1 an, le pied a déjà atteint 44 % de sa taille finale et à 11 ans, 81 %.

Le squelette est organisé en une architecture spécifique. À la différence des animaux plantigrades dont le talon est relevé vers l'arrière, le talon humain s'abaisse au sol, élevant le talus et une partie du médio-pied. Ainsi est constitué un système d'arche à sommet talien et naviculaire et à base latérale depuis l'appui calcanéen en arrière jusqu'aux orteils en avant.

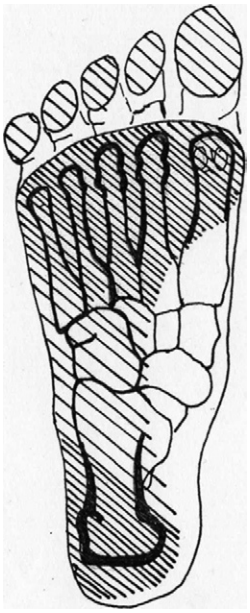


Figure 1. Répartition de pressions en charge statique : 60 % sur l'appui calcanéen, 8 % au médio-pied.
L'empreinte plantaire (hachurée) laisse un creux médial.

Arrière-pied

Talus

Le talus reçoit la charge qu'il répartit avec un relais articulaire sur l'appui calcanéen et avec de multiples relais sur le métatarse à partir du naviculaire.

Aucun muscle ne s'y insère, sa stabilité est purement passive. Au cours du développement, la trochlée subit une rotation latérale tandis que la tête du talus se dirige en médioplantaire [1]. La divergence talocalcanéenne

[1] Service de chirurgie pédiatrique, CHU Hôtel-Dieu, 30, place Henri-Dunand, BP 38, 63001 Clermont-Ferrand cedex 1.
[2] Service de chirurgie orthopédique, traumatologie et chirurgie reconstructive, CHU hôpital Gabriel-Montpied, 30, place Henri-Dunand, BP 38, 63001 Clermont-Ferrand cedex 1.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

transversale ainsi créée aboutit à un porte-à-faux de la charge (figure 2). Tout défaut anatomique du talus modifie le réglage précis de la transmission des forces, notamment vers la sous-talienne antérieure et la talo-naviculaire [2].

Calcaneus

Le calcaneus est en léger valgus (3,5 à 7°), son positionnement détermine le porte-à-faux de la charge et il existe un lien direct entre valgus du talon et hauteur de l'arche. Le positionnement adulte est acquis vers 6 ans ; quant aux nourrissons, leur arche est abaissée et non pas masquée par le coussin adipeux plantaire.

Médio-pied

Le médio-pied (naviculaire, cuboïde et trois cunéiformes) transmet les contraintes sans contact avec le sol et, la force transmise au naviculaire via la tête du talus est plus importante qu'au cuboïde via le calcaneus. Une partie du médio-pied appartient au pied dit « calcanéen » (calcaneus, cuboïde, 4e et 5e métatarsiens) au plus près du sol, une autre au pied dit « talien » (talus, naviculaire, cunéiformes, trois métatarsiens médiaux) en suspension.

Le concept de l'arche fait du médio-pied la clé de voûte du système, dont la rigidité est assurée en compression par l'encastrement squelettique du médiotarse et de la jonction tarsométatarsienne. En revanche, la jonction transverse du tarse (talonaviculaire et calcanéocuboïdienne), très mobile, donne toute leur importance aux systèmes de stabilisation en traction.

Stabilisation par les parties molles

L'arche s'abaisse sous la charge avec un réarrangement squelettique stabilisé à deux niveaux : l'un capsulo-ligamentaire au contact de chaque segment, l'autre à distance qui sous-tend l'ensemble tout en protégeant le jeu adaptatif intersegmentaire.

Ligament calcanéonaviculaire plantaire et aponévrose plantaire

Le ligament calcanéonaviculaire plantaire (figure 3) maintient les connexions tibio-calcanéo-naviculaires et prévient la plongée plantaire et médiale de la tête du talus. Formé de deux faisceaux divergeant du sustentaculum tali au bord inférieur et à l'extrémité médiale du naviculaire, son faisceau médial, couvert de fibrocartilage bien avant la marche [2], constitue la face médiale de la coxa pedis qui reçoit la tête et le col du talus. Le système est complété en une véritable nacelle par le composant tibioligamentaire du ligament collatéral médial qui le relie à la malléole tibiale.

Dénommé « spring ligament » par les Anglo-Saxons du fait de ses capacités de déformation mais aussi de

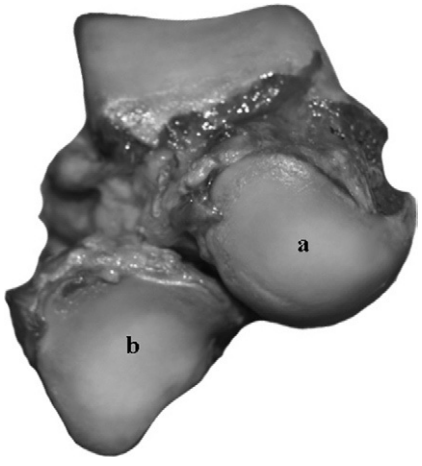


Figure 2. Porte-à-faux de la charge entre la trochlée et le talus alignée sur l'appui calcanéen et la tête du talus dirigée en médioplantaire (pied droit, vue antérieure).
a. Tête du talus en appui sur la sous-talienne antérieure.
b. Surface calcanéenne de l'articulation calcanéocuboïdienne. Le ligament calcanéonaviculaire prévient la plongée plantaire et médiale de la tête du talus (voir la figure 3).

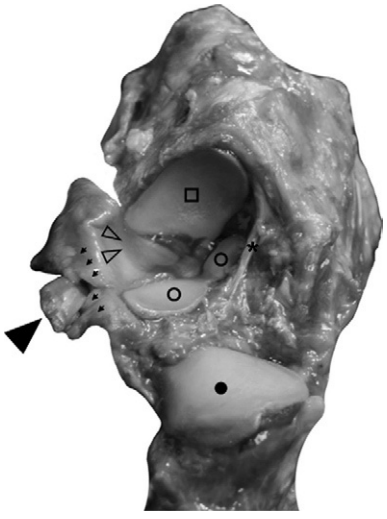


Figure 3. Coxa pedis et ligament calcanéonaviculaire plantaire (pied droit, vue supérieure).
La tête du talus est contenue dans un acétabulum.
□ : naviculaire ; O : facettes antérieure et moyenne de la sous-talienne ; • : facette postérieure de la sous-talienne ; Δ : ligament calcanéonaviculaire plantaire ; ▲ : tibial postérieur ; * : faisceau vertical du ligament en Y de Chopart ; ↓ : composant tibioligamentaire du ligament collatéral médial.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

retour dynamique à l'état initial, il faut donc souligner son soutien médial du tendon du tibial postérieur.

L'aponévrose plantaire, comme un câble tendu depuis la tubérosité du calcaneus jusqu'aux orteils, ponte les articulations tarsiennes et verrouille l'ensemble en fonction de son enroulement métatarsophalangien. Sans fascia, sous la charge, le déplacement vertical augmenterait de 17 % et l'allongement horizontal de 15 % [3].

Autres structures de stabilisation passive

On ne peut ignorer les structures stabilisant l'ensemble calcaneus-talus : le ligament interosseux talocalcanéen dont la section entraîne une instabilité postérolatérale, les ligaments latéraux, notamment leur composante calcanéofibulaire ou tibiale, les sangles latérales que constituent gaines et tendons engagés dans les poulies de réflexion malléolaires tant médiale (tibial postérieur, long fléchisseur de l'hallux, long fléchisseur des orteils) que latérale (long et court fibulaires).

Par ailleurs, la tension verticale du tendon d'Achille et horizontale de l'aponévrose plantaire fournissent une résultante de stabilisation talocalcanéenne antéropostérieure.

La colonne latérale est stabilisée par le ligament calcanéocuboïdien plantaire.

Au médio-pied, le ligament en Y de Chopart comporte un faisceau calcanéocuboïdien horizontal, et un faisceau vertical calcanéonaviculaire qui complète latéralement le verrouillage de la coxa pedis. En plantaire, le cuboïde est stabilisé par le ligament calcanéocuboïdo-plantaire doublé du ligament plantaire long mais, surtout, l'entrecroisement plantaire des tendons du tibial postérieur et du long fibulaire soutient globalement la concavité du médio-pied (figure 4).

Au niveau de l'articulation tarsométatarsienne (Lisfranc), les ligaments complètent la stabilité squelettique déjà substantielle avec une résistance plus marquée de leurs composantes plantaires démontrée par la prédominance dorsale des luxations.

Mobilité

Les mouvements du pied sont tridimensionnels, car ils se produisent autour d'axes obliques.

Articulations

Articulation talocrurale

L'axe de flexion dorsoplantaire de la cheville est oblique de 20° sur l'horizontale dans le plan coronal, ce qui introduit une composante verticale d'abduction-adduction du pied mobile ou rotation latérale et médiale de jambe si le pied est fixe. Son orientation en arrière et en dehors de 20–30° dans le plan transversal ajoute une composante antéropostérieure de prosupination (figure 5).

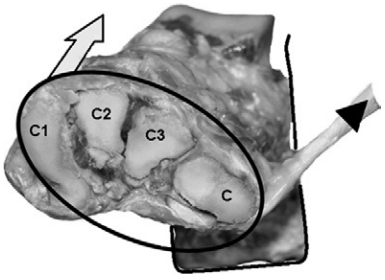


Figure 4. Section transversale passant par l'articulation tarso-métatarsienne (pied gauche, vue antérieure) : l'arrière-pied vertical est prolongé du médio-pied oblique, suspendu et arqué. C1, C2 et C3 : cunéiformes ; C : cuboïde ; ▲ : sanglage latéral et soutien plantaire du médio-pied par le long fibulaire ; Δ : sanglage médial et soutien plantaire du médio-pied par le tibial postérieur.

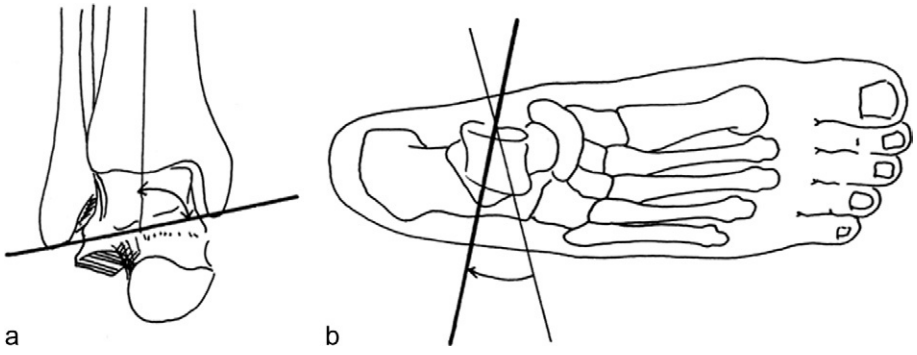


Figure 5. Orientation des axes de la talocrurale.
a. 10–20° sur l'horizontale dans le plan coronal. b. 20–30° dans le plan transversal.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Lors de la marche, les rotations transversales du membre inférieur sont neutralisées puisque le pied ne dérape pas en rotation au sol. L'articulation talocrurale y participe en permettant l'adduction du talus lorsque la jambe va d'une rotation latérale à une position neutre.

Articulation sous-talienne

L'articulation sous-talienne entre talus et calcaneus combine à parts quasi égales varus-adduction et valgus-abduction du fait de l'obliquité sagittale de l'axe à 41° (figure 6). Son obliquité de 23° en dedans ajoute une composante de flexion dorsale et plantaire. Nous aboutissons ainsi au mouvement combiné d'inversion (varus-adduction-flexion plantaire) qui atteint 20°, ce qu'aucune autre articulation n'assure, et d'éversion (valgus-abduction-flexion dorsale) de 5°, ce que produit aussi la talonaviculaire.

Pied fixé au sol, la sous-talienne se porte en varus ou valgus selon que l'on porte la jambe en rotation latérale ou médiale, et transforme ainsi les rotations du membre inférieur.

Articulations du tarse

Sous les termes « articulations du tarse », « Chopart », « médiotarsienne », « transverse du tarse » sont réunies les articulations talonaviculaire, calcanéocuboïdienne et accessoirement cuboïdonaviculaire. À travers le complexe articulaire destiné à la tête du talus et qui intègre le naviculaire, les mouvements de la sous-talienne impliquent ceux du médiotarse ci-dessous.

Articulation calcanéocuboïdienne

La calcanéocuboïdienne est une articulation en selle assurant les combinaisons : supination + adduction + flexion plantaire et pronation + abduction + flexion dorsale. La flexion dorsoplantaire est faible, inférieure à 5°; en revanche, les valeurs de la supination et de l'abduction représentent les deux tiers des valeurs atteintes par l'articulation sous-talienne.

L'arthrodèse de la calcanéocuboïdienne réduit de 30 % la mobilité de la sous-talienne.

Triple articulation talo-calcanéo-naviculaire

La tête du talus s'emboîte dans un acétabulum (coxa pedis) à triple composante (figure 3) :

- le naviculaire en avant ;
- la facette talienne antérieure du calcaneus en bas ;
- le ligament calcanéonaviculaire plantaire prolongé sur son bord médial par le composant tibioligamentaire du ligament collatéral médial.

L'acétabulum modifie sa configuration selon les déplacements du talus, du calcaneus et du naviculaire.

L'articulation partage avec la sous-talienne la pronation à part égale, la supination à demi-part. Elle contribue largement « à absorber » les rotations du membre inférieur et répond à la prosupination du pied en charge. L'autre secteur important est celui de l'abduction.

Articulations intertarsiennes

Les articulations intertarsiennes (intracunéennes et naviculocunéennes), distales aux articulations du tarse et proximales aux métatarsophalangiennes, sont anatomiquement verrouillées, sauf le premier rayon qui, lors de la rotation latérale du squelette jambier, compense la supination de la talonaviculaire et maintient le premier métatarsien au sol.

Articulation tarsométatarsienne

Entre le médio-pied et l'avant-pied, l'articulation tarsométatarsienne de Lisfranc joint les trois cunéiformes et le cuboïde à la base des cinq métatarsiens (figure 4). Les 2e et 3e articulations sont les moins mobiles et lors de la marche, un transfert de force les préserve avec distribu-

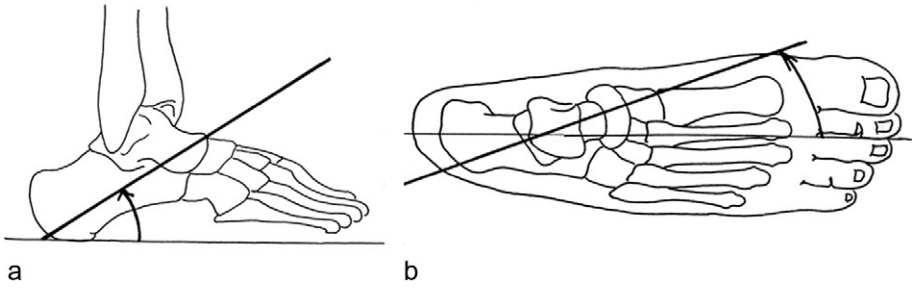


Figure 6. Orientation des axes de la sous-talienne.
a. 40° dans le plan sagittal. **b.** 20° dans le plan transversal.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

tion sur la 1re articulation lors de l'inversion-éversion et sur les 4e–5e durant la flexion dorsale et plantaire [4].

Le couplage arrière-pied/médio-pied et son verrouillage

Couplage arrière-pied/médio-pied

En décharge, arrière-pied, médio-pied et avant-pied se mobilisent à l'unisson dans un ensemble fonctionnel parfaitement identifié, appelé bloc calcanéopédieux (BCP), qui se mobilise par rapport au talus (ou, mieux, l'unité talo-tibio-fibulaire) et est traité dans cet ouvrage (voir le chapitre suivant, pages 23 à 29).

En charge, le couplage arrière-pied/médio-pied persiste, même si le BCP ne peut plus se déplacer librement sous le talus (figure 7).

Ainsi, la rotation latérale de jambe entraîne le varus du talon avec supination talonaviculaire et torsion en pronation de l'avant-pied, ce qui creuse l'arche plantaire.

La rotation médiale de la jambe entraîne le valgus du talon avec abduction talonaviculaire et calcanéo-cuboïdienne associée à une pronation talonaviculaire. La pronation est compensée dans l'articulation cunéo-métatarsienne médiale et inversée par la supination de l'avant-pied. L'adduction du talus associée à l'abduction du BCP efface l'arche plantaire.

Verrouillage-déverrouillage

Lors de la marche, on passe des nécessités d'amortissement et d'adaptation de l'appui à celles de la propulsion sur un bras de levier rigide, c'est-à-dire d'un BCP flexible à un BCP verrouillé rigide. L'hypothèse dominante est celle d'un verrou médiotarsien levé lors du valgus de l'arrière-pied; en fait, seul le lien entre le valgus et une plus grande flexibilité de la structure dans le plan sagittal a été validé [5].

Muscles

En décharge, les muscles mobilisent librement le pied autour de ses axes de mouvement, leur action et leur puissance dépendant de leurs insertions par rapport aux axes (figure 8).

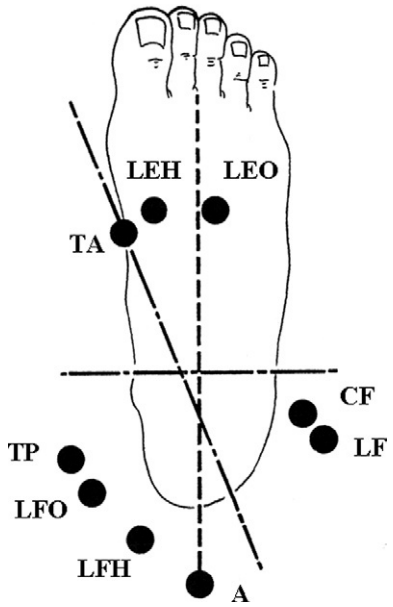


Figure 8. Cartographie des muscles selon les axes de mouvement. TA : tibial antérieur ; LEH : long extenseur de l'hallux ; LEO : long extenseur des orteils ; CF : court fibulaire ; LF : long fibulaire ; A : Achille ; LFH : long fléchisseur de l'hallux ; LFO : long fléchisseur des orteils ; TP : tibial postérieur.

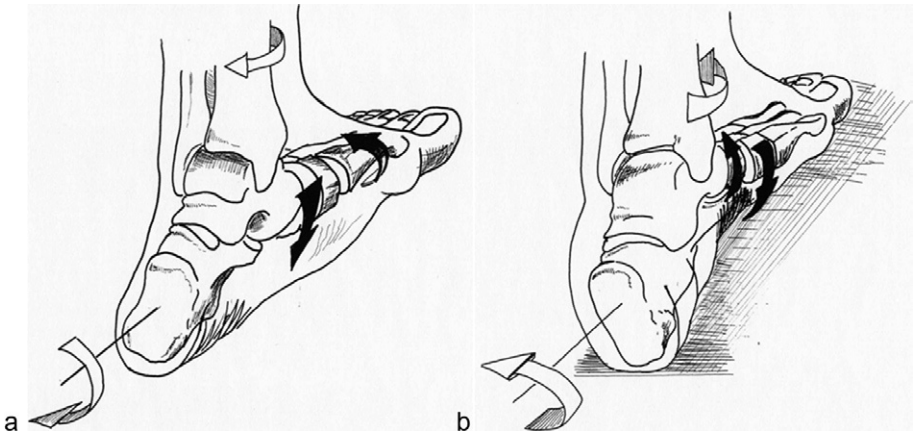


Figure 7. Couplage arrière-pied/médio-pied et neutralisation des rotations de la jambe.
a. En rotation médiale : valgus du talon, arche abaissée. b. En rotation latérale : varus du talon, arche relevée.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

En charge, les muscles vont être soit les stabilisateurs de l'appui et de l'équilibre, soit les moteurs de la locomotion.

Au niveau de l'arrière-pied

Sans muscle s'insérant sur le talus, c'est le calcaneus qui est « moteur » pour l'arrière-pied. Le muscle triceps sural représente 80 % de la force de l'ensemble des fléchisseurs plantaires qui comprennent les muscles long fléchisseur des orteils et long fléchisseur de l'hallux, auxquels on adjoint le court fléchisseur des orteils, muscle intrinsèque qui met en tension les fléchisseurs plantaires et l'aponévrose plantaire.

La cartographie donne au triceps un positionnement d'inverseur mais étant au contact de l'axe, un valgus du talon peut le faire basculer en éverseur. Dans les conditions de marche, c'est l'activité du tibial postérieur qui maintient le triceps du côté médial de l'axe sous-talien.

Au niveau du médio-pied

Trois muscles s'insèrent au médio-pied : tibial postérieur, long et court fibulaire ; un muscle est à cheval : le tibial antérieur.

Muscle tibial postérieur

Le muscle tibial postérieur est le stabilisateur dynamique de l'arche médiale. Lors de son dysfonctionnement, la répétition des contraintes statiques sans freinage dynamique aboutit au collapsus de l'arche et au développement d'un pied plat.

Il est fléchisseur plantaire faible et inverseur puissant. En phase d'appui, il contrôle l'articulation sous-talienne et est le principal inverseur du talon, verrouillant le pied durant l'appui terminal.

Muscles fibulaires

Les muscles fibulaires sont avant tout éverseurs du pied mais, lors de la marche, c'est le poids du corps qui fournit la force d'éversion la plus importante. En revanche, lorsque le talon décolle, les muscles fibulaires sont très actifs dans la stabilisation latérale de la cheville, alors que la sous-talienne est soumise à la force croissante en inversion du triceps.

Le long fibulaire est, comme le tibial postérieur, un élément très actif du soutien architectural plantaire. Non seulement il abaisse le premier rayon, ce qui creuse l'arche, mais, par son trajet oblique à la corde de l'arc du médio-pied, il en resserre la concavité (figure 4).

Quant au court fibulaire, il est abducteur de l'avant-pied.

Muscle tibial antérieur

Le muscle tibial antérieur fournit 80 % de la force de dorsiflexion. Il est accessoirement inverseur du pied.

Marche

La marche comporte la mise en charge du membre d'appui et le relèvement de la charge du membre opposé, elle impose au pied les forces liées à la gravité et aux actions musculaires ainsi que les composantes d'inertie.

Contact initial

L'attaque du pas se fait par le talon, pied en abduction de 15° par rapport à la jambe et en supination. Le contact du talon est une véritable collision amortie par la coque talonnière, épaisse de 18 mm environ, constituée en un réseau fibreux qui cloisonne des îlots graisseux et qui permet une dissipation d'énergie de 84 %.

Réponse au contact

La force de réaction du sol sur le talon crée un moment de flexion plantaire de la cheville freiné par les muscles tibial antérieur et longs extenseurs des orteils et de l'hallux. Elle a aussi une composante valgisante avec éversion rapide du pied et mouvement couplé de rotation médiale du tibia et adduction du talus qui met le pied en suspension dans son acétabulum dynamique. L'éversion de la sous-talienne et la détente de l'arche plantaire déverrouillent le BCP pour une meilleure adaptabilité à la surface d'appui.

Milieu de l'appui

Une fois le pied à plat, le poids du corps se déplace vers l'avant, les muscles fléchisseurs plantaires freinent l'avancée du tibia au-dessus du talus. Lorsque le poids du corps est à l'aplomb de la talocrurale, l'avancée du membre controlatéral commence à générer une rotation latérale sur le membre en appui, ce qui ramène la sous-talienne à sa position neutre.

Appui terminal

Le transfert du poids du corps sur l'avant-pied soulage le talon. La poursuite de la rotation latérale sur le membre d'appui entraîne le varus de la sous-talienne et la supination du médio-pied qui rigidifient le médio-

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

pied, d'autant que la dorsiflexion passive des métatarsophalangiennes tend le fascia plantaire. L'appui est alors stabilisé par la contraction des muscles inverseurs sur un pied figé en supination.

Phase préoscillante

Cette phase démarre avec le contact du membre opposé et décharge le pied à un point tel que les muscles gastrocnémiens et soléaire se mettent au repos. Le membre se déplace en avant, cheville en flexion plantaire de 20°.

Phase oscillante

En flexion plantaire après le décollage des orteils, la cheville est ramenée par les muscles releveurs en position neutre pour faciliter le passage du pas. Avant l'attaque du talon, l'extension des métatarsophalangiennes tend le fascia plantaire, ce qui, joint à la supination de la sous-talienne, rigidifie le pied pour préparer l'attaque du talon.

Évolution de la marche chez l'enfant

La marche de l'enfant est mature à 6 ans.

Entre 1 et 2 ans, il n'y a pas d'attaque initiale du talon, la flexion plantaire est présente à la frappe du pied, la progression du poids du corps vers l'avant est limitée et il existe une très grande variabilité du moment du lever du talon en phase d'appui. La dorsiflexion est limitée ou absente dans la phase oscillante précoce [6].

À 3 ans, la marche est presque mature, à part la dorsiflexion marquée de la phase d'appui. La marche sera mature lorsqu'un meilleur contrôle de la musculature de la cheville amènera l'activité normale des fléchisseurs plantaires pour augmenter la longueur du pas.

Conclusion

L'ensemble arrière-pied/médio-pied permet une mise en contrainte suspendue au sein d'une structure fondamentale : la coxa pedis.

Lors de la marche, les rotations (selon l'axe vertical du membre inférieur) sont transformées en mouvements combinés de prosupination, abduction/adduction, varus/valgus du fait de l'obliquité des axes articulaires.

Selon le positionnement ainsi obtenu des divers constituants de l'ensemble arrière-pied/médio-pied, nous passons d'une structure déverrouillée adaptable de prise d'appui à une structure verrouillée rigide de propulsion.

Références

1 Hellier CA, Jeffery N. Morphological plasticity in the juvenile talus. Foot Ankle Surg 2006 ; 12 : 139-47.

2 De Palma L, Santucci A, Ventura A, Marinelli M. Anatomy and embryology of the talocalcaneal joint. Foot Ankle Surg 2003 ; 9 : 7-18.

3 Cheung JT, An KN, Zhang M. Consequences of partial and total plantar fascia release : a finite element study. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 125-32.

4 Lakin RC, Degnore T, Pienkowski D. Contact mechanics of normal tarsometatarsal joints. J Bone Joint Surg Am 2001 ; 83 : 520-8.

5 Blackwood CB, Yuen TJ, Sangeorzan BJ, Ledoux WR. The midtarsal joint locking mechanism. Foot Ankle Int 2005 ; 26 : 1074-80.

6 Church C, Lennon N, Colemen S, Henley J, Nagai M, Miller F. Dynamic foot pressure in the early evolution of foot deformities in children with spastic cerebral palsy. In : Harris G, Smith PA, Marks RM, éds. Foot and ankle motion analysis clinical treatment and technology. USA : CRC Press ; 2008. p. 93-102.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Concept de « bloc calcanéopédieux »

R. SERINGE[1], P. WICART[2], T. JUDET[3]

Le fonctionnement de l'articulation sous-talienne (ou talocalcanéenne) est bien connu et assez simple à comprendre sur le pied en décharge. Comme l'a décrit Farabeuf, le calcaneus « tangue, vire et roule » sous le talus. Il est également admis que les trois mouvements élémentaires dorsiflexion-flexion plantaire, abduction-adduction et pronosupination sont automatiquement associés dans un mouvement unique d'éversion-inversion autour du classique axe de Henke (décrit en 1859). L'éversion associe dorsiflexion, abduction et pronation, tandis que l'inversion associe flexion plantaire, adduction et supination. Cependant, on oublie trop souvent que cela ne concerne que le pied en décharge (chez le sujet examiné en position assise ou en décubitus).

Tout autre est le fonctionnement de l'articulation sous-talienne lors de la marche, et en particulier pendant la phase d'appui. Son étude, basée sur des travaux également anciens, est habituellement peu connue et relativement complexe ; certaines particularités de l'articulation sous-talienne ont été quelque peu oubliées :
- son lien indissoluble avec l'articulation talonaviculaire ;
- son rôle dans le changement de forme du pied au cours de la marche (aplatissement du pied en charge et creusement du pied en décharge) ;
- son rôle lors de la torsion-détorsion du pied ;
- son rôle dans les mouvements de rotation axiale de la jambe.

Aucune publication autre que notre conférence d'enseignement à la SOFCOT en 2007 n'a fait une synthèse claire et aisément compréhensible de tous les mécanismes subtils de l'articulation sous-talienne, probablement par méconnaissance du concept de bloc calcanéopédieux (BCP), constitué de l'ensemble des os du pied sauf le talus [1].

Pourtant, ce concept de BCP s'est imposé très tôt. Il était déjà clair en 1867 dans l'esprit de Duchenne de Boulogne [2] : « Le pied tourne sur l'axe de la jambe de manière que son extrémité antérieure se porte en dedans et le talon en dehors. » En 1917, Stresser l'individualise par un schéma, mais c'est McConnail [3] qui reprend ce concept en 1945 sous le terme de « lamina pedis ». Hicks, en 1953 [4], puis Inman de 1964 à 1969 [5,6], sans utiliser une terminologie propre, ont parfaitement intégré dans leurs travaux d'anatomie fonctionnelle le concept de BCP.

Mais c'est seulement en 1950 que R. Méary et P. Queneau [in 7], alors qu'ils étaient assistants de Pierre Petit à l'hôpital Saint-Vincent-de-Paul, ont donné ce nom à l'ensemble des os du pied moins le talus.

En revanche, Kapandji est resté muet sur ce sujet dans son ouvrage *Physiologie articulaire* [8], très diffusé en France et à l'étranger. Seuls quelques chirurgiens initiés comme P. Rigault en 1966 [9], J.-C. Pouliquen en 1970 [10] utilisent le terme de BCP pour des explications physiopathologiques de déformation des pieds, mais lors du symposium de la SOFCOT sur le pied plat valgus en 1977, ni le mot, ni le concept de BCP ne sont mentionnés…

Nous allons voir pourtant que c'est une clé extraordinaire pour comprendre non seulement la physiologie du pied normal, mais aussi la physiopathologie de la plupart des déformations du pied acquises ou congénitales. Cela facilite grandement l'analyse clinique et l'interprétation des radiographies, permettant alors une meilleure approche thérapeutique.

Description du complexe articulaire sous-talien [11]

Le complexe articulaire comprend quatre articulations indissolublement liées :
- l'articulation sous-talienne postérieure ;
- l'articulation sous-talienne moyenne ;
- l'articulation sous-talienne antérieure ;
- l'articulation talonaviculaire.

[1] Université Paris-Descartes, hôpital St-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Hôpital St-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[3] Hôpital Raymond Poincare, 104, avenue Raymond-Poincaré, 92280 Garches.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Ces quatre articulations fonctionnent de façon synergique et forment un complexe articulaire où se situent les mouvements entre le BCP et le talus (ou, mieux, l'unité talo-tibio-fibulaire [UTTF], puisque le talus est solidaire de la pince bimalléolaire).

Le bloc calcanéopédieux et ses surfaces articulaires

Le BCP est formé par le calcaneus et le médio-avant-pied, solidement unis entre eux par les ligaments calcanéocuboïdiens, le ligament en Y de Chopart et le ligament calcanéonaviculaire inférieur (ligament glénoïdien) [figure 1]. Cette chaîne ostéoarticulaire se caractérise par une faible mobilité liée à la brièveté et à la solidité du complexe ligamentaire calcanéocuboïdien, en particulier plantaire, du ligament interosseux naviculocuboïdien renforcé par le ligament en Y.

La surface articulaire postérieure est représentée par le thalamus, surface ovalaire à grand axe oblique en avant et en dehors, de forme convexe suivant ce grand axe et rectiligne ou légèrement concave suivant la direction perpendiculaire.

La surface calcanéenne antérieure est parfois unique, parfois décomposée en deux surfaces distinctes : la surface la plus proximale, supportée par la petite apophyse du calcaneus (sustentaculum tali), et la surface la plus distale, supportée par la grande apophyse du calcaneus.

Plus en avant se trouve la face supérieure du ligament calcanéonaviculaire ou glénoïdien, encroûtée de cartilage articulaire et dont le bord médial donne l'insertion à la base du ligament deltoïdien. La surface articulaire postérieure du naviculaire a une forme creuse, sphérique qui, associée à la face supérieure du ligament glénoïdien et aux facettes articulaires antérieures du calcaneus, forme une cavité de réception sphérique pour la tête du talus : c'est l'acetabulum pedis des auteurs anciens.

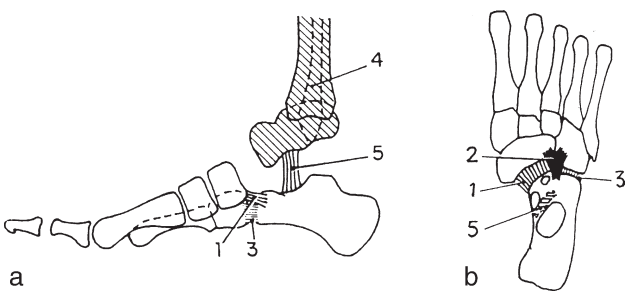


Figure 1. Le bloc calcanéopédieux. a. Le BCP séparé de l'UTTF (4) par le ligament talocalcanéen interosseux (5). b. Vue dorsale du BCP : il est formé par le calcaneus et le médio-avant-pied solidement unis par les ligaments calcanéonaviculaire plantaire (1), calcanéo-cuboïdo-naviculaire en Y de Chopart (2) et calcanéocuboïdiens (3).

Le talus et ses surfaces articulaires

Le talus qui, rappelons-le, ne reçoit aucune insertion musculaire a des surfaces articulaires orientées d'une part vers la pince bimalléolaire pour les mouvements de flexion-extension et d'autre part vers le BCP pour les mouvements du complexe articulaire sous-talien. Il comporte plusieurs surfaces articulaires en regard du BCP :

- une surface postérieure qui s'adapte parfaitement au thalamus ;
- une ou deux surfaces distinctes à la face inférieure de la tête du talus et qui s'adaptent parfaitement aux surfaces correspondantes de la grande apophyse et de la petite apophyse du calcaneus ;
- la face antérieure de la tête du talus, sphérique, s'adaptant à la face correspondante postérieure de l'os naviculaire.

L'articulation talonaviculaire

De forme torique à concavité postérieure, à grand axe oblique en bas et en dedans et discrètement concave vers le bas, elle impose au naviculaire, et de ce fait au cuboïde et au calcaneus par l'intermédiaire des ligaments naviculocuboïdiens et de Chopart, une cinématique identique d'inversion/éversion, que ce soit passivement ou activement.

Mouvements élémentaires en décharge du BCP vis-à-vis de l'unité talo-tibio-fibulaire

C'est toujours autour de l'axe de Henke (oblique en bas, en arrière et en dehors) que se font les mouvements élémentaires du BCP par rapport à l'UTTF. L'articulation peut être assimilée à un double cône de révolution uniaxial. Le mouvement d'inversion qui porte la pointe du pied en bas et en dedans s'accompagne d'un mouvement opposé de la tubérosité du calcaneus qui se porte en haut et en dehors. Le pivot est représenté par le ligament interosseux talocalcanéen (figure 1) ou ligament en haie de Farabeuf avec deux faisceaux talocalcanéens antérieur et postérieur, véritable ligament croisé [12]. Il faut y ajouter un certain degré de mouvements automatiques d'avancée du calcaneus sous le talus lors de l'inversion, du fait de l'obliquité du dessin de la surface sous-talienne postérieure sur le cône de révolution.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Les mouvements actifs entre le BCP et l'UTTF sont liés aux muscles suivants :
• *le triceps :* il a une action prédominante sur la tibiotarsienne et, sur un pied équilibré, une action nulle sur le BCP. Il peut devenir, du fait de son insertion distale au-dessus de l'axe de Henke, varisant ou valgisant selon les conditions physiologiques ou pathologiques du complexe articulaire sous-talien (par exemple : effet varisant d'Achille dans les pieds bots varus équins, effet valgisant dans les pieds plats valgus « pied plat valgus par Achille court ») ;
• *le tibial postérieur :* il a une action prédominante sur le BCP : c'est un inverseur pur quelle que soit la position de la cheville et quel que soit le type de déformation pathologique ;
• *le tibial antérieur :* il a toujours une action prédominante de fléchisseur dorsal sur la talocrurale. Il n'a d'effet sur le BCP que dans des conditions pathologiques : le plus souvent, un effet inverseur (pied-varus spastique où la bascule en inversion du BCP augmente son moment vis-à-vis de l'axe de Henke) ; plus rarement, un effet éverseur dans les grands pieds valgus neurologiques ;
• *le troisième fibulaire (quasi constant) et le court fibulaire :* ce sont des éverseurs quasi purs dont l'action prédomine sur le BCP ;
• *le long fibulaire :* il abaisse la 1re tête métatarsienne, ce qui entraîne une pronation de l'avant-pied qui verrouille la morphologie du BCP, et il devient un éverseur global de celui-ci ;
• *les longs extenseurs et les longs fléchisseurs :* leur action prédominante est distale, leur rôle secondaire sur la sous-talienne et la talocrurale se traduit par des griffes des orteils ;
• *les intrinsèques :* ils participent à la protection dynamique et statique de la morphologie du BCP, avec une fonction de mise en tension passive et active, lors de la flexion dorsale des métatarsophalangiennes.

Mouvements du BCP en charge

C'est à Inman [2] que l'on doit le modèle simplifié de fonctionnement du complexe articulaire sous-talien chez le sujet en charge. Il s'agit de deux pièces de bois attachées l'une à l'autre à angle droit au moyen d'une charnière dont l'axe est incliné à 45° : la rotation axiale d'une des planchettes entraîne la rotation de l'autre. Si l'on assimile l'une des planchettes au pied et l'autre au squelette jambier, on comprend comment la rotation axiale du pied en pronation ou en supination entraîne automatiquement un mouvement de rotation axiale de la jambe en rotation latérale si le pied est positionné en supination, et en rotation médiale si le pied se positionne en pronation. Une autre façon de comprendre le phénomène est de demander à un sujet debout dont les pieds restent stabilisés au sol de tourner son corps complètement vers la droite jusqu'à orienter sa ceinture scapulaire à 90° par rapport au plan initial de référence : on observe que la jambe droite de cet individu tourne en rotation latérale au-dessus du BCP avec le pied qui devient cambré, voire creux varus, alors que sa jambe gauche tourne en rotation médiale avec le BCP sous-jacent qui s'aplatit de façon concomitante (figure 2).

Ces phénomènes sont essentiels à comprendre puisque dans la marche et a fortiori dans la course, les phénomènes rotationnels axiaux des membres inférieurs en rotation médiale et alternativement en rotation latérale sont constants ; l'adaptation du pied au sol n'est possible que grâce au complexe articulaire sous-talien permettant au BCP de transformer selon son axe longitudinal les mouvements de rotation axiale sus-jacente.

Autres caractéristiques du bloc calcanéopédieux

Plasticité du bloc calcanéopédieux en charge

Elle est plurifactorielle :
• *géométrie variable du ligament calcanéonaviculaire* constitutif de l'articulation talo-calcanéo-naviculaire. Ce ligament peut se distendre et recevoir

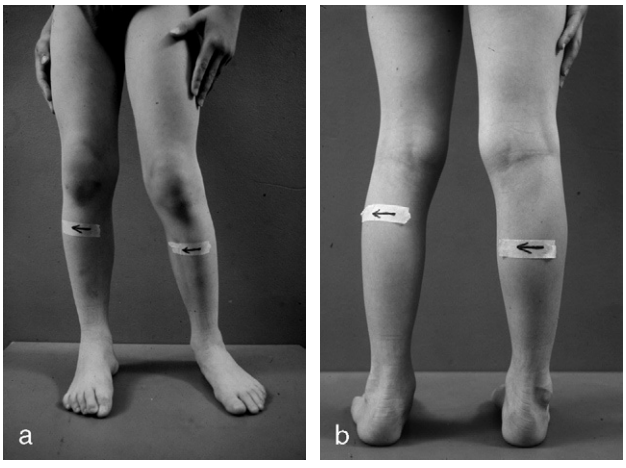


Figure 2. Les mouvements du BCP en charge lorsque l'individu tourne son corps vers la droite.
a. Vue antérieure. b. Vue postérieure. Les deux pieds changent de forme : le droit devient creux varus et le gauche, plat valgus.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

une plus grande surface de la tête du talus lorsque ce dernier plonge de façon médiale dans la plante. Au contraire, la surface du ligament peut diminuer lorsque la tête du talus remonte sur l'apophyse antérieure du calcaneus ;

• *constitution plurisegmentée du BCP* avec de nombreuses pièces osseuses et de nombreux ligaments entre le naviculaire et le cuboïde, entre les trois os cunéiformes d'une part et les cinq métatarsiens d'autre part. Cette configuration donne au BCP une plasticité remarquable dictée par les mouvements articulaires de chaque articulation constituante ;

• *double appartenance de l'articulation talonaviculaire* [4,7,11]. C'est la seule articulation du corps humain qui appartienne à deux groupes articulaires distincts : d'une part le complexe articulaire sous-talien qui est l'objet de cette étude, et d'autre part l'articulation de Chopart ou articulation transverse du tarse (figure 3). En effet, avec l'articulation calcanéocuboïdienne, l'articulation talonaviculaire est liée anatomiquement et fonctionnellement. Cette double appartenance est très souvent méconnue et explique les nombreuses erreurs d'interprétation des radiographies ou encore le manque de cohérence pour expliquer les relations entre l'arrière-pied et le médio-pied.

La mise en charge aplatit le pied dont la cambrure résiste grâce à l'aponévrose plantaire

Ce sont les travaux de Hicks [4] qui ont permis de comprendre le rôle de l'aponévrose plantaire grâce à une meilleure connaissance de ses insertions : l'insertion proximale est bien la tubérosité calcanéenne et les insertions distales sont la base des premières phalanges des orteils. Quand les articulations métatarsophalangiennes sont en dorsiflexion, l'aponévrose plantaire est enroulée autour des têtes métatarsiennes et se tend. La distance entre les têtes métatarsiennes et la tubérosité calcanéenne diminue et le pied se creuse.

Phénomène de vrillage/dévrillage de la lamina pedis de McConnail (figure 4)

McConnail [3], ignorant la terminologie du BCP, a donné au pied moins le talus le nom de « lamina pedis ». Cette lame torsadée assimilée à une hélice est aplatie de haut en bas au niveau des têtes métatarsiennes et

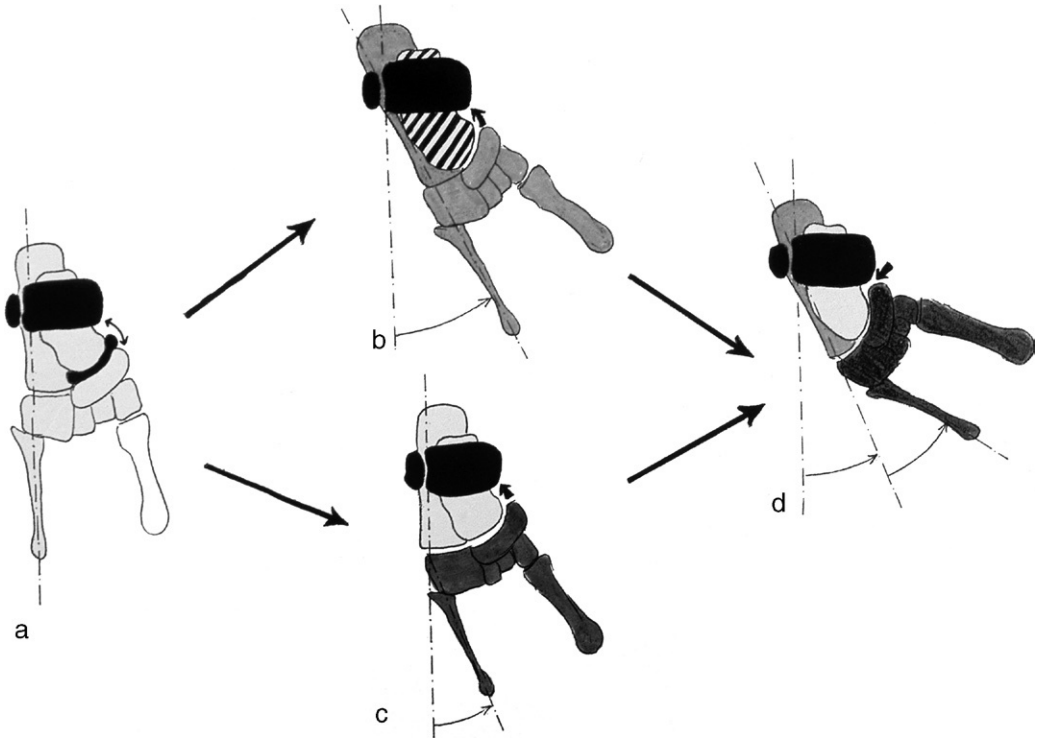


Figure 3. Double appartenance de l'articulation talonaviculaire.
À gauche : pied normal. En haut : adduction isolée du BCP. En bas : adduction isolée médiotarsienne. À droite : les deux attitudes s'additionnent.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

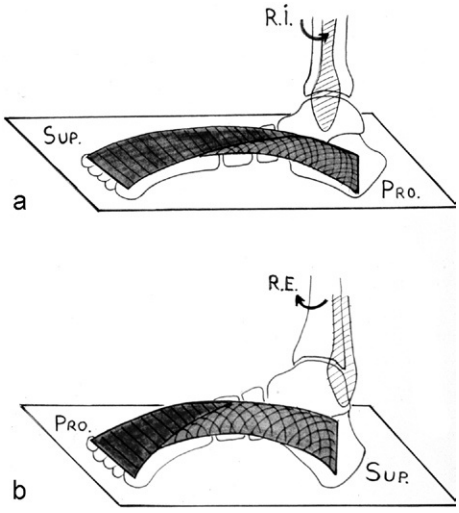


Figure 4. Lamina pedis en hélice de McConnail, en charge. En haut : lorsque la jambe (UTTF) tourne en rotation interne (RI), le BCP se dévrille avec pronation calcanéenne (PRO) et supination de l'avant-pied (SUP). En bas : lorsque la jambe tourne en rotation externe (RE), on observe l'inverse, c'est-à-dire une accentuation de la torsion du BCP.

aplatie de dehors en dedans au niveau du calcaneus. Elle est flexible et se dévrille lorsque le pied est en charge. C'est comme cela que McConnail explique l'aplatissement du pied avec la supination de l'avant-pied et le valgus talonnier. À l'inverse, la lamina pedis peut accentuer son phénomène de vrillage avec pronation de l'avant-pied et supination du talon sur le pied en charge lorsque le talus entraîné par la jambe (UTTF) tourne en rotation abduction.

Au plan pratique, lors du début de la phase d'appui, lorsque le poids du corps arrive en totalité sur le BCP, on observe un dévrillage avec augmentation du valgus talonnier et supination relative du médio-avant-pied. Lors du dernier temps de l'appui avec élévation du corps, lorsque le calcaneus a quitté le sol, on observe le phénomène inverse de vrillage du BCP avec la rotation latérale de la jambe, la supination du talon et la pronation du médio-avant-pied. Lors de la phase oscillante, le phénomène de vrillage du BCP diminue pour s'inverser complètement lors de la phase d'appui suivante.

Application à des manœuvres cliniques

• Relèvement passif de l'hallux : bien connu, car il redresse l'arche interne, il a pu être interprété par erreur comme lié au long fléchisseur de l'hallux. En réalité, c'est bien la mise en tension de l'aponévrose plantaire par l'hyperflexion dorsale passive de l'hallux qui attire la tubérosité du calcaneus vers l'avant, aboutissant au creusement de l'arche médiale avec simultanément une diminution du valgus calcanéen, une pronation du médio-avant-pied et une rotation latérale de l'UTTF.

• Rotation manuelle de la jambe : sur un sujet en charge, si on saisit la jambe et qu'on la tourne en rotation médiale, on observe un aplatissement du pied, alors que si l'on tourne la jambe en rotation latérale, on fait revenir le talus au-dessus du BCP, ce qui entraîne un creusement de l'arche médiale, un varus calcanéen et une pronation relative du médio-avant-pied pour conserver les appuis au sol.

Différents morphotypes de BCP

C'est très vraisemblablement l'angle d'incidence du calcaneus au sol qui va dicter les différentes formes de BCP. Si cet angle d'incidence est très élevé avec un calcaneus très érigé, le BCP est spontanément cambré. C'est le pied creux physiologique ou pied cambré. Si, au contraire, cet angle d'incidence du calcaneus est très faible, la colonne latérale est au ras du sol et l'on observe un morphotype de pied plat physiologique. Ces deux formes extrêmes (BCP à calcaneus horizontal et BCP à calcaneus très redressé) doivent être connues, car devant une déformation congénitale ou acquise du pied chez un enfant, un adolescent, ou un adulte, il faut faire la part de ce qui appartient au morphotype et de ce qui appartient à la déformation elle-même, et toutes les associations sont possibles.

Segmentation du pied

Le concept de BCP introduit donc dans la segmentation du pied une division *oblique* qui n'exclut pas les autres modes traditionnels de division du pied (figure 5).

Division transversale

En effet, la division transversale du pied reste tout à fait valable avec :

• arrière-pied : calcaneus + talus ;

• médio-pied : naviculaire, cuboïde et trois os cunéiformes ;

• avant-pied : cinq métatarsiens et les orteils.

Cette division transversale attire l'attention sur deux grandes articulations qui sont aux frontières des trois parties du pied :

• articulation transverse du tarse de Chopart entre arrière-pied et médio-pied ;

• articulation tarsométatarsienne de Lisfranc entre médio-pied et avant-pied.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

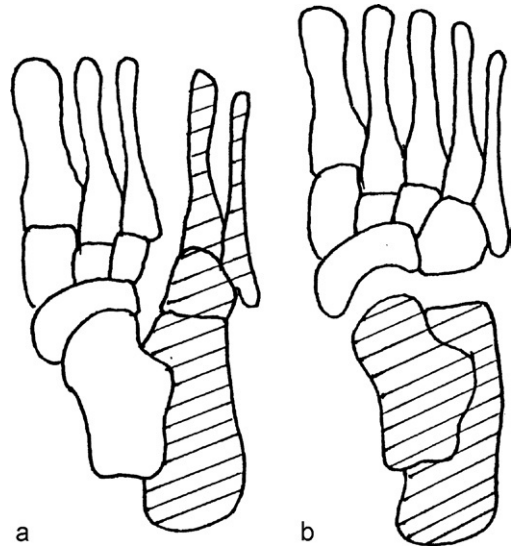


Figure 5. Les deux modes classiques de segmentation du pied. À gauche : division longitudinale. À droite : division transversale.

Division longitudinale

La division longitudinale du pied en deux colonnes reste fondamentale :
• la colonne médiale comportant les trois premiers rayons du pied avec les trois os cunéiformes, le naviculaire et le talus : c'est la colonne la plus souple ;
• la colonne latérale avec les deux rayons latéraux, le cuboïde et le calcaneus : c'est la colonne la plus rigide, la plus statique.

La segmentation en deux colonnes longitudinales reste essentielle, puisqu'elle permet d'avoir une idée de la longueur respective de celles-ci : une inégalité de longueur des colonnes est en rapport avec des déformations ostéoarticulaires et des désaxations au niveau des articulations transverse du tarse et/ou tarsométatarsienne.

Segmentation oblique

Ainsi, la segmentation du pied en segmentation *transversale* et *longitudinale* étant insuffisante à la compréhension des mécanismes sous-taliens, il importe d'utiliser de façon complémentaire la segmentation *oblique* avec d'une part le BCP et d'autre part l'UTTF.

Applications physiopathologiques

Il existe schématiquement deux types de situation :
• premièrement, un déséquilibre global avec BCP intrinsèquement non déformé par des phénomènes d'adaptation ;
• deuxièmement, une déformation intrinsèque du BCP, qu'il s'agisse de phénomènes adaptatifs de croissance chez l'enfant ou d'adaptations dégénératives devenues non correctibles chez l'adulte.

Déformations à bloc calcanéopédieux intact

L'exemple type en est le déséquilibre neurologique acquis récent. Il n'y a pas de déformation intrinsèque du BCP. La rééquilibration peut se faire, quand cela est possible, par un simple transfert musculaire, dans les autres cas par une reposition sous-talienne et médiotarsienne avec simple avivement et arthrodèse triple (talocalcanéenne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne) qui réaligne une plante du pied à plat.

Déformations à bloc calcanéopédieux déformé

Ce sont les BCP vrillés par phénomènes d'adaptation, qui se font le plus souvent dans le médio-pied ou en avant (articulations naviculocunéenne ou Lisfranc). C'est le cas des déformations neurologiques anciennes, des pieds plats valgus trophostatiques ou des arthroses talocrurales varisantes.

Ils se caractérisent par le fait que la correction de l'arrière-pied par rétablissement de la divergence talocalcanéenne va extérioriser un déséquilibre de l'avant-pied (supination de l'avant-pied lors de la correction d'un valgus d'arrière-pied, pronation avec chute de la première tête métatarsienne lors de la correction d'un varus d'arrière-pied). La simple reposition-arthrodèse sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne réaligne l'arrière-pied, mais n'est pas suffisante car elle induit un défaut d'appui de l'avant-pied. Elle impose des gestes palliatifs en cas de conservation de mobilité du complexe articulaire sous-talien (ostéotomie de translation de la tubérosité calcanéenne, et/ou ostéotomie d'allongement de type Evans de l'apophyse antérieure en cas de pied plat valgus), mais aussi en cas de reposition-arthrodèse sous-talienne et médiotarsienne (dévrillage dans le médio-pied pour corriger la supination de l'avant-pied induite par le repositionnement calcanéen en cas de triple arthrodèse pour PPV décompensé). À l'inverse, dans la correction des pieds varus neurologiques type Charcot-Marie-Tooth, il faut corriger la pronation de l'avant-pied secondaire à la correction du varus postérieur par ostéotomie de la colonne médiale.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Conclusion

Le concept de BCP, qui équivaut à une division oblique du pied, vient compléter utilement les autres modes de segmentation : transversale (arrière-pied, médio-pied et avant-pied) et longitudinale (en deux colonnes médiale et latérale). Cela peut faciliter la compréhension des déformations du pied, l'interprétation clinique et radiologique, et déboucher sur des thérapeutiques mieux adaptées.

Références

1 Seringe R, Wicart P. Le concept de « bloc calcanéopédieux ». Cahier d'enseignement de la SOFCOT n° 94. Paris : Elsevier Masson ; 2007. p. 177-90.
2 Duchenne de Boulogne GB. Physiologie des mouvements. Paris : Baillière ; 1867.
3 McConnail M, Basmajian J. Muscles and movements. A basis for human kinesiology. Baltimore : Williams et Wilkins ; 1969.
4 Hicks J. The mechanics of the foot. The joints. J Anat Lond 1953 ; 87 : 345-57.
5 Close JR, Inman VT, Poor PM, Todd FN. The function of the subtalar joint. Clin Orthop 1967 ; 50 : 159-79.
6 Inman V. The influence of the foot and ankle complex on the proximal skeletal structures. Artificial Limbs 1969 ; 13 : 59-65.
7 Seringe R. Anatomie pathologique du pied bot varus équin congénital. Ann Chir 1977 ; 31 : 107-18.
8 Kapandji IA. Physiologie articulaire. Membre inférieur. Paris : Maloine ; 1970.
9 Rigault P. La remise en selle de l'astragale ou opération du Cavalier. In : Actualités de chirurgie orthopédique de l'hôpital Raymond-Poincaré. Tome V. Paris : Masson ; 1966. p. 46-55.
10 Pouliquen J, Judet T, Siguier M, Beneux J. Physiopathologie de l'arrière-pied. Cahier d'enseignement de la SOFCOT n° 6. Paris : Expansion Scientifique ; 1976. p. 115-32.
11 Sarrafian S. Anatomy of the foot and ankle. Philadelphie : Lippincott ; 1983.
12 Bonnel F, Mabit C, Bonnel C, Chemouny C. Anatomie et biomécanique de l'articulation talocrurale. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Podologie, 27-010-A-24, 2009.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Examen clinique du pied

P. WICART[1], M. MAESTRO[2]

L'examen clinique du pied inclut plusieurs étapes qui doivent être adaptées à l'âge du patient et à sa capacité à déambuler. Cet examen s'intègre dans un examen clinique global orthopédique des membres et du rachis, ainsi que dans un examen neuro-orthopédique [1]. Cet examen est mené sur un patient en sous-vêtements afin de n'omettre aucun élément clinique. Quel que soit l'âge du sujet examiné, l'examen clinique est un élément déterminant mais ne suffit pas à analyser une déformation du pied. Il doit être complété par la radiologie (voir le chapitre « Radiologie et imagerie »), qui apporte des éléments complémentaires inaccessibles à la seule approche clinique [2].

Examen clinique de base

C'est l'examen de tous les sujets marchants, qu'ils soient enfants (de plus de 6 ans), adolescents ou adultes.

Interrogatoire

Antécédents

L'interrogatoire permet de recueillir les antécédents familiaux (pathologie neurologique, inflammatoire, etc.) et ceux du sujet (grossesse pathologique, prématurité, poids de naissance, âge d'acquisition de la marche, traumatisme, traitements préalables médicaux ou chirurgicaux). Des affections qui peuvent interférer avec la cicatrisation, comme par exemple le tabagisme, le diabète, l'artérite, les connectivites, et la prise de médicaments pouvant entraîner des lésions tendineuses (fluoroquinolones) ou augmenter le risque de complications précoces postopératoires (corticoïdes, anticoagulants, biothérapies, antimitotiques, etc.) sont recherchées.

Signes fonctionnels

Il peut s'agir de phénomènes douloureux dont doivent être précisés l'horaire (nocturne en faveur d'un processus inflammatoire, infectieux ou tumoral ou diurne en faveur de phénomènes mécaniques), le siège, le caractère bilatéral ou pas, l'ancienneté et l'évolution (aggravation ou amélioration). Il peut aussi s'agir d'instabilité de cheville, en particulier en varus avec entorses du ligament collatéral latéral ou plus rarement de raideur. Ces signes fonctionnels peuvent retentir sur différentes activités quotidiennes et sur le chaussage. La pointure des chaussures est notée.

Examen dynamique

Cycle de marche

Le cycle de marche normal comprend une phase d'appui pendant laquelle le pied est en contact avec le sol et une phase oscillante [3]. La phase d'appui peut être décomposée en plusieurs périodes : l'attaque du pas se fait avec le talon puis le pied se déroule sur le sol, aboutissant à une phase d'appui complet. Ce déroulement est associé à un mouvement passif de flexion dorsale de cheville. Le transfert de la charge se fait alors sur l'avant-pied et est accompagné par un temps de propulsion avec mise en flexion plantaire de l'articulation talocrurale et soulèvement du talon. La phase d'appui se termine par la perte de contact des orteils avec le sol. Ce temps correspond au début de la mise en charge du membre opposé. Il peut exister un équin, c'est-à-dire une limitation irréductible de la flexion dorsale de cheville : mineur avec absence de contact du talon au sol ou majeur dans sa forme digitigrade. Un « pied tombant », secondaire à une paralysie de la loge antérieure de jambe, correspond à l'impossibilité d'exercer une flexion dorsale active de cheville lors du passage du pas avec accrochage du pied au sol. À l'inverse, un calcaneus révélateur d'une insuffisance tricipitale est caractérisé par un excès de flexion dorsale de cheville lorsque le pied est en charge. Dans ce cas, l'équilibre sagittal est rétabli par une flexion de hanche et de genou. Il s'agit d'une démarche en triple flexion. Il est intéressant de faire cet examen à différentes vitesses de marche et d'étudier la facilité à faire demi-tour ou à s'arrêter. La qualité de la marche est évaluée avec chaussures et éventuel appareillage, puis pieds nus.

[1] Université Paris-Descartes, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Institut monégasque médicochirurgical du sport (IM2S), 11, avenue d'Ostenden, 98000 Monaco.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Orientation du pied

L'orientation du pied par rapport au reste du membre inférieur et à la ligne de marche correspond à l'angle du pas (ou angle de Fick) qui est orienté dans le plan transversal vers l'extérieur de l'ordre de 10°. Dans certains cas, le pied peut être orienté vers l'intérieur ou vers l'extérieur. Un élément important dans l'analyse est l'orientation des patella. Elle témoigne de la rotation de hanche liée à l'activité musculaire ou à l'importance de l'endotorsion fémorale. Une orientation médiale de la patella peut être liée à un ou plusieurs facteurs diversement associés : défaut d'activité des muscles rotateurs externes, hyperactivité telle qu'une spasticité des muscles rotateurs internes, hyperendotorsion fémorale. Ce sont des facteurs inverses qui expliquent une orientation de la patella en dehors. L'importance de l'aggravation des déformations lors de la mise en charge pendant la phase d'appui est à considérer. Cette approche dynamique est complétée par un examen statique, détaillé plus loin.

L'étude de la mobilité en charge des pivots de marche est notée (cheville, articulations métatarsophalangiennes), car c'est cette mobilité qui est le mieux corrélée avec la réalité dynamique [4]. Par exemple, si l'amplitude de flexion dorsale de la 1re articulation métatarsophalangienne est inférieure à 45°, la marche normale et a fortiori les allures rapides sont perturbées, voire impossibles.

Marche sur la pointe des pieds

La marche sur la pointe des pieds évalue, outre la mobilité de la cheville et des articulations du pied, la fonction des muscles de la loge postérieure. Il existe parfois un angle mort du triceps : la flexion dorsale de cheville diminue de façon brutale après avoir atteint une amplitude maximale du fait d'une insuffisance de force du triceps ne pouvant s'opposer à la gravité.

Test de montée sur demi-pointes

Le test de montée sur demi-pointes de façon bilatérale (figure 1) ou unilatérale doit entraîner un varus dynamique des talons. Si cette bascule en varus est absente, on recherchera une raideur sous-talienne, une insuffisance de la sangle formée par le ligament calcanéonaviculaire plantaire et le tendon tibial postérieur ou une pathologie de l'avant-pied.

Saut sur un pied

Le saut sur un pied est un élément très important de l'examen clinique qui teste l'activité des loges postérieures de jambe. Il est demandé à l'enfant de sauter le plus haut possible sur la pointe d'un pied puis de l'autre en restant sur place. Il convient alors de noter la qualité du saut monopode en termes de hauteur, de qualité d'amortissement (efficace si le talon n'entre pas en contact avec le sol lors de la réception) et de possibilité de répétition plusieurs fois de suite. À l'inverse, le saut monopode peut être de qualité médiocre, impossible ou parfois ne peut être répété. L'amortissement est de mauvaise qualité, avec contact du talon au sol caractérisé par l'émission d'un bruit sourd dit « talonnant ». Une asymétrie du saut monopode peut révéler une hémiparésie.

Marche sur les talons

La mobilité des articulations du pied et de la cheville, mais aussi la force musculaire globale peuvent être testées par différentes manœuvres. Dans des conditions physiologiques, la marche sur les talons se fait sans difficulté avec une flexion dorsale de cheville, une extension harmonieuse des orteils, et sans modification de l'alignement entre le tronc, les hanches et les genoux (figure 2a). En cas de paralysie des muscles intrinsèques, on observe une hyperextension des orteils avec visualisation à la face antérieure du

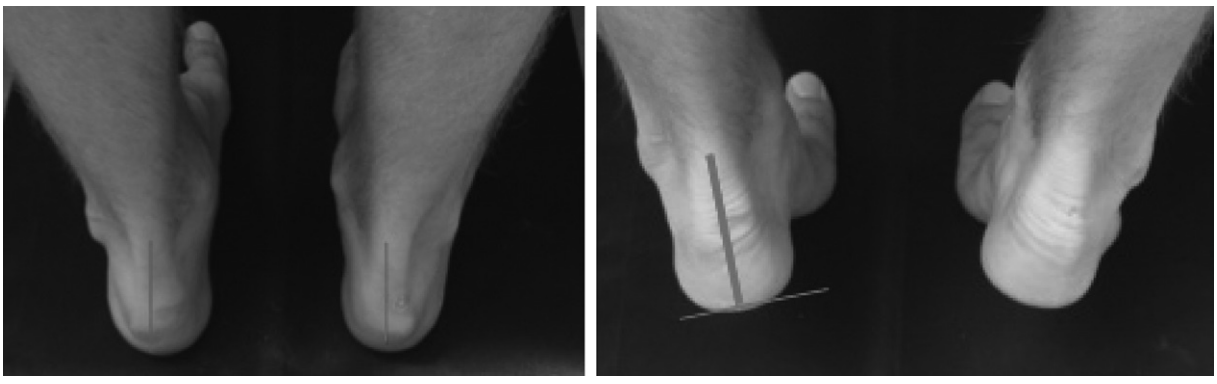


Figure 1. Test de montée sur demi-pointes de façon bilatérale.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 2. Épreuve de la marche sur les talons.
a. Sujet normal. b. Sujet atteint d'une maladie de Charcot-Marie-Tooth.

cou-de-pied des tendons extenseurs, y compris celui du tibial antérieur, mais sans aucune dorsiflexion de la cheville. Cela s'accompagne d'une rétroposition du tibia et d'un recurvatum du genou et/ou d'une projection du tronc en avant. L'enfant explique clairement qu'il ne peut pas faire cette manœuvre et adopte une démarche avec rétroposition des tibias puis recurvatum des genoux, flexion de hanche avec antéprojection du tronc et écartement des membres supérieurs (figure 2b). Le test de la « taloche du maçon » ou du plateau basculant de Freeman à deux boules (figure 3) consiste à faire tenir le sujet sur un plan incliné talons vers le sol. Une brièveté des gastrocnémiens impose au sujet soit de basculer les pointes en avant, soit de tomber en arrière. L'équilibre est rétabli au prix d'une flexion des hanches avec le tronc penché en avant.

Marche en varus et en valgus

La marche en varus puis en valgus permet d'apprécier, outre la mobilité de l'articulation sous-talienne, la fonction des muscles inverseurs et éverseurs. Par exemple, une impossibilité de marcher en varus peut être évocatrice de synostose du tarse.

Examen debout immobile

Cet examen comporte une étape d'observation des pieds en charge statique suivie de l'appréciation de l'effet de manœuvres externes. Il convient d'apprécier l'orientation des genoux et du bassin.

Observation statique

Il convient de placer les pieds à la hauteur du regard de l'examinateur, c'est-à-dire de faire monter l'enfant sur un podium ou à défaut sur le bureau. L'enfant se déplace de telle sorte qu'il est possible de l'examiner sous toutes les incidences.

Dans le plan frontal, on apprécie l'orientation de l'arrière-pied (varus, neutre ou valgus). Cependant, la quantification clinique manque de finesse (valgus excessif, valgus physiologique, neutre, varus). Les appuis sur l'avant-pied, par la position au sol des têtes des 1er et 5e métatarsiens, peuvent être perturbés. Par exemple, un défaut d'appui antéromédial ou une supination de l'avant-pied se traduit par une sensation palpatoire de « touche de piano » plus ou moins souple lors de l'appui manuel sur la face dorsale de la tête du 1er métatarsien (figure 4). Si ce défaut est unilatéral, l'examinateur perçoit très bien l'abaissement de la tête du 1er métatarsien du côté pathologique, alors que du côté sain il n'existe aucune mobilité car l'extrémité distale du 1er métatarsien est au contact du sol. Un valgus peut être d'origine talocrurale, révélé par la palpation de la pointe de la malléole latérale qui se situe au même niveau, voire au-dessus de la pointe de la malléole médiale, alors qu'en principe elle se situe en dessous.

Dans le plan sagittal, peuvent apparaître un creux (uniquement médial, uniquement latéral ou mixte avec le signe du crayon qui consiste à laisser passer un

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 3. Test de la « taloche de maçon » ou du plateau basculant.



Figure 4. Touche de piano perceptible lors de l'appui manuel à la face dorsale de la tête du 1er métatarsien caractéristique d'un défaut d'appui antéromédial.

crayon sous la plante du pied) ou un affaissement de l'arche médiale et/ou latérale.

La recherche d'une déformation dans le plan transversal (abduction ou adduction) nécessite de visualiser les genoux. Le plan vertical perpendiculaire au plan de la patella désigne le plan de référence sagittal. L'orientation du pied (grand axe du talon au 2e orteil) peut être médiale ou latérale par rapport à la projection de ce plan au sol. Il s'agit respectivement d'une adduction ou abduction globale, dont le siège se situe



Figure 5. Enfant (6 ans) ayant un pied bot varus équin congénital gauche (patellas cerclées).
Noter que le pied est correctement axé dans le plan transversal au prix d'une orientation latérale de la patella : il existe donc soit une torsion médiale des deux os de la jambe, soit une adduction du pied dans le complexe articulaire sous-talien. Il s'agit en fait de la seconde hypothèse, avec compensation par une rotation latérale de hanche.

dans le complexe articulaire sous-talien si la torsion tibiofibulaire est normale (figure 5). Une anomalie du bord latéral du pied révèle un défaut médiotarsien ou

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

dans l'avant-pied. Un bord latéral concave correspond à une abduction alors qu'un bord latéral convexe correspond à une adduction. L'importance de ce défaut peut être quantifiée avec un goniomètre. Enfin, il peut s'agir d'un défaut plus distal, comme par exemple une adduction de l'hallux; l'existence de griffes d'orteils est à noter. La pulpe des orteils ainsi que les ongles et en particulier leur orientation par rapport au sol sont étudiés.

La plante du pied est examinée en charge sur un podoscope (figure 6), ce qui permet d'analyser la répartition des appuis. L'examen baropodométrique permet de quantifier ces données.

La prise de photographies des pieds en vues standardisées, complétant le bilan statique, est fondamentale pour la construction du dossier du patient et son utilisation dans des travaux scientifiques [5].



Figure 6. Aspect podoscopique de pieds creux médiaux sévères (maladie de Charcot-Marie-Tooth).

Manœuvres passives

Elles permettent de tester la mobilité des différentes articulations du pied :

- le relèvement passif de l'hallux, réalisant une flexion dorsale de l'articulation métatarsophalangienne (test de Jack), creuse l'arche médiale du fait de la mise en tension de l'aponévrose plantaire; cette manœuvre apprécie la réductibilité d'un pied plat (figure 7);
- la rotation latérale de l'unité talo-tibio-fibulaire, par la main de l'examinateur qui fait tourner la jambe en dehors, entraîne une adduction et un creux médial, c'est-à-dire un vrillage du bloc calcanéopédieux. À l'inverse, une rotation médiale de l'unité talo-tibio-fibulaire entraîne une abduction avec aplatissement de l'arche médiale, c'est-à-dire un dévrillage du bloc calcanéopédieux;
- le test de Coleman [6], appliqué au pied creux médial en charge, évalue la réductibilité des déformations compensatrices de l'arrière-pied en laissant l'avant-pied en pronation (figure 8);
- le test de Coleman inversé couplé à la radiographie de profil en charge appliqué au pied plat valgus permet de mettre en évidence la zone d'hypermobilité traduite par un bâillement articulaire excessif.

Examen en décubitus

Il comporte différentes étapes.

Orientation du membre inférieur

L'analyse d'une déformation du pied doit prendre en compte l'orientation dans le plan transversal des segments osseux sus-jacents, en particulier les deux os de

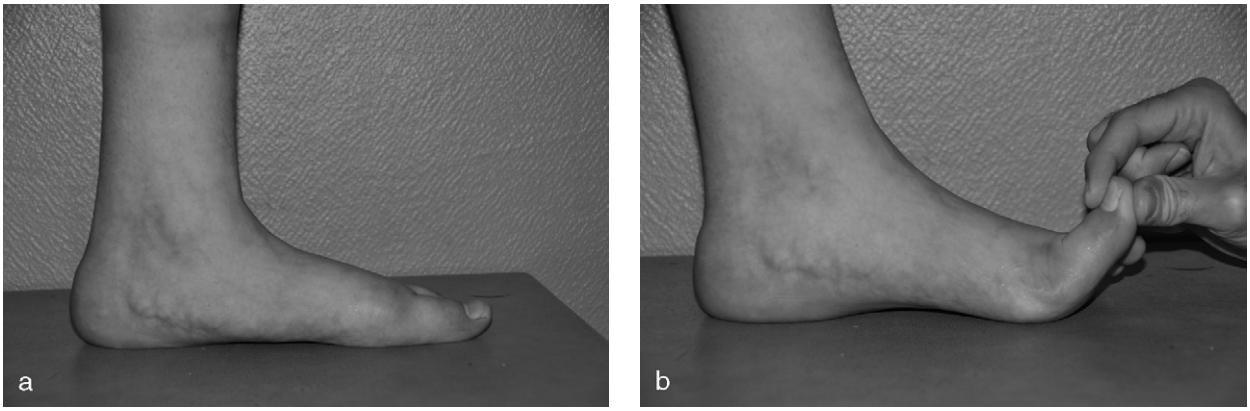


Figure 7. Test de Jack appréciant la réductibilité d'un pied plat. a. En charge, l'arche médiale est plate. b. Le relèvement passif de l'hallux réalisant une flexion dorsale de l'articulation métatarsophalangienne entraîne un creusement de l'arche médiale.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

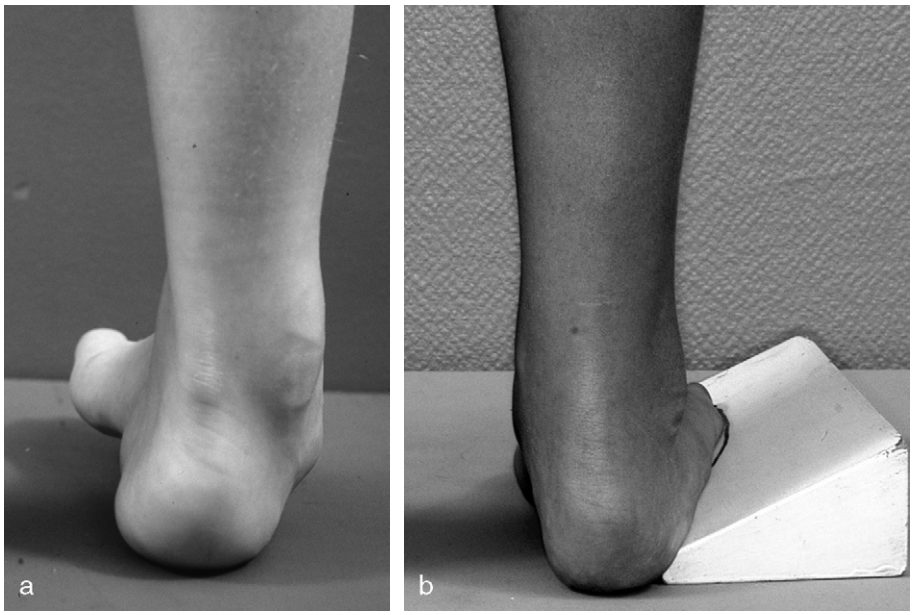


Figure 8. Test de Coleman modifié sur planchette oblique. a. Pied cavovarus. b. Correction partielle du varus calcanéen.

la jambe et le fémur. Cet examen est idéalement réalisé en décubitus ventral [7]. Ainsi peuvent être mesurées de façon comparative les rotations médiale et latérale de hanche, ce qui permet d'apprécier l'importance de l'endotorsion fémorale. De même, est apprécié l'angle pied-cuisse qui donne un ordre de grandeur de la torsion des deux os de la jambe.

Examen des mobilités articulaires

L'amplitude de flexion dorsale de cheville est recherchée après avoir porté le pied en inversion, afin de neutraliser la mobilité sous-talienne qui pourrait altérer l'évaluation de la mobilité de cheville sous la forme d'une « fausse » flexion dorsale [8]. Une limitation de la flexion dorsale de cheville (angle entre la jambe et le bord latéral du pied) est appréciée en extension puis en flexion de genou, révélant respectivement une brièveté des gastrocnémiens ou du soléaire [9]. La flexion plantaire est examinée de la même façon en extension de genou.

La quantification de la mobilité sous-talienne est réalisée en empoignant dans la paume le calcaneus et en bloquant le talus dans la pince pouce-index de la main opposée. Un ballottement frontal en valgus et en varus permet d'évaluer la mobilité de cette articulation. Elle est cotée de 0 à 1 comme un ratio par rapport à la mobilité du côté opposé qui est considérée comme normale. Une pathologie du côté opposé rend cette comparaison impossible et la mobilité sous-talienne est donc comparée à une mobilité théorique. L'étude de la mobilité sous-talienne peut aussi être menée en décubitus ventral genoux fléchis ou à genoux au bord de la table d'examen, les pieds dans le vide. Ces deux dernières méthodes permettent de plus de mettre en évidence la réductibilité d'un varus ou d'un valgus excessif.

Les amplitudes de pronation et de supination de l'avant-pied se mesurent en bloquant l'arrière-pied avec une des deux mains en valgus et en imprimant avec l'autre main une pronation puis une supination de l'avant-pied (figure 9).

La quantification de ces amplitudes articulaires évalue la réductibilité des déformations sagittales, frontales et transversales notées précédemment en charge.

Le syndrome d'attelage des tendons fléchisseurs est diagnostiqué de la façon suivante. La cheville étant positionnée à angle droit, la flexion active de l'articulation interphalangienne de l'hallux est impossible quand le 2e orteil est maintenu en rectitude et flexion dorsale. En revanche, elle devient possible avec une griffe dynamique du 2e orteil, attestant ainsi la présence de la bandelette d'attelage.

L'appréciation des amplitudes articulaires doit être complétée par l'étude de la stabilité des différentes articulations dans plusieurs secteurs de mobilité, en particulier pour le complexe cheville arrière-pied. Une instabilité de la cheville en varus peut être accompagnée par des craquements articulaires, phénomène de rabot ou épanchement articulaire, qui suggèrent une dégradation arthrosique. Cependant, ce sont les examens radiographiques qui permettront de quantifier la laxité et une arthrose éventuelle.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

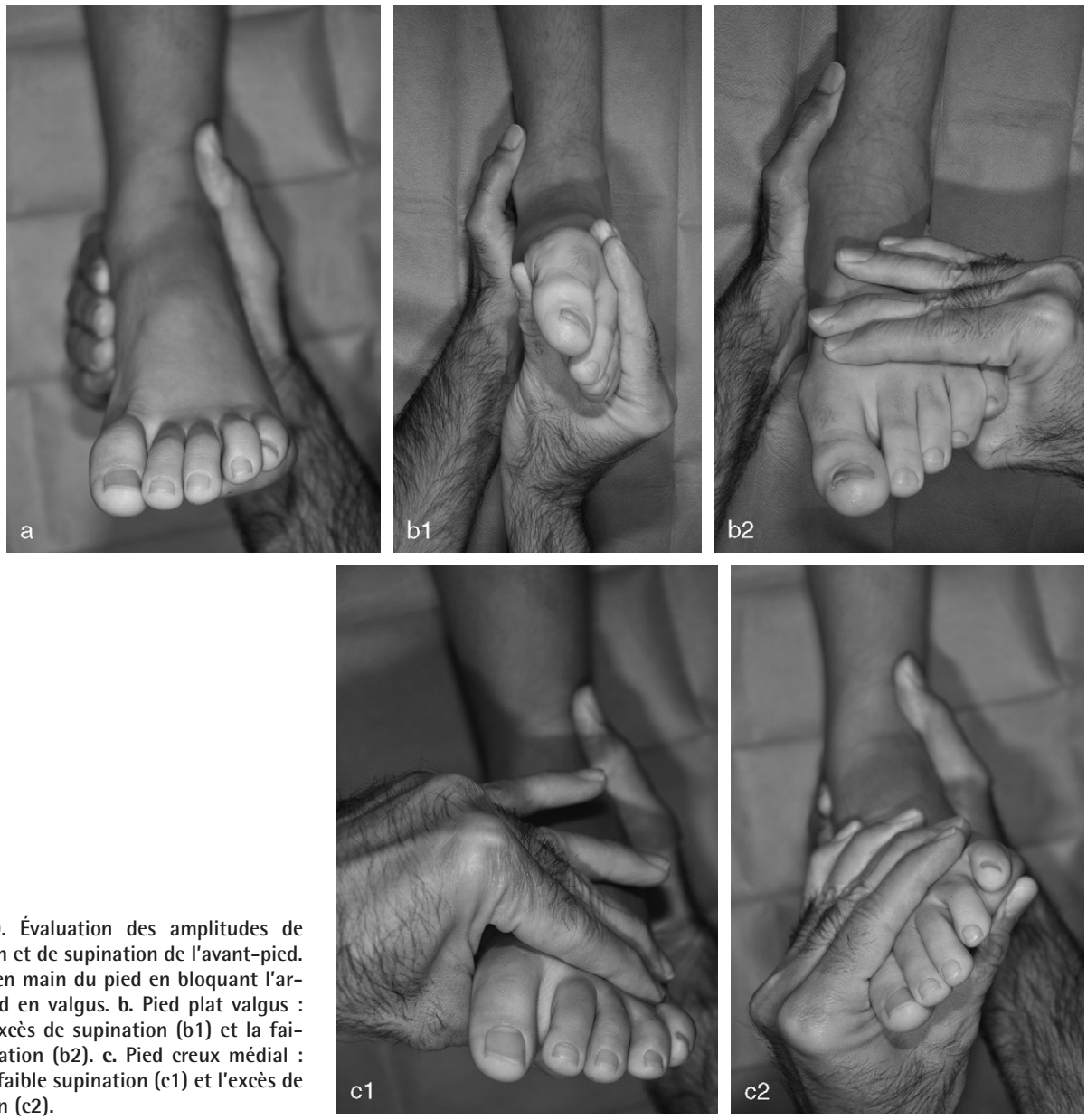


Figure 9. Évaluation des amplitudes de pronation et de supination de l'avant-pied. a. Prise en main du pied en bloquant l'arrière-pied en valgus. b. Pied plat valgus : noter l'excès de supination (b1) et la faible pronation (b2). c. Pied creux médial : noter la faible supination (c1) et l'excès de pronation (c2).

Examen de la plante du pied

L'examen de la plante vérifie la qualité de la sole plantaire et recherche des callosités cutanées, par exemple sous la tête du 1er métatarsien (pied creux médial avec hyperpronation), sous la base du 5e métatarsien (pied adductus varus) ou au niveau de la face médioplantaire du médio-pied en regard de la tête du talus (pied plat valgus). De même, une peau très fine peut révéler un défaut d'appui, par exemple si elle est située en regard de la tête du 1er métatarsien, évocatrice de défaut d'appui antéromédial non exceptionnel dans le pied bot.

Examen de la commande musculaire

Le testing musculaire (voir le chapitre « Testing musculaire du pied ») est complété par la recherche d'une spasticité des muscles de l'ensemble du membre inférieur (limitation de l'abduction de hanche, limitation de l'extension de genou hanche fléchie ou limitation de la flexion dorsale). Ces manœuvres doivent être faites de façon relativement vive pour déclencher la secousse spastique si elle existe. Le maximum de ces manifestations s'exprime par une trépidation épileptoïde qui caractérise un syndrome pyramidal. Les réflexes

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

ostéotendineux doivent être recherchés (achilléens et rotuliens). Leur absence évoque un syndrome neurogène périphérique, leur caractère vif polycinétique et diffusé évoque une origine centrale.

La mesure du périmètre maximal du segment jambier, comparé au côté opposé s'il est sain, donne une information sur le volume musculaire et le degré d'une éventuelle amyotrophie.

Examen de la sensibilité

Le test du « pique-touche » évalue la sensibilité épicritique (superficielle), alors que celui du « sens de position des orteils » évalue la sensibilité protopathique (profonde). Des anomalies cutanées de type escarre sont évocatrices de troubles de la sensibilité.

État trophique et vasculaire

Certaines pathologies comme la maladie de Charcot-Marie-Tooth peuvent s'accompagner de troubles vasomoteurs tels qu'hypersudation, moiteur ou, à l'inverse, marbrures avec extrémités froides.

De véritables escarres peuvent accompagner des affections entraînant à la fois troubles sensitifs et déformations telles que le dysraphisme spinal. Leur profondeur est à évaluer cliniquement avec asepsie à l'aide d'un stylet. Il s'avère que ces lésions cutanées s'étendent parfois jusqu'à l'articulation incluse avec arthrite.

Les pouls pédieux et tibial postérieur sont recherchés ainsi que le pouls capillaire distal, de même que des signes d'insuffisance veineuse ou lymphatique comme un œdème.

Particularités selon l'âge ou l'importance du handicap

Pied du nouveau-né normal

L'examen du pied du nouveau-né comprend plusieurs étapes.

L'inspection apprécie tout d'abord sa morphologie globale, en décomposant une éventuelle déformation dans les trois plans de l'espace. La quantification de la mobilité des différentes articulations, comme décrit précédemment, évalue la réductibilité de la déformation. Une hypermobilité a une valeur séméiologique majeure. Par exemple, une hypermobilité de l'articulation transverse du tarse en flexions plantaire et dorsale évoque un pied convexe congénital. Ces constatations cliniques doivent être objectivées par des clichés radiologiques dynamiques (voir le chapitre « Radiologie et imagerie »). L'examen de la plante est facile chez le nouveau-né en décubitus dorsal. La convexité isolée du bord latéral de la plante évoque un metatarsus adductus. La palpation des reliefs osseux est riche de renseignements. Un metatarsus adductus avec bosse dorsolatérale est un pied en Z (voir le chapitre « Le pied en Z »). Un pied bot varus équin avec une malléole latérale trop bien visible beaucoup plus distale que la malléole médiale peut être secondaire à une agénésie distale du tibia. La saillie plantaire de la grande apophyse du calcaneus et/ou de la tête du talus particulièrement marquée en flexion dorsale avec immobilité de l'arrière-pied et persistance d'une saillie postérieure de la tubérosité du calcaneus est évocatrice de pied convexe congénital. L'appréciation de la motricité active des orteils, du pied et de l'ensemble du membre inférieur est indispensable. Par exemple, un pied bot varus équin sans extension active des orteils est probablement d'origine paralytique. L'examen des parties molles peut révéler des plis cutanés, comme par exemple en cas de pied bot varus équin (voir le chapitre « Le pied bot varus équin congénital ») ou du fait d'une maladie des brides amniotiques. Des anomalies cutanées comme une fossette à la face antérolatérale du genou ou un angiome en regard de la ligne médiane rachidienne sont évocatrices respectivement d'arthrogrypose ou de dysraphisme spinal. C'est dire l'intérêt d'un examen clinique complet du rachis, des membres inférieurs et supérieurs sans oublier le visage. La réalisation de photographies est particulièrement importante lors du premier examen.

Pied de l'enfant avant l'âge de 6 ans

Un élément clé à préciser si l'enfant n'a pas été examiné à la naissance est le suivant : comment était le pied à la naissance ? En effet, cela donne un éclairage sur l'analyse clinique actuelle et permet de distinguer une déformation acquise d'une déformation congénitale. L'examen doit être réalisé de façon identique à celui réalisé chez les enfants d'un âge supérieur, cependant, sa collaboration limite l'évaluation dynamique, en particulier pour la marche sur la pointe des pieds, la marche sur les talons et surtout le saut sur un pied (rarement acquis avant l'âge de 5 ans).

Pied de l'adulte

La croissance étant terminée, le pied entre dans un processus de vieillissement des tissus et de dégradation arthrosique. Par rapport à l'enfant, l'os et le cartilage deviennent plus durs et rigides. Plus l'âge avance et plus le pied va perdre de la mobilité transversale dite adaptative [10]. D'une manière générale, le pied doit être plantigrade en appui et aligné avec le membre inférieur. Il doit rester souple et mobile et garder

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

une force équilibrée et efficace : cela sous-entend une vascularisation et une innervation correctes, la sole plantaire doit être souple et indemne.

Pied du sujet handicapé ne marchant pas ou très difficilement

L'interrogatoire a pour but d'évaluer les conséquences fonctionnelles de la déformation des pieds. Il peut s'agir de difficultés à se tenir debout, entravant les transferts ou la verticalisation. Chez un sujet non marchant, des saillies osseuses sous-cutanées comme par exemple la tête du talus en cas de pied varus peuvent générer des lésions cutanées parfois sévères du fait du contact avec un appareillage ou le fauteuil roulant (figure 10). L'étude de ces derniers, dans le but de les adapter à l'anatomie du patient, est une étape complémentaire de l'approche clinique. Enfin sont appréciés le type, la sévérité et la réductibilité de la déformation du pied ainsi que la mobilité et les déformations des membres inférieurs. Une évaluation globale de l'enfant apprécie, en fonction de l'étiologie, d'éventuels troubles de la sensibilité, du tonus musculaire (spastique, dystonique ou hypotonique) et la sévérité de l'affection neurologique ainsi que son pronostic (voir le chapitre « Pied du polyhandicapé »).



Figure 10. Garçon âgé de 12 ans avec tétraparésie spastique (adrénoleucodystrophie).
Lésion cutanée en regard de la tête du talus dont la saillie sous-cutanée est secondaire à un pied adductus équin varus sévère.

Conclusion

L'examen clinique assure une première prise de contact avec le patient et répond à une triple démarche : diagnostic positif de la déformation, diagnostic étiologique et évaluation de la sévérité. Un ou plusieurs scores fonctionnels auront pu être renseignés dans un but prospectif et évolutif. Mais se posent les problèmes de la reproductibilité (intra- et inter-examinateur) des manœuvres d'examen clinique et de l'interprétation des signes recueillis [11,12]. L'examen clinique est donc une étape indispensable et déterminante dans la prise en charge d'une déformation du pied.

Références

1 Laburthe Tolra Y, Seringe R, Dubousset J. Sémiologie neuro-orthopédique illustrée. Paris : Springer ; 2001.
2 Biga N. Clinical examination of the foot and the ankle. Data collection and interpretation of the pathogenic causal sequence of disorders. Orthop Traumatol Surg Res 2009 ; 95(suppl 1) : s47-54.
3 Sales de Gauzy J, Salmeron F, Cahuzac JP.. Examen clinique du pied de l'enfant. Monographie du Groupe d'étude en orthopédie pédiatrique. Montpellier : Sauramps Médical ; 2001. p. 41-50.
4 Nawoczenski D, Bavorhaver J, Umberger B. Relationship between clinical measurements and motion of the first metatarso phalangeal joint during gait. J Bone Joint Surg Am 1999 ; 81 : 370-6.
5 Ferré B, Maestro M. et l'AFCP. Plaidoyer pour une standardisation des dossiers cliniques, photographiques et radiologiques pour le recueil des données en pathologie du pied. Monographie AFCP nº 46. In : Journée des spécialités SOFCOT 2008. Montpellier : Sauramps Médical ; 2008. p. 103-22.
6 Coleman SS, Chesnut WJ. A simple test for hindfoot flexibility in the cavovarus foot. Clin Orthop Relat Res 1977 ; 123 : 60-2.
7 Staheli LT, Corbett M, Wyss C, King H. Lower-extremity rotational problems in children. Normal values to guide management. J Bone Joint Surg Am 1985 ; 67 : 39-47.
8 Kowalski C, Diebold P, Pennecot G. Le tendon calcanéen court. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Podologie 27-060-A-60 : 2000 ; p. 1-15.
9 Sylverskiold N. Reduction of the uncrossed two-joints muscles of the leg to one-joint muscles in spastic conditions. Acta Chir Scand 1924 ; 56 : 315-30.
10 Sarrafian SK.. Anatomy of the foot and ankle. 2e éd Philadelphie : Lippincott ; 1993.
11 Cornwall MW, Ped C, McPoil TG, Fischo WD, Hunt L, Lane C, et al. Reliability of visual measurement of forefoot alignement. Foot Ankle Int 2004 ; 25 : 745-8.
12 Keenan AM, Bach TM. Clinicians' assessment of the hindfoot : a study of reliability. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 451-60.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Testing musculaire du pied

P. DENORMANDIE[1], G. LONJON[1], R. SERINGE[2]

L'évaluation musculaire (testing) est essentielle pour le clinicien afin de préciser les capacités musculaires présentes d'un patient. Le testing est différent suivant le type de lésion neurologique, périphérique ou centrale, évolutive ou non [1]. Il doit permettre de préciser le niveau lésionnel et de suivre l'évolution d'une atteinte paralytique du pied ou, plus largement, du membre inférieur. Pour être interprétable, ce testing nécessite une réalisation rigoureuse, méthodique et formalisée. Il requiert donc une bonne connaissance de la systématisation nerveuse (radiculaire, plexique et tronculaire), des possibilités de compensation et des modalités d'expression des muscles. Nous décrirons le testing dans le cadre d'une paralysie périphérique et les spécificités d'un déficit d'origine centrale.

Réalisation du testing

L'évaluation de la force musculaire se fait selon la cotation en six stades de la MRC (Medical Research Council), de 0 (aucune contraction) à 5 (force musculaire normale). Elle dépend des capacités cognitives des patients et de la présence de troubles de la commande motrice, qui peuvent se rencontrer dans les pathologies neurologiques centrales. Le testing est, dans ces cas, plus difficile. Chez les jeunes enfants, le testing n'est possible que de 0 à 3, car les cotations 4 et 5 requièrent la participation active du patient [2,3].

Il peut varier suivant l'examen et l'examinateur (renforcement de l'hypertonie dans les situations de stress) ainsi que selon la position d'examen. L'expression des muscles peut être très différente entre l'examen en chaîne ouverte (patient allongé ou assis) et en chaîne fermée (patient verticalisé et à la marche). Il convient, dans ces cas, de noter la cotation, le mode d'expression du muscle, la qualité de la commande analytique, ainsi qu'une éventuelle dissociation avec le testing en syncinésie. Par exemple, le testing du tibial antérieur peut être à 5 en position assise avec une bonne commande analytique alors qu'à la marche, il ne s'exprime pas du tout.

Il est impératif d'évaluer l'ensemble des muscles à la fois proximaux et distaux en cotant ceux-ci suivant la cotation habituelle de 0 à 5 (tableau 1). L'examen bilatéral et comparatif et la consignation datée dans le dossier médical sont des éléments essentiels pour l'explication des déformations et de leur évolutivité.

Tableau 1
Échelle de cotation du testing musculaire manuel

0	Aucune contraction
1	Une contraction musculaire est palpable sous les doigts, mais aucun mouvement n'est possible
2	La contraction musculaire permet un mouvement de l'articulation sur toute son amplitude, le membre étant sur un plan horizontal sans effet majeur de la pesanteur
3	Le mouvement est possible dans toute son amplitude et contre la pesanteur
4	Le mouvement est possible dans toute son amplitude, contre l'action de la pesanteur et contre une résistance manuelle de moyenne importance
5	La résistance manuelle est maximale

La cotation est affinée par l'adjonction de signes plus (+) et moins (–). Ces signes sont utilisés quand l'amplitude n'est pas complète (–) ou quand un muscle a plus d'efficacité que la définition ne lui en accorde (+). Seules les cotations 4 et 5 sont impossibles chez l'enfant jeune.

[1]Service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, boulevard Raymond-Poincaré, 92380 Garches.
[2]Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Groupe des muscles releveurs

Il regroupe les muscles *tibial antérieur*, *long extenseur des orteils*, *long extenseur de l'hallux*, *troisième fibulaire* (inconstant mais très fréquent), *court extenseur des orteils*. Ces muscles sont innervés par le nerf fibulaire profond, branche du nerf fibulaire commun et sous la dépendance des racines L5, mais aussi L4 et S1. À noter que l'action de flexion dorsale par les releveurs n'est possible que si les muscles *interosseux* et *lombricaux* sont présents et efficaces pour stabiliser les articulations métatarsophalangiennes (MP) [3].

• *Le tibial antérieur* est fléchisseur dorsal de la cheville avec une composante de supination-adduction du pied. Son tendon est le plus médial au cou-de-pied. Le déficit du tibial antérieur s'accompagne d'un steppage qui dépend de la présence des autres releveurs, modéré en cas de déficit isolé. Il provoque un défaut de contrôle de l'abattement du pied lors de l'attaque du pas par le talon. En cas d'hypertonie, qui se déclenche le plus souvent en syncinésie de flexion du genou, au passage du pas, il positionne le pied en inversion, favorisant un appui sur le bord latéral du pied. L'effet de l'inversion est majoré par l'équin.

• *Le long extenseur des orteils* étend les articulations MP et interphalangiennes (IP) des quatre derniers orteils. Il est également fléchisseur dorsal, abducteur et pronateur du pied. Son tendon est le plus latéral au cou-de-pied (en l'absence du troisième fibulaire).

• *Le long extenseur de l'hallux* étend l'articulation IP du gros orteil, participe à l'extension de l'articulation MP et contribue aussi à la flexion dorsale de la cheville ainsi qu'à la supination et à l'adduction du pied. Il favorise la verticalisation du premier métatarsien. Son tendon est palpé entre les tendons du *tibial antérieur* en dedans et du *long extenseur des orteils* en dehors.

• *Le court extenseur des orteils* assure l'extension de l'articulation des quatre premiers orteils; le corps musculaire est palpé dans la région médiotarsienne latérale.

• *Le troisième fibulaire* (anciennement muscle péronier antérieur) est un petit muscle inconstant et distal de la partie antérolatérale de la jambe. Il est parfois considéré comme étant une partie du long extenseur des orteils. Il s'insère en distal sur la face dorsale de la base du cinquième métatarsien, il est releveur du pied et rotateur latéral. Il est innervé par le nerf fibulaire profond.

Groupe des muscles fléchisseurs plantaires

Il comprend les muscles *triceps sural* (soléaire et gastrocnémiens), *long fléchisseur des orteils*, *long fléchisseur de l'hallux* et le groupe des *muscles intrinsèques* de la plante. Ils sont innervés directement par le nerf tibial sous la dépendance principale des racines S1 et S2.



Figure 1. Épreuve de marche sur la pointe des pieds.

• *Le triceps sural* est fléchisseur plantaire du pied; le testing analytique sur le plan du lit doit toujours être complété par une évaluation fonctionnelle en demandant au sujet de marcher sur la pointe des pieds. On évalue la force 0/1/2 en décubitus ventral en demandant une flexion plantaire du pied sans et avec résistance. Pour 3/4/5, le patient est debout, sur la pointe des pieds (3), avec une résistance sur les épaules (4/5). La marche sur la pointe des pieds (figure 1) permet aussi de mesurer l'angle mort, qui est la différence entre l'angle de flexion plantaire maximal et l'angle de flexion plantaire réellement utilisé par le patient au cours de cet exercice s'il existe une faiblesse surale, surtout si elle est unilatérale. L'épreuve du saut monopode sur la pointe et du saut comparatif n'évalue pas seulement la force du triceps, mais montre bien l'aisance avec laquelle le patient peut utiliser son triceps sural (figure 2). Pour évaluer surtout le soléaire, l'évaluation de la flexion se fait genou fléchi, c'est le test de Silferskiöld (qui détend les gastrocnémiens) [figure 3].

• *Le long fléchisseur des orteils*, et *le long fléchisseur de l'hallux* fléchissent les IP distales des orteils, participent par le mouvement d'enroulement à la flexion de l'articulation interphalangienne proximale (IPP) et

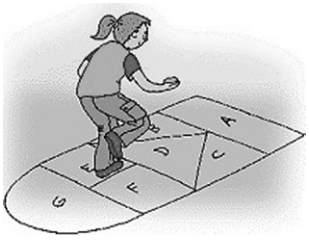


Figure 2. Saut monopode (test rapide et précieux).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 3. Test de Silferskiöld.

de l'articulation MP. Ils sont aussi fléchisseurs plantaires de la cheville, et plus accessoirement supinateurs et adducteurs du pied. *Le long fléchisseur de l'hallux* a un attelage à la plante avec le *long fléchisseur des orteils*; la flexion de l'hallux peut entraîner ainsi une flexion des deuxième et troisième orteils. Par ailleurs, le *muscle carré plantaire* s'insère sur les tendons distaux du *long fléchisseur des orteils* et provoque exactement le même mouvement. La distinction entre une flexion des IPP des quatre orteils latéraux, d'origine intrinsèque ou extrinsèque, est très difficile à réaliser. La comparaison du testing au maximum de l'équin (pour détendre les extrinsèques) et en position neutre peut orienter. En cas de doute, il faut faire un testing avant et après un bloc anesthésique sélectif de la partie terminale du nerf tibial, réalisé en arrière de la malléole médiale.

- *Les muscles intrinsèques* de la plante sont difficiles à évaluer. Le testing porte sur le *court fléchisseur des orteils*, qui fléchit l'articulation IPP des quatre derniers orteils, et le *court fléchisseur de l'hallux*, qui fléchit l'articulation MP du gros orteil. Lors d'une paralysie du *long fléchisseur de l'hallux*, le *court fléchisseur* des orteils fléchit l'articulation IPP mais la phalange terminale reste en extension.
- Les muscles *abducteurs* et *adducteurs du gros orteil*, les *lombricaux* et *interosseux* sont testés en demandant au sujet un écartement et un rapprochement des orteils ainsi qu'une flexion des articulations MP. Les *interosseux* et les *lombricaux* peuvent aussi être testés en faisant une épreuve de marche sur les talons. La dorsiflexion active de la cheville est impossible si ces muscles sont lésés, même si les releveurs sont très puissants.

Groupe des muscles stabilisateurs latéraux

En dehors, les stabilisateurs latéraux sont les muscles *court et long fibulaires*. Ils sont innervés par le nerf fibulaire superficiel, branche du nerf fibulaire commun et sous la dépendance de la racine L5. *Le long fibulaire* est fléchisseur plantaire, pronateur et abducteur du pied. *Le court fibulaire* n'est que pronateur et abducteur du pied. La distinction entre les deux fibulaires s'effectue en testant l'abduction du pied, cheville à angle droit pour le *court fibulaire*, et en demandant une flexion-abduction-pronation du pied pour le *long fibulaire*, qui s'accompagne d'une verticalisation du premier métatarsien.

En dedans, le stabilisateur médial est le muscle *tibial postérieur* innervé par le nerf tibial et sous la dépendance des racines L4 et L5. Ce muscle est adducteur, supinateur du pied, mais il constitue aussi un puissant fléchisseur plantaire. Son tendon est parfaitement perçu en arrière de la malléole médiale. En cas de déficit partiel (0/1/2), il faut faire attention à la compensation par le *long fléchisseur des orteils* et *le long fléchisseur de l'hallux*.

Muscles proximaux du membre inferieur

Le testing du pied doit être associé à un testing de l'ensemble des muscles proximaux avec un triple but :

- évaluer l'importance d'un déficit radiculaire en examinant les muscles proximaux, qui sont innervés par les mêmes racines que les muscles du pied. Le *semi-tendineux* et le *semi-membraneux* sont innervés par la racine L5, le *biceps fémoral* par la racine S1. L'innervation des muscles fessiers est assurée par la racine L5 pour le *gluteus medius* et la racine S1 pour le *gluteus maximus*;
- rechercher une possible compensation d'un déficit du pied par la qualité des muscles proximaux : par exemple, des muscles *fléchisseurs de hanche* puissants facilitent le passage du pas en cas de steppage, un *gluteus maximus* efficace entraîne une rétroposition du fémur et du genou, ce qui peut pallier une paralysie du *soléaire*;
- profiter d'une déformation du pied pour compenser un déficit sus-jacent : par exemple, utilité de l'équin pour le verrouillage mécanique du genou en cas de déficit du quadriceps.

Interprétation et intérêts du testing

Diagnostic topographique d'une atteinte paralytique médullaire et périphérique

Lors d'une atteinte paralytique ou paraparétique, le testing musculaire permet de localiser le niveau de l'atteinte, radiculaire ou tronculaire, en fonction des muscles déficitaires [3].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Atteinte radiculaire L4-L5

Le testing met en évidence, dans ce type d'atteinte, une paralysie des muscles releveurs, des *fibulaires*, du *tibial postérieur*, mais aussi des *ischiojambiers médiaux* (*semi-tendineux* et *semi-membraneux*) et du *gluteus medius*.

Atteinte radiculaire S1

Elle s'accompagne d'une paralysie du *triceps sural*, du *biceps fémoral*, du *gluteus maximus*. Les *fléchisseurs des orteils* peuvent être parétiques ou intacts, leur innervation relevant alors de S2. L'intégrité du *tibial postérieur* permet d'éliminer une atteinte du nerf tibial.

Atteinte du nerf fibulaire commun

Elle est fréquente, le plus souvent au col de la fibula mais parfois plus haut, au bassin dans sa partie sciatique. L'intégrité du *tibial postérieur* (innervé par le nerf tibial), la paralysie du *tibial antérieur*, du *long extenseur des orteils*, du *long extenseur de l'hallux*, du *court extenseur des orteils* et des *muscles fibulaires* permet d'affirmer l'atteinte isolée du nerf fibulaire commun.

Il faut signaler que le *chef court du biceps fémoral* est innervé par une collatérale du nerf fibulaire commun, naissant au bassin. La parésie de ce muscle (bien que difficile à mettre en évidence) permet de localiser l'atteinte du nerf fibulaire commun au niveau du bassin.

Atteinte du nerf tibial

Elle est de diagnostic aisé sur la constatation d'une parésie du *triceps sural*, du *tibial postérieur*, du *long fléchisseur des orteils, des intrinsèques* du pied. Lorsque l'atteinte du nerf tibial est plus distale, on constate juste une parésie du *soléaire*, car les *gastrocnémiens* ont déjà reçu leur innervation en amont.

Atteinte du nerf fibulaire superficiel

Non exceptionnelle au col de la fibula, elle se traduit par une paralysie des muscles *fibulaires*. La différence avec une atteinte sélective L5 est aisée devant l'intégrité du muscle *long extenseur des orteils*.

Atteinte du nerf fibulaire profond

Elle est facilement diagnostiquée devant l'atteinte élective des muscles releveurs, alors que les *fibulaires* et le *tibial postérieur* restent intacts.

Évaluation des possibilités de transfert tendineux

Face à une atteinte paralytique du pied, qu'elle soit d'origine centrale ou périphérique, lorsqu'une chirurgie de transfert tendineux est envisagée, le testing musculaire revêt un intérêt capital.

Principes généraux issus du testing

Selon la loi de Scherb, tout transfert d'un muscle en antagoniste est voué à l'échec, sauf si tous les muscles synergiques du muscle paralysé le sont également. En effet, la moindre contraction d'un des muscles synergiques du muscle dont la paralysie est palliée par transfert d'un antagoniste inhibe la contraction de cet antagoniste. Le testing permet donc, avant un transfert, de s'assurer de la paralysie complète de l'ensemble des muscles synergiques. En outre, la paralysie du muscle ou du groupe musculaire visé doit être définitive pour éviter tout déséquilibre secondaire si le muscle paralysé récupérait. Enfin, le muscle transférable doit être au moins coté à 3+ ou 4, car il existe toujours une perte de force du muscle transféré, liée à la modification des conditions anatomophysiologiques de son fonctionnement.

Au total, le testing va permettre de hiérarchiser les muscles transférables. Par exemple, s'il existe un déficit de la loge antérieure avec steppage, on a la possibilité de transférer : *le muscle tibial postérieur*, *le long fléchisseur des orteils*, *le long fléchisseur de l'hallux* ou l'un des muscles *court* ou *long fibulaires*.

En cas de lésions centrales

Les transferts chez le patient présentant des séquelles de paralysie centrale reposent certes sur des bases techniques identiques à celles des paralysies nerveuses périphériques, mais les critères de choix des transferts et les résultats sont très différents [4]. En effet, il convient de transférer un muscle qui se cocontracte dans le cadre du mouvement recherché en situation fonctionnelle. Ce muscle peut avoir une contraction soit analytique, soit syncinétique, et peut être lui-même hypertonique. Le testing doit dans ces cas renseigner, certes, sur la force du muscle transférable, mais aussi et surtout sur le moment où il se contracte à la recherche d'une synergie d'action.

En cas de lésions neurologiques évolutives

Le testing et sa répétition dans le temps permettent de faire des hypothèses sur l'évolutivité du déficit des différents muscles. Les résultats doivent être interprétés au regard

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

de l'évolution connue de certaines pathologies. Mais chaque cas est particulier. Il est donc impératif que les testings dans les pieds neurologiques déficitaires aident à l'étude rigoureuse des différentes hypothèses de transfert. Le muscle transféré pourrait-il avoir une meilleure utilité dans le cadre de l'évolution de la maladie ?

Par exemple, il est plus important de renforcer un *triceps sural* déficitaire que des releveurs absents. Dans ce cas, on préférera conserver le muscle *tibial postérieur* ou les *fléchisseurs d'orteils* pour les transférer sur le *triceps sural* plutôt que de les placer sur le dos du pied.

Conclusion

Le testing musculaire fournit des renseignements indispensables dans les atteintes paralytiques du pied en permettant un diagnostic topographique précis, une surveillance de la récupération et, enfin, en guidant la chirurgie de transfert tendineux dans les atteintes périphériques ou centrales. Associé à l'évaluation de la sensibilité du pied, il est une étape essentielle de l'examen clinique du patient.

Références

1 Hérisson C, Simon L. Le pied neurologique de l'adulte. Monographie de podologie. Paris : Masson ; 1996.

2 Lacote M, Chevalier AM, Miranda A, Bleton JP. Évaluation clinique de la fonction musculaire. 2e éd. Paris : Maloine ; 1990.

3 Laburthe-Tolra Y, Seringe R, Dubousset J. Sémiologie neuro-orthopédique illustrée. Paris : Springer ; 2001.

4 Denormandie P, Trincat S, Genet F. Place de la chirurgie dans le traitement des complications neuro-orthopédiques multiples des membres inférieurs du patient cérébrolésé. Neuro-orthopédie des membres après cérébrolésion grave. Paris : Masson ; 2009.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Radiologie et imagerie

R. SERINGE[1], J.-L. BESSE[2]

Introduction

Les radiographies standard du pied s'intègrent dans la démarche diagnostique, le suivi et l'évaluation des résultats des traitements chirurgicaux ou non du pied et de la cheville.

Excepté pour la traumatologie, et les incidences obliques complémentaires, les radiographies doivent être réalisées en charge et comparatives (droite et gauche) ; cela permet de chiffrer les déformations souvent asymétriques et de dépister des anomalies articulaires : subluxation, pincements articulaires débutants ou bâillements articulaires. Pour les patients ne pouvant rester debout, elles sont réalisées en position couchée, genoux fléchis, pieds à plat sur la table d'examen pour simuler l'appui ou, mieux, en position assise en appuyant sur les genoux fléchis à 90°. De plus, afin de permettre des mesures de longueur, ainsi que pour planifier la chirurgie (calcul des raccourcissements, évaluation de la taille du matériel d'ostéosynthèse ou prothétique), elles doivent toujours être à « l'agrandissement » 100 %. Chez l'enfant, cette exigence est incontournable à cause de la croissance. Avec la diffusion des radiographies numérisées, c'est une condition de plus en plus difficile à obtenir des radiologues ; elle doit être clairement précisée sur les prescriptions de radiographies du pied.

De nombreux paramètres angulaires ou de longueur ont été proposés dans la littérature. Cependant, la reproductibilité intra- et interobservateur des mesures manuelles [1, 2] engendrerait des erreurs de 6 à 20 %, soit 4 à 6° et 1 à 2 mm. De plus, les repères pour tracer les axes sont souvent non précisés dans les travaux cliniques.

Au cours de ces dernières années, des logiciels de mesure semi-automatisée des radiographies se sont développés [3], qui permettent d'en améliorer la reproductibilité. Cependant, il restera toujours des erreurs liées au repérage de certains points sur les clichés, mais également à la réalisation technique des radiographies et à la position du patient ; aussi ces mesures radiographiques doivent-elles toujours être confrontées aux données de l'examen clinique.

Peu de travaux ont rapporté simultanément l'ensemble des paramètres radiologiques des pieds normaux, aussi bien chez l'adulte [4, 5] que chez l'enfant [6, 7].

Radiographies des pieds en charge (adulte, adolescent et grand enfant)

Chez l'adulte, l'adolescent et le grand enfant (à partir de 7 ans), l'étude radiographique est pratiquement similaire. Elle se fait sur un sujet debout en charge, dans les trois plans, et doit être bilatérale : face dorsoplantaire (plan horizontal) précisant non seulement les déformations bien connues de l'avant-pied mais aussi le médio-pied, l'arrière-pied et les deux colonnes longitudinales ; profil (plan sagittal) apportant des informations sur la statique du pied (creux/plat), sur le tarse médial et l'arrière-pied ; cheville de face (plan frontal) analysant la statique de l'arrière-pied et de la cheville.

Incidence dorsoplantaire des deux pieds en charge (figures 1 et 2)

Protocole

Cette radiographie comporte deux difficultés : contrôler l'inclinaison du rayon et obtenir une image homogène de l'avant-pied et de l'arrière-pied. Avec l'utilisation de filtres et surtout le développement des clichés numérisés, la visualisation homogène de l'ensemble du pied est aujourd'hui plus facile à obtenir et a rendu inutile la technique de la double exposition.

Le protocole radiographique doit être strict : face dorsoplantaire en charge, distance source-plaque de 1 m, rayon incident incliné de 15 à 20°. Le plus souvent, les tibias doivent être verticaux ; mais si on veut que la charge soit plus importante sur l'avant-pied, on choisit la position « schuss ». Toutefois, lors des études

[1] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, centre hospitalier Lyon Sud, 69495 Pierre-Bénite cedex.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

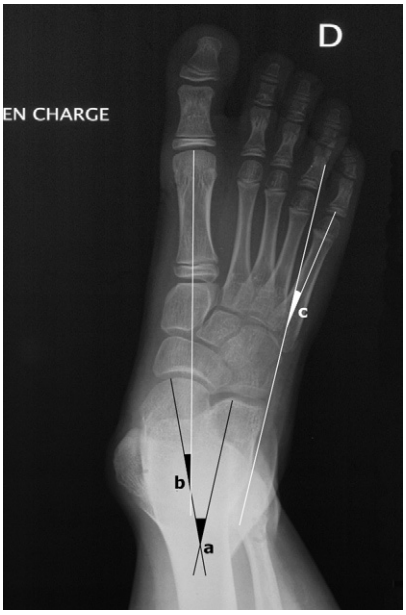


Figure 1. Mesures de base sur la radiographie de face dorsoplantaire des deux pieds en charge.
a. Divergence talocalcanéenne. **b.** Angle talus M1. **c.** Angle calcaneus M5.



Figure 2. Autres mesures sur la radiographie de face dorsoplantaire.
a. Angle de couverture talonaviculaire. **b.** Angle cunéo-M1.

de reproductibilité de cette incidence, nous avons montré avec FootLog™ (logiciel de mesure semi-automatisée des radiographies du pied [8]) que les variations de l'angle du rayon incident de 0 à 20° (0°–10°– 20°) sur la prise de radiographie de face dorsoplantaire d'un pied donné entraînaient des variations nettes de la longueur de M1 et de l'angle C1M1.

Il existe des critères permettant de vérifier a posteriori qu'une radiographie a bien été prise avec un rayon incident de 15 à 20° : interligne de l'articulation C1-M1 nettement visible, aspect arrondi des têtes de M2 et M3.

Mesures radiographiques

Nous décrirons les principaux paramètres les plus utilisés dans l'évaluation des pathologies de l'arrière-pied et du médio-pied en excluant les paramètres spécifiques de l'avant-pied (traités dans la monographie SOFCOT n° 89).

Divergence talocalcanéenne (figure 1)

Cet angle mesuré entre l'axe longitudinal du talus et celui du calcaneus est normalement compris entre 15 et 25°. L'axe du talus est défini par la ligne joignant le milieu du bord antérieur de la tête au milieu du bord postérieur du talus. L'axe du calcaneus est défini par la ligne joignant le milieu de la grande apophyse au milieu de la tubérosité postérieure. L'augmentation ou la diminution de cette divergence traduit le valgus ou le varus de l'arrière-pied.

Angle talus-1er métatarsien (figure 1)

Cet angle mesuré entre l'axe longitudinal du talus et l'axe longitudinal du 1er métatarsien est voisin de 0° mais, normalement, l'axe longitudinal du 1er métatarsien passe un peu en dehors de celui du talus, la valeur pouvant aller jusqu'à 10° chez le grand enfant et un peu moins chez l'adulte. Dans la littérature, cet angle est considéré comme l'élément de référence principal pour apprécier une adduction ou une abduction médiotarsienne [6,7]. En réalité, cet angle peut être modifié à plusieurs niveaux, non seulement médiotarsien mais aussi naviculocunéen, cunéométatarsien et sous-talien (voir le chapitre 1.4). Cet angle a donc une valeur de débrouillage tout à fait fondamentale, mais n'a aucune valeur localisatrice pour savoir où est le défaut, qui peut d'ailleurs siéger à plusieurs niveaux différents selon des modalités qui varient d'un cas à l'autre [9]. Le paramètre suivant permet mieux d'apprécier la responsabilité du médio-pied et de l'avant-pied ainsi que la localisation exacte du trouble.

Angle calcaneus-5e métatarsien (figure 1)

Cet angle est évalué entre l'axe longitudinal du calcaneus et l'axe longitudinal du 5e métatarsien : il est normalement

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

voisin de 0°, car il y a un alignement souvent parfait entre le calcaneus, le cuboïde et le 5e métatarsien. En cas de modification en abduction ou en adduction, le défaut peut être situé seulement à deux niveaux, cuboïdométatarsien et/ou calcanéocuboïdien. Plus l'enfant est âgé, et s'il s'agit d'un adolescent ou d'un adulte, il est assez facile de voir exactement où siège le défaut du fait de l'avancée de la maturation osseuse [9].

Angle de couverture talonaviculaire (figure 2)

Cet angle est évalué entre l'axe longitudinal médian du talus et la perpendiculaire au milieu de la ligne unissant les deux extrémités postéromédiale et postérolatérale de l'os naviculaire [7]. Contrairement à l'opinion de Davids [7], cet angle n'évalue pas seulement les défauts du médio-pied mais aussi les défauts de rotation du bloc calcanéopédieux sous le talus (donc, des défauts dans l'arrière-pied).

Angle cunéo-1er métatarsien (figure 2)

Cet angle est mesuré entre une perpendiculaire au bord médial de l'os cunéiforme médial et l'interligne articulaire entre la base du 1er métatarsien et le cunéiforme médial. Sa valeur normale est de 10 à 20°. En cas d'augmentation, il traduit un metatarsus varus. En réalité, il est très influencé par l'orientation du rayon incident [10] : élevé lorsque l'inclinaison est nulle (rayon perpendiculaire au pied), il diminue lorsque le rayon est incliné de 20°.

Longueur des deux colonnes (voir la figure 5 du chapitre « Analyse segmentaire des déformations », à la page 77)

Contrairement à certains travaux qui évaluent la longueur respective des deux colonnes sur une incidence de profil [7], il est préférable de faire cette évaluation sur la radiographie de face, car il n'y a pas de superposition radiologique et la distance entre la plaque et chacune des colonnes n'est guère différente (ce qui n'est pas le cas sur la radiographie de profil). L'évaluation se fait d'une extrémité distale du 1er métatarsien au bord postérieur du calcaneus comparé à la distance entre l'extrémité distale du 5e métatarsien et le bord postérieur du calcaneus. En réalité, aucune mesure n'est nécessaire, car c'est l'évaluation d'une coudure de la colonne externe et son sens qui permettent de repérer une dysharmonie de croissance des deux colonnes. Si la colonne latérale est convexe en dehors, elle est plus longue que la colonne médiale. Si, au contraire, elle est concave en dehors, c'est la colonne médiale qui est la plus longue. Cela aura donc une conséquence directe sur le choix d'une intervention chirurgicale correctrice pour allonger ou raccourcir une colonne par rapport à l'autre.

Incidence de profil du pied en charge (figures 3 à 6)

Protocole

Le sujet est debout, en station bipodale. La plaque est placée à la face médiale de la cheville, le rayon incident horizontal est centré au niveau du naviculaire. Comme pour l'incidence dorsoplantaire, si on souhaite une étude plus approfondie de l'avant-pied, on adopte la position « schuss ».

Mesures radiographiques

Les radiomensurations ne sont exactes que si l'ensemble du pied est strictement de profil, condition difficile à réaliser s'il existe un adductus ou un abductus très prononcé de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied. La plupart des mensurations sont complexes [4] et peu utilisées. Nous ne détaillerons que les plus utilisées, en particulier dans le bilan d'un pied plat ou creux.

Projection de la malléole fibulaire par rapport au tibia

Il faut s'attacher à évaluer une éventuelle rétroposition et une éventuelle ascension de la malléole fibulaire. Normalement, il y a un empiètement de la malléole fibulaire qui peut déborder de quelques millimètres en arrière du bord postérieur du tibia. Si le débord est plus important, cela signifie, alors que la technique radiologique de profil est correctement faite, que la cheville est vue de trois quarts et qu'il y a donc une adduction, en général dans le complexe articulaire sous-talien. Contrairement à une opinion trop répandue, cela ne signifie pas qu'il s'agit d'une torsion latérale du squelette jambier (qui, cependant, peut être associée au trouble rotatoire sous-talien) [9].

L'ascension de la malléole fibulaire est facilement repérée chez le grand enfant et l'adolescent car, normalement, le cartilage de croissance fibulaire se trouve au même niveau que l'interligne articulaire tibiotalien, c'est-à-dire nettement plus bas que le cartilage de croissance distal du tibia. Toute ascension de la malléole fibulaire traduit dans une certaine mesure une dysharmonie de croissance entre tibia et fibula, avec comme conséquence un valgus tibial qui sera bien étudié sur la radiographie de face de la cheville.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

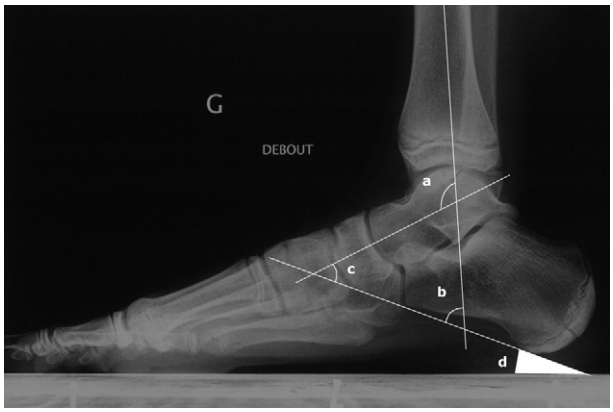


Figure 3. Évaluation de l'articulation talocrurale et de l'arrière-pied sur la radiographie de profil du pied en charge. a. Angle tibiotalien. b. Angle tibiocalcanéen. c. Divergence talocalcanéenne. d. Incidence du calcaneus.

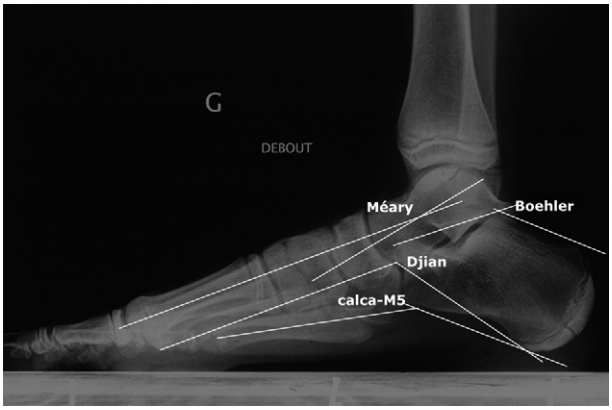


Figure 4. Autres mesures sur la radiographie de profil.

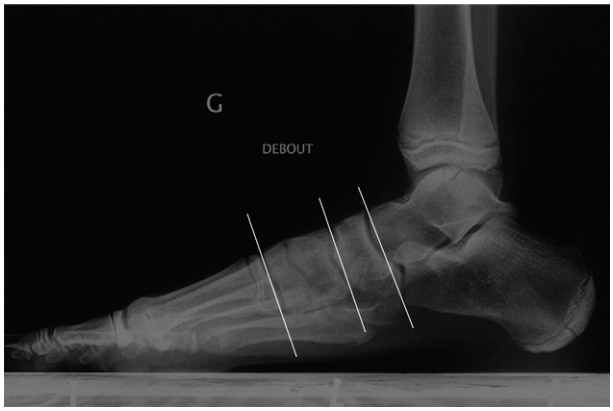


Figure 5. Parallélisme des lignes articulaires talonaviculaire, naviculocunéenne et cunéométatarsienne.

Angle tibiotalien (figure 3)

Cet angle évalué entre l'axe longitudinal du tibia et l'axe longitudinal du talus est normalement de 110° chez le sujet en charge debout avec le tibia bien vertical. Si cet angle est inférieur à 110°, cela signifie une dorsiflexion de l'arrière-pied. Si, au contraire, cet angle est plus important, c'est qu'il y a un certain équinisme de l'arrière-pied ou au moins une flexion plantaire du talus par rapport au tibia.

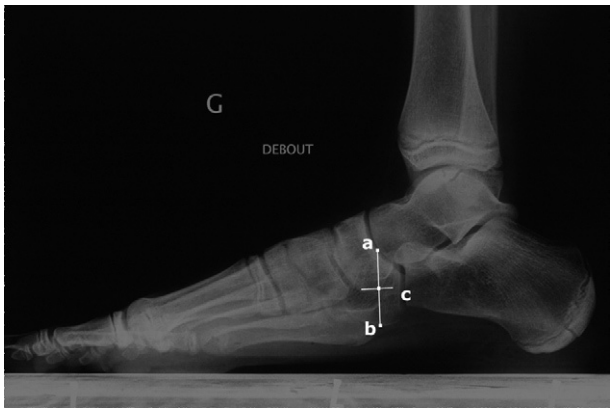


Figure 6. Superposition naviculocuboïdienne.
Les points *a* et *b* correspondent aux bords supérieur et inférieur du cuboïde ; le point *c* au bord inférieur du naviculaire. Plus le rapport *ac/ab* est grand, plus le médio-pied est en pronation.

Angle tibiocalcanéen (figure 3)

Cet angle est évalué entre l'axe longitudinal du tibia et le bord inférieur du calcaneus. Il est normalement compris entre 65 et 75°. La diminution ou l'augmentation de cet angle ont la même signification que pour l'angle tibiotalien.

Divergence talocalcanéenne (figure 3)

Cet angle, évalué entre l'axe longitudinal du talus et celui du calcaneus (ou le bord inférieur du calcaneus selon les auteurs), est normalement compris entre 25 et 40°. Il est plus important chez l'enfant que chez l'adulte. Son augmentation témoigne d'un valgus de l'arrière-pied. Sa diminution témoigne d'un varus de l'arrière-pied.

Angle d'incidence du calcaneus (figure 3)

Encore appelé « pente calcanéenne » ou « *pitch angle* », il est évalué entre l'horizontale et le bord inférieur du calcaneus. Sa valeur moyenne est de 15 à 20°. Son augmentation peut être en rapport avec un morphotype de pied cambré (voir le chapitre « Morphotypes » page 58) ou avec une dorsiflexion de l'arrière-pied. Inversement, la diminution de la pente calcanéenne peut être liée à un morphotype de pied plat ou à un équinisme de l'arrière-pied.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Angle talométatarsien de Méary (figure 4)

Normalement, l'axe diaphysaire du 1er métatarsien et l'axe du talus (bissectrice de l'angle formé par les tangentes aux bords supérieur et inférieur du talus) sont alignés. Le siège de la « cassure » indique le niveau prédominant de la déformation articulaire d'un pied plat ou d'un pied creux.

Angle calcaneus-5e métatarsien (figure 4)

Cet angle évalué entre le bord inférieur du calcaneus et l'axe longitudinal du 5e métatarsien donne une appréciation sur la cambrure de la colonne latérale et est normalement compris entre 130 et 140°.

Angle de Djian et Annonier (figure 4)

Cet angle est formé par l'intersection de deux droites (point le plus bas du calcaneus–point le plus bas de la talonaviculaire–pôle inférieur de l'os sésamoïde médial de l'hallux) au point le plus bas de l'articulation talonaviculaire. Il varie normalement entre 120 et 125°. Il est inférieur à 120° en cas de pied creux, supérieur à 125° en cas de pied plat. Cet angle donne une orientation globale sur la forme du pied et ne permet pas de savoir exactement où se situe la déformation anatomique.

Angle de Boehler (figure 4)

L'angle de Boehler (partie supéropostérieure de la grosse tubérosité–point postérosupérieur du thalamus–point supérieur de la grande apophyse) a un intérêt uniquement dans l'évaluation des résultats du traitement.

Parallélisme des lignes articulaires talonaviculaire, naviculocunéenne, cunéométatarsienne (figure 5)

Ces trois lignes articulaires sont faciles à dessiner et sont normalement parallèles entres elles et perpendiculaires à l'axe talométatarsien de Méary. Toute obliquité de ces lignes permet de déterminer quelle structure osseuse est déformée et dans quel sens : le cunéiforme médial, l'os naviculaire, en creux ou au contraire en pied plat ou convexe.

Superposition naviculocuboïdienne [7] (figure 6)

Il faut définir la ligne verticale rejoignant le bord supérieur et le bord inférieur du cuboïde, et ensuite marquer le point correspondant au bord inférieur du naviculaire. Ainsi, on peut disposer du rapport étudiant la portion d'os naviculaire qui se superpose au cuboïde ramenée à un pourcentage. Plus le pourcentage est grand, plus le médio-pied est en pronation et inversement, plus le pourcentage est faible, plus le médio-pied est en supination.

Incidence des deux chevilles de face en charge (figure 7)

Protocole

Le sujet est debout, en station bipodale, le bord médial des deux pieds joints, les talons surélevés par une cale radiotransparente. Elle permet d'étudier l'état de l'articulation talocrurale. L'utilisation de cerclage du talon (technique de Méary) ou de repères opaques à

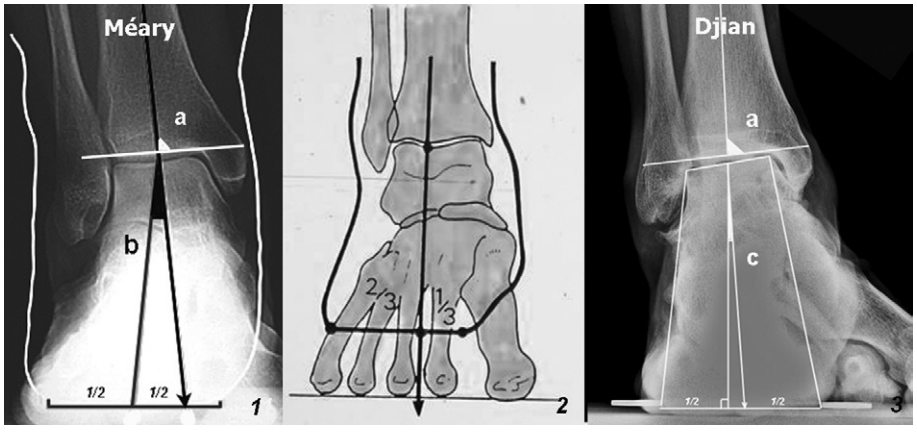


Figure 7. Radiographie des deux chevilles de face en charge. 1,2. Méthode de Méary. a : angle tibial épiphysaire ; b : axe de l'arrière-pied par rapport à l'axe jambier. 3. Méthode de Djian. a : angle tibial épiphysaire ; c : axe de l'arrière-pied par rapport à la surface talienne supérieure.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

l'aplomb des malléoles (technique de Djian) permet de déterminer le valgus de l'arrière-pied, le plan de référence étant le plan d'appui du talon matérialisé par les repères métalliques. Idéalement, les deux chevilles sont radiographiées séparément avec un rayon incident centré sur le troisième rayon ; radiographiées ensemble, le rayon est centré entre les deux pieds qui sont joints. Cette incidence est de réalisation difficile et sa reproductibilité est discutée ; elle n'est pas utilisée par les Anglo-Saxons qui lui préfèrent l'incidence de Cobey [11], plus récemment celle de Saltzman [12].

Mesures radiographiques

Horizontalité de l'interligne articulaire tibiotalien

Il s'agit d'une évaluation du bord supérieur du dôme talien par rapport au sol ; normalement, il y a un parallélisme parfait. S'il y a une obliquité, il faut rechercher une anomalie sus- et/ou sous-jacente, d'où l'intérêt de l'étude des autres paramètres et, si nécessaire, de la pangonométrie des deux membres inférieurs.

Angle tibial épiphysaire (figure 7a)

Cet angle, évalué entre l'axe anatomique du tibia et le bord inférieur du pilon tibial, est normalement de 90°. Si cet angle est fermé à angle aigu vers la fibula, cela correspond à un valgus métaphysoépiphysaire du tibia, souvent associé à une ascension de la malléole fibulaire également bien visible sur le cliché de face. Si cet angle est fermé du côté de la malléole tibiale, cela indique un varus métaphysoépiphysaire du tibia distal.

Méthode de Méary pour évaluer la position du calcaneus en varus ou en valgus

Avec la méthode de Méary (figure 7b), c'est l'axe vertical du tibia (axe jambier) qui sert à calculer le varus ou le valgus du calcaneus. Il passe normalement à l'union des deux tiers latéraux et du tiers médial du plan d'appui talonnier ; s'il passe en dedans, il existe un valgus calcanéen, en dehors, un varus calcanéen.

Méthode de Djian

Dans la méthode de Djian (figure 7c), on définit un quadrilatère d'appui de l'arrière-pied par rapport à la partie articulaire supérieure du talus. L'axe passant par le milieu de la base d'appui talonnier, par rapport à la perpendiculaire au sol passant par le milieu de la surface articulaire du dôme talien, définit le varus ou le valgus de l'arrière-pied ; il existe un valgus physiologique de 4 à 8°.

Pièges dans la radiologie du pied en charge

C'est un aspect important de la radiologie du pied.

Faux positifs

L'anomalie visible sur les clichés ne correspond pas à un défaut structurel :

- élévation de l'angle d'incidence du calcaneus sur le cliché de profil dans un pied creux antérieur : on pourrait croire que, du fait de l'augmentation de cet angle d'incidence, il s'agit d'un creux postérieur ; il n'en est rien, puisque cet aspect est en réalité la compensation obligatoire de l'arrière-pied pour un défaut structural de l'avant-pied de façon à rétablir des appuis plantaires normaux au sol. En effet, l'équin de l'avant-pied entraîne une dorsiflexion de l'arrière-pied pour rétablir l'appui talonnier ;
- aspect radiologique de profil montrant un creux avec un angle de Méary supérieur à 10° alors que le pied est normal : c'est la position en rotation latérale de la jambe au moment de la prise du cliché, qui s'accompagne à la fois d'une abduction du talus au-dessus du calcaneus et d'une dorsiflexion de l'arrière-pied ; cela creuse l'arche médiale (voir le chapitre « Concept de bloc calcanéo-pédieux », page 25).

Faux négatifs

Le défaut structurel est inapparent avec les exemples suivants :

- à cause d'une compensation, la supination de l'avant-pied, par exemple, va être complètement masquée par la pronation structurale par dévrillage du bloc calcanéopédieux dans les pieds plats valgus ;
- à cause d'une association à un autre défaut : par exemple lorsqu'il existe un creux antérieur indiscutable lors de l'examen clinique en charge, mais aussi une adduction à la fois de l'articulation médiotarsienne et du bloc calcanéopédieux, la radiographie de profil montre un angle de Méary nettement sous-estimé, car le 1er métatarsien et le talus ne sont pas dans le même plan, et ce faux négatif est fâcheux, car il rassure à tort le médecin sur l'importance du creux.

Incidences complémentaires

Certaines incidences complémentaires peuvent être utiles.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Incidence oblique de « trois quarts » du pied (figure 8)

Cette incidence oblique médiale permet l'analyse des articulations du médio-pied et du Lisfranc, encore appelée « incidence oblique déroulée du médio-pied ». Elle est très utile pour montrer une synostose calcanéonaviculaire.

Clichés dynamiques de la cheville en varus et valgus forcé (figure 9)

Dans le cadre des arthropathies de l'arrière-pied avec désaxation intra-articulaire de la cheville, les radiographies dynamiques de la cheville en varus et valgus forcés sont utiles pour juger de la réductibilité des déformations et évaluer la composante ligamentaire. Elles peuvent être réalisées soit manuellement, soit de façon instrumentale (type appareil de Telos).

Clichés dynamiques du pied et de la cheville en flexion dorsale et en flexion plantaire forcée (figure 10)

Ces clichés dynamiques permettent de chiffrer la mobilité véritable au niveau de la cheville (par rapport à celles de la sous-talienne et de la médiotarsienne). Ils peuvent être réalisés soit en charge, ce qui permet d'avoir une évaluation de la flexion dorsale optimale (mais qui peut faire sous-estimer la flexion plantaire), soit couché, permettant au contraire d'avoir plus facilement la flexion plantaire maximale ; aussi, dans le cadre d'une étude, le même protocole doit être utilisé avant et après chirurgie pour tous les patients.

Le cliché dynamique en flexion dorsale forcée passive permet de juger de la réductibilité partielle des grandes déformations en équin et de préciser à quels niveaux articulaires (cheville, articulation sous-talienne, médio-pied, Lisfranc…) prédominent les déformations, ce qui peut orienter la stratégie chirurgicale.



Figure 8. Incidence de trois quarts du pied.

Pangonométrie des deux membres inférieurs en charge (et scannimétrie)

Elle permet d'évaluer et de chiffrer les déformations sus-jacentes au pied et à la cheville, ainsi que les éventuelles inégalités de longueur.

Particularités des radiographies chez le jeune enfant (enfant qui marche jusqu'à 6 ou 7 ans)

Les radiographies en charge du jeune enfant sont réalisées de la même façon que chez l'adolescent ou l'adulte. Du fait d'une maturation osseuse plus jeune avec une

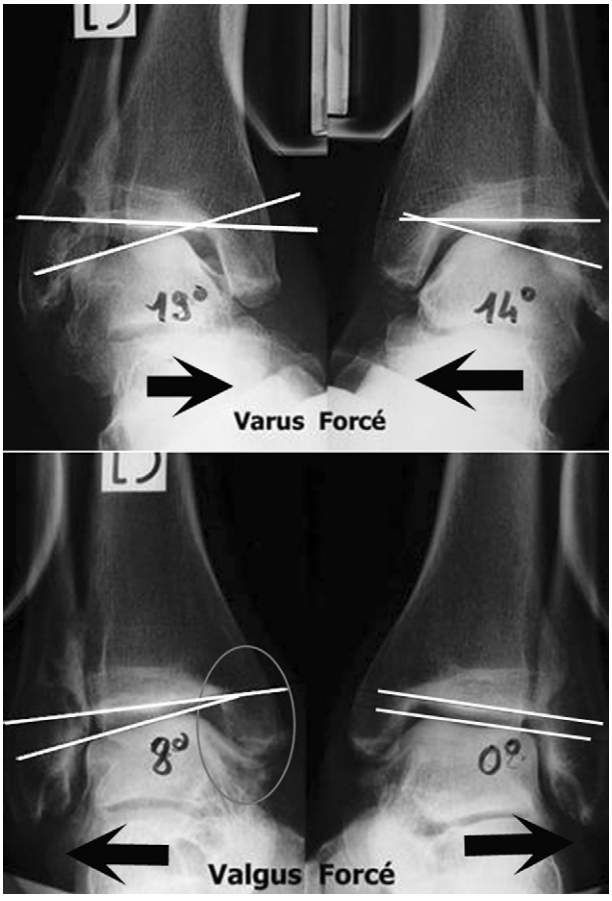


Figure 9. Radiographies dynamiques de la cheville en varus et en valgus forcé (afin de mesurer la laxité latérale et médiale et/ou de juger de la réductibilité d'une déformation).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 10. Radiographies dynamiques pied-cheville en flexion dorsale et en flexion plantaire forcée (angle tibiotalien en flexion dorsale et en flexion plantaire, la différence correspondant à la mobilité globale dans l'articulation talocrurale).

faible ossification, la reproductibilité des mesures radiographiques est plus délicate. En outre, l'absence d'ossification de l'os naviculaire avant 4 ans, en moyenne, rend impossible certaines mesures radiographiques comme la couverture talonaviculaire, l'angle naviculométatarsien, l'angle de Djian et Annonier, l'appréciation de la superposition naviculocuboïdienne et le parallélisme des lignes articulaires de la colonne médiale.

Tous les autres paramètres peuvent être mesurés, et il faut savoir que la divergence talocalcanéenne de face comme de profil est plus importante chez le jeune enfant et peut atteindre 40 à 45°.

Particularités des radiographies chez le nouveau-né et le nourrisson

Dans cette tranche d'âge, les radiographies ne sont donc pas faites debout en charge. Elles doivent être faites en position de correction par une personne qui a l'habitude de tenir les pieds, et l'idéal est de les faire avec un kinésithérapeute dans la meilleure position de correction avec des incidences strictes de face et de profil [9,13]. La technique est décrite au chapitre « Pied bot varus équin congénital », pages 97 et suivantes.

L'analyse des clichés se fait le plus simplement possible. Sur la radiographie de face, on apprécie trois angles :

- la divergence talocalcanéenne avec une valeur normale de 40° ;
- l'angle talus-1er métatarsien avec une valeur de 10 à 15° et un 1er métatarsien qui passe en dehors de l'axe du talus ;
- un angle calcaneus-5e métatarsien normalement de 0°.

Le cliché de profil en flexion dorsale maximale permet d'évaluer le degré de superposition tibiofibulaire, l'équinisme de l'arrière-pied par les angles tibiotalien et tibiocalcanéen, et enfin la divergence talocalcanéenne et l'aspect de la voûte plantaire par la ligne calcaneus-5e métatarsien, qui doit conserver une certaine concavité vers la plante et non pas une convexité.

Autres examens d'imagerie

Les autres examens d'imagerie (scintigraphie osseuse, scanner, arthroscanner, imagerie par résonance magnétique [IRM]) ne sont demandés qu'après un examen clinique précis et un bilan radiologique standard, afin de répondre à une question précise diagnostique ou thérapeutique.

Scintigraphie osseuse

Avec le développement des autres techniques d'imagerie, elle est moins utilisée aujourd'hui.

Elle conserve quelques indications :

- lorsque l'examen clinique et radiographique standard est peu informatif, elle peut permettre de diagnostiquer une lésion osseuse localisée (type tumeur osseuse…) ;
- elle est encore largement pratiquée pour confirmer une algodystrophie.

La double scintigraphie osseuse (simple puis aux polynucléaires marqués) demeure l'examen de référence pour le diagnostic des infections ostéoarticulaires.

L'avènement des techniques de scintigraphie couplée au scanner (Temp-scan) a donné un regain d'intérêt à la scintigraphie en permettant de définir précisément le siège de la lésion en termes fonctionnels (en particulier dans les arthropathies dégénératives).

Échographie

C'est un examen facile d'accès, peu coûteux mais très opérateur-dépendant, le chirurgien devant faire confiance au compte rendu d'examen sans pouvoir relire les images. En première intention, chez l'adulte et l'adolescent, elle est très utile pour le diagnostic de lésions tendineuses ou ligamentaires. Une autre indication est intéressante chez le nouveau-né et le nourrisson, puisque le naviculaire n'est pas ossifié : l'échographie permet de le localiser et de connaître

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

ses rapports vis-à-vis de la malléole tibiale ou vis-à-vis de la tête du talus, ce qui est très important dans certains problèmes orthopédiques congénitaux comme le pied bot varus équin congénital (voir le chapitre 2.1) [13].

Scanner

Les progrès technologiques, avec actuellement des scanners hélicoïdaux permettant une continuité des coupes transversales, des reconstructions 2D multiplanaires et 3D d'excellente qualité, ont permis sa diffusion. C'est l'examen de choix pour préciser les lésions osseuses, les pertes de substance osseuse, les atteintes sous-chondrales et pour comprendre dans les différents plans les déformations complexes de l'arrière-pied.

L'arthroscanner de la cheville reste le meilleur examen pour l'analyse fine du cartilage de la cheville.

Imagerie par résonance magnétique

C'est un examen très performant pour l'analyse des tissus mous (tendons, ligaments…), mais coûteux ; aussi, ses indications doivent être sélectionnées. Il est rarement indiqué en première intention, mais volontiers à titre préopératoire, où il est préféré à l'échographie par les chirurgiens.

L'IRM est également très performante pour évaluer les atteintes articulaires inflammatoires, en particulier au stade précoce ; elle est devenue le gold standard dans l'évaluation des arthropathies inflammatoires. C'est aussi un examen très utile pour apprécier la vitalité du talus et l'étendue d'une nécrose.

Références

1 Venning P, Hardy RH. Sources of error in the production and measurement of standard radiographs of the foot. Br J Radiol 1951 ; 24 : 18-26.
2 Saltzman CL, Brandser EA, Berbaum KS, Degnore L, Holmes JR, Katcherian DA, et al. Reliability of standard foot radiographic measurements. Foot Ankle 1994 ; 15 : 661-75.
3 Besse JL, Berthonnaud E, Moyen B, Dimnet JE. Semi-automated foot X-ray assessment, using the PIEDLOG software. In : Prendergast PJ, Lee TC, Carr AJ, éds. Proceedings of the 12th Conference of the European Society of Biomechanics ; Dublin. Royal Academy of Medecine in Ireland ; 2000. p. 139.
4 Steel MW, Johnson KA, Dewitz MD, Illstrup DM. Radiographic measurements of the normal adult foot. Foot Ankle 1980 ; 1 : 151-8.
5 Keim H, Ritchie G. Weight-bearing roentgenograms in the evaluation of foot deformities. Clin Orthop 1970 ; 70 : 133-6.
6 Vanderwilde R, Staheli L, Chew D, Malagon V. Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. J Bone Joint Surg (Am) 1988 ; 70 : 407-15.
7 Davids J, Whitney Gilbson T, Pugh L. Quantitative segmental analysis of weight-bearing radiographs of the foot and ankle for children. J Pediatr Orthop 2005 ; 25 : 769-76.
8 Montagne J, Chevrot A, Galmiche JM. Atlas de radiologie du pied. 2e éd Paris : Masson ; 1985.
9 Seringe R. Le pied bot varus équin congénital : étude radiologique. Ann Chir Inf 1977 ; 18 : 97-114.
10 Brage ME, Holmes JR, Sangeorzan BJ. The influence of X-Ray orientation on the first metatarsocuneiform joint angle. Foot Ankle Int 1994 ; 15 : 495-7.
11 Cobey J, Sella E. Standardizing methods of measuring foot shape by including the effects of subtalar rotation. Foot Ankle 1981 ; 2 : 30-6.
12 Saltzman C, El-Khoury G. The hinfoot alignment view. Foot Ankle Int 1995 ; 16 : 572-6.
13 Adamsbaum C, Tréguier C, Wicart P, Seringe R. Pieds bots congénitaux ou déformation congénitale des pieds. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Radiodiagnostic, 2008. 31-110-A-10.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Morphotypes

M. MAESTRO[1], R. SERINGE[2]

L'analyse de la littérature et l'expérience clinique nous conduisent à essayer de classer les différents morphotypes autres que ceux de l'avant-pied. Nous les envisageons sous quatre angles différents :
- les morphotypes squelettiques responsables de l'architecture globale du pied ;
- les morphotypes fonctionnels dépendant de l'anatomie des parties molles (appareil musculotendineux, ligaments et capsules articulaires) ;
- l'influence de la croissance sur les morphotypes de l'enfant ;
- les morphotypes du pied de l'adulte.

Morphotypes squelettiques

On peut les étudier selon les trois plans de référence en sachant que toutes les combinaisons sont possibles étant donné la multitude de variétés de pieds normaux indépendamment de toute déformation pathologique.

Dans le plan frontal

Le valgus calcanéen varie d'un individu à l'autre avec une moyenne de 7 à 8° : certains pieds ont un valgus relativement important atteignant ou dépassant 10°, d'autres ont un calcaneus très peu valgisé voire neutre sans qu'il existe, d'ailleurs, de déformation pathologique (figure 1). Le siège de cet excès ou de cette insuffisance du valgus calcanéen est le plus souvent sous-talien, mais il existe parfois aussi une composante tibiofibulaire avec obliquité de la mortaise tibiotarsienne. Seule l'incidence radiologique de face de la cheville en charge avec cerclage du talon selon Méary permet de faire la part des choses. Zollinger et Buchi ont examiné, chez des adultes de 18 à 50 ans, 1 000 pieds considérés comme normaux, sans aucun symptôme fonctionnel [1]. Parmi eux, il y avait un valgus talonnier excessif dans 9 % des cas et un varus dans 6 % des cas.



Figure 1. Morphotype avec valgus talonnier faible favorisant la survenue d'entorses à répétition chez un jeune homme de 18 ans dont la mère (avec le même morphotype) a eu une ligamentoplastie du ligament collatéral fibulaire.

Dans le plan horizontal

L'orientation du pied en forte abduction ou, à l'inverse, dans l'axe du genou, voire en légère adduction peut correspondre à des morphotypes liés à la constitution elle-même du pied mais aussi, et plus souvent, au sens et au degré de la torsion tibiofibulaire sus-jacente. L'angle du pas normal est habituellement en rotation latérale de 10 à 15°. Quand cet angle est supérieur à 20°, la pointe du pied tourne en dehors et quand cet angle du pas est inférieur à 5°, la pointe du pied tourne en dedans. Indépendamment du sens et du degré de la torsion tibiale, les variantes anatomiques dans le pied stricto sensu peuvent concerner divers paramètres : l'angle de déclinaison du talus [2], la divergence talocalcanéenne (abduction ou adduction sous-talienne), la non-rectitude du bord latéral du pied (avec une concavité ou au contraire une convexité dont les limites normales sont de 10°).

[1] Institut monégasque médicochirurgical du sport (IM2S), 11, avenue d'Ostenden, 98000 Monaco.
[2] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Dans le plan sagittal

Le pied peut revêtir une forme tantôt plate tantôt, au contraire, creuse ou cambrée, sans qu'il existe pour autant de déformations pathologiques. Il semble bien que l'angle d'incidence du calcaneus par rapport au sol induise ces différents morphotypes : un calcaneus très peu ascendant (inférieur à 10°) accompagne, en général, la variété plate du pied normal; à l'opposé, un calcaneus franchement ascendant (angle d'incidence supérieur à 25°) correspond volontiers à un pied cambré (figures 2 et 3).

Conséquences de ces différents morphotypes en pathologie du pied

Les différents paramètres étudiés ci-dessus peuvent se combiner de façon variée et à des degrés divers, aboutissant à un grand nombre possible de morphotypes de pieds normaux. Leur connaissance est indispensable, car une déformation pathologique et acquise (quelle qu'en soit sa cause, neurologique, dystrophique, par hyperlaxité tissulaire…) peut se développer sur un morphotype préexistant de forme tout à fait différente. Cela rend difficile l'interprétation des déformations cliniques et radiologiques. Par exemple, sur un morphotype de pied cambré (c'est-à-dire creux sur les deux arches médiale et latérale) peut parfois se développer un pied plat valgus avec effondrement de l'arche médiale et conservation d'un calcaneus fortement redressé par rapport à l'horizontale : c'est le pied plat-creux. Ailleurs, sur le même morphotype de pied cambré, peut se développer un pied cavovarus avec la déformation en hélice caractéristique surajoutée à un pied dont la colonne latérale est également creuse de façon préexistante. On pourrait citer bien d'autres exemples.

Morphotypes fonctionnels

L'élasticité du tissu capsuloligamentaire et la longueur des muscles sont des éléments constitutionnels (donc génétiques), extrêmement variés d'un individu à l'autre et d'une articulation ou d'un muscle à l'autre chez le même individu.

Amplitude de mobilités articulaires

Concernant la cheville, les études chez l'enfant normal de 7 à 14 ans [3] ont montré que l'amplitude de flexion dorsale de la cheville était en moyenne de 25° lorsque

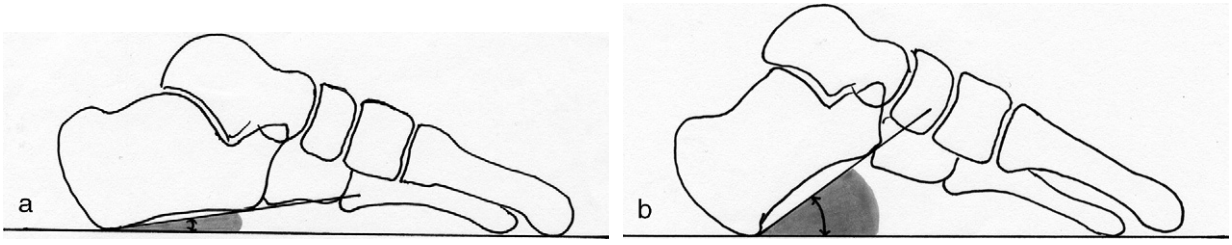


Figure 2. Morphotypes sagittaux selon l'angle d'incidence du calcaneus.
a. Incidence faible. **b.** Incidence forte.

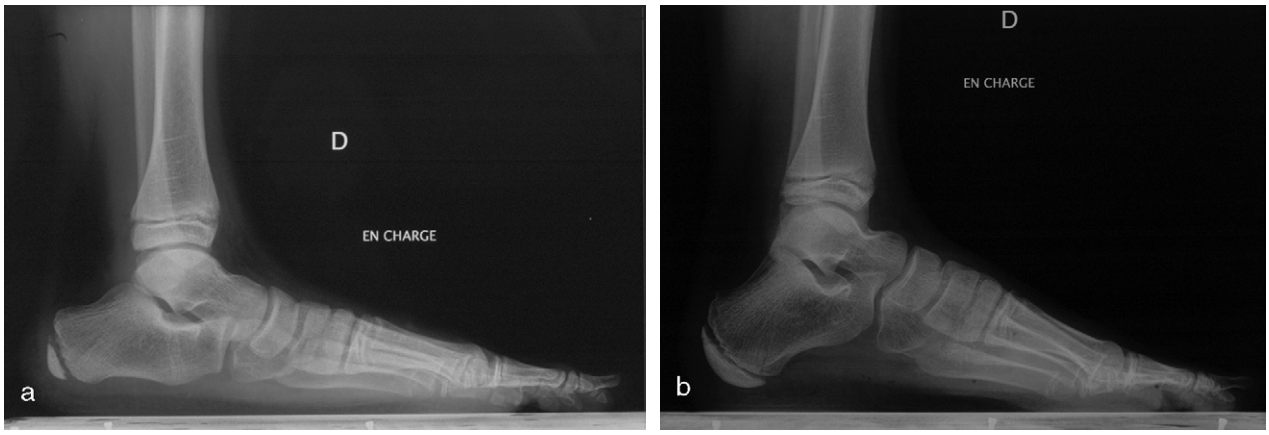


Figure 3. Exemples radiographiques de deux morphotypes sagittaux.
a. Variété plate du pied normal. **b.** Variété cambrée du pied normal.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

le genou était en extension et de plus de 40° lorsque le genou était fléchi. Ce qui est intéressant, ce sont les valeurs extrêmes : 5° pour la valeur minima avec le genou en extension et 46° pour la maxima avec également le genou en extension. Reimers [4] a mesuré différemment l'amplitude de flexion dorsale avec le genou en extension, l'arrière-pied neutre et l'avant-pied en adduction, et a trouvé des valeurs nettement plus faibles.

Un fait très important est que d'authentiques pieds planovalgus sévères peuvent être observés avec la conservation d'une dorsiflexion normale, voire excessive à cause de l'hyperlaxité ; inversement, beaucoup de sujets avec une dorsiflexion faible, de l'ordre de 10°, ne développent pas de pied planovalgus. Ainsi, la conséquence de ces morphotypes fonctionnels permet d'émettre un doute quant aux relations de cause à effet entre l'équinisme avec rétraction du triceps et le pied déformé en valgus.

L'étude de la mobilité sous-talienne est beaucoup plus difficile à chiffrer, mais l'expérience montre qu'il y a des sujets avec une mobilité considérable et d'autres avec une mobilité relativement réduite, et ceci indépendamment de toute déformation.

Longueur musculaire

Concernant le triceps, le problème est assez voisin de celui de la mobilité de la cheville en dorsiflexion, car plus l'amplitude de dorsiflexion est importante, plus l'extensibilité de l'unité musculotendineuse du triceps est importante. Reimers [4] a étudié la longueur du triceps en fonction de la forme du pied (plat, normal ou cambré). À l'âge de 4 ans, il n'a pas trouvé de différence significative car environ 20 % des pieds, quelle que soit leur forme, avaient un triceps jugé court alors qu'à l'âge de 14 ans, 77 % des pieds plats avaient un triceps court pour seulement 39 % des pieds cambrés et 56 % des pieds normaux.

Contrairement à une opinion répandue, il n'est pas du tout certain que la longueur musculotendineuse qui est programmée génétiquement puisse être influencée par la kinésithérapie avec des séances d'étirements. En revanche, des postures très prolongées, comme peuvent le faire les attelles nocturnes portées pendant plusieurs années, en particulier chez l'enfant, influencent notablement la longueur du triceps dans le sens favorable.

Influence de la croissance sur les morphotypes de pied de l'enfant

Engel et Staheli [5] ont montré en 1974 que le pied plat du jeune enfant se redressait spontanément avec la croissance. De même, la torsion tibiale qui était nulle ou médiale chez le nouveau-né devenait progressivement latérale à partir de l'âge de 18 mois à 2 ans et augmentait jusqu'en fin de croissance.

Il est bien établi que vers l'âge de 2 ou 3 ans, un certain nombre d'enfants ont des pieds planovalgus en rapport avec une hyperlaxité des articulations péritaliennes du pied. La simple surveillance de ces enfants, sans aucun traitement (et en particulier sans aucune semelle orthopédique), montre que la majorité de ces pieds se redressent spontanément.

Les études longitudinales sur de grandes séries sont exceptionnelles et il s'agit surtout d'études transversales. Chez 948 enfants, âgés de plus de 4 ans, Gonzalez [6] a constaté des pieds plats chez 11,6 % des garçons et 5,7 % des filles ; des pieds creux non neurologiques chez 11,8 % des garçons et 21,2 % des filles. Chez 769 enfants et adolescents, Reimers [4] a montré que la proportion de pieds plats qui était de 42 % à l'âge de 3 ans passait à 6 % à l'âge de 16 ans. Inversement, la proportion de pieds cambrés passait de 2 à 7 %.

Widhe [7] a réalisé une étude longitudinale de 2401 nouveau-nés et les a revus en fin de croissance à l'âge de 16 ans : il ressort que les pieds valgus du nouveau-né, et en particulier les pieds calcanéovalgus, n'évoluent jamais vers les pieds plats valgus ; chez 76 nouveau-nés porteurs d'une déformation de l'avant-pied en adductus, seuls 3 enfants avaient encore une petite déformation à l'âge de 16 ans.

Morphotypes du pied de l'adulte

À l'âge adulte, le morphotype du pied acquis pendant la croissance peut être considéré comme définitif. Il ne va se modifier que très lentement avec le temps, sous l'effet des contraintes qui agissent sur le remodelage permanent des tissus mais aussi par le jeu compensateur des diverses articulations entre elles. Surtout, ce morphotype aura tendance à se figer en raison de la perte de mobilité dans les plans horizontal et coronal qui survient avec le vieillissement [8].

En dehors de la description des anomalies congénitales et du large éventail des variations anatomiques, la description des morphotypes du pied repose presque essentiellement sur l'aspect clinique et dans des conditions d'examen en statique. Les paramètres les plus utilisés sont la forme de l'arche médiale, l'inclinaison dans le plan coronal du calcaneus et la longueur des orteils. Cela permet la distinction entre pieds plats avec valgus du calcaneus, creux avec varus du calcaneus, ou normal avec valgus physiologique du calcaneus, ainsi que des variantes parfois à la limite des déformations congénitales (pied serpentin, pied creux valgus). Pour l'avant-pied,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

nous connaissons les classiques distinctions entre pied grec, carré ou égyptien en fonction de la longueur de l'hallux par rapport au deuxième orteil.

Malgré le peu de fiabilité des mesures cliniques en statique [9], il est curieux de constater, encore aujourd'hui, que beaucoup de décisions thérapeutiques parfois agressives et pas toujours couronnées de succès reposent sur ces notions.

On a pu montrer des différences radiologiques entre hommes et femmes sur l'étalement de l'avant-pied qui apparaît plus important chez les hommes. Des différences existent aussi entre des groupes ethniques. Ainsi l'angle d'inclinaison du calcaneus est-il plus faible dans la population noire américaine, et l'angle talocalcanéen sagittal plus élevé dans la population blanche [10].

À la lumière de ces constatations, plusieurs questions se posent :

- qu'est-ce qu'un pied normal ?
- y a-t-il des morphotypes prédisposés à une pathologie ?
- le morphotype structurel influe-t-il sur la capacité fonctionnelle du pied ?
- y a-t-il des relations avec les morphotypes des membres inférieurs ?
- comment la croissance agit-elle sur ces morphotypes et que deviennent-ils à l'âge adulte ?

À l'heure actuelle, nous n'avons pas les réponses, faute d'études longitudinales et par manque de moyens d'évaluation.

Plutôt que de parler de normalité structurelle, il convient peut-être mieux de raisonner en termes de normalité fonctionnelle. Le pied est l'organe de la marche (fonction biomécanique) et de l'équilibration (fonction sensorielle). L'étude de ces fonctions, a fortiori si l'on veut étudier la performance sportive, en raison de la brièveté des séquences motrices (quelques millisecondes), doit faire appel à des technologies sophistiquées et coûteuses (analyse quantifiée de la marche, baropodométrie…). Il ressort de certaines études préliminaires qu'il n'y a pas de corrélations fortes entre la structure et la fonction [11-16]. Toutefois, une relation entre la hauteur de l'arche médiale et sa rigidité a été montrée [17]. Il conviendrait donc de revoir les anciens concepts et d'augmenter notre puissance d'évaluation en combinant les résultats de l'examen clinique et des examens paracliniques.

Le pied normal pourrait être celui qui permet fonctionnellement de tout faire en restant à un niveau inconscient ; ses téguments ne présentent aucun signe de souffrance, en particulier pas de callosités. Cela sous-entend que les mécanismes de verrouillage et de relâchement articulaires nécessaires à la réalisation du mouvement sont corrects et contrôlent parfaitement, de façon chronologique, les forces et les appuis.

La redondance du système locomoteur permet de compenser plus ou moins longtemps une défaillance dans le schéma neuromoteur à basse consommation d'énergie acquis à maturité et propre à chaque individu [18].

Toutefois, on peut supposer qu'il existe des forces déformantes pour expliquer les pathologies, en particulier dégénératives. Certaines études baropodométriques ont montré qu'il peut y avoir des pieds déformés avec un ordre de distribution normal de pics de pressions normaux et, inversement, qu'un pied d'apparence normale peut présenter des anomalies baropodométriques [11,19].

Sur le plan rotationnel et torsionnel, le pied permet une certaine compensation du membre inférieur par détorsion sous-malléolaire, mais de façon variable d'un sujet à l'autre. Les torsions tibiales latérales très fortes semblent être associées à des pieds plats [20].

Le morphotype du pied pourrait influer sur l'arthrose dégénérative de la hanche (pieds creux) et du genou (pieds plats) [21].

Notons aussi qu'une rétraction musculaire comme celle des gastrocnémiens, par exemple, peut entraîner le flambage d'une arche médiale en créant un pied plat, ou bien modifier à long terme le morphotype (de normal vers creux valgus, par exemple).

Conclusion

Même si toutes les études sur le pied normal ne sont pas toujours concordantes, elles ont un point commun : le pied normal revêt de nombreux aspects morphologiques et fonctionnels avec des modifications spontanées pendant la croissance. Les morphotypes sont ainsi très variés, de sorte que certains pieds normaux ne rentrent pas dans les chaussures du commerce.

Un morphotype « hors normes » n'a pas pour corollaire des troubles fonctionnels. Il n'y a pas ou peu d'arguments pour dire que tel morphotype est prédisposé à la pathologie ; toutefois, le pied « proné » *(pronated foot type)* serait un pied à risque [22].

Il faudra certainement, dans le futur, définir des cahiers des charges fonctionnels précis pour telle ou telle activité et vérifier si tel ou tel morphotype possède l'aptitude à les réaliser, ou est prédisposé à la blessure ou à un devenir dégénératif.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Références

1 Zollinger H, Uchi M. Morphological modifications of the foot-form. Implications for shoe-manufacturing. In : Benhamou PH, Montagne J, éds. Médecine et chirurgie du pied. Paris : Masson ; 1993. p. 1-5.
2 Reimers J, Pedersen B, Brodersen A. Foot deformity and the length of the triceps surae in Danish children between 3 and 17 years old. J Pediatr Orthop Part B 1995 ; 4 : 71-3.
3 Bleck E, Minaire P. Persistent medial deviation of the neck of the talus : a common cause of in-toeing in children. J Pediatr Orthop 1993 ;3 : 146-59.
4 Lanen J, Levola J, Helenius H, Kvist M. Ankle joint complex mobility of children 7 to 14 years old. J Pediatr Orthop 2001 ; 21 : 731-7.
5 Engel G, Staheli L. The natural history of torsion and other factors influencing gait in childhood. Clin Orthop 1974 ; 99 : 12-7.
6 Gonzalez de Aledo, Rollan R, Miera B, Conde M, Santamaria D, Garcia O. Results of podoscope screening in 948 non-selectioned children, with special reference to cavus foot. An Espa Pediatr 1996 ; 45 : 580-2.
7 Widhe T. Foot deformities at birth : a longitudinal prospective study over a 16 years period. J Pediatr Orthop 1997 ; 17 : 20-4.
8 Prince F, Corriveau H, Herbert R, Winter D. Gait in the erderly. Gait Posture 1997 ; 5 : 128-35.
9 Keenan AM, Bach TM. Clinicians' assessment of the hind-foot : a study of reliability. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 451-60.
10 Castro-Aragon O, Vallurupalli S, Warner M, Panchbhavi V, Trevino S. Ethnic radiographic foot différences. Foot Ankle Int 2009 ; 30 : 57-61.
11 Betts RP, Franks CI, Duckworth T. Foot pressure studies : normal and pathologic gait analysis. In : Jhass MH, éds. Disorders of the foot and ankle. 2e éd Philadelphie : WB Saunders ; 1991. p. 484-519.
12 Rosenbaum D, Hautman S, Gold M, Claes L, et al. Effects of walking speed on plantar pressures patterns and hind foot angular motion. Gait Posture 1994 ; 2 : 191-7.
13 Song J, Hillstrom H, Secard D, Levitt J. Foot type biomechanics : comparison of planus and rectus foot types. J Am Pod Ass 1996 ; 86 : 16-23.
14 Cavanagh PR, Morag E, Boulton AJ, Young MJ, Deffner KT, Pammer SE. The relationship of static foot structure to dynamic foot function. J Biomech 1997 ; 30 : 243-50.
15 De Cock A, Willems T, Witvrouw E, Vanrenterghem J, De Clercq D. A functional foot type classification with cluster analysis based on plantarpressure distribution during jogging. Gait Posture 2006 ; 23 : 339-47.
16 Lees A, Lake M, Klenerman L. Schock absorption during forefoot running and its relationship to medial longitudinal arch height. Foot Ankle Int 2005 ; 26 : 1081-8.
17 Zifchock RA, Davis I, Hillstrom H, Song J. The effect of gender, age, and lateral dominance on arch height and arch stiffness. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 367-72.
18 Nigg BM. The role of impact forces and foot pronation : a new paradigm. Clin J Sport Med 2001 ; 11 : 2-9.
19 Bennett P, Duplock L. Pressure distribution beneath the human foot. Am Pod Med Ass 1993 ; 83 : 674-8.
20 Lerat JL, Taussig G. Les anomalies de rotation des membres inférieurs. Rev Chir Orthop 1982 ; 68 : 1-74.
21 Kathleen AR, Karen LB, Shamley D, Sandall S. Influence of foot characteristics on the site of lower limb osteoarthritis. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 206-11.
22 Busseuil C, Freychat P, Guedj EB, Lacour JR. Rearfoot-forefoot orientation and traumatic risk for runners. Foot Ankle Int 1998 ; 19 : 32-7.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Baropodométrie

E. TOULLEC[1], F. PFLIGER[1]

La baropodométrie ou analyse des pressions du pied au sol est un examen spécifique de la phase d'appui qui complète utilement l'examen clinique indispensable pour interpréter le résultat. Les laboratoires de la marche l'associent à l'analyse cinématographique, la plateforme de force et l'électromyographie de surface.

Description

La baropodométrie utilise des capteurs de force répartis sur une surface et transforme les mesures de pression en tensions électriques reproduites sur un ordinateur. Sachant que la pression est le rapport de la force sur la surface, la taille du capteur définit la pression pour une force donnée.

Matériel

Les capteurs de force sont répartis sur différentes surfaces.

Plateformes et tapis de marche

Ces surfaces permettent d'enregistrer le pied nu. Les plateformes se caractérisent par :
- le type de capteur : résistif le plus souvent ou capacitif, plus précis mais plus coûteux ;
- la gamme de pression enregistrée ;
- leur surface, suffisamment large pour permettre un pas normal ;
- leur épaisseur, nécessitant une piste de marche au-delà de 0,5 cm ;
- la résolution spatiale, soit le nombre de capteurs par centimètre carré (entre 1 et 4) ;
- la fréquence d'enregistrement autorisant une analyse de mouvements plus ou moins rapides (50 Hz pour la marche normale).

Semelles embarquées

Le support est plus flexible et réalise une semelle qui peut être placée dans une chaussure. Les données sont transmises à l'ordinateur par des moyens de type Bluetooth qui permettent de stocker une quantité importante de données lors d'une seule marche.

Méthodes d'examen

La mesure des pressions peut se faire selon des procédures différentes en fonction de l'objectif recherché.

Examen statique

Il permet l'analyse de l'intensité et de la répartition des pressions en position debout.

Posturologie

Cet examen de l'équilibre postural doit se faire dans des conditions très rigoureuses et analyse l'évolution du centre de gravité en position statique debout.

Analyse posturoséquentielle

La posturoséquentielle créée par le Dr Cornu permet, par des tests dynamiques spécifiques sur plateforme, l'analyse des conditions d'apparition de la symptomatologie douloureuse ou déficitaire.

Examen dynamique

Cet examen de la phase d'appui du pied à la marche nécessite au moins deux essais préalables pour familiariser le patient et obtenir une vitesse habituelle. Seuls les pas visuellement normaux seront retenus. L'analyse peut se faire soit sur le second pas, car le patient va sur la plateforme sans viser, soit sur le cinquième pas, pour avoir une marche vraiment engagée [1].

Au moins trois enregistrements sont nécessaires pour chaque pied pour vérifier la reproductibilité. Le pied opposé doit être systématiquement enregistré, car il peut interférer sur le pied analysé.

[1] Polyclinique de Bordeaux-Tondu, 151, rue du Tondu, 33000 Bordeaux.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Logiciels d'analyse des données

Toutes les données analogiques provenant des capteurs sont transmises à l'ordinateur qui ressort des données numériques analysées par différents logiciels. Ces données concernent toujours les pressions dans le temps.

Empreintes

L'empreinte correspond à la répartition des zones de pression définies sur la surface d'appui. Il est possible de connaître la pression exacte en chaque point. On peut ainsi différencier les zones d'hyperpression qui ne sont pas obligatoirement douloureuses des zones où le défaut d'appui est, lui, pathologique.

Lors de l'analyse dynamique, l'empreinte correspond à la synthèse de l'analyse dynamique comparable à l'empreinte que le pied laisse dans le sable lors de la marche. Cette empreinte peut aussi être visualisée sur une vidéo, si possible au ralenti, car le temps d'appui moyen du pas avoisine la seconde.

Courbes

Les courbes analysent un paramètre dans le *temps* pour les analyses dynamiques : la pression maximale, la force et l'aire d'appui.

Paramètres

Ils aident à la comparaison vis-à-vis d'une normalité difficile à définir en pré- et post-thérapeutique.

Certains sont géométriques (mesure d'angles et de distances sur l'empreinte) et peuvent être utilisés à la fois en statique et en dynamique.

D'autres analysent un certain nombre de secteurs d'intérêt appelés «masques» (l'empreinte peut être divisée en dix masques : arrière-pied, médio-pied et avant-pied en cinq zones correspondant aux têtes métatarsiennes et trois zones aux orteils, sectorisation intéressante pour l'étude des métatarsalgies) ; dans chaque zone, les facteurs de pression, de force ou d'aire peuvent être définis dans le temps en dynamique.

L'analyse de la ligne des centres de pression dans le temps *(gait line)* présente un facteur intéressant sur le positionnement du pied au sol (trajet de la ligne) et la vitesse de déroulement (des points rapprochés signifiant une diminution de la progression du pied).

L'intégrale force-temps est l'unité fondamentale de mesure ; il s'agit de la quantité de charge (force) au niveau des différentes zones préalablement définies en fonction du temps [2]. Elle explique que les zones sont douloureuses ou à risque de lésions cutanées chez le diabétique si la pression se prolonge dans le temps.

La trajectoire du centre de pression et l'index de force latéromédiale montrent le déroulement du pied au sol. Ils traduisent les capacités de verrouillage et déverrouillage du pied lors de l'appui monopodal. La vitesse de déplacement du centre de pression a été étudiée par Woodburn dans la polyarthrite rhumatoïde [3].

Résultats

Bilan diagnostique

La baropodométrie présente un intérêt diagnostique dans trois types de pathologie :

- les *anomalies de pression du pied* au sol, notamment dans les métatarsalgies, particulièrement chez le diabétique [2], ou dans la polyarthrite rhumatoïde [3]. Ferré [4] a montré que la chronologie de déroulement des appuis entre les têtes métatarsiennes et les orteils peut expliquer certaines métatarsalgies ;
- les *anomalies morphostatiques du pied*, où l'analyse porte davantage sur la surface d'appui, mais aussi le déroulement dynamique latéromédial, qui permet d'évaluer les capacités de verrouillage du pied au sol. Le pied creux est classé par Charles [5] en trois groupes : le type I correspond au pied creux global avec un appui talonnier et de tout l'avant-pied sans appui du médio-pied, le type II est le pied creux équin sans appui talonnier et le type III est le pied creux varus avec un appui sur le bord latéral du pied. Le pied plat valgus se partage en deux catégories selon Toullec [6] : le pied plat abductus et le pied plat valgus prédominant avec des formes intermédiaires. Toullec [7] montre par ailleurs l'intérêt de la courbe d'index de force latéromédiale qui objective l'appui prédominant en médial dans le pied plat valgus ;
- *les troubles fonctionnels*, qu'ils soient articulaires ou tendinomusculaires. On peut analyser ainsi les répercussions d'une arthrose de cheville ou d'un hallux rigidus lors du déroulement du pas, la répercussion d'une

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

rétraction des gastrocnémiens le plus souvent en varus fonctionnel, d'une rupture tendineuse ou d'un déficit neurologique.

Cependant, la baropodométrie doit être considérée comme un examen du membre inférieur et non du pied uniquement. Ainsi, il importe de noter les désaxations et les anomalies rotationnelles des membres inférieurs, ainsi que les dysfonctionnements articulaires et musculaires sus-jacents.

Bilan post-thérapeutique

La réalisation de l'examen dans les mêmes conditions permet de connaître les conséquences de nos thérapeutiques.

En podologie

L'effet des orthèses plantaires peut être analysé en statique ou dynamique. Gaillet [8] a montré que le pied gardait la mémoire de l'orthèse après une stimulation neuromusculaire de 20 min, donnant tout son intérêt à l'examen pied nu.

En kinésithérapie

Cet examen présente un intérêt pour :
- dépister des déficits tendinomusculaires induits par une intervention chirurgicale [6];
- évaluer l'effet d'une contention (strapping du 2e orteil dans le syndrome du 2erayon);
- corriger de mauvaises habitudes posturales par biofeedback (BioRescue™).

En chirurgie

La baropodométrie montre un intérêt pour objectiver l'effet d'une chirurgie.

Après une chirurgie d'hallux valgus, l'appui de l'hallux ne se fait plus sur le bord médial par la rotation, mais sur toute la surface pulpaire, et l'hyperpression sous la tête du 2e métatarsien diminue le plus souvent.

Dans la chirurgie du pied plat valgus, si les modifications de l'empreinte sont très souvent significatives, la courbe de l'index de force latéromédiale montre après une ostéotomie d'Evans le déplacement des pressions en latéral [6].

La comparaison des empreintes du même patient sur plusieurs années donne une preuve objective des modifications progressives du pied, qui ne se stabilisent parfois qu'au bout de quelques années (figure 1).

Intérêt en pédiatrie

Chez l'enfant, l'analyse baropodométrique doit tenir compte du stade de développement et des adaptations fonctionnelles du pied avec la croissance.

Sur le plan thérapeutique, il existe peu d'études d'évaluation baropodométrique :
- étude statique de l'évolution de la distance centre de masse–centre de pression avant- et arrière-pied chez l'infirme moteur cérébral avant et après injection de toxine botulinique [9];
- évaluation avant et après traitement chirurgical : pied bot varus équin [10], pied creux, pied plat.

Indications et limites

La Haute Autorité de santé [11] reconnaît comme indication principale, en complément de l'examen clinique, l'analyse d'une déficience ou d'un trouble de fonctionnement du pied dans deux cadres :
- l'aide à la décision thérapeutique;
- l'évaluation de l'efficacité des traitements et/ou du programme de rééducation.

La baropodométrie nécessite que le patient puisse poser le pied au sol, même partiellement, sans attitude de compensation antalgique. Elle n'a donc pas d'intérêt en cas d'hyperesthésie ou de plaies douloureuses plantaires. La douleur peut modifier les appuis et la fiabilité des résultats.

Conclusion

La baropodométrie montre un intérêt grandissant dans l'analyse des pathologies du pied et de la cheville, ainsi que leurs traitements.

Elle permet une évaluation des interventions chirurgicales dans l'objectif de dépister les déficiences fonctionnelles à court terme à compenser par orthèse plantaire et rééducation, de même que les résultats à long terme avec la notion du temps de récupération de la fonction.

La validation de paramètres d'analyse pertinents peut faciliter l'interprétation de ces résultats.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

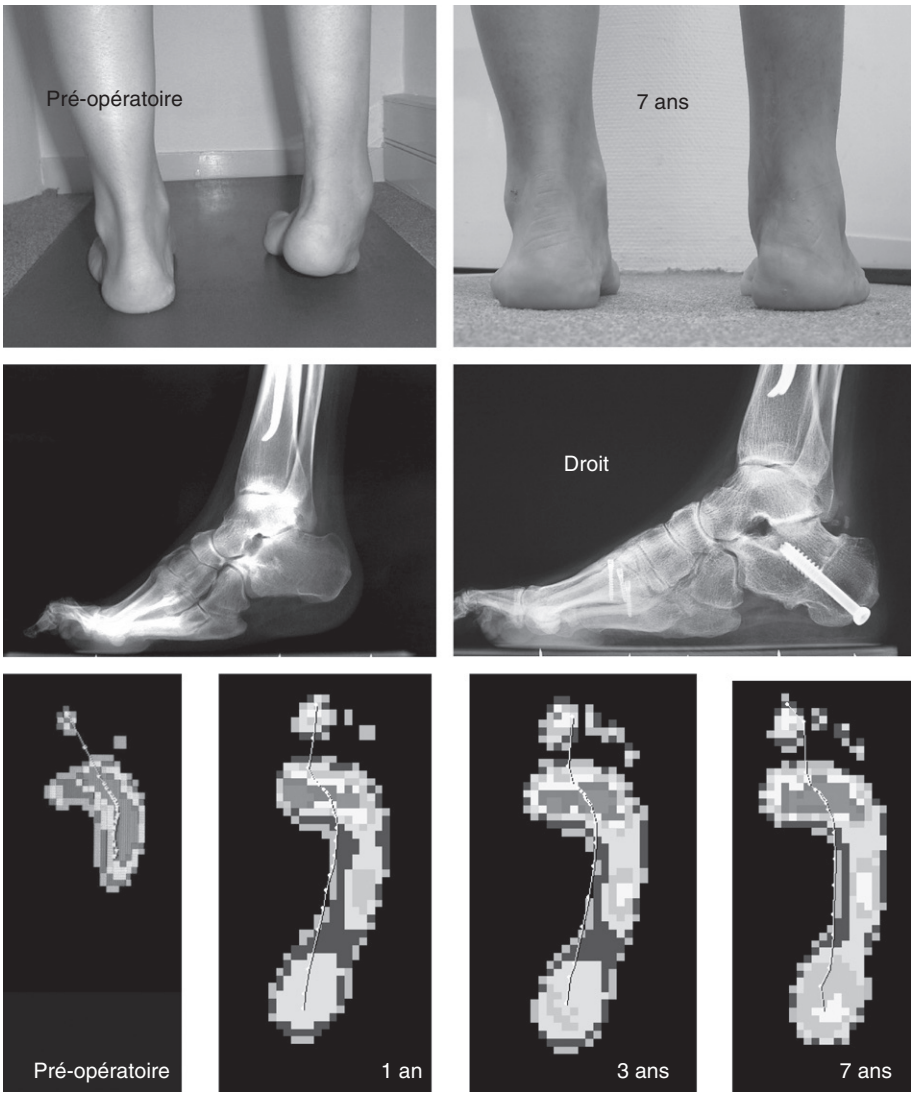


Figure 1. Modifications progressives du pied, de la radiographie de profil et de l'empreinte dynamique (plateforme Emed-SF™, Novel) après libération postéromédiale, ostéotomies de translation latérale du calcaneus et de relèvement basal BRT des trois métatarsiens médiaux et transfert de l'hémi-tibial antérieur sur le court fibulaire pour séquelle de syndrome des loges.
On note la translation latérale progressive du talon avec une augmentation de la pression de l'arrière-pied associée à une médialisation de l'avant-pied qui se traduit par une bursite sous la tête du 1er métatarsien à 5 ans. La fin de la *gait line* (ligne des centres de pression) passe du milieu de l'hallux au premier espace.

Références

1 Rosenbaum D, Becker HP. Plantar pressure distribution measurements. Technical background and clinical applications. Foot Ankle Surg 1997; 3 : 1-14.
2 Libotte M. Analyse dynamique des pressions plantaires. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris) 2007; 27-030-A-15 : 1-6.
3 Helliwell P, Woodburn J, Redmond A, Turner D, Days H. The foot and ankle in rheumatoid arthritis : a comprehensive guide. Londres : Churchill Livingstone : Elsevier; 2007.
4 Ferre B, Kowalski C, Maestro M, Toullec E, Barbe R. Comparaison des données radiographiques, baropodométriques et cliniques dans la pathologie de l'avant-pied. Monographie AFCP no 2. Montpellier : Sauramps médical; 2006. p. 89-101.
5 Charles YP, Axt M, Döderlein L. Évaluation postopératoire du pied creux à l'aide du podobarographe dynamique. Rev Chir Orthop 2001; 87 : 696-705.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

6 Toullec E, Barouk LS. Intérêt de la baropodométrie dynamique dans l'analyse de la chirurgie du pied plat valgus de l'adulte. Méd Chir Pied 2004 ; 20 : 17-22.
7 Toullec E. Évaluation par baropodométrie dynamique de la force latéromédiale dans le pied plat valgus sévère avant et après chirurgie. Rev Chir Orthop 2005 ; 91 suppl (6) : 3S129.
8 Gaillet JC, Biraud JC, Bessou M, Bessou P. Modifications of baropodograms after transcutaneous electric stimulation of the abductor hallucis muscle in humans standing erect. Clin Biom 2004 ; 19 : 1066-9.
9 Falso M, Fiaschi A, Manganotti P. Pedobarometric evaluation of equinus foot disorder after injection of botulinum toxin A in children with cerebral palsy : a pilot study. Dev Med Child Neurol 2005 ; 47 : 396-402.
10 Huber H, Dutoi M. Dynamic foot-pressure measurement in the assessment in the operatively treated clubfeet. J Bone Joint Surg 2004 ; 86A : 1203-10.
11 Analyse baropodométrique de la marche. Saint-Denis La Plaine : Haute Autorité de santé ; 2007.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied et analyse de la marche

P. WICART[1], E. DESAILLY[2]

Introduction

L'ensemble jambe-pied est une structure ostéoarticulaire assurant l'interaction entre le membre inférieur et le sol. L'analyse instrumentale de la marche a connu, au cours des dernières décennies, un essor majeur [1]. Cependant, son application au pied est plus récente, probablement du fait de la complexité de cette structure et de contraintes techniques.

Méthodologie et applications

Différentes méthodes d'analyse instrumentale de la marche sont à la disposition du clinicien, de l'ingénieur et du chercheur pour étudier le pied.

Cinématique

L'analyse cinématique du complexe jambe-pied sous forme d'un modèle multisegmenté fait appel à la stéréophotogrammétrie optoélectronique. Ce procédé a remplacé des systèmes plus invasifs utilisant radiographies ou fluoroscopie. Des marqueurs [2] ou des petites plaquettes équipées de marqueurs [3] sont fixés sur la peau en regard de repères osseux précis. Le déplacement tridimensionnel de ces marqueurs est enregistré avec plusieurs caméras. Grâce à un modèle multisegmentaire construit à partir de ces marqueurs « anatomiques », la mobilité tridimensionnelle des articulations modélisées est mesurée lors de la locomotion.

Les premiers travaux étudiant la mobilité de l'arrière-pied se limitaient au mouvement de la cheville, assimilée à une charnière dans le plan sagittal avec un seul degré de liberté [4]. L'introduction d'un second degré de liberté, en ajoutant une charnière correspondant à la mobilité de l'articulation sous-talienne, est simple et applicable chez le sujet sain mais connaît des limites dans les conditions pathologiques [5]. Une modélisation tridimensionnelle de l'arrière-pied avec six degrés de liberté a été proposée par la Société internationale de biomécanique en 1996 [6]. Depuis lors, différents modèles cinématiques du complexe jambe-pied ont été décrits. Un des modèles de référence est celui développé par l'équipe d'Oxford [2]. Une segmentation en quatre unités rigides distingue : la jambe (tibia et fibula), l'arrière-pied (talus et calcaneus), l'avant-pied (cinq métatarsiens) et l'hallux (1re phalange). Cette analyse fait appel à 17 marqueurs fixés sur la peau (tableau 1, figure 1) et permet la caractérisation cinématique des quatre segments modélisés dans les trois plans de l'espace. Par exemple, il est possible de quantifier, lors de la marche, l'axe de l'arrière-pied (valgus/varus) [figure 2] ou les variations de hauteur de l'arche médiale du pied (figure 3). Le modèle d'Oxford a été modifié pour être adapté à l'enfant, et particulièrement aux déformations du pied rencontrées dans la paralysie cérébrale. Les variabilités intra- et interobservateur sont acceptables, avec descriptions de courbes cinématiques mesurées chez 14 enfants sains entre 6 et 14 ans [7]. La variabilité la plus importante est retrouvée sur les mesures dans le plan transversal, pouvant atteindre 7°, ce qui limite la finesse de l'analyse dans ce plan. D'autres modèles ont été décrits, comme celui de l'institut Rizzoli à Bologne [3], avec 14 marqueurs cutanés de 10 mm de diamètre. Les modèles peuvent être très complexes, comme celui développé par McWilliams et al. [8], utilisant 19 marqueurs définissant neuf segments et enregistrant la mobilité de neuf articulations. Un des intérêts de ces modèles est de focaliser l'étude sur une articulation, comme par exemple l'articulation sous-talienne [9].

Cependant, cette méthode connaît des limites. La mobilité des marqueurs cutanés par rapport aux repères osseux sous-jacents altère la précision de ces enregistrements [3]. Par ailleurs, la division du pied en segments rigides, faisant abstraction de la mobilité existant entre les différents os les constituant, entraîne une perte d'informations, comme cela a été montré sur le cadavre [10]. Ceci est particulièrement vrai pour le talus, dont le rôle physiologique est fondamental, mais échappe à ces explorations du fait de l'absence de repère osseux.

[1] Université Paris-Descartes, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Laboratoire d'analyse du mouvement, fondation Ellen-Poidatz, 77310 Saint-Fargeau-Ponthierry, France.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Tableau 1
Disposition des différents marqueurs cutanés dans le modèle d'Oxford [2]

Position	Segment
Condyle fémoral	Fémur
Tubérosité tibiale	Jambe
Extrémité proximale de la fibula	Jambe
Malléole fibulaire	Jambe
Malléole tibiale	Jambe
Marge antérieure distale du tibia	Jambe
Versant médial de la tubérosité du calcaneus	Arrière-pied
Versant latéral de la tubérosité du calcaneus	Arrière-pied
Marqueur (baguette) sur la tubérosité du calcaneus	Arrière-pied
Bord latéral du calcaneus	Arrière-pied
Petite apophyse du calcaneus	Arrière-pied
Base du 1er métatarsien	Avant-pied
Base du 5e métatarsien	Avant-pied
Tête du 1er métatarsien	Avant-pied
Tête du 5e métatarsien	Avant-pied
Espace entre les 2e et 3e têtes métatarsiennes	Avant-pied
Base de l'hallux	Hallux

Lundgren et al. [11] franchissent une étape en proposant une analyse de la mobilité de différentes articulations du pied in vivo et lors de la marche en utilisant des marqueurs externes fixés directement dans l'os. Ces marqueurs sont mis en place avec asepsie sous anesthésie locale et contrôle fluoroscopique avec une mèche de 1,6 mm permettant un ancrage intracortical dans neuf os de la jambe et du pied. Chaque point d'ancrage osseux est équipé d'un tripode réflecteur. Puis le sujet est invité à marcher sur une piste longue de 9 m. Dix caméras permettent d'apprécier de façon très sensible la mobilité des articulations sous-talienne et talonaviculaire. Cette dernière peut être 2 fois supérieure à la première dans les plans transverse et frontal, ce qui étaye la notion de double appartenance de l'articulation talonaviculaire évoquée dans le chapitre « Concept de bloc calcanéo-pédieux », page 26.

La mobilité d'articulations aussi peu étudiées que l'articulation calcanéocuboïdienne ou celle siégeant entre le cunéiforme médial et le naviculaire est quantifiable. Ainsi, la mobilité de l'articulation calcanéocuboïdienne est supérieure à celle de l'articulation talocalcanéenne, confirmant l'importance de l'articulation transverse du tarse. L'articulation entre le cunéiforme médial et le naviculaire est notable, de l'ordre de 10° dans les plans frontal et sagittal, ce qui est un élément pouvant remettre en question l'indication d'une résection-arthrodèse entre les os cunéiformes et le naviculaire proposée dans le traitement du pied plat valgus au profit d'une ostéotomie des cunéiformes médial et intermédiaire (voir le chapitre « Pied plat valgus idiopathique », page 157). La mobilité tarsométatarsienne augmente de façon très sensible de médial en latéral, révélant le rôle important de l'arche latérale lors de la marche.

Après des travaux chez des sujets sains : enfants [7], adolescents [8] et adultes [2], les auteurs appliquent

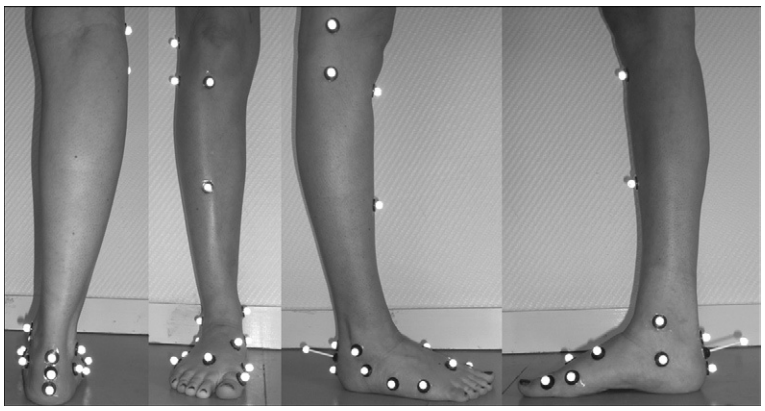


Figure 1. Cinématique : mise en place des marqueurs cutanés (modèle d'Oxford [2]).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

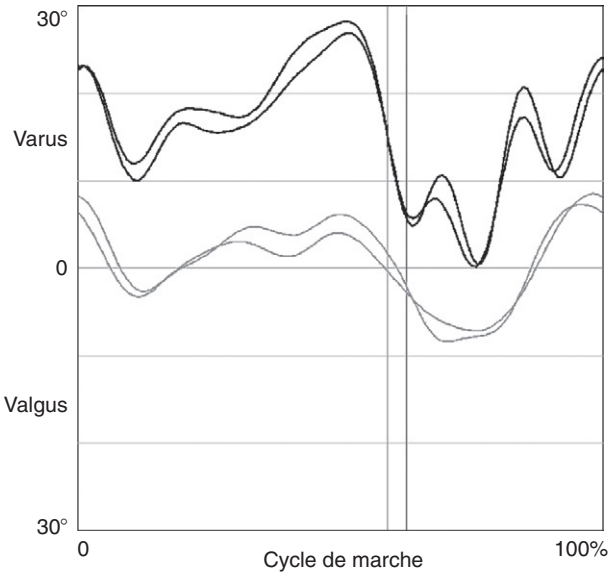


Figure 2. Cinématique : application du modèle d'Oxford [2]. L'orientation de l'arrière-pied dans le plan frontal (varus/valgus) par rapport au tibia est normalisée en fonction du cycle de marche. Les traits verticaux symbolisent la transition entre les phases d'appui puis d'oscillation. Les courbes de différents cycles de marche du côté droit (gris) et du côté gauche (noir) sont superposées chez une patiente hémiplégique gauche âgée de 16 ans. On observe un important varus de l'arrière-pied à gauche s'accentuant avant le début de l'oscillation durant la propulsion.

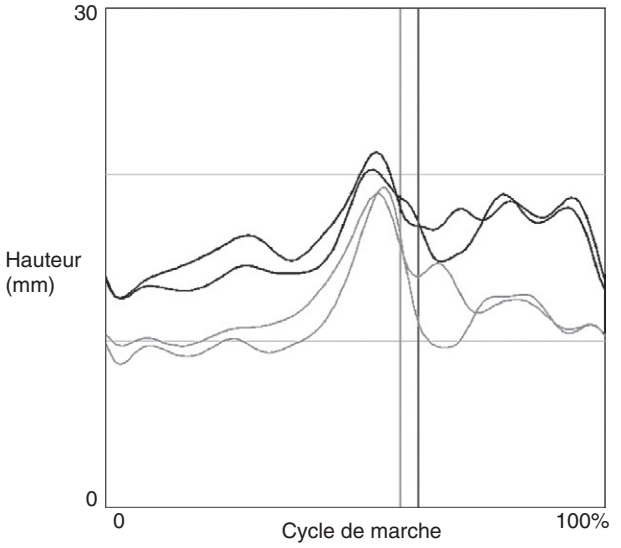


Figure 3. Cinématique : application du modèle d'Oxford [2]. La hauteur de l'arche médiale du pied est normalisée en fonction du cycle de marche. Les traits verticaux symbolisent la transition entre phases d'appui puis d'oscillation. Les courbes de différents cycles de marche du côté droit (gris) et du côté gauche (noir) sont superposées chez une patiente hémiplégique gauche âgée de 16 ans. Il existe une augmentation de la hauteur de l'arche médiale pendant la phase de propulsion, à la fin de la phase d'appui. Le pied est plus creux à gauche et est moins mobile que le pied droit.

cette méthodologie à différentes pathologies comme le pied bot varus équin congénital (PBVE) [12,13], des fractures de cheville [14], l'arthrose tarsienne [15], la polyarthrite rhumatoïde [16], une anomalie du tendon tibial postérieur [17] ou la paralysie cérébrale [7]. Par exemple, l'étude cinématique de la marche d'enfants avec PBVE (voir le chapitre « Pied bot varus équin congénital », page 93) révèle une tendance à l'équin après traitement fonctionnel et au calcaneus après traitement selon Ponseti [13].

Cinétique

Une plateforme de force intégrée à une piste de marche permet de calculer, lorsque le pied est à son contact, les efforts à l'interaction pied-sol (forces et moments) et les coordonnées tridimensionnelles du centre de pression (point d'application de la résultante des forces appliquées au corps). Les forces de contact renseignent directement sur l'accélération du centre de gravité du sujet. À partir de ces données sont estimées la vitesse et la position du centre de gravité par intégrations successives (aux constantes d'intégration près). De même, en combinant les données cinématiques, les données dynamographiques et une caractérisation inertielle des segments modélisés (masses et répartition de masse des segments), les calculs des efforts articulaires sont alors possibles par un calcul de dynamique inverse.

Les données dynamiques obtenues avec une plateforme de force sont couplées à l'analyse cinématique pour déterminer les périodes d'oscillation et d'appui [3,8,18,19]. Cela permet de plus de calculer les moments et les puissances articulaires de la cheville et des articulations sus-jacentes. Notons cependant que les modèles dynamiques du pied sont encore peu nombreux et très rarement utilisés en clinique. Ils nécessitent en effet de connaître les centres articulaires, les caractéristiques inertielles des segments du pied et un modèle de contact nécessitant le couplage entre la cinématique, la plateforme de force et des capteurs podobarographiques [8]. Ce type de méthodologie a été initié à un niveau fondamental par McWilliams et al. [8], qui associent à l'étude cinématique une analyse podobarographique, afin de répartir la force de réaction du sol dans six différentes zones de contact du pied avec le sol.

Ainsi, la détermination des efforts articulaires dans le pied est une des pistes actuelles de recherche en analyse du mouvement au même titre que sa modélisation musculosquelettique [20]. À l'inverse des autres grandes articulations du membre inférieur, il n'est

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

donc actuellement pas possible de connaître les forces et moments dans les articulations du pied.

L'analyse cinétique, grâce à l'établissement de corrélations entre variables biomécaniques, reflète la programmation de certains phénomènes locomoteurs par le système nerveux central. Cela a été appliqué par exemple pour connaître les conséquences d'un PBVE sur l'initiation de la marche [21], qui désigne le passage de la posture debout immobile à la marche établie caractérisée par une vitesse de progression constante (figure 4).

Électromyographie

Il s'agit de l'enregistrement de l'activité électrique des muscles. Peuvent être utilisées des électrodes de surface appliquées sur la peau ou des aiguilles introduites de façon percutanée dans le muscle étudié. Un enregistrement de surface nécessite de disposer d'électrodes de petite taille, car les volumes musculaires de la jambe ou du pied sont faibles. L'utilisation d'aiguilles, du fait de son caractère invasif, se prête beaucoup moins à l'expérimentation clinique.

L'analyse de l'activité musculaire perçue par électromyographie (EMG) peut être utile, car elle est caractéristique du déroulement chronologique d'un phénomène locomoteur. Par exemple, l'instant de désactivation des muscles gastrocnémiens suivi de l'activation du tibial antérieur correspond au début de l'initiation de la marche (figure 5).

Une autre façon d'utiliser les données EMG est de calculer (par une intégration) la quantité d'excitation adressée par le système nerveux central au muscle, ce qui est le reflet de la commande (figure 6).

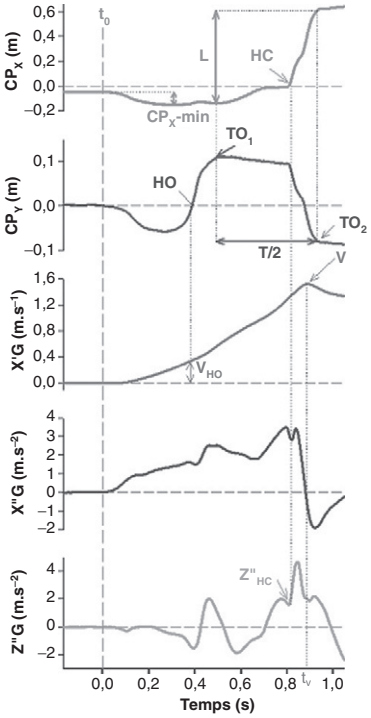


Figure 4. Cinétique appliquée au pied bot varus équin congénital chez un enfant âgé de 10 ans [21].
L'initiation de la marche désigne le passage de la posture debout immobile (instant t_0) à la marche établie caractérisée par une vitesse de progression constante (V).
CP_X : déplacement postéroantérieur du centre de pression ; CP_Xmin : recul maximal du centre de pression ; CP_Y : déplacement médiolatéral du centre de pression ; Ho : lever du talon ; t_{01} : lever du pied, t_{02} : lever du pied opposé, T/2 : durée d'un pas ; L : longueur du pas ; X'_G : vitesse postéroantérieure du centre de gravité ; V_{HO} : vitesse du centre de gravité lors du lever du talon ; X''_G : accélération postéroantérieure du centre de gravité ; Z''_G : accélération verticale du centre de gravité ; Z''_{HC} : accélération verticale du centre de gravité à l'instant du contact du talon (considérée comme un index de la capacité à contrôler l'équilibre à cet instant de déséquilibre maximal).

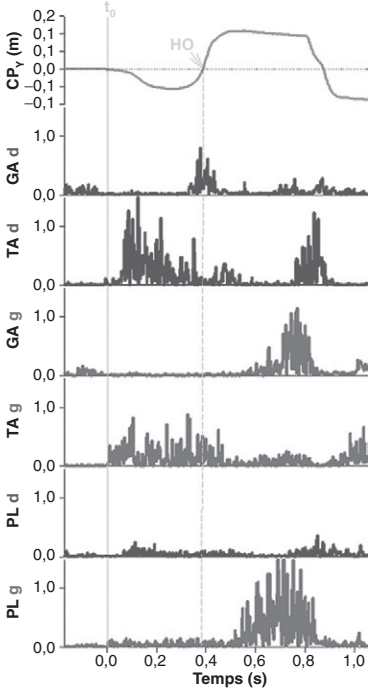


Figure 5. Initiation de la marche d'un enfant sain (âge : 10 ans) [21].
Tracés EMG des muscles tibial antérieur (TA), gastrocnémiens (GA), long fibulaire (PL) droits (d) et gauches (g). Instant t_0 : début de l'initiation de la marche ; CP_Y : déplacement médiolatéral du centre de pression ; HO : lever du talon.
Le début de l'initiation de la marche est caractérisé par une désactivation bilatérale des muscles gastrocnémiens suivie d'une activité des muscles tibiaux antérieurs. L'activité contemporaine des muscles longs fibulaires a pour objectif de neutraliser les composantes d'adduction et de supination des muscles tibiaux antérieurs.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

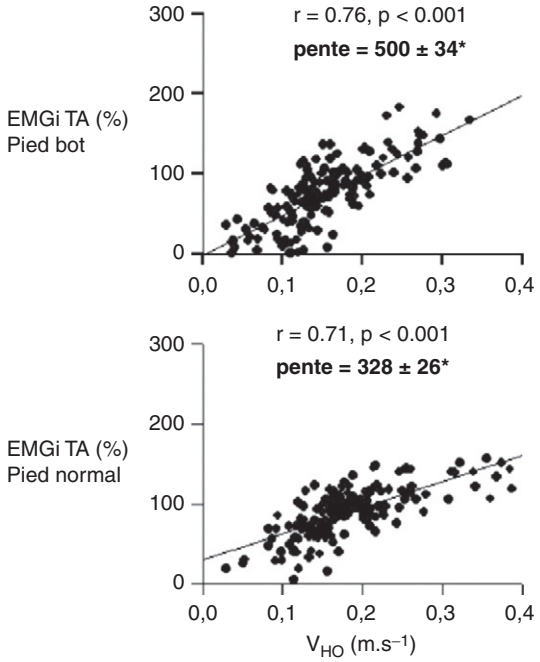


Figure 6. Initiation de la marche d'un enfant avec pied bot varus équin congénital unilatéral (âge : 10 ans) [21]. Corrélation entre l'EMG intégrée (quantité d'excitation) des muscles tibiaux antérieurs et V_{H0} (vitesse lors du lever du talon). La pente de cette relation est significativement plus élevée du côté du PBVE, ce qui révèle un rendement musculaire moindre du côté pathologique par rapport au côté sain, requérant une quantité d'excitation plus importante pour atteindre une même valeur de V_{H0}.

Des corrélations entre l'EMG intégrée et des variables cinétiques ou d'autres EMG intégrées donnent des informations sur la programmation locomotrice exercée par le système nerveux central (figure 6) [21].

Conclusion

Les progrès réalisés en matière de traitement des déformations du pied génèrent parfois une amélioration des résultats telle qu'il est difficile de mettre en évidence, tant sur les plans fonctionnels, clinique que radiologique, des différences entre deux techniques distinctes. À l'heure de « l'évaluation tous azimuts » et du fait d'un intérêt scientifique majeur, il appartient aux chirurgiens orthopédistes de participer au développement de méthodes permettant de quantifier les limitations locomotrices inhérentes à certaines pathologies et le résultat des traitements entrepris. Cette démarche requiert une collaboration étroite avec chercheurs et ingénieurs. L'utilisation de différentes méthodes, du fait de leur complémentarité, contribue à éclairer ces problématiques. Cependant, l'examen clinique reste un élément majeur auquel il convient de confronter les données issues de ces méthodes à l'avenir prometteur.

Références

1 Gage JR, Deluca PA, Renshaw TS. Gait analysis : principle and applications with emphasis of its use in cerebral palsy. Instr Course Lect 1996 ; 45 : 491-507.
2 Carson MC, Harrington ME, Thompson N, O'Connor JJ, Theologie TN. Kinetic analysis of a multi-segment foot model for research and clinical applications : a repeatability analysis. J Biomech 2001; 34 : 1299-307.
3 Leardini A, Benedetti MG, Berti L, Bettinelli D, Nativo R, Giannini S. Rear-foot, mid-foot and fore-foot motion during the stance phase of gait. Gait Posture 2007 ; 25 : 453-62.
4 Winter DA. Kinematic and kinetic pattern in human gait : variability and compensating effects. Human Mov Science 1984 ; 3 : 51-76.
5 Van den Bogert AJ, Smith GD, Nig BM. In vivo determination of the anatomical axes of the ankle joint complex : an optimization approach. J Biomech 1994 ; 27 : 1477-88.
6 Allard P, Kirlui C, Rosenbaum D, Siegler S, Whittle M. Joint coordinate system for the ankle joint complex. International Society of Biomechanics Newsletter 1996 ; 59.
7 Stebbins J, Harrington M, Thompson N, Zavatsky N, Theologis T. Repeatability of a model for measuring multi-segment foot kinematics in children. Gait Posture 2006 ; 23 : 401-10.
8 McWilliams BA, Cowley M, Nicholson DE. Foot kinematics and kinetics during adolescent gait. Gait Posture 2003 ; 17 : 214-24.
9 Jenkyn TR, Shultz R, Giffin JR, Birmingham TB. A comparison of subtalar joint motion during anticipated medial cutting turns and level walking using a multi-segment model. Gait Posture 2010 ; 31 : 153-8.
10 Nester CJ, Liu AM, Ward E, Howard D, Cocheba J, Derrick T. Errors in the description of foot kinematics due to violation of rigid body assumption. J Biomech 2010 ; 43 : 666-72.
11 Lundgren P, Nester C, Liu A, Arndt A, Jones R, Stacoff A, et al. Invasive in vivo measurement of rear-, mid-, and forefoot motion during walking. Gait Posture 2008 ; 28 : 93-100.
12 Theologis TN, Harrington ME, Thompson N, Benson MKD. Dynamic foot movement in children treated for congenital talipes equinovarus. J Bone Joint Surg Br 2003 ; 85 : 572-7.
13 Karol LA, Jean K. ElHawary. Gait analysis after nonoperative treatment for clubfeet : intermediate term follow-up at age 5. Clin Orthop Relat Res 2009 ; 467 : 1206-13.
14 Wang R, Thur CK, Gutierrez-Farewik EM, Wretenberg P, Broström E. One year follow-up after operative ankle fractures : a prospective gait analysis study with a multi-segmented foot model. Gait posture 2010 ; 31 : 234-40.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

15 Rao S, Baumhauer JF, Tome J, Nawoczenski DA. Comparison of in vivo segmental foot motion during walking and step descent in patients with midfoot arthritis and matched asymptomatic control subjects. J Biomech 2009 ; 42 : 1054-60.
16 Khazzam M, Long JT, Marks RM, Harris GF. Kinematic changes of the foot and ankle in patients with systemic rheumatoïd arthritis and fore-foot deformity. J Orthop Res 2007 ; 25 : 319-29.
17 Ness ME, Long J, Marks R, Harris G. Foot and ankle gait kinematics in patients with posterior tibial tendon dysfunction. Gait Posture 2008 ; 27 : 331-9.
18 Liu W, Siegler S, Hillstrom H, Whitney K. Three dimensional, six-degrees-of-freedom kinematics of the human hindfoot during the stance phase of level walking. Human Mov Science 1997 ; 16 : 283-98.
19 Desailly E, Yepremian D, Sardain P, Lacouture P. Foot contact event detection using kinematic data in cerebral palsy children and normal adults gait. Gait Posture 2009 ; 29 : 76-80.
20 Saraswat P, Andersen MS, McWilliams BA. A musculoskeletal foot model for clinical gait analysis. J Biomechanics 2010 ; [sous presse].
21 Wicart P, Richardson J, Maton B. Adaptation of gait initiation in children with unilateral idiopathic clubfoot. J Electromyogr Kinesiol 2006 ; 16 : 650-60.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Analyse segmentaire des déformations et nouvelle classification

R. SERINGE[1], P. WICART[2], J.-L. BESSE[3]

Le pied et la cheville (en excluant les orteils) sont constitués de 14 pièces osseuses et de 17 articulations. En outre, la fonction est assurée par 29 muscles, dont 11 muscles extrinsèques (muscles longs appartenant aux trois loges jambières). Le pied peut donc présenter une multitude de déformations ostéoarticulaires qui échappent à une analyse simple comme peut l'être l'étude de la hanche ou du genou.

Si les déformations congénitales comme le pied bot varus équin et le pied convexe congénital sont bien connues grâce à des travaux anatomiques, il n'en est pas de même des déformations acquises, chez l'adulte ou dans l'enfance, et susceptibles de modifications pendant la croissance (aggravation, amélioration, changement de forme). Rarement idiopathiques, ces déformations sont souvent d'origine neurologique (centrale, périphérique ou musculaire) mais aussi dystrophique, dysplasique, inflammatoire, post-traumatique. Elles ne sont pas aussi bien systématisées qu'il y paraît de prime abord étant donné la grande variété des déséquilibres musculaires ou des troubles dysplasiques ou dystrophiques qui agissent dans les trois plans de l'espace sur un nombre important d'os et d'articulations.

Nombre de déformations comptent au moins deux défauts associés, parfois davantage, et le mode d'appellation peut prêter à confusion. Il ne faudrait pas confondre, en effet, un pied varus équin (figure 1) et un pied équin varus (figure 2). Dans le premier cas, du fait de l'importance prioritaire du varus, la marche se fait sur le bord externe du pied alors que dans le deuxième cas, du fait de l'importance de l'équinisme, la marche est digitigrade : il est évident que la prise en charge ne peut pas et ne doit pas être la même. Cet exemple caricatural permet de poser le principe d'une classification des déformations en nommant successivement les principales composantes par ordre de gravité décroissante : par exemple, pour le pied plat valgus, sachant qu'il existe des pieds plats sans valgus excessif et des pieds valgus non plats, on conçoit que l'on peut différencier :



Figure 1. Pied varus équin : la marche se fait sur le bord latéral du médio-pied et de l'avant-pied.

des pieds plano-valgus où l'aplatissement est plus sévère que le valgus ;

des pieds valgus plats où le valgus est plus important que l'aplatissement.

Il existe d'ailleurs des pieds valgus creux, des pieds valgus convexes et même des pieds valgus à la fois plats et creux (car plats sur la colonne médiale et creux sur la colonne latérale) [figure 3].

Pour comprendre ces nuances, avant de proposer une classification des déformations, il nous semble utile de tenir compte des principaux morphotypes de pieds normaux (voir le chapitre « Morphotypes », pages 57 à 61) et de faire une étude analytique segmentaire

[1] Université Paris-Descartes, hôpital St-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Hôpital St-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[3] Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, centre hospitalier Lyon Sud, 69495 Pierre-Bénite cedex.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 2. Pied équin varus : la marche est digitigrade mais avec un varus complémentaire du pied.

des déformations observées, articulation par articulation puis os par os.

Attitudes vicieuses élémentaires de chaque articulation

Articulation talocrurale

Cette articulation qui fonctionne seulement dans le plan sagittal peut présenter deux attitudes vicieuses opposées : l'équinisme et le pied calcaneus (ex-talus).

Le pied équin s'accompagne de brièveté ou rétraction des parties molles postérieures qui varient en fonction de l'étiologie. La marche est digitigrade.

Le pied calcaneus s'accompagne habituellement de brièveté ou de rétraction des parties molles antérieures (longs extenseurs des orteils, tibial antérieur, voire aussi capsule articulaire antérieure). On peut opposer deux groupes : le pied calcaneus congénital habituellement postural intra-utérin, à différencier d'une forme mineure de pied convexe congénital, et le pied calcaneus paralytique par paralysie ou insuffisance du triceps sural.

Complexe articulaire sous-talien (entre le bloc calcanéopédieux et l'unité talo-tibio-fibulaire)

Bien que cette articulation fonctionne autour de l'axe schématique de Henke, l'expérience montre que l'on observe des attitudes vicieuses qui sont (ou qui prédominent) dans un seul des trois plans de référence. On peut donc les étudier séparément.

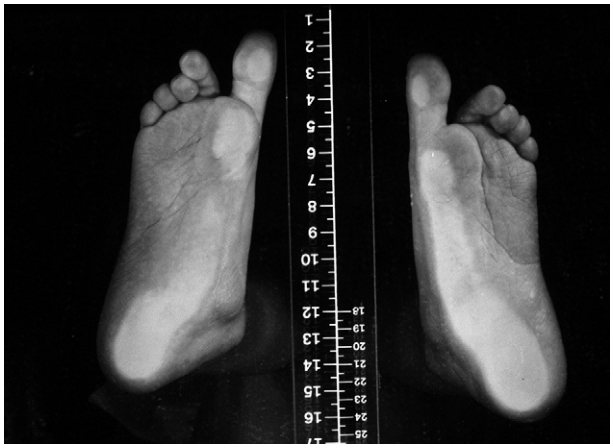


Figure 3. Pieds valgus à la fois plats et creux : l'appui se fait sur la colonne médiale du pied ainsi que sur le calcaneus et on voit bien le cavus de la colonne latérale.



Figure 4. Séquelles de pied bot varus équin congénital bilatéral avec, du côté gauche, une adduction résiduelle importante du bloc calcanéopédieux (bord latéral du pied rectiligne).

L'adduction du bloc calcanéopédieux (BCP) prédominante est un défaut fréquent dans les pieds bots congénitaux (figure 4); l'ensemble du pied est en adduction par rapport à la jambe et au genou; les radiographies montrent une diminution de la divergence talocalcanéenne de face.

L'attitude en abduction du BCP prédominante accompagne de nombreux pieds valgus, mais il est parfois presque isolé et comporte toujours une augmentation de la divergence talocalcanéenne de face.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

La supination prédominante du BCP entraîne une position du pied en varus (figure 1).

La pronation prédominante du BCP entraîne une position en valgus globale du pied; le défaut peut être considérable, entraînant une subluxation du BCP par rapport à l'unité talo-tibio-fibulaire (UTTF), voire une luxation complète dans des cas exceptionnels.

Articulation transverse du tarse (talonaviculaire et calcanéocuboïdienne)

Bien que cette articulation fonctionne en synergie avec le complexe articulaire sous-talien, on observe des désaxations isolées ou associées dans les trois plans de référence.

L'attitude en adduction médiotarsienne s'observe dans nombre de pieds bots varus équins congénitaux et dans des pieds varus; l'évaluation radiologique doit se faire sur l'angle calcanéocuboïdien ou l'angle calcaneus-5e métatarsien et non pas, comme le suggèrent la plupart des publications, sur l'angle talus-1er métatarsien. Cette attitude vicieuse est responsable d'une inégalité de longueur des deux colonnes longitudinales du pied avec brièveté de la colonne médiale (figure 3c du chapitre « Concept de bloc calcanéo-pédieux », page 26).

L'abduction médiotarsienne que l'on observe dans certains pieds valgus abductus est bien visualisée par l'angle calcaneus-cuboïde ou calcaneus-5e métatarsien; cette abduction médiotarsienne entraîne une inégalité de longueur des deux colonnes longitudinales du pied inverse de ce que l'on observe dans l'adduction médiotarsienne (figure 5).

La supination prédominante de l'articulation transverse du tarse s'accompagne habituellement d'une horizontalisation du 1er métatarsien (M1), et d'une saillie dorsale de la tête de M1 (défaut d'appui antéromédial puis *dorsal bunion*). C'est souvent le témoin d'une insuffisance du muscle long fibulaire avec prédominance du muscle tibial antérieur (voir le chapitre « Pied bot varus équin congénital », figure 11, page 103 et figure 24, page 119).

La convexité plantaire de l'articulation transverse du tarse est une caractéristique du pied convexe congénital, avec hyperflexion dorsale du médio-pied par rapport à l'arrière-pied et luxation dorsale du naviculaire par rapport au talus et du cuboïde par rapport au calcaneus.

Le creux dans l'articulation transverse du tarse est souvent associé à des déformations osseuses de voisinage, en particulier du naviculaire, et peut entraîner une luxation dorsale de l'os naviculaire (comme dans certaines séquelles de pied bot congénital).

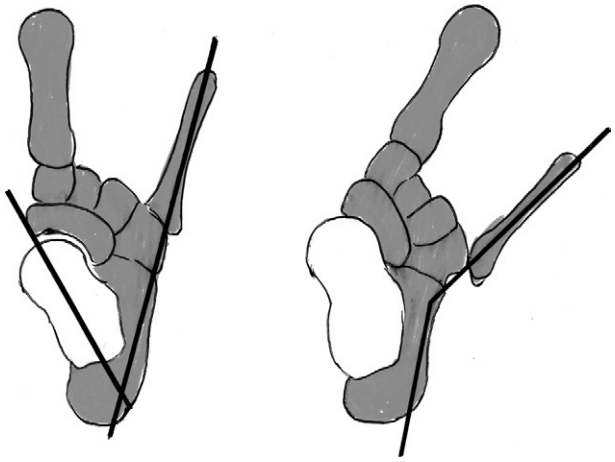


Figure 5. Schéma correspondant à une radiographie dorsoplantaire de pied plat valgus.
Dans les deux cas, la divergence talocalcanéenne est augmentée avec le naviculaire déplacée en dehors. Dans le schéma de droite, l'angle calcaneus-M5 représente l'abduction de l'avant-pied sur l'arrière-pied. La colonne latérale est nettement plus courte que la colonne médiale.



Figure 6. Pied creux varus avec luxation médiotarsienne, saillie dorsale de la tête du talus et de la grande apophyse du calcaneus.

Inversement, le creux médiotarsien peut s'accompagner d'une luxation plantaire du médio-pied par rapport à l'arrière-pied dans certaines déformations neurologiques (figure 6).

Articulations naviculocunéennes

Des désaxations des interlignes articulaires entre le naviculaire et les trois os cunéiformes peuvent être observées dans des pieds bots congénitaux hypercorrigés et dans les pieds en Z.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Articulation tarsométatarsienne de Lisfranc

Le metatarsus varus ou adductus siège dans l'interligne de Lisfranc et s'accompagne parfois d'une subluxation cunéométatarsienne dans les formes graves (pieds en Z).

Le metatarsus abductus est une déformation inverse beaucoup plus rare.

Le creux dans l'articulation de Lisfranc s'observe parfois dans certains pieds convexes congénitaux.

La déformation convexe dans l'articulation de Lisfranc est possible dans les déformations iatrogéniques après traitement de pieds bots varus équins congénitaux.

Déformations osseuses

Squelette tibiofibulaire

Des déformations osseuses de la pince bimalléolaire peuvent être observées dans les trois plans de référence.

Déformations en varus et en valgus

Les déformations en varus et en valgus sont liées le plus souvent à une dysharmonie de croissance entre le tibia et la fibula, voire à une épiphysiodèse asymétrique. La déformation en varus est rare mais volontiers iatrogénique (figure 7). La déformation en valgus est de loin la plus fréquente, soit comme compensation d'un varus sous-talien, soit comme accompagnement et aggravation du valgus calcanéen. Même si l'on ne dispose pas d'une radiographie de face de la cheville (avec cerclage du talon selon Méary), on peut deviner cette anomalie sur le cliché de profil en charge (voir le chapitre « Radiologie », page 49).

Déformations dans le plan horizontal

Dans le plan horizontal, il s'agit de troubles rotationnels avec torsion exceptionnellement médiale de jambe et surtout latérale, expliquant la position globale du pied en abduction (sauf si elle est compensée par une adduction du BCP qui masque le défaut sus-jacent et qui oriente le pied correctement par rapport au genou). La torsion latérale progressive de jambe s'observe dans un très grand nombre de déformations des pieds pendant la deuxième partie de la croissance, entre 7 et 15 ans, chez des enfants porteurs de pieds bots idiopathiques et surtout dans de nombreuses déformations du pied d'origine neurologique.

Déformations dans le plan sagittal

Les déformations dans le plan sagittal peuvent conduire au développement d'un équin par freinage de croissance postérieure sur le cartilage distal du tibia (souvent iatrogénique par un acte opératoire agressif lors d'une opération de libération postérieure de pied bot), ou d'un pied calcaneus par un trouble de croissance antérieur du tibia.

Autres

D'autres déformations sont possibles, telle la déformation cupuliforme de la mortaise tibiofibulaire. Elle s'observe dans d'authentiques malformations congénitales (comme l'ectromélie longitudinale externe) avec un talus en dôme, mais aussi dans certaines dysplasies squelettiques (figure 8).

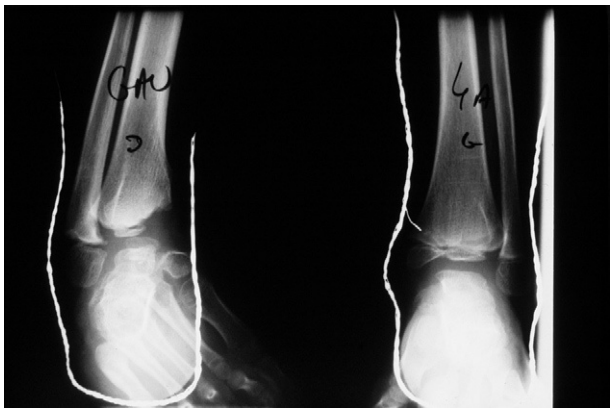


Figure 7. Varus iatrogénique épiphysométaphysaire médial du tibia par libération chirurgicale agressive sur le cartilage de croissance.



Figure 8. Déformation cupuliforme ou sphérique de la mortaise tibiotarsienne dans un pied en Z chez une enfant porteuse d'un syndrome de Larsen.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Talus

Les éventuelles déformations du talus sont en cohérence avec les déformations des os voisins, pince bimalléolaire au-dessus et calcaneus au-dessous. Cependant, deux déformations sont assez courantes :

- la perte de hauteur du corps du talus responsable d'une raideur tibiotalienne, séquelle fréquente après traitement d'un pied bot ;
- l'augmentation de l'angle de déclinaison du talus, en particulier dans le pied bot, ce qui induit d'emblée une adduction proportionnelle de l'ensemble du pied par rapport au plan de référence.

Calcaneus

Des déformations et des défauts d'orientation des surfaces articulaires sont possibles de façon variable et souvent difficile à préciser sur des radiographies. En cas de varus tibiotalien, il y a souvent une compensation sous-talienne en valgus, avec une modification correspondante de l'orientation de la facette articulaire postérieure. Les déformations les plus visibles sur les radiographies sont :

- l'orientation plus ou moins verticale du calcaneus au sol (en tenant compte des morphotypes déjà vus), en particulier suite à une paralysie du triceps (figure 9) ;
- l'orientation en dedans de la surface articulaire avec le cuboïde chaque fois qu'il y a une grosse déformation médiotarsienne en adduction ;
- l'orientation en haut de la grande apophyse calcanéenne pour s'adapter à la subluxation calcanéocuboïdienne d'un pied convexe congénital.

Bloc calcanéopédieux

Indépendamment d'un déplacement anormal du BCP par rapport à l'UTTF, le BCP peut être déformé dans le sens d'une accentuation de sa torsion dans le pied cavovarus ou au contraire d'un dévrillage dans le pied plat valgus.

Os du médio-pied

On peut observer de multiples déformations selon les trois plans de référence.

Dans le plan sagittal

Il peut s'agir d'un creux par cunéiformisation à base dorsale du naviculaire (figure 10) ou des os cunéiformes (fréquemment dans les pieds cavovarus) ou d'une déformation convexe par cunéiformisation à base plantaire comme dans certains pieds plats non valgus (figure 11).

Dans le plan horizontal

Il peut s'agir d'une abduction avec déformation de l'os naviculaire en coin à base médiale (comme dans certains pieds surtout abductus) ou d'une adduction avec une atteinte plus spécifique des os cunéiformes dont l'os cunéiforme médial se déforme en coin à sommet médial (comme dans les pieds en Z).

Dans le plan frontal

Si les déformations existent, elles sont difficiles à prouver.



Figure 9. Pied calcanéocavus : le calcaneus est vertical avec une hyperflexion dorsale dans l'articulation tibiotalienne et un important creux du médio-pied.



Figure 10. Pied creux avec cunéiformisation à base dorsale de l'os naviculaire.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 11. Radiographie de profil pour pied plat majeur avec convexité plantaire liée à des déformations en coin à base plantaire de l'os naviculaire et des os cunéiformes.
Les tirets représentent les articulations talonaviculaire et cunéométatarsienne.



Figure 12. Pied équin creux (remarquer la bosse dorsale et le sillon plantaire transversal témoignant de l'importance du cavus).



Figure 13. Pied équin convexe chez un infirme moteur cérébral marchant difficilement.

Déformation des métatarsiens

Ce sont surtout les défauts d'appui de l'avant-pied chez l'enfant en croissance qui induisent les déformations particulières des métatarsiens, en particulier les déformations globales en supination entraînant un excès d'appui sur le 5e métatarsien (M5) et des contraintes très fortes sur le M4. Cela explique l'épaississement des corticales et l'incurvation, voire la fracture de stress de l'un ou l'autre de ces métatarsiens (fréquente dans les pieds bots congénitaux ou les pieds varus d'origine variée). Une brièveté du 1er métatarsien peut être liée à un acte opératoire ayant touché son cartilage de croissance proximal.

Classification des déformations du pied

Si on exclut l'avant-pied, nous proposons une classification en dix groupes dont la dénomination est dictée par le défaut principal. Chaque groupe peut être divisé en sous-catégories en fonction de l'importance du deuxième défaut, etc.

Pieds équins

La marche se fait sur la pointe du pied. Les principales sous-catégories sont les suivantes.

Équin direct

Le pied est strictement normal, car il s'agit seulement d'une attitude en flexion plantaire de l'articulation talocrurale. La pathologie la plus fréquente est la marche en équin idiopathique, mais beaucoup d'affections neurologiques ou neuromusculaires sont révélées ou s'accompagnent d'un équin direct.

Pied équin creux

Outre l'équinisme de l'articulation talocrurale, il existe un creux du médio-pied, comme on peut l'observer dans un grand nombre de déformations neurologiques ou neuromusculaires (figure 12). Le cavus peut être direct ou s'accompagner d'une torsion du pied en cavovarus avec hyperpronation de l'avant-pied.

Pied équin convexe

La convexité correspond à une déformation du médio-pied en compensation de l'équin talocrural et s'observe plus particulièrement dans l'infirmité motrice cérébrale (figure 13).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied équin valgus

La composante de valgus peut siéger à tous les niveaux envisagés précédemment et ce type de déformation peut avoir une étiologie très variée.

Pied équin varus (figure 2)

La composante de varus est relativement discrète par rapport à l'équinisme qui est prédominant et qui doit le faire différencier des pieds varus équins (voir l'introduction), car le traitement n'est pas le même.

Pieds calcaneus (anciennement pieds talus)

La marche se fait de façon exclusive ou prédominante sur le talon. Celui-ci devient hypertrophique et se verticalise avec la croissance du fait de la paralysie ou de l'insuffisance tricipitale.

Pied calcaneus direct, sans autre déformation

L'hyperflexion dorsale s'accompagne volontiers d'une rétraction des parties molles antérieures (capsule de l'articulation talocrurale et tendons extenseurs).

Pied calcanéocavus

La composante de cavus vient compenser la déformation postérieure du pied de façon à rétablir une partie de l'appui sur les têtes métatarsiennes. Cette déformation s'observe lorsqu'il y a une paralysie associée des muscles de la loge antérieure de la jambe avec persistance des muscles intrinsèques du pied dans la région plantaire (figure 9).

Pied calcanéovalgus et pied calcanéo-cavo-valgus

La composante de valgus peut siéger à des niveaux différents, ce qui orientera la correction chirurgicale.

Pied calcanéovarus

La composante de varus peut siéger dans l'articulation sous-talienne, mais beaucoup plus souvent dans le médio-avant-pied avec une perte complète de l'appui antéromédial, un hallux flessus voire adductus.

Pieds varus

La marche se fait sur le bord latéral du pied. Il y a deux causes principales : le varus supramalléolaire par épiphysiodèse (volontiers post-traumatique) médiale du tibia et le varus sous-talien, qui est souvent associé à une adduction du BCP.

Pied varus pur

Cette déformation sans aucun équin peut s'observer dans les séquelles de poliomyélite ou spina bifida (avec une paralysie prédominant sur les muscles fibulaires) et implique une analyse précise du testing musculaire.

Pied varus équin

Il se différencie du précédent car il y a un équinisme talocrural, et on peut opposer deux formes bien différentes : le pied bot varus équin congénital et le pied varus équin acquis d'origine neurologique (dont les rétractions sont très différentes de celles du pied bot congénital).

Pied varus creux

La composante de creux est relativement faible par rapport au varus, ce qui fait qu'il n'y a pas d'appui sous la tête du 1er métatarsien et que les appuis sont exclusivement sur le bord latéral du pied; il y a néanmoins une pronation de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied. Cette déformation avec varus prédominant par rapport au creux doit être différenciée du pied cavovarus (page 83). Ces deux déformations doivent être analysées de façon précise pour envisager des corrections chirurgicales non identiques mais adaptées à chaque cas.

Pieds valgus

La marche se fait sur le bord médial du pied de façon prédominante, le valgus pouvant avoir une origine supramalléolaire et/ou sous-talienne.

Pied valgus pur

Le pied a une architecture normale, mais il est un peu couché sur son bord médial par rapport à la jambe. Le défaut peut être purement supramalléolaire : valgus tibiofibulaire par brièveté de la fibula et ascension de son cartilage de croissance.

Pied valgus planus

Il est difficile à différencier du pied plat valgus, mais nous avons dit que si l'une des composantes de la déformation est nettement prédominante, en particulier

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

l'aplatissement du pied, on donnera le nom de « pied plat valgus »; si, au contraire, c'est le valgus qui est prédominant, on donnera la dénomination « pied valgus planus ». Dans ce dernier cas, il peut s'agir d'un pied plat banal entre le BCP et l'UTTF associé à un valgus tibiotarsien. On voit qu'il n'est pas purement spéculatif de différencier ces deux anomalies : il faut toujours bien analyser les documents radiologiques pour situer exactement les défauts.

Pied valgus creux

Il est souvent confondu avec le pied valgus plat à cause du contact entre le bord médial du pied et le sol, mais si l'on fait une analyse clinique et radiologique rigoureuse, on constate qu'il n'y a pas d'aplatissement de la colonne médiale et que le médio-pied est bien creux mais que, du fait du valgus important, le pied prend une apparence trompeuse (figure 14). Beaucoup de pieds valgus creux sont modérés et constituent des morphotypes mais dans certaines pathologies neurologiques, les déformations peuvent être importantes et justifier une correction.

Pied valgus convexe

C'est l'association d'une convexité plantaire et d'un valgus global que l'on peut observer parfois dans certains pieds congénitaux, mais aussi dans des pieds dont la déformation est progressivement acquise dans un contexte neurologique. Dans les formes graves, on observe une véritable luxation du BCP en valgus sous l'UTTF.

Pied valgus équin et pied valgus équin planus

La composante d'équin est toujours importante à analyser, car elle peut rendre nécessaire, en cas de correction chirurgicale du pied valgus, un allongement du tendon d'Achille. L'oublier ferait prendre un risque de récidive du valgus.



Figure 14. Pied valgus creux.

Pieds adductus

La marche se fait pointe en dedans. Le défaut peut siéger en des sites variés, associés de façon diverse : torsion jambière nulle, augmentation de l'angle de déclinaison du talus, adduction du BCP sous l'UTTF, adduction médiotarsienne, déformation des os du médio-pied en adduction, adduction de l'interligne de Lisfranc, déformation en adduction métatarsienne. Cela peut s'observer dans les séquelles de pied bot varus équin congénital, dans les metatarsus varus, dans nombre de déformations neurologiques.

Pieds abductus

La marche se fait avec la pointe du pied en dehors. Les défauts siègent exactement aux mêmes niveaux que pour les pieds adductus. Les trois causes principales sont la torsion externe du squelette jambier, l'abduction du BCP (avec parfois subluxation voire luxation latérale de l'os naviculaire), l'abduction médiotarsienne, l'abduction dans l'interligne de Lisfranc voire dans une déformation des métatarsiens.

Pieds creux

Le creux se définit par le rapprochement entre les appuis des têtes métatarsiennes et l'appui talonnier postérieur. On exclut habituellement le pied cambré, c'est-à-dire un pied creux direct modéré qui est une variété de la normale (voir le chapitre « Morphotypes », page 58).

Selon que la déformation se fait purement dans le plan sagittal ou s'accompagne d'autres défauts, on distingue trois catégories.

Pied creux direct

Il se subdivise lui-même en trois formes distinctes faciles à comprendre si l'on assimile le pied à un compas : pied creux antérieur si c'est la branche antérieure du compas qui est déformée ou fermée, pied creux postérieur si c'est la branche postérieure, et pied creux mixte si les deux branches sont modifiées (figure 15).

Pied creux antérieur (figure 16)

C'est en réalité un équin dans le médio-pied qui abaisse les têtes métatarsiennes et qui est habituellement compensé par une mise en dorsiflexion de l'articulation

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

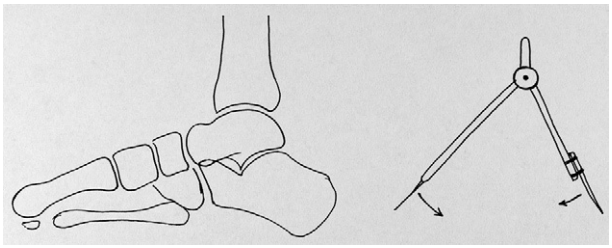


Figure 15. Assimilation du pied à un compas selon Queneau.

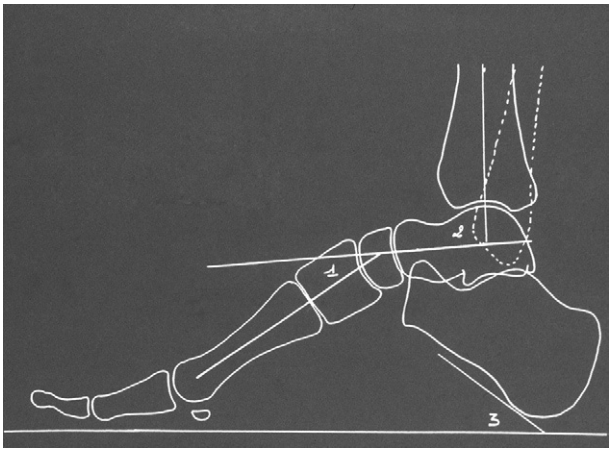


Figure 16. Pied creux direct antérieur.
1. Angle de Méary augmenté. 2. Angle tibiotalien diminué. 3. Angle d'incidence du calcaneus augmenté.

talocrurale, ce qui verticalise le calcaneus sans qu'il existe une déformation structurale de ce dernier. Dans ce type de pied creux antérieur non neurologique, la marche sur les talons est normale, avec un relèvement harmonieux du pied et des orteils. Les déformations peuvent être dans le naviculaire ou dans les os cunéiformes et sur une radiographie de profil, la silhouette du pied est caractéristique.

Pied creux postérieur (figure 17)

C'est la branche postérieure du compas qui s'est déformée, c'est-à-dire que le calcaneus s'est verticalisé (par insuffisance ou paralysie tricipitale), mais il n'y a pas de déformation dans le médio-pied et sur la radiographie de profil, l'angle de Méary reste voisin de 0°.

Pied creux direct mixte (figure 18)

Il associe les deux déformations, de l'arrière-pied avec verticalisation intrinsèque du calcaneus et du médio-pied avec cavus antérieur.

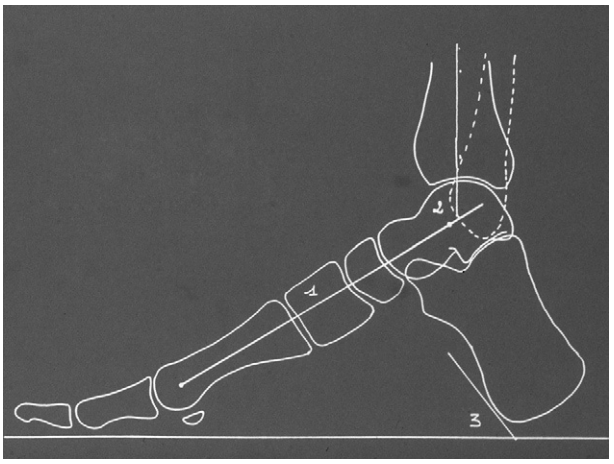


Figure 17. Pied creux direct postérieur.
1. Angle de Méary normal. 2. Angle tibiotalien augmenté. 3. Angle d'incidence du calcaneus augmenté.

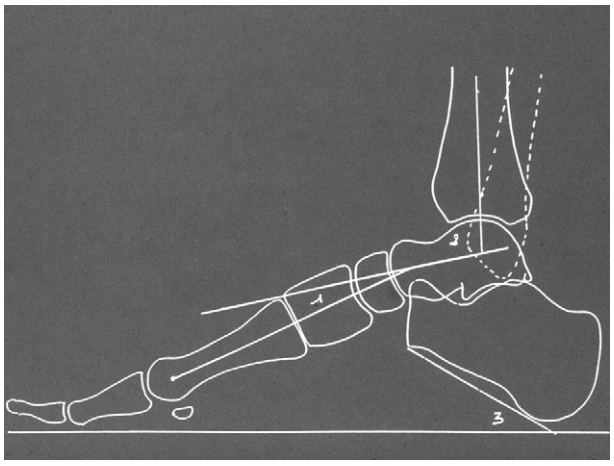


Figure 18. Pied creux mixte.
1. Angle de Méary augmenté. 2. Angle tibiotalien normal. 3. Angle d'incidence du calcaneus augmenté.

Pied creux valgus ou pied cavovalgus

La composante de valgus peut siéger dans la région supramalléolaire ou dans la région sous-talienne. On peut observer cette déformation chez des sujets normaux comme variante un peu extrême de la normale (chez des individus hyperlaxes), mais on peut aussi l'observer dans des déformations neurologiques ou d'étiologie autre.

Pied creux interne ou pied cavovarus

C'est la déformation en hélice caractéristique d'une affection neurologique ou neuromusculaire. Elle associe une pronation irréductible du médio-avant-pied

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

et une supination calcanéenne avec une rotation latérale de l'UTTF (voir le chapitre « Pied de la maladie de Charcot-Marie-Tooth », page 187).

On en rapprochera le pied cavovarus équin, qui représente la même déformation associée à un équinisme tibiotalien.

Pieds plats

Cela correspond à un aplatissement global de l'empreinte plantaire. Cela peut correspondre à un morphotype mais aussi à un dévrillage du BCP avec hypermobilité entre ce dernier et l'UTTF.

Pied plat physiologique

C'est un morphotype avec un angle d'incidence au sol du calcaneus très faible et un angle de Méary très faible (voisin de 0°).

Pied plat valgus statique

Cette déformation est inverse de ce que l'on observe dans le pied cavovarus : dévrillage de l'hélice du BCP (avec supination de l'avant-pied et pronation du calcaneus) associé à une rotation médiale de l'UTTF. Il faut opposer les formes modérées physiologiques de l'enfant de 5 ans, hyperlaxe, et les formes graves pas forcément complètement réductibles.

Pied plat grave voire convexe mais non valgus

C'est une éventualité rare mais qu'il faut connaître, car la localisation des déformations orientera un éventuel acte chirurgical.

Pied planovalgus équin

La composante d'équinisme aggrave probablement le valgus global du BCP.

Pied planocavus (ou pied plat creux)

Il s'agit d'une entité nouvellement décrite qui associe à l'effondrement en plat de la colonne médiale (avec un angle de Méary modifié) un cavus sur la colonne latérale avec un angle calcaneus-5^{e} métatarsien nettement diminué sur le cliché de profil. Son traitement, éventuellement chirurgical, nécessite des actes précis pour essayer de corriger ce double défaut apparemment contradictoire (figure 3).

Pieds convexes

Cliniquement, il y a une perte de l'appui postérieur du talon et souvent une perte de l'appui des têtes métatarsiennes, avec une prédominance voire une exclusivité de l'appui médioplantaire.

Pied convexe congénital

Il s'agit bien souvent d'une déformation purement dans le plan sagittal, avec une luxation médiotarsienne à prédominance nette talonaviculaire (voir le chapitre consacré à ce sujet, page 127).

Pied convexe acquis

Il s'agit d'une déformation qui survient progressivement soit après traitement un peu forcé d'un pied bot varus équin congénital, soit au cours d'une pathologie neurologique. Là encore, il faut bien analyser les déformations clinique et radiologique avant de proposer une éventuelle correction chirurgicale.

Déformations atypiques

Étant donné ce que nous avons dit en introduction, de multiples déformations plus ou moins associées peuvent être possibles au niveau des pieds, et il serait illusoire de pouvoir toutes les décrire.

Conclusion

Les applications pratiques sont importantes :

- chez l'adulte, l'arthrodèse triple (sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne), qui a longtemps été considérée comme une opération pouvant régler tous les problèmes, est bien souvent inadaptée aux déformations complexes du pied. Seule une analyse approfondie des déformations permet de proposer un traitement adapté à chaque cas ;
- chez l'enfant en croissance, on ne doit plus dire : « On va attendre et on fera une arthrodèse en fin de croissance. » Il faut, au contraire, pouvoir analyser très précisément les déformations ostéoarticulaires pour les corriger pendant l'enfance dans le but d'éviter la triple arthrodèse.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Principes thérapeutiques

B. FERRE[1], R. SERINGE[2]

Introduction

La décision thérapeutique en médecine doit toujours être prise grâce à une comparaison faite entre les bénéfices que notre action est supposée apporter au malade et les risques qu'elle lui fait courir. Cette démarche s'applique sans restriction aux traitements des déformations du pied, qu'elles soient dynamiques, statiques ou structurales, congénitales ou acquises, fixées ou évolutives. Elle doit s'appuyer sur des connaissances objectives et s'intègre parfaitement dans le concept de médecine basée sur les preuves.

Il faut, préalablement à l'action, déterminer avec précision l'élément ou le mécanisme qui ne fonctionne pas convenablement, puis essayer de le réparer, de le compenser ou de le remplacer. Nous disposons pour cela de moyens variés dont la iatrogenèse (les risques) est souvent proportionnelle à l'efficacité (les bénéfices).

Après avoir présenté les moyens thérapeutiques à notre disposition, nous envisagerons la stratégie thérapeutique en pathologie du pied.

Moyens thérapeutiques

Le fonctionnement du pied nécessite qu'il soit à la fois mobile et stable. Les moyens thérapeutiques à notre disposition pour corriger ces troubles sont peu nombreux et d'une efficacité variable. Ils sont parfois synergiques. Ils doivent tous corriger les déformations, restaurer la stabilité et la mobilité en évitant la raideur et l'instabilité, et enfin préserver l'équilibre musculaire.

Bien qu'utilisés le plus souvent conjointement ou successivement au cours d'une séquence thérapeutique, nous les décrirons chacun séparément en fonction de l'âge.

Nouveau-né et nourrisson

À cet âge, les principaux moyens thérapeutiques pour corriger une déformation sont représentés par la kinésithérapie passive et active, les plâtres correcteurs et des systèmes de maintien de la correction (strapping seul, strapping sur plaquette, attelles diverses). La place de la chirurgie est assez restreinte dans cette tranche d'âge et est dominée par la ténotomie percutanée du tendon d'Achille pour un pied bot varus équin et exceptionnellement, de nos jours, une libération plus ou moins extensive des parties molles.

Kinésithérapie passive

Il s'agit de manipulations ou mobilisations pour assouplir le pied, étirer les parties molles rétractées. Elles doivent être prudentes, attentives et non douloureuses. Il est préférable de confier le traitement à un kinésithérapeute entraîné et habitué aux pieds des nourrissons.

Kinésithérapie active

Elle consiste à provoquer des contractions musculaires par des stimuli appropriés en vue de restaurer l'équilibre musculaire. Les stimulations sont réalisées avec le doigt (ou l'ongle) du kinésithérapeute ou à l'aide d'une petite brosse ou d'un objet métallique.

Plâtres correcteurs

C'est à la fois une méthode de correction proprement dite et un maintien de la correction pendant une période variable. La mise au repos d'un muscle bref ou rétracté relâche le corps musculaire et la diminution de la tension exercée sur la jonction musculotendineuse améliore la croissance. Chez le nouveau-né et le nourrisson, il s'agit presque toujours d'un plâtre fémoropédieux avec le genou fléchi à 90° pour éviter le glissement du pied avec recul dans le plâtre et pour bien contrôler les problèmes horizontaux sous-taliens.

Strapping

C'est un bandage adhésif extensible, efficace seulement pour des déformations mineures et réductibles.

[1] Institut monégasque de médecine et chirurgie du sport, 11, avenue d'Ostende, MC 98000 Monaco.
[2] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Strapping sur plaquette

L'efficacité de ce type de contention est liée à la fixation stricte du pied par des bandes adhésives non extensibles sur une semelle ou plaquette rigide (en bois, en alu ou en plastique). On peut adapter la forme de la plaquette en fonction de chaque cas pour fixer le pied dans une position apparente d'hypercorrection. Le pied fixé sur la plaquette est ensuite solidarisé à la jambe ou au genou fléchi par un strapping.

Cette méthode est déjà plus efficace que le strapping simple, mais reste insuffisante pour maintenir correctement des déformations d'importance moyenne ou sévère. Il faut alors conserver la plaquette mais remplacer le strapping par une attelle thermoformable fémoropédieuse.

Attelles

De nombreux modèles ont été décrits pour maintenir la correction d'une déformation :
- attelle de Denis-Browne (solidarisation des deux pieds par une barre articulée) ;
- attelle articulée Clubax™ avec plusieurs articulations pour obtenir des corrections dans les trois plans de l'espace ;
- attelle simple fémoropédieuse en matériau thermoformable ;
- attelle courte jambopédieuse si on souhaite laisser le genou libre – en revanche, les défauts rotationnels sous-taliens ne sont pas contrôlés.

Chirurgie

La tendance actuelle est d'éviter le plus possible la chirurgie dans les déformations du pied chez le nouveau-né et le nourrisson et d'exploiter au mieux les possibilités des méthodes orthopédiques décrites ci-dessus. À part, citons la ténotomie percutanée d'Achille intégrée dans un traitement orthopédique de longue durée pour un pied bot varus équin congénital.

Durant l'enfance (enfant après l'âge de la marche et avant l'adolescence)

À cet âge, les moyens thérapeutiques diffèrent nettement de ceux du nourrisson : les moyens orthopédiques sont moins efficaces et la chirurgie peut prétendre à une place importante.

Semelles orthopédiques (orthèses plantaires)

Pour corriger un trouble statique, les semelles et autres coques talonnières ont fait la preuve de leur inefficacité. Donc, pour les déformations structurales, la semelle orthopédique ne peut avoir qu'une action antalgique afin de répartir mieux les pressions.

Chaussures orthopédiques

N'ayant guère de vertu thérapeutique, la chaussure orthopédique est d'indication exceptionnelle chez l'enfant, car ce n'est qu'un cache-misère. En effet, une déformation d'un pied, si elle est telle que l'enfant ne peut pas être chaussé normalement, doit être opérée. Depuis plus de 30 ans, nous l'avons remplacée par un appareillage nocturne.

Kinésithérapie

Elle est en partie passive pour étirer des structures rétractées, mais surtout active pour améliorer l'équilibre musculaire.

Attelles

À cet âge, pour éviter la récidive de certaines déformations pendant la croissance, un appareillage nocturne est indispensable pour lutter contre l'équin, le varus, le valgus, le calcaneus. Il peut s'agir d'attelle en matériau thermoformable mais aussi d'orthèse de Perlstein (anti-équin, anti-creux…) en cuir et métal (mieux supportée que les attelles en plastiques).

Plâtres correcteurs

À cet âge, il s'agit encore d'une méthode assez efficace pendant 1 ou 2 mois ; le relais est ensuite pris par un appareillage nocturne.

Chirurgie

Elle fait appel à de nombreuses techniques dont les objectifs sont différents :
- libération des parties molles rétractées avec capsulotomies, allongements tendinomusculaires, aponévrotomies…
- ostéotomies diverses : ostéotomie de translation, ostéotomies en vue d'allongement, ostéotomies de soustraction et d'addition, résections osseuses… le but étant d'éviter la triple arthrodèse (sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne) en fin de croissance.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Chez l'adolescent et l'adulte

Kinésithérapie

Grâce à des actes réalisés de façon manuelle ou instrumentale, elle prévient l'altération des capacités fonctionnelles et concourt à leur maintien. Elle les rétablit ou les supplée lorsqu'elles sont altérées, par le fait de l'affection initiale ou par celui du geste chirurgical.

Elle fait partie intégrante des traitements chirurgicaux dont elle est indissociable au point d'en contre-indiquer certains si elle n'est pas possible.

Elle renforce, corrige, compense tous les systèmes mis en œuvre au cours de la marche. Elle a un rôle essentiel dans la prévention des raideurs et dans la « remise en route » ou le renforcement des contrôles neurologiques.

Semelles (orthèses plantaires)

Elles ne peuvent agir que quand le pied est au sol. Elles peuvent modifier non pas tant l'architecture de l'arrière-pied pour le mettre dans des conditions de stabilité géométrique (par exemple par adjonction d'un coin pronateur sous le talon pour lutter contre une instabilité latérale provoquée par un varus de l'arrière-pied). Elles peuvent aussi avoir pour rôle de diminuer les pressions d'appui du pied au sol en augmentant sa surface par remise en charge d'une zone qui aurait perdu le contact avec le sol. Enfin, elles peuvent avoir un rôle proprioceptif en changeant (« reprogrammation ») le fonctionnement des mécanorécepteurs de la plante du pied.

Chaussures et orthèses (coques, attelle jambopédieuse)

La chaussure ne doit pas entraver le fonctionnement normal du pied. Le fait de choisir une chaussure ni trop rigide, ni trop étroite avec une forme adaptée à celle du pied peut déjà être un moyen thérapeutique.

Plus élaborées et faites sur mesure, les chaussures orthopédiques ont pour rôle d'essayer de corriger une déformation encore réductible ou de rendre la stabilité à un pied instable en lui ajoutant par l'extérieur les facteurs de rigidité intrinsèque qui lui manquent. Cette action trouve vite ses limites, car cette stabilisation externe n'est possible que par mise en contrainte d'éléments qui ne sont pas faits pour cela (par exemple la peau). Il est bien sûr possible de reprendre, au niveau de la semelle de ces chaussures, toutes les adaptations qui ont été décrites au paragraphe précédent.

Elles rendent, en association avec les autres moyens thérapeutiques, de grands services à certains patients adultes en leur permettant de retrouver la capacité de se déplacer faute de pouvoir réellement marcher ou courir.

Orthèses de nuit

Elles sont rarement indiquées chez l'adolescent et l'adulte, sauf dans certaines pathologies évolutives avec risque d'aggravation de la déformation du pied.

Traitements chirurgicaux

Seule la chirurgie peut changer de manière définitive l'anatomie ou la physiologie. Les gestes chirurgicaux visent tous à procurer une amélioration de la fonction et/ou une réduction de la douleur en agissant à tous les niveaux : osseux, articulaires et tendinomusculaires. Les procédés chirurgicaux sont connus et sont ceux de la chirurgie orthopédique : ostéotomies, arthrolyses, arthrodèses, prothèses, ligamentoplasties, ténolyses, ténodèses, etc. En pathologie du pied, ils sont souvent associés dans le même temps opératoire, ce qui accroît les difficultés des suites opératoires du fait de l'antagonisme de certains d'entre eux en termes de suites opératoires.

Stratégie thérapeutique

Elle va dépendre de plusieurs facteurs parmi lesquels sont prioritaires ceux décrits ci-dessous.

Attitudes vicieuses articulaires et/ou déformations osseuses

Elles sont abordées au chapitre précédent, pages 76 à 80.

Retentissement dynamique lors de la marche lorsque celle-ci n'est pas acquise

Le pied est la seule partie du corps en contact avec le sol. Le rôle du pied est de créer, en réaction avec le sol, des forces qui vont permettre à l'individu de se déplacer et de ne pas tomber (le centre de gravité est en permanence attiré vers le bas par la force de la gravité). Le pied doit pour cela alterner des phases de plasticité pour s'adapter aux inégalités du sol et des phases de rigidité pour que les forces le déplacent sans le déformer.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Le cycle de marche comporte quatre phases. La dynamique de chacune d'elle explique les pathologies qui l'affectent.

Phase aérienne (*swing* des Anglo-Saxons)

Pendant cette phase, le pied, sans contact avec le sol, doit se positionner dans l'espace pour préparer les phases suivantes. La chaîne cinématique du membre inférieur (bassin compris) est organisée de telle sorte que le pied se pose au sol avec son axe proche de celui de la ligne de marche, et avec la plante presque parallèle avec le sol. Nombre d'anomalies du membre inférieur (troubles de torsion, déformation dans le plan frontal, raideur, etc.) et des muscles (spasticité, rétraction, atonie) peuvent compromettre ce prépositionnement, et provoquer lors de l'atterrissage du pied des forces de cisaillement génératrices d'instabilité ou de destruction des tissus. Tout ce qui pourra contribuer au bon alignement du pied et au parallélisme de la plante avec le sol pourra donc contribuer à améliorer la marche et le fonctionnement du pied. Il faudra donc savoir intervenir à distance du pied, sur l'ensemble de la chaîne cinématique du membre inférieur, en agissant là où siège la déformation et sur l'élément perturbateur (os, muscles, tendons, système neurologique) par de la kinésithérapie, de la chirurgie ou une orthèse (relève-pied, par exemple).

Premier pivot

Il s'agit de la période comprise entre la prise de contact du talon et le moment où l'ensemble du pied repose à plat sur le sol. Il faut pendant cette phase que le point d'application des forces de réaction du sol situé dans l'arrière-pied ne soit pas trop éloigné du point d'action du poids du corps situé au niveau du tibia, afin que le système reste géométriquement stable et que le système musculoligamentaire ne soit pas sollicité au-delà de sa résistance maximum. Il faut donc que l'arrière-pied soit suffisamment rigide pour ne pas se disloquer sous la contrainte lors du choc élastique du talon avec le sol, et suffisamment mobile pour permettre la transition du centre de gravité au-dessus de la tibiotalienne par son passage de la flexion plantaire à la flexion dorsale. Cette ambivalence stabilité-mobilité est assurée par l'interdépendance des systèmes de stabilisation : les surfaces articulaires de la talocrurale et de la sous-talienne, les ligaments de stabilisation de ses deux complexes articulaires (médial, latéral et ligament interosseux), les muscles postérieurs (triceps), postéromédiaux (fléchisseurs et tibial postérieur) et latéraux (les fibulaires). Cet ensemble fonctionne d'une manière globale sous le contrôle étroit du système neurologique. Les traitements des anomalies qui affectent cette phase seront donc complexes, puisqu'ils devront agir en même temps sur les éléments responsables des déséquilibres dans le but de restaurer à la fois la mobilité et la stabilité. Toute erreur faite dans l'analyse du dysfonctionnement puis dans sa correction sera le plus souvent sanctionnée par une aggravation de la situation par création d'un nouveau déséquilibre.

Phase de transition

Il s'agit du moment où le pied est à plat sur le sol et où il supporte seul tout le poids du corps quand le centre de gravité bascule d'arrière en avant. Pendant cette phase, le pied s'adapte définitivement aux irrégularités du sol en amortissant les accélérations et décélérations provoquées par la prise de contact avec le sol. Simultanément, grâce aux muscles intrinsèques et extrinsèques, le pied devient rigide pour supporter sans se déformer les forces qui vont être créées à la phase suivante. Ce changement d'état se fait pendant cette période par une succession d'éversion et d'inversion passive et active de l'articulation de Chopart ou, mieux, de dévrillage du bloc calcanéopédieux puis d'amorce de revrillage.

En cas de perte de cette capacité d'inversion passive et active, le pied ne peut plus se transformer en un corps rigide qui va être déplacé par les forces de propulsion. Les forces ont alors une action déformante qui provoque un flambage en valgus-pronation et aboutira à la déstructuration définitive qui sera difficile à traiter. Cette déformation ne peut être évitée que grâce à un enraidissement du pied, qui perd alors ses possibilités d'adaptation au terrain.

Les thérapeutiques doivent éviter cet enraidissement, ce qui est souvent le cas de la chirurgie. La kinésithérapie et les orthèses plantaires peuvent être très efficaces sur ces mécanismes et trouvent dans cette phase un champ d'action large.

Phase de propulsion

Il s'agit de la dernière phase du pas, où les forces de propulsion agissent. Elle n'est efficiente que si les phases qui l'ont précédée se sont déroulées correctement. Il s'agit d'une phase qui concerne l'avant-pied et que nous n'aborderons pas ici.

Décision thérapeutique

En pathologie du pied, elle est par essence complexe, puisqu'il faut tenir compte de multiples facteurs étiologiques et utiliser simultanément plusieurs méthodes

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

thérapeutiques. Tout dépend du degré de complexité du problème.

Cas simples

Le problème peut être simple : déformation isolée, entraînant un dysfonctionnement bien identifié, facile à corriger. Une intervention simple, avec peu de dangers, comme la correction d'un équin isolé, la résection d'une petite synostose ou une ostéotomie du calcaneus, suivie d'une rééducation courte, va permettre au malade de recouvrer une fonction normale et indolente.

Cas de difficulté moyenne

Le problème peut être un peu plus complexe :
• chez l'enfant, il ne faut pas laisser évoluer une déformation tant que la croissance persiste et il faut prendre une décision chirurgicale après échec des traitements orthopédiques ;
• chez l'adulte, il y a des situations fonctionnelles dégradées mais acceptables qui peuvent être faiblement améliorées, sans risque, par la rééducation ou les chaussures, ou grandement améliorées voire normalisées par une intervention dont les risques sont réels. La décision thérapeutique doit être prise avec le malade et sa famille, au besoin au cours d'une consultation pluridisciplinaire seule à même de bien évaluer les risques liés à l'évolutivité de la pathologie.

Cas complexes

Il existe enfin des situations quasi inextricables. Il s'agit le plus souvent d'états cliniques évolutifs du fait de la maladie ou de la croissance. Le chirurgien doit alors, en collaboration avec tous les autres intervenants (voire un chirurgien plasticien en cas de problème cutané), être capable d'apprécier non seulement les effets bénéfiques ou non de son intervention, mais aussi le rôle que pourra jouer sur l'état algofonctionnel du malade la croissance ou la maladie si elle est évolutive.

Synthèse : la balance bénéfice/risque

Lors des corrections chirurgicales ou orthopédiques des déformations du pied, les risques sont les mêmes que ceux de l'orthopédie en général. Cependant, il existe des risques spécifiques à ces traitements qui sont essentiellement des risques de perte fonctionnelle pouvant aller jusqu'à la perte de la marche.

L'évaluation des résultats en termes de chirurgie des déformations du pied se fait grâce à des scores algofonctionnels dont les deux limites sont : la normalité (la marche, la course et le saut monopode sur la pointe sont possibles en toutes circonstances et d'une manière indolore) et la pire situation (aucune fonction n'est possible et le malade est très douloureux, y compris au lit).

L'expression objective de la « balance bénéfice/risque » nécessite donc l'appréciation de trois critères : l'état initial du patient, l'état présumé de celui-ci à l'issue d'une séquence thérapeutique réussie et l'état présumé en cas d'échec thérapeutique et de complication.

La thérapeutique idéale reste celle qui permet de recouvrer la normalité au prix d'un risque quasi nul. Ce but est parfois inaccessible et il faut savoir être pragmatique et rechercher l'indolence au prix d'un certain sacrifice fonctionnel.

Lorsqu'il existe plusieurs options pour le traitement d'une déformation, il faudra toujours privilégier celle qui, en cas de complications, laisse des solutions de rattrapage. En d'autres termes, il faudra toujours éviter des solutions trop définitives qui peuvent aggraver l'état algofonctionnel du patient et qui le conduisent dans une impasse thérapeutique.

Il faut donc en permanence évaluer nos actions par l'utilisation de scores judicieusement choisis.

Conclusion

Les pathologies et les déformations du médio-pied et de l'arrière-pied sont d'origines plurifactorielles, ce qui rend difficiles les décisions thérapeutiques. Celles-ci doivent toujours être prises au terme d'une démarche intellectuelle rigoureusement scientifique. Les actions stéréotypées n'y ont pas leur place et il faut, même dans les situations qui paraissent les plus simples, choisir le traitement qui donne le moins de complications et qui assure le meilleur compromis stabilité/mobilité.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied bot varus équin congénital

P. WICART[1], Y. TOURNÉ[2]

Introduction

Le pied bot varus équin congénital (PBVE) est la plus fréquente des véritables pathologies orthopédiques de l'enfant, avec la luxation congénitale de la hanche. Ce chapitre est focalisé sur la forme idiopathique, à l'exclusion des formes secondaires à différentes pathologies.

Historique

Le PBVE congénital a été rapporté dès la plus haute antiquité, que ce soit dans les civilisations égyptiennes ou grecques, en particulier par Hippocrate, qui évoquait son caractère congénital. Le premier traitement chirurgical a été rapporté par Vincent-Jackson en 1888 [1], qui de façon très clairvoyante proposait une ténotomie d'Achille et du tendon du tibial antérieur. Le traitement orthopédique est un des éléments clés de la prise en charge du pied bot qui a été initié en même temps par Masse en France [2] et par Ponseti aux États-Unis [3].

Étiopathogénie

Une hypothèse étiopathogénique évoquée est l'existence d'une fibrose rétractile de type néofibroblastique des structures médiales [4]. Cependant, cette hypothèse est mise à mal par le fait que certains syndromes caractérisés par une hyperlaxité ligamentaire comme le syndrome de Larsen, le syndrome d'Ehlers-Danlos et l'ostéogenèse imparfaite, s'accompagnent de pieds bots. D'autres hypothèses étiologiques correspondraient à des anomalies ostéoarticulaires [5], comme une dysmorphie du col du talus et de l'articulation talonaviculaire ou des anomalies musculaires [6] avec atrophie des fibres de type I. Il s'agit là probablement plus des effets que d'une cause.

L'hypothèse la plus plausible est une perturbation du développement du pied pendant la période fœtale [7]. Dans des conditions physiologiques, la morphologie du pied à la fin du premier trimestre de la vie intra-utérine est évocatrice de PBVE avec équin, supination, adduction. Entre la 8e et la 14e semaine de grossesse, un redressement progressif du pied aboutit à une morphologie normale telle qu'elle est habituellement observée en fin de période fœtale [8]. À l'inverse, une perturbation du développement du pied survenant entre la 8e et la 14e semaine de vie intra-utérine entraînerait la persistance de cette déformation. Apparaissant après la période embryonnaire, le PBVE n'est donc pas une malformation. Apparaissant bien avant le 3e trimestre, le PBVE n'est pas une déformation positionnelle, ce qui explique le fait qu'une guérison ad integrum est impossible.

Plusieurs constatations plaident en faveur d'une composante génétique dans l'étiologie du PBVE. La concordance chez des vrais jumeaux atteint 33 %. La notion de cas familiaux est retrouvée dans 25 % des cas [9]. De même, il existe des variations ethniques avec un taux très bas en Chine (0,4 pour 1000 naissances) et très haut dans les îles du Pacifique (7 pour 1000 naissances) [10]. Enfin, la prédominance masculine est nette. Le mécanisme génétique n'est pas encore connu [11]. Certains travaux évoquent une expression incomplète d'un gène dominant avec une pénétrance incomplète [12], d'autres un modèle récessif [13]. Selon d'autres auteurs, il s'agirait d'un modèle polygénique [14].

Certains facteurs exogènes auraient un rôle dans la genèse d'un PBVE. Par exemple, une amniocentèse précoce avant 13 semaines de gestation augmente le risque de PBVE, alors que le même geste réalisé plus tardivement n'a pas d'effet [15]. L'existence d'un oligohydramnios au début de la grossesse est un élément qui peut perturber le développement du pied [16] sans que la cause soit mécanique. Le tabagisme maternel est aussi un élément qui augmente la fréquence du PBVE, s'il existe des antécédents familiaux de PBVE.

Anatomopathologie

Il s'agit d'une déformation du pied dans les trois plans de l'espace associant un équin, une adduction et une

[1] Université Paris-Descartes, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Groupe chirurgical République, 15, rue de la République, 38000 Grenoble.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

supination. Les anomalies primitives observées en cas de PBVE concernent le segment jambier, la cheville, l'arrière-pied et le médio-pied (figure 1).

Anomalies articulaires

Différentes anomalies articulaires ont été décrites.

Équin

L'équin siège essentiellement dans l'articulation tibiotalienne mais aussi, de façon moindre, dans l'articulation sous-talienne.

Adduction

L'adduction se situe d'une part au niveau du complexe articulaire sous-talien avec mouvement du bloc calcanéopédieux (BCP) sous l'unité talo-tibio-fibulaire (UTTF) [17-19]. L'adduction du BCP combine un déplacement en dedans de la pointe du pied (avec un rapprochement entre l'os naviculaire et la malléole tibiale) et un déplacement en dehors du talon (avec rapprochement entre la tubérosité calcanéenne et la malléole fibulaire). L'adduction de l'articulation transverse du tarse est responsable de l'adduction de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied, générant une convexité du bord latéral du pied. La topographie de ces différents éléments d'adduction ainsi que la double appartenance de l'articulation talonaviculaire expliquent le rapprochement très intime entre la tubérosité du naviculaire et la malléole tibiale. Apparaît parfois en cours d'évolution une adduction plus distale de siège tarsométatarsien avec un metatarsus adductus.



Figure 1. Spécimen de PBVE néonatal.
Les perturbations anatomiques concernent la cheville (équin), le complexe articulaire sous-talien (adduction, supination et équin du BCP sous l'UTTF) et l'articulation transverse du tarse (adduction). Ces deux dernières composantes expliquent la proximité existant entre malléole tibiale et tubérosité du naviculaire. *Collection R. Seringe.*

Supination

La loi des mouvements successifs de McConnail (adaptée à une énarthrose) stipule que deux mouvements dans deux plans perpendiculaires induisent automatiquement un mouvement dans le troisième plan. Appliquée à l'articulation tibiotalienne pour l'équin et à l'ensemble du complexe articulaire sous-talien pour l'adduction et la supination, cette loi suggère que la supination est induite par la combinaison de l'adduction et de l'équin [17–19]. Il s'agit « d'une fausse supination » qui disparaît après correction de l'équin. La supination de l'arrière-pied, ou supination calcanéenne, répond par conséquent à un double mécanisme : la supination « relative » liée à l'équin tibiotalien sur un pied en adduction très marquée et la supination « vraie » associée à l'adduction du BCP. La supination de l'avant-pied semble purement induite par l'arrière-pied ; cela est lié à la position en adduction-supination du BCP sous le talus, de telle façon que la surface articulaire antérieure du calcaneus devient sous-jacente à celle du talus au lieu de lui être juxtaposée.

Anomalies osseuses

Il existe des déformations osseuses avec une orientation anormalement médiale (augmentation de l'angle de déclinaison) et plantaire du col du talus. L'angle de déclinaison entre le corps et le col du talus est diminué, approchant 120°, alors qu'il est de 150 à 160° dans des conditions physiologiques [20].

Si on considère les arches longitudinales du pied, il apparaît que l'arche latérale est plus longue que l'arche médiale.

Une adduction résiduelle importante siégeant dans le pied peut être compensée et masquée par une torsion tibiale latérale excessive, qui augmente en cours de croissance. Il n'existe pas, en principe, de torsion tibiale médiale. Cependant, les données de la littérature sont contradictoires. Une inégalité de longueur des membres inférieurs est fréquente du fait d'une diminution de la hauteur de l'arrière-pied et en particulier du talus. Cette différence peut parfois dépasser 2 cm, siégeant alors dans le tibia, et requérir une épiphysiodèse à l'âge adapté.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Rétractions des parties molles

La rotation médiale du BCP sous l'UTTF entraîne un téléscopage des parties molles réalisant des nœuds fibreux [17-19].

• Le *nœud fibreux postérolatéral* décrit par Seringe en 1975 [21] est constitué par les ligaments talo- et calcanéofibulaires ainsi que le rétinaculum des fibulaires, qui arrime la gaine des tendons fibulaires au calcaneus (figure 2).

• Le *nœud fibreux antéromédial* est constitué par l'adhérence entre la capsule articulaire talonaviculaire, le tendon tibial postérieur, le versant dorsal de la gaine du tendon du long fléchisseur des orteils et le bord supérieur du septum médial de la plante (cloison intermusculaire interne de la plante) au contact du nerf plantaire médial. Il n'y a pas d'adhérence avec la gaine du tendon long fléchisseur de l'hallux (qui est plus proximale). L'accès à la capsule talonaviculaire nécessite l'ouverture préalable des tissus conjonctifs s'étendant dans l'espace étroit entre la malléole tibiale et la tubérosité du naviculaire.

• Le *nœud fibreux antérolatéral* est constitué par le versant antérolatéral de la capsule articulaire sous-talienne antérieure et la partie latérale du faisceau inférieur du rétinaculum des extenseurs.

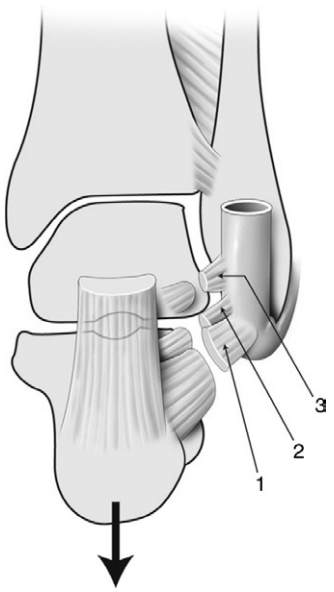


Figure 2. Nœud fibreux postérolatéral (vue postérieure). 1 : Rétinaculum des fibulaires ; 2 : ligament calcanéo-fibulaire ; 3 : ligament talofibulaire postérieur.
D'après Carlioz H, Kolher R. Techniques chirurgicales, orthopédie traumatologie de l'enfant. Orthopédie pédiatrique. Paris : Masson ; 2005. p. 158.

Anomalies musculaires

Il n'y a pas d'anomalie d'insertion musculaire dans le PBVE idiopathique. Mais il existe toujours des anomalies musculaires affectant toutes les loges de jambe avec un volume inférieur à celui constaté du côté sain [22]. Rarement, peuvent être distingués des muscles surnuméraires s'insérant par exemple sur la face dorsale du calcaneus.

Anomalies vasculaires

Des anomalies vasculaires avec une prédominance de l'artère tibiale postérieure et parfois une absence de l'artère tibiale antérieure [23] peuvent expliquer des complications ischémiques de la chirurgie.

Examen clinique

Nouveau-né et nourrisson

Lors du premier examen, la démarche diagnostique est triple.

Diagnostic positif

Le diagnostic de PBVE est basé sur la mise en évidence de la triple déformation irréductible (équin, adduction, supination). Il convient d'éliminer deux diagnostics différentiels. Le pes varus évoque par sa morphologie un PBVE, mais c'est l'examen clinique qui, révélant le caractère complètement réductible de la déformation, permet d'en faire le diagnostic. Le metatarsus varus ou adductus est caractérisé par une déformation transversale siégeant dans l'articulation de Lisfranc.

Diagnostic étiologique

Cette étape consiste à éliminer les PBVE non idiopathiques. Il peut s'agir d'un PBVE paralytique, évoqué devant l'absence de motricité active des extenseurs d'orteils. La contraction des muscles fibulaires n'est souvent pas perceptible chez le nouveau-né pendant les premiers jours de vie, même en cas de PBVE idiopathique. Des anomalies de la main (clinodactylie, doigt en baguette, pouce flexus adductus) sont évocatrices d'arthrogrypose distale. Des anomalies plus proximales (genu recurvatum, luxation congénitale de la hanche, attitude vicieuse des coudes et des épaules) sont évocatrices d'arthrogrypose congénitale multiple. L'examen cutané est important, car l'existence de fossettes siégeant sur les convexités articulaires est évocatrice d'arthrogrypose alors qu'une anomalie

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

postérieure en regard de la ligne médiane rachidienne révèle un dysraphisme spinal, et un sillon plus ou moins profond dans la jambe est en faveur d'une bride amniotique. Une dysmorphie faciale impose de rechercher différents syndromes. Il peut aussi s'agir de PBVE malformatif avec synostose sous-talienne caractérisée par l'irréductibilité de la déformation, d'agénésie mineure du tibia distal caractérisé par l'irréductibilité du varus et la saillie latérale très distale de la malléole fibulaire ou enfin d'une ectromélie longitudinale latérale avec instabilité sagittale du genou.

Diagnostic de gravité

Il est important de déterminer la sévérité du PBVE à la naissance. Les deux échelles les plus fréquemment appliquées (scores de Pirani et al. [24] ou de Diméglio et al. [25]) évaluent un certain nombre d'éléments cliniques. La classification de Seringe, envisageant le degré d'irréductibilité de l'équin et/ou de l'adduction-supination (type I : réductibilité de 0° à 20°, type II : réductibilité de 21° à 40°, type III : réductibilité supérieure à 40°), a l'intérêt de sa simplicité.

Des sillons cutanés, ayant une connotation pronostique négative [25], peuvent être horizontaux (sous-malléolaire médial ou sus-calcanéen postérieur) ou verticaux (transversal médial et plantaire). Un premier rayon très court et en flexion dorsale avec un hallux en retrait par rapport au second augure de difficultés thérapeutiques et de piètre résultat.

La valeur pronostique défavorable de la sévérité du PBVE à la naissance doit être modulée. Le principal élément pronostique est la cinétique d'amélioration au cours des premiers mois de traitement conservateur.

Évaluation clinique au cours de la 1re année

Cette période est déterminante, puisque c'est pendant celle-ci que la déformation doit être corrigée. Du fait de la petite taille du pied et de son caractère potelé, l'examen clinique du tout-petit est difficile. L'appréciation précise de la flexion dorsale de cheville peut être entravée par une mobilité excessive iatrogène de l'articulation transverse du tarse [26], dont la distinction clinique est très aléatoire. C'est dire l'intérêt de l'analyse radiologique complémentaire décrite ci-après. Cependant, peuvent être appréciés l'axe longitudinal global du pied (le plan de flexion du genou définissant le plan sagittal), la disparition des plis cutanés sus-calcanéen et médial, la rectitude/convexité du bord latéral du pied et l'amplitude de pronation/supination de l'avant-pied.

Pendant toute l'enfance

Le piège pendant cette période, si l'enfant n'a pas été vu à la naissance, est de qualifier de « congénitale » une déformation qui est en fait acquise. Il convient de bien préciser cet élément, car l'étiologie est dans ce cas le plus souvent neurologique et les modalités de traitement très différentes.

Pendant toute cette période, il convient d'assurer une surveillance régulière des variables cliniques quantifiées (voir le chapitre « Examen clinique du pied », page 31) afin de déceler une tendance à la récidive de la déformation. Cette évolution est sous-tendue par la croissance et un déséquilibre musculaire caractérisé par une activité excessive et néfaste du muscle tibial antérieur. Sa fonction de flexion dorsale puissante aggrave l'insuffisance tricipitale relative inhérente à la pathologie et aggravée par son allongement chirurgical. L'insuffisance tricipitale est compensée partiellement par le long fléchisseur de l'hallux. L'activité d'adduction et surtout de supination du tibial antérieur n'est qu'incomplètement neutralisée par le muscle long fibulaire, générant un défaut d'appui antéromédial. L'amyotrophie de jambe peut être quantifiée par la mesure du diamètre maximal du mollet, comparé à celui du côté opposé s'il est sain.

Les caractéristiques de la peau plantaire renseignent sur la qualité de l'appui au sol. Une kératose sous la base du 5e métatarsien révèle une supination et une adduction résiduelles. Un défaut d'appui talonnier avec parfois hypotrophie du talon ou sous la tête du 1er métatarsien, caractérisé par une peau douce et tendre, révèle respectivement un équin ou un défaut d'appui antéromédial [27]. Dans ce dernier cas, il existe une « touche de piano » perceptible lors de l'appui avec un doigt sur la tête du 1er métatarsien qui ne repose pas sur le sol. L'enfant vieillissant, cette déformation se structuralise, réalisant un « dorsal bunion » caractérisé par une horizontalisation du 1er métatarsien associée à une flexion plantaire de l'hallux, et un durillon dorsal en regard de la saillie de la tête du 1er métatarsien [28]. L'examen statique recherche une limitation de l'amplitude de flexion dorsale de la cheville, un excès de supination de l'avant-pied, une neutralité ou un varus du talon et enfin une adduction globale ou médiotarsienne avec convexité du bord latéral du pied. L'amplitude de pronosupination de l'avant-pied peut progressivement se déséquilibrer au profit de la supination.

Cependant, certains défauts sont inapparents lors de l'examen statique, mais sont dévoilés par des épreuves dynamiques. L'insuffisance tricipitale est un élément présent en l'absence d'intervention, qui peut être aggravé par des allongements du tendon d'Achille. Ce défaut se

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

traduit, lors de la marche sur la pointe des pieds, par un angle mort et, dans les formes sévères, par une véritable démarche en calcaneus avec antépulsion du tibia et flexion de genou et de hanche. Dans ces conditions, le saut monopode est altéré, voire impossible. L'analyse instrumentale de la locomotion permet de la quantifier [29]. La marche sur les talons s'accompagne d'une supination dynamique de l'avant-pied (figure 3) révélatrice d'un déséquilibre musculaire au profit du tibial antérieur.

Imagerie

Diagnostic prénatal

L'échographie réalisée au 5e mois de la vie intra-utérine permet parfois d'évoquer l'existence d'un PBVE, ce qui justifie un complément de diagnostic prénatal, avec une analyse échographique précise de l'ensemble du fœtus à la recherche d'autres anomalies faisant douter du caractère idiopathique de la déformation. L'indication d'une amniocentèse n'est pas consensuelle et est à discuter au cas par cas. Une étude récente a révélé qu'il s'agissait d'un faux positif dans 10 % des cas sous la forme d'un pes varus (déformation évocatrice de pied bot mais complètement réductible) ou d'un metatarsus varus. Il s'agit dans 10 à 13 % des cas de pieds bots sévères, parfois associés à une pathologie générale. Enfin, la fréquence d'anomalies chromosomiques est de 1,7 à 3,6 % selon les séries [30].



Figure 3. Supination dynamique.
En position debout statique, les pieds sont plantigrades. La marche sur les talons révèle une supination dynamique importante chez cette enfant ayant un PBVE bilatéral.

Au décours de cet examen est réalisée une consultation prénatale avec un chirurgien orthopédiste pédiatre dont le but est d'exposer aux futurs parents les principes du traitement du PBVE ainsi que son pronostic favorable.

Radiologie standard [31]

Nouveau-né et nourrisson de moins de 1 an

L'examen clinique du nouveau-né et de l'enfant avant l'âge de la marche est insuffisant pour apprécier de façon précise les déformations ostéoarticulaires. Des radiographies de face et de profil, réalisées en position de correction maximale de l'équin et de l'adduction maintenue par des kinésithérapeutes, donnent des éléments d'information précieux. Cet examen peut être renouvelé car il est très peu irradiant pour les enfants et le personnel. Chez le nouveau-né, peuvent être appréciées la maturation osseuse, fréquemment en retard en cas de PBVE, ainsi que la composante non réductible de la déformation.

Par la suite, ces radiographies peuvent être répétées en cours de traitement (1, 4, 6, 9, 12 mois). L'incidence dorsoplantaire permet d'apprécier les angles talocalcanéen, talus-1er métatarsien et calcaneus-5e métatarsien, informant sur la correction de l'adduction dans le complexe sous-talien et l'articulation transverse du tarse. L'incidence de profil est particulièrement intéressante. L'angle tibia-calcaneus reflète l'amplitude de flexion dorsale [32]. Une convexité plantaire, siégeant dans la majorité des cas dans l'articulation transverse du tarse, est révélée par des angles calcaneus-5e métatarsien et talus-1er métatarsien obtus vers la plante et une subluxation dorsale calcanéocuboïdienne. Dans de rares cas, le sommet de la convexité plantaire se situe dans l'articulation de Lisfranc [26].

Marche et période juvénile (naviculaire non apparu ou de maturation incomplète)

Les incidences dorsoplantaires et de profil doivent être réalisées en charge. Les angles mesurés sont ceux décrits précédemment. L'indice de superposition entre le naviculaire et le cuboïde, apprécié sur l'incidence de profil, informe sur l'importance de la supination résiduelle du médio-pied. En cas de déformation importante, il peut exister une subluxation calcanéocuboïdienne médiale et parfois plantaire. Le cliché de la cheville de face selon Méary permet d'apprécier l'orientation de l'arrière-pied. En cas d'hypercorrection en plat valgus,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

des clichés de profil en flexions dorsale et plantaire maximales révèlent la topographie et l'importance de l'hypermobilité.

Échographie

L'intérêt de cet outil est majeur au cours des premiers mois de vie, du fait du caractère non/peu ossifié des os du tarse. Cependant, il est peu utilisé en pratique quotidienne. Dans le plan horizontal, l'étude de la distance tibionaviculaire et son augmentation en cours de traitement reflètent la diminution de l'adduction. Dans le plan sagittal, la diminution de l'angle tibiocalcanéen caractérise l'équin [33].

Imagerie par résonance magnétique

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) indiquée pour le PBVE est encore du domaine de la recherche [34] et ses applications cliniques sont rares ; cependant elle est particulièrement adaptée à l'étude du pied de l'enfant. Cela permet de visualiser les structures osseuses non encore ossifiées comme le dôme talien, l'os naviculaire et les os cunéiformes qui n'acquièrent leur forme définitive telle qu'elle peut être appréciée sur les radiographies standard que très tardivement. Par ailleurs, l'IRM permet l'exploration des parties molles, le volume musculaire, la vascularisation, les nœuds fibreux.

Traitement

Les objectifs du traitement du pied bot sont au nombre de trois :

1. maintenir une fonction optimale avec un pied plantigrade, des articulations de pied et une cheville mobiles sans altération de la fonction musculaire ;
2. éviter un traitement chirurgical ;
3. éviter une triple arthrodèse en fin de croissance.

Après une période d'engouement chirurgical majeur avant les années 1970, les séries publiées ont révélé des résultats non satisfaisants avec récidive des déformations ou hypercorrection, caractérisés par une fonction médiocre. Ceci explique l'essor du traitement conservateur, c'est-à-dire non chirurgical.

Traitement conservateur

Il convient de distinguer deux méthodes principales : la méthode fonctionnelle et la méthode de Ponseti. Le tableau 1 résume leurs caractéristiques. Il n'y a pas d'urgence à entreprendre ce traitement. Il est logique de l'entreprendre au cours des jours suivant la naissance, mais il a bien été démontré une efficacité certaine même en cas de traitement tardif à l'âge de 6 mois ou plus.

Tableau 1
Comparaison des méthodes fonctionnelles et de la méthode de Ponseti

Méthode fonctionnelle	Méthode de Ponseti
Correction initiale progressive	Correction initiale aussi rapide que possible
Correction globale	Correction séquentielle
Ténotomie d'Achille tardive si besoin	Ténotomie d'Achille précoce et quasi systématique
Kinésithérapie la 1re année : 5 séances/semaine	Pas de kinésithérapie la 1re année

Méthode fonctionnelle

La méthode fonctionnelle ou *« french method »* a été initiée par Masse [2,21] puis développée par Bensahel [35], Diméglio [36], Lascombes [37], Métaizeau [38], et Seringe [21,39].

Une rééducation adaptée passive – assurant une dérotation du BCP sous le talus, un allongement de l'arche médiale et une élongation des structures postérieures – et active – avec stimulation des muscles fibulaires – permet d'obtenir une correction globale et synchrone de l'adduction, de l'équin et donc de la supination. Une fois que la marche est acquise, il convient de privilégier une rééducation active en charge. Les séances de rééducation sont quotidiennes les premiers mois, puis espacées progressivement. Une adaptation de la méthode fonctionnelle consiste à utiliser une machine assurant de façon automatique et répétitive la correction des différentes composantes de la déformation [36,37]. La correction acquise est maintenue avec un système d'orthèses. Le pied est fixé avec un ruban adhésif non extensible sur une plaquette en plastique (figure 4). L'utilisation d'une plaquette avec concavité plantaire permet de prévenir l'apparition d'une convexité plantaire iatrogène (figure 5). Jusqu'à l'âge de 6 mois est prescrite une attelle fémoropédieuse. Le maintien du genou en flexion de 90° assure une correction optimale des déformations dans le plan transversal (figure 6). À partir de l'âge de 6 mois sont prescrites des attelles jambopédieuse diurne et fémoropédieuse nocturne. À partir de l'âge de la marche, l'appareillage uniquement nocturne fait appel à une attelle fémoropédieuse, puis à une attelle jambopédieuse pendant plusieurs années.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 4. Méthode fonctionnelle.
Mise en place d'une plaquette en plastique rigide avec concavité plantaire (pour prévenir une déformation avec convexité plantaire [26]) à l'aide d'un bandage adhésif non élastique.

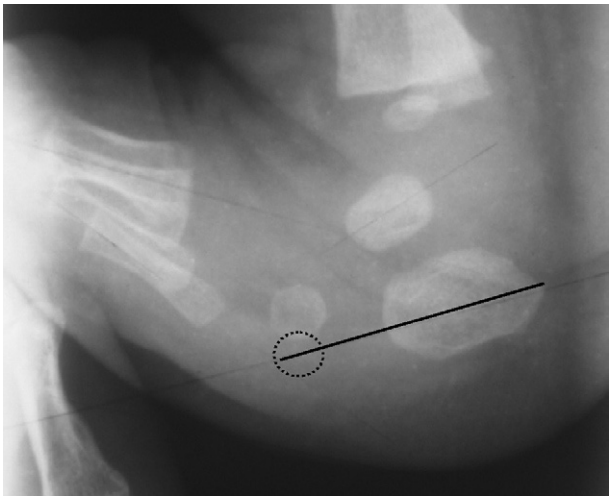


Figure 5. Convexité plantaire iatrogène [26] après traitement fonctionnel « forcé ».
Radiographie du pied avec correction maximale de l'équin. Noter la persistance d'un défaut de flexion dorsale (angle tibio-calcanéen : 90°) ainsi qu'une subluxation dorsale calcanéo-cuboïdienne témoin d'une hypercorrection dans l'articulation transverse du tarse.

Méthode de Ponseti

La méthode de Ponseti [3] est une technique ancienne. Elle connaît actuellement un essor majeur du fait de sa simplicité relative de mise en œuvre : une correction séquentielle de la déformation avec plâtres fémoropédieux hebdomadaires successifs (figure 7). La correction ne concerne pas la déformation apparente, mais suit une chronologie précise. Le pied est d'abord porté en abduction progressive en maintenant une forte supination pour les premiers plâtres. La correction de l'équin est confiée à une ténotomie percutanée complète du tendon d'Achille après le quatrième

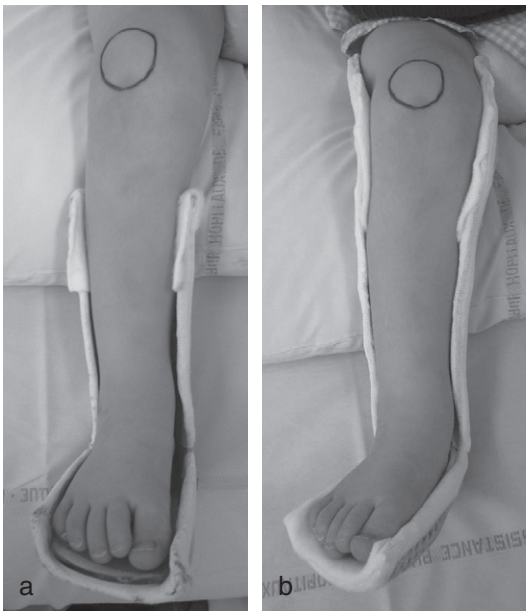


Figure 6. Méthode fonctionnelle : intérêt d'une orthèse fémoropédieuse pour corriger les différentes composantes de l'adduction (le rond bleu désigne la patella).
a. Noter l'adduction du pied sous le genou (du BCP sous l'UTTF) avec une orthèse jambopédieuse. **b.** L'attelle fémoropédieuse stabilise l'UTTF, permettant une dérotation/abduction du BCP dans le sens de l'abduction.



Figure 7. Méthode de Ponseti : série de cinq plâtres permettant une correction séquentielle de la déformation du pied droit.
Collection F. Chotel.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

ou cinquième plâtre si l'amplitude clinique de flexion dorsale de cheville est inférieure à 15°, ce qui concerne environ 80 % des cas. Au décours de cette période, un appareillage nocturne (attelles de Denis Browne) est prescrit pendant plusieurs années (figure 8). Aucune rééducation n'est prescrite la 1re année, ce qui explique un coût moins élevé que la méthode fonctionnelle.

Ténotomie percutanée d'Achille

La ténotomie percutanée d'Achille fait partie intégrante de la méthode de Ponseti et a complété plus récemment la méthode fonctionnelle [32]. Elle peut être réalisée soit avec anesthésie locale en consultation en cas de PBVE unilatéral, soit avec anesthésie générale pour plus de confort en cas de ténotomie unilatérale ou, de façon logique, en cas de ténotomie bilatérale ; puis est réalisé un plâtre fémoropédieux corrigeant l'équin, l'adduction et la supination pour une période de 3 semaines, renouvelé en cas de correction insuffisante. Au décours, les postures et la rééducation sont reprises (figure 9). Cependant, la ténotomie n'est pas dénuée de complications, comme un saignement lié à une plaie veineuse ou artérielle et une aggravation de l'insuffisance tricipitale. Enfin, des décollements épiphysaires du tibia distal ont été rapportés en cas de traitement tardif.

L'indication de la ténotomie percutanée d'Achille n'est pas consensuelle. Selon la méthode de Ponseti, elle est indiquée à l'âge de 5 semaines si l'amplitude de flexion dorsale clinique est inférieure à 15°, ce qui concerne la très grande majorité des cas. Cette procédure est indiquée dans la méthode fonctionnelle si l'angle tibiocalcanéen, mesuré sur le cliché de profil en flexion dorsale maximale, est supérieur ou égal à 75° à l'âge de 6 mois [32].



Figure 8. Méthode de Ponseti : attelle de Dennis Browne maintenant la correction acquise avec les plâtres et la ténotomie d'Achille.
Collection F. Chotel.

Le choix entre ces deux méthodes dépend des habitudes et des moyens dont disposent les équipes, en particulier en matière de kinésithérapeutes spécialisés. La méthode de Ponseti diminuerait le taux de chirurgie en cas de PBVE sévère [32]. Cependant, l'introduction de la ténotomie percutanée d'Achille dans la méthode fonctionnelle tendrait à gommer cette différence dans les formes de sévérité modérée [40]. Récemment, l'injection de toxine botulique dans le muscle triceps sural a été proposée [41].

Le principal écueil est la récidive de la déformation, inhérente à cette pathologie soumise à la croissance. Il peut s'agir d'une récidive complète de la déformation ou d'une des composantes. Cette évolution peut être enrayée avec un plâtre correcteur suivi d'une modification du traitement conservateur. Des indications opératoires sont parfois retenues.

Au total, le développement et le perfectionnement des différentes méthodes conservatrices ont permis de faire chuter la fréquence des indications de chirurgie majeure (libération des parties molles) (figure 10). En revanche, les indications chirurgicales mineures dites « de perfectionnement » sont devenues plus communes.

Chirurgie mineure « de perfectionnement »

Un défaut d'appui antéromédial doit être idéalement traité relativement précocement, avant que les déformations ne deviennent structurales sous forme de dorsal bunion (figure 11). Le transfert du muscle tibial antérieur sur le cuboïde a été proposé [42]. Cependant, cette intervention n'est pas logique puisqu'il ne s'agit pas d'une affection paralytique. De plus, des cas d'hypercorrection en valgus ont été rapportés. L'alternative est un allongement en Z du tendon du tibial antérieur, qui est à la fois très simple, sûr et efficace. Cet allongement peut être réalisé de façon préventive et systématique au cours de la libération initiale des parties molles [43], mais aussi de façon isolée. Une adduction dynamique de l'hallux peut faire appel à un allongement en quinconce de l'aponévrose du muscle abducteur de l'hallux.

Traitements chirurgicaux

Les indications dépendent de l'âge de l'enfant, des différentes évolutions envisageables en cours de croissance et des équipes.

Libération des parties molles

L'intervention princeps est la libération des parties molles. Elle est indiquée à partir de l'âge de 1 an

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 9. Ténotomie percutanée d'Achille.
a. Radiographie (à l'âge de 6 mois) révélant, en position de correction maximale de l'équin, un angle tibiocalcanéen de 100°.
b. Radiographie au décours de la ténotomie d'Achille qui montre une correction significative (angle tibiocalcanéen de 75°).
c. Radiographie après 3 semaines d'immobilisation plâtrée : angle tibiocalcanéen de l'ordre de 45°.

environ si persiste une déformation tridimensionnelle ou au décours, en cas de récidive de la déformation initialement corrigée de façon acceptable. Cette intervention réalisée avant l'âge de 1 an expose à un taux de récidive élevé.

La libération des parties molles consiste en l'allongement des tendons, la section des aponévroses, gaines tendineuses et capsules articulaires dont la tension ou la brièveté s'oppose à la correction de la déformation [44-48]. Plusieurs voies d'abord ont été proposées : une voie unique postéromédiale [44,47,48], une double voie médiale et postérolatérale [46] ou une voie arciforme horizontale postérieure au-dessus de la tubérosité du calcaneus [45].

Une libération d'arrière en avant (de proximal en distal) est logique, car elle corrige la supination de façon automatique dès la correction de l'équin après libération postérieure. Ceci évite de faire une libération trop extensive. La libération postérolatérale consiste à allonger en Z le tendon d'Achille, à réaliser une capsulotomie tibiotalienne postérieure et à sectionner le nœud fibreux postérolatéral. Puis sont sectionnées les différentes structures du nœud antéromédial avec allongement du tendon du tibial postérieur. La capsule talonaviculaire est abordée puis ouverte après section de l'espace fibreux correspondant à l'accolement entre la tubérosité du naviculaire et la malléole tibiale. Enfin, une libération plantaire est indiquée si l'arche médiale est cambrée, consistant à sectionner le septum médial de la plante et la partie médiale de l'aponévrose plantaire. L'allongement du tendon du tibial antérieur améliore les résultats en prévenant l'effet défavorable de ce muscle et diminue la fréquence des interventions

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

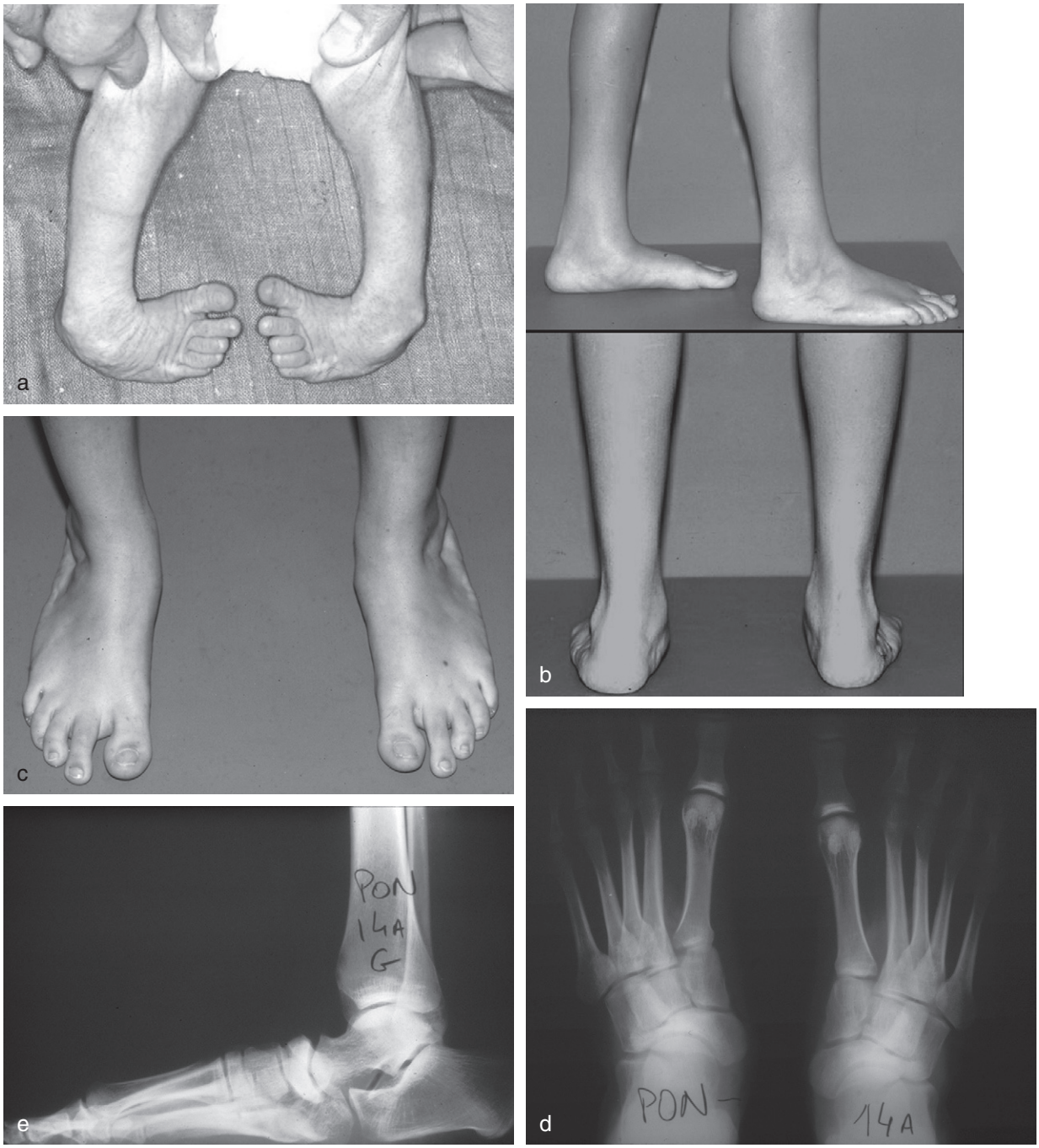


Figure 10. Méthode fonctionnelle : PBVE bilatéral stade 4 selon la cotation de Diméglio et al. [25].
a. Aspect clinique à la naissance. **b,c.** Résultat à l'âge de 14 ans. Noter la fossette antérolatérale en avant de la malléole fibulaire témoignant de l'absence de tissu adipeux à ce niveau, ce qui est observé dans tous les PBVE après traitement. Une hypercorrection en valgus s'accompagne d'une dépression plus marquée. **d,e.** Radiographies : axes du pied corrects (divergence talocalcanéenne, calcaneus-5^{e} métatarsien et talus-1er métatarsien sur l'incidence dorsoplantaire), dôme talien bien arrondi mais remaniements de l'articulation transverse du tarse et cunéiformisation du naviculaire sur l'incidence dorsoplantaire.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 11. Défaut d'appui antéromédial avec hallux flexus adductus chez un garçon âgé de 4 ans.
Ce déséquilibre sagittal entre les muscles triceps sural et tibial antérieur, au profit de ce dernier, a été possiblement aggravé dans ce cas par une ténotomie percutanée d'Achille réalisée à l'âge de 6 mois.

chirurgicales itératives [43]. En revanche, la mise en tension du long fléchisseur de l'hallux, qui entraîne en fin d'intervention une flexion marquée des articulations métatarsophalangienne et interphalangienne, ne requiert pas d'allongement de son tendon car il est allongé progressivement et spontanément dans le plâtre postopératoire. La correction obtenue est maintenue avec une broche introduite dans la colonne médiale. L'aspect clinique est confronté à un contrôle radiographique peropératoire de face et de profil qui a pour but de vérifier la bonne correction anatomique (figure 12).

Le brochage transplantaire calcanéo-talo-tibial est très utilisé, mais a l'inconvénient d'imposer une correction maximale extemporanée de la déformation pouvant être générateur de complications cutanées ou même ischémiques. Le protocole suivant est une alternative. Au décours de l'intervention, une immobilisation en flexion plantaire de 10° est réalisée avec une attelle postérieure jambopédieuse si l'enfant a plus de 4 ans ou fémoropédieuse dans le cas contraire. Au 7e jour, au cours d'une anesthésie générale, est vérifiée la qualité des cicatrices avec réfection du pansement et réalisation d'une immobilisation plâtrée assurant une remise du pied à angle droit. L'étendue du plâtre est la même que pour l'attelle postérieure. Ce plâtre, qui peut être renouvelé en cas de déformation sévère, est prescrit pour une période de 3 mois dont 45 j sans appui. Au décours de cette période sont enlevées les broches, ce qui permet de reprendre la rééducation et l'appareillage nocturne.

Que faire en cas de correction incomplète ?

Persistance d'une adduction médiotarsienne

C'est l'indication d'un temps complémentaire de résection cartilagineuse ou ostéocartilagineuse dans l'arche latérale de façon à la raccourcir. Une résection est pratiquée le plus souvent à la manière de Lichtblau [49,50], avec excision d'un coin à base latérale de 5 à 10 mm dans l'extrémité proximale du calcaneus (figure 13). Une fusion calcanéocuboïdienne iatrogène est observée dans seulement 15 % des cas [51]. Le plus souvent, un embrochage de l'arche latérale ne paraît pas nécessaire.

Persistance d'un varus de l'arrière-pied ou d'une adduction globale

Cela peut être expliqué par une absence de divergence talocalcanéenne sur le cliché de face. C'est alors l'indication d'une libération du nœud fibreux antérolatéral à travers une voie d'abord latérale. Si, après ce temps de libération, le résultat reste insuffisant, nous conseillons de sectionner le faisceau tibiocalcanéen du ligament deltoïde, de façon à favoriser la bascule du talon latéralement, voire d'ouvrir la partie médiale des articulations sous-taliennes postérieure et antérieure. Cette ouverture est parfois indiquée en cas de PBVE invétéré ou surtout en cas de libération itérative des parties molles. La capsule articulaire est ouverte sur ses versants postérieur et antérieur respectivement au fond de la gaine des tendons longs fléchisseurs des orteils et de l'hallux. Il ne reste plus alors qu'à ouvrir la capsule sous-talienne au bord supérieur de la petite apophyse du calcaneus. Il faut toujours préserver le ligament interosseux talocalcanéen, qui assure la rotation du calcaneus sous le talus et prévient une hypercorrection en valgus.

Persistance d'un creux

Il faut compléter la libération plantaire par une section totale de l'aponévrose plantaire et vérifier la libération complète du nœud fibreux antéromédial, ainsi que le fait que la capsule médiotarsienne a été bien sectionnée complètement à la face plantaire, comme le ligament plantaire long.

Complications pendant l'enfance de la chirurgie du PBVE

Le traitement chirurgical n'est pas la solution, comme nous le dirons plus loin, car il a été montré que les résultats

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

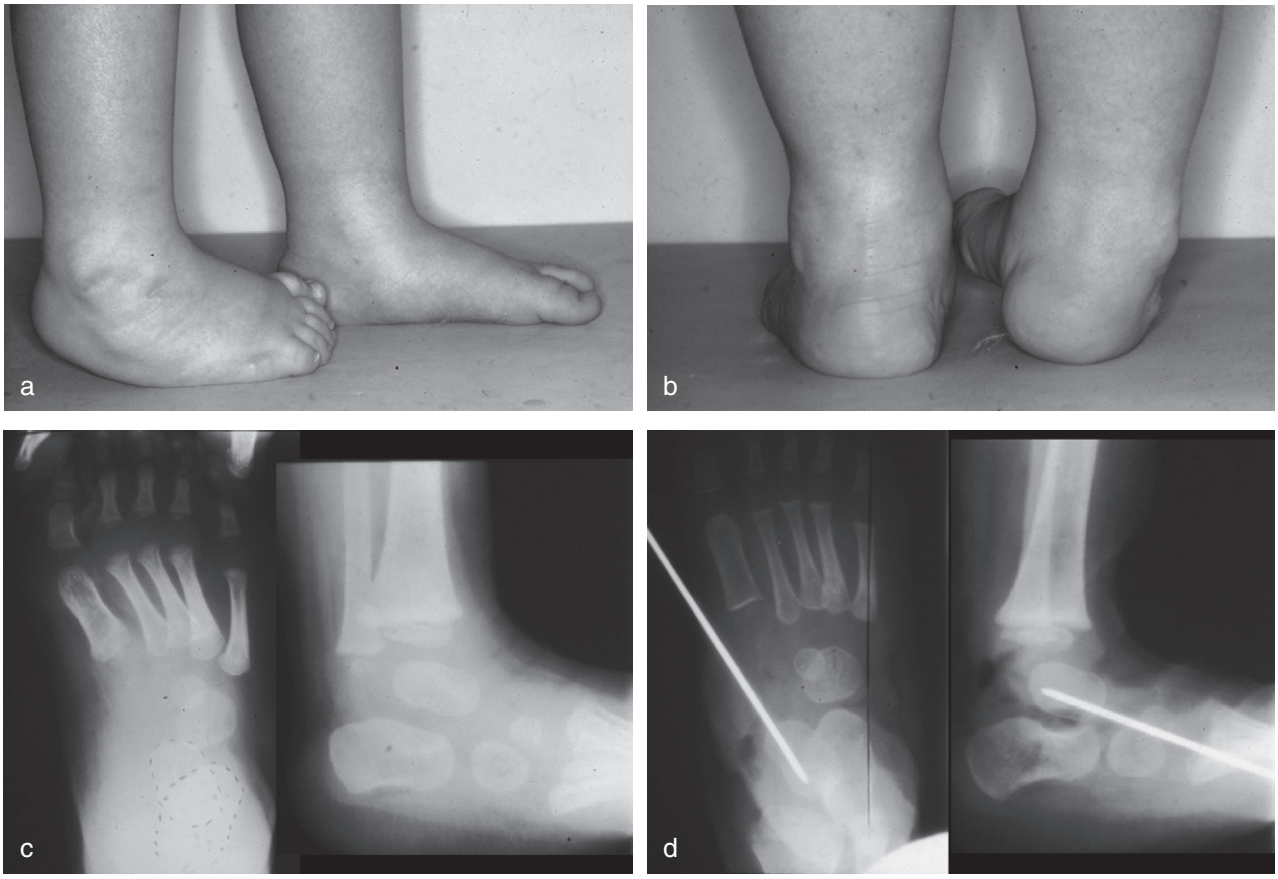


Figure 12. Libération des parties molles.
Enfant, âgé de 2 ans et 3 mois, ayant une triple déformation du pied droit (a,b) : noter le défaut de divergence talocalcanéen et d'alignement entre l'arrière-pied et l'avant-pied, ainsi que la subluxation médiale calcanéocuboïdienne (c). Radiographie peropératoire (d) après libération des parties molles complète objectivant une bonne correction des différentes critères radiologiques. Très bon résultat clinique et radiologique à l'âge de 13 ans (e,f,g,h).

après traitement chirurgical sont moins bons que ceux obtenus après traitement purement conservateur.

Insuffisance tricipitale (figure 14)

Son traitement est préventif, épargnant autant que possible cette structure anatomique.

Récidive postopératoire avec triple déformation

La chirurgie ne met pas à l'abri de la récidive, qui peut requérir une reprise chirurgicale dans 20 % des cas opérés.

La technique chirurgicale de choix est une libération itérative des parties molles associée à un raccourcissement osseux de la colonne latérale selon Lichtblau [52]. Cette intervention doit être même proposée au-delà de l'âge de 10 ans avant la fin de croissance, dans le but de surseoir à une triple arthrodèse (figure 15). En effet, la triple arthrodèse, parfois inévitable, n'est pas une option satisfaisante. L'arthrodèse du médio-pied et de l'arrière-pied transfère les contraintes mécaniques vers les articulations plus distales mais surtout sur la cheville, dont l'avenir à moyen et long terme peut être hypothéqué par les altérations ostéocartilagineuses induites par l'ensemble du traitement.

Il n'y a pas de consensus sur l'indication et les modalités de la correction progressive avec le fixateur externe d'Ilizarov, qui peut soit permettre un allongement progressif des parties molles, soit faire appel à une libération des parties molles parfois associée à un transfert du tibial antérieur. Enfin, cette correction progressive peut être combinée à des ostéotomies médiotarsiennes avec correction-redressement du pied [53] ou distraction osseuse. Certains auteurs rapportent de bons résultats associant fixation externe et libération des

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 12. Suite.

parties molles [54], alors que d'autres [55] rapportent des résultats très peu satisfaisants. Un certain nombre de complications ont été décrites, parmi lesquelles récidive ou hypercorrection. Dans notre expérience, il apparaît que la correction obtenue est souvent initialement satisfaisante mais que la récidive est fréquente. Par ailleurs, les principes de correction ne satisfont pas aux bases physiopathologiques exposées précédemment. L'indication idéale serait une récidive après de multiples interventions chirurgicales [53] avec un paquet vasculaire tibial postérieur engainé dans une fibrose postopératoire dense, exposant à des complications ischémiques en cas de correction extemporanée.

La talectomie a été proposée comme une « intervention de sauvetage » en cas de récidive après plusieurs interventions. Cependant, Legaspi et al. [56] rapportent un taux de mauvais résultats élevé avec une arthrose tibiocalcanéenne, une récidive de la déformation, une fusion tibiocalcanéenne ne laissant d'autre possibilité qu'une ostéotomie tibiocalcanéenne pour corriger la déformation récidivée.

Récidive postopératoire partielle

L'adduction est une déformation résiduelle fréquente. Qu'elle soit sous-talienne ou médio-tarsienne, elle requiert une correction comme décrite précédemment. Un metatarsus adductus vrai, avec adduction siégeant dans l'articulation de Lisfranc, est rare mais possible. Le traitement fait alors appel à des ostéotomies métatarsiennes sans ou avec capsulotomie cunéonaviculaire médiale [57]. L'ostéotomie de dérotation latérale de jambe est illogique, car elle corrige dans le squelette jambier l'adduction résiduelle du pied. Cette intervention donne certes un résultat morphologique valable dans l'immédiat,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

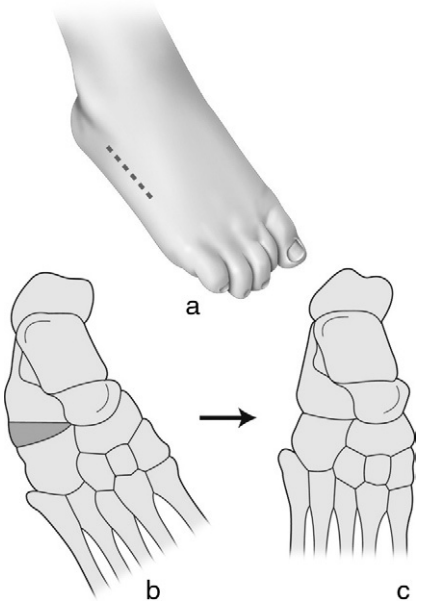


Figure 13. Résection selon Lichtblau pour adduction médio-tarsienne. a. : Incision ; b. : schéma de la résection distale du calcaneus ; c. : Correction obtenue.
D'après Carlioz H, Kolher R. Techniques chirurgicales, orthopédie traumatologie de l'enfant. Orthopédie pédiatrique. Paris : Masson ; 2005. p. 161.

mais aggrave la désorientation latérale de la mortaise tibiotalienne, ce qui est mal toléré à long terme. De plus, elle n'empêche pas la récidive ou l'aggravation de la déformation du pied. L'ostéotomie de dérotation médiale de jambe devient logique et même indispensable chaque fois que l'on a bien corrigé, par libération des parties molles, un pied bot sévère accompagné d'une forte torsion latérale du squelette jambier (figure 16).

La supination peut ne concerner que le rayon médial réalisant initialement un défaut d'appui antéromédial, puis un dorsal bunion. Le traitement est avant tout préventif avec allongement du tendon du tibial antérieur au cours de la chirurgie initiale. Différentes techniques ont été proposées. Avant l'âge de 10 ans, il est toujours possible de faire un allongement du tibial antérieur, sans ou avec ostéotomie du 1er métatarsien. Au décours, la structuralisation de la déformation impose souvent un traitement tel qu'il est proposé en fin de croissance (exposé plus loin). Une supination de l'ensemble du médio-/avant-pied se limite initialement à une supination dynamique de l'avant-pied. Les articulations concernées s'enraidissent en supination, pouvant requérir un traitement



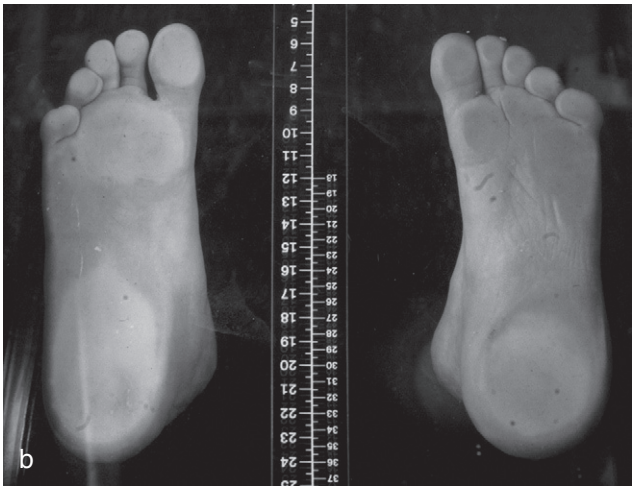




Figure 14. Insuffisance tricipitale postopératoire.
Pied calcaneus droit avec défaut d'appui antérieur, appui du talon excessif (a) et antéposition de la jambe par rapport au pied (b), réalisant un véritable pied creux postérieur (c).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 15. Récidive complète avec équin, adduction, varus et creux médial (garçon, 11 ans) après deux libérations des parties molles préalables.
Noter la brièveté du pied par rapport au côté opposé (a,b,c,d,e,f).

chirurgical faisant appel avant l'âge de 10 ans à une rotation dans l'articulation transverse du tarse et au-delà à une ostéotomie de rotation à travers le naviculaire et le cuboïde, associées à un allongement du tendon du tibial antérieur (figure 17). Une supination (varus) de l'arrière-pied, si elle est isolée, peut faire l'objet d'une ostéotomie calcanéenne de Dwyer [58].

La correction d'un équin résiduel est parfois inaccessible à une libération postérieure, du fait du caractère plat du talus. L'équin peut être traité avec une réorientation du tibia distal au moyen d'une épiphysiodèse temporaire tibiale distale antérieure, avec une plaque en 8 si la croissance résiduelle le permet ou avec une ostéotomie supramalléolaire en fin de croissance.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

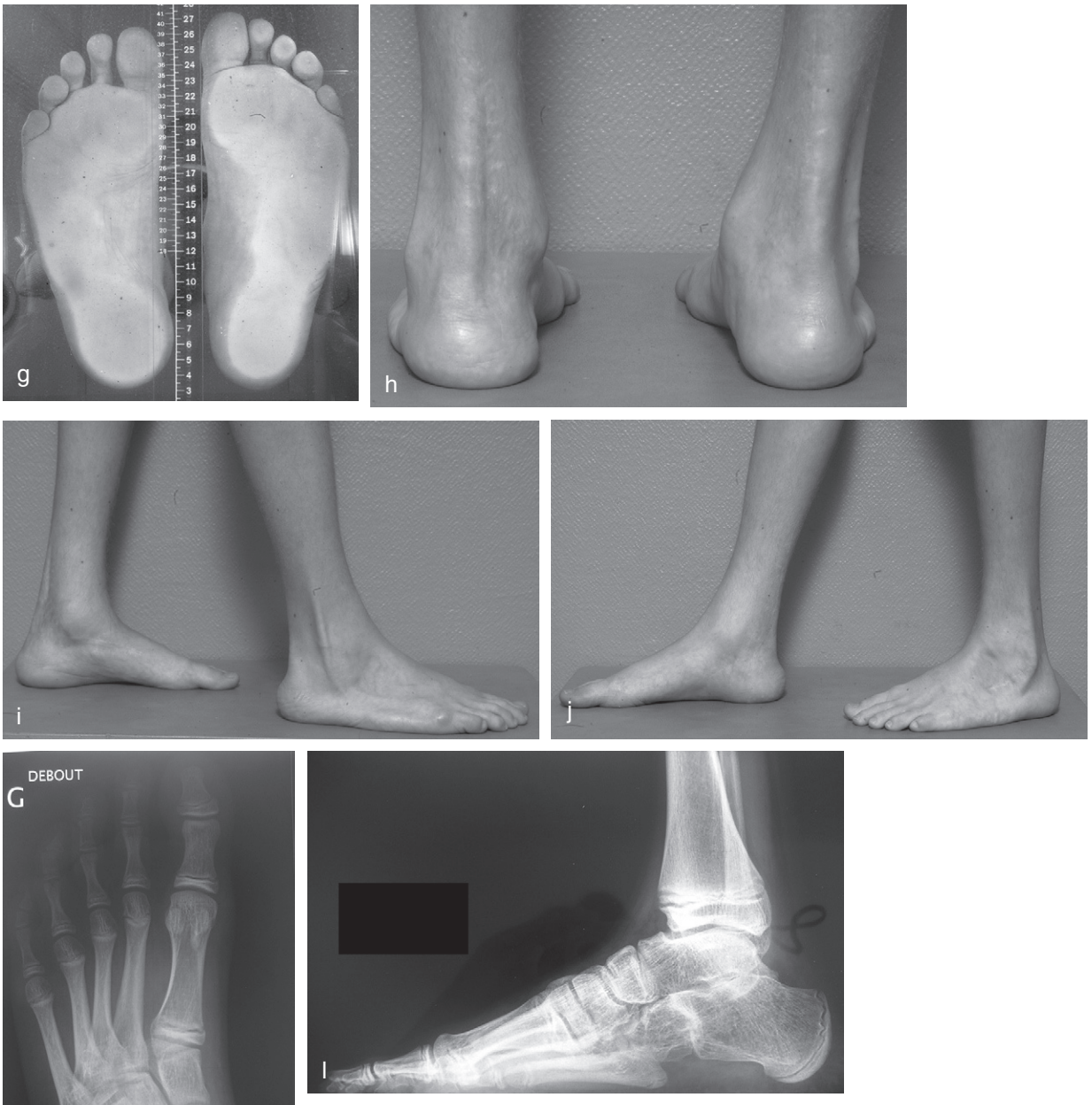


Figure 15. Suite.
Résultat clinique après libération itérative complète des parties molles et raccourcissement de la colonne latérale [49] (g,h,i,j). Radiographies 4 ans après l'intervention (k,l) : noter la bonne correction de la divergence talocalcanéenne ainsi que l'alignement entre l'arrière et l'avant-pied (angles calcaneus-5e métatarsien et talus-1er métatarsien sur l'incidence dorsoplantaire). Cependant, il existe une fusion calcanéocuboïdienne et un dôme talien plat témoins de la lourdeur du traitement.

Hypercorrection

Sa prévention fait appel à plusieurs précautions : préserver le ligament collatéral médial de la cheville, préserver autant que possible la capsule articulaire sous-talienne et impérativement le ligament interosseux talocalcanéen. L'effacement du relief de la malléole fibulaire, « avalée » par la translation latérale du pied, est un indicateur peropératoire d'hypercorrection. Un plâtre de marche en varus équin, indiqué s'il existe une hypercorrection clinique et radiologique à la consultation programmée 1 mois après ablation des

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 16. Patient (30 ans) ayant fait l'objet dans l'enfance d'une libération des parties molles.
Le motif de consultation correspond à des douleurs antérolatérales du cou-de-pied. Le pied est dans l'axe du genou et de la marche. Cependant, les radiographies (a,b) révèlent une adduction globale résiduelle importante (divergence talocalcanéenne nulle). Ce défaut est compensé par une torsion tibiale latérale (55°) des deux os de la jambe confirmée avec un scanner (c). Ainsi, la mobilité de cheville siège dans un plan non adéquat (d), ce qui peut expliquer une dégradation arthrosique progressive de cette articulation.

broches, suivi d'un appareillage nocturne adapté peut enrayer la pérennisation de cette déformation. Parfois, il s'agit d'une hypercorrection d'apparition progressive après plusieurs années (figure 18).

Autres déformations plus rares

La bosse dorsale correspond à une saillie dorsale du tarse, souvent associée à une subluxation talonaviculaire dorsale et médiale [59] et cunéiformisation du naviculaire. Outre les difficultés de chaussage, ces désordres anatomiques exposent à une arthrose talonaviculaire et à un conflit arthrogène avec la marge antérieure du tibia. Pour corriger ce défaut, une libération des parties molles est souvent associée à une tarsectomie dorsale et parfois à un émondage [50] (figure 19).

Le creux résiduel après chirurgie du pied bot varus équin n'est pas exceptionnel. La naviculectomie est indiquée si la correction du creux n'est pas obtenue à la fin de la libération itérative des parties molles [50,60]. Cependant, le naviculaire étant situé sur la colonne médiale, son exérèse entraîne un adductus qui doit être corrigé par un raccourcissement de la colonne latérale [49]. Ceci permet une bonne correction de l'ensemble des défauts avec comme effet indésirable une diminution théorique de la longueur du pied qui est en fait compensée plus ou moins complètement par son allongement issu de la correction du creux (figure 20).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

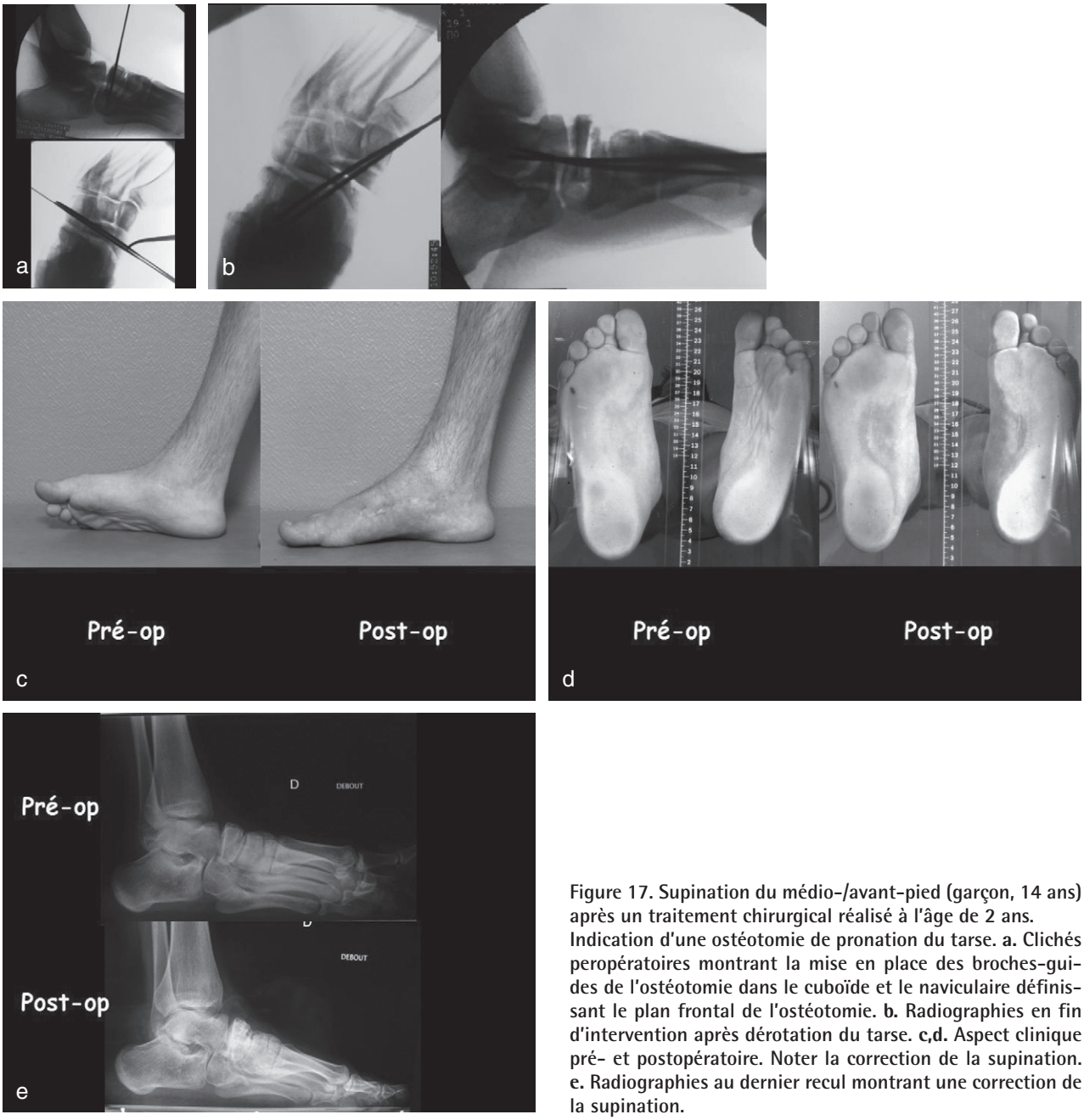


Figure 17. Supination du médio-/avant-pied (garçon, 14 ans) après un traitement chirurgical réalisé à l'âge de 2 ans. Indication d'une ostéotomie de pronation du tarse. a. Clichés peropératoires montrant la mise en place des broches-guides de l'ostéotomie dans le cuboïde et le naviculaire définissant le plan frontal de l'ostéotomie. b. Radiographies en fin d'intervention après dérotation du tarse. c,d. Aspect clinique pré- et postopératoire. Noter la correction de la supination. e. Radiographies au dernier recul montrant une correction de la supination.

La survenue d'un véritable pied creux médial ou d'un pied en Z a été observée, mais reste rare.

Autres complications

Les complications cutanées ne sont pas exceptionnelles et sont secondaires à la mise en tension des structures médiales exercée lors de la correction de la déformation. Différentes techniques complexes (chirurgie plastique) ont été proposées puis parfois abandonnées. Le protocole de soins postopératoires décrit ci-dessus permet de limiter ces complications tant en fréquence qu'en gravité.

Les complications vasculaires sont très rares, mais gravissimes. Un bilan préopératoire avant une libération itérative des parties molles peut faire appel à une angio-IRM qui permet de bien étudier la vascularisation du pied. Lâcher le garrot après libération des parties molles et avant fermeture cutanée est une

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

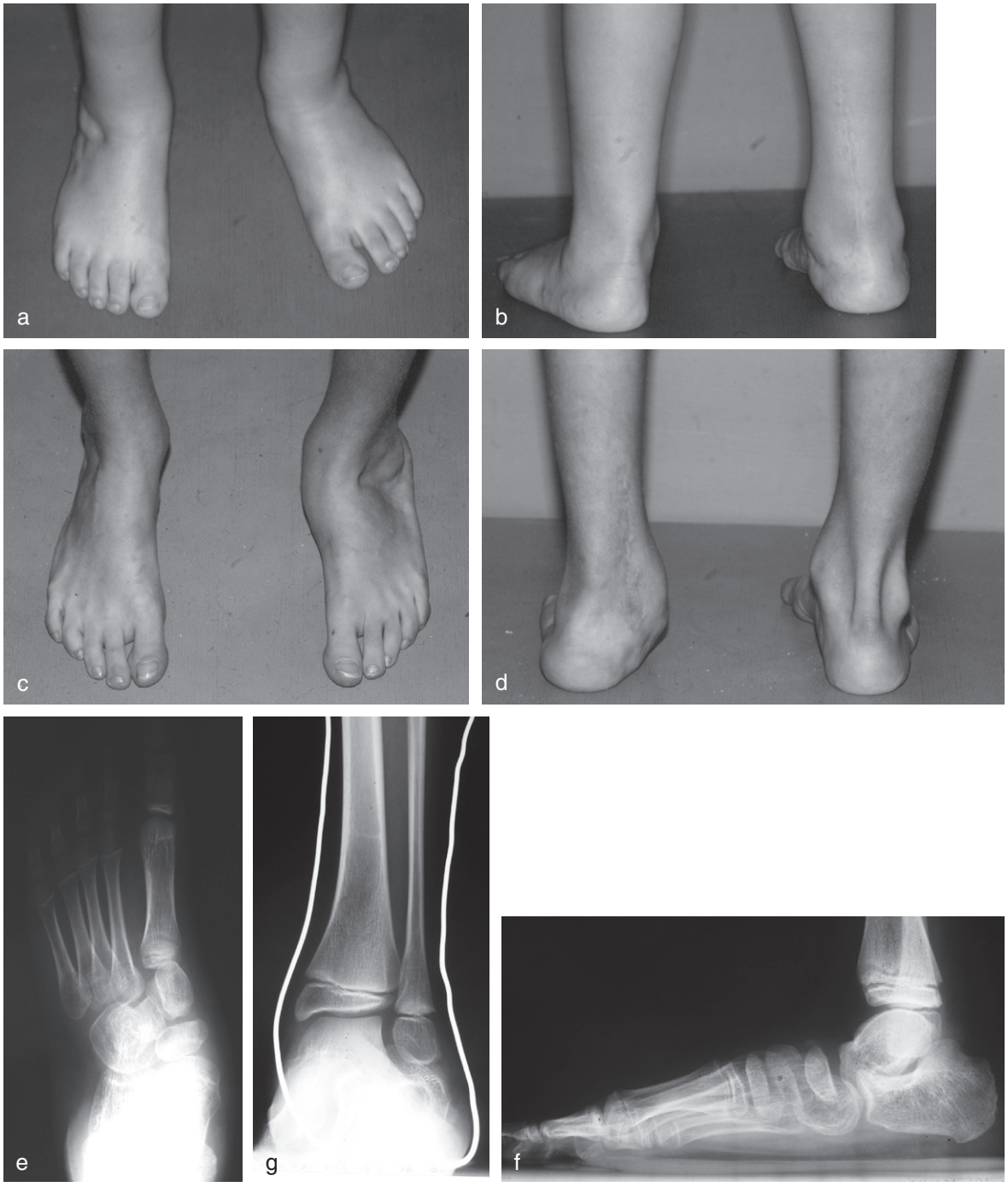


Figure 18. Hypercorrection progressive postopératoire du pied gauche.
Aspect clinique satisfaisant 6 mois après une libération des parties molles réalisée à l'âge de 2 ans (a,b). À l'âge de 11 ans : hypercorrection majeure gauche avec translation latérale du pied par rapport à la jambe et avalement de la malléole latérale (c,d) : noter la dépression sous-cutanée prémalléolaire latérale. Le valgus siège dans le pied avec abductus majeur (e,f), mais aussi au niveau du tibia distal avec cunéiformisation de l'épiphyse tibiale (g).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

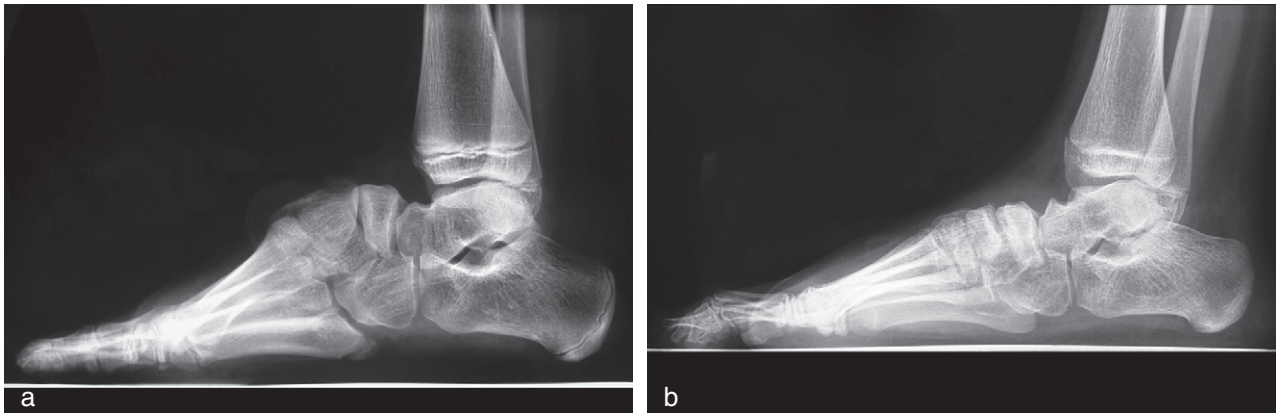


Figure 19. Apparition progressive d'un creux avec bosse dorsale et subluxation dorsale talonaviculaire (a), 9 ans après une libération des parties molles réalisée à l'âge de 18 mois.
Attendre la fin de croissance pour réaliser une triple arthrodèse serait une erreur, car cette intervention ne permet pas de corriger la déformation à son apex. Une chirurgie logique est possible, associant libération des parties molles médiotarsienne par voie médiale et ostéotomie raccourcissante de fermeture dorsale naviculocunéenne. Résultat 2 ans après cette intervention : noter la réduction de la luxation dorsale talonaviculaire et la correction du creux (b).



Figure 20. Indication de naviculectomie.
Récidive du varus, de l'adductus avec creux (a,b) et subluxation dorsale de l'os naviculaire (c) à l'âge de 9 ans après une libération des parties molles (à l'âge de 8 mois). Bon résultat clinique (d,e) et radiologique (f,g) d'une libération des parties molles itérative avec naviculectomie et intervention de Lichtblau [49] : correction de l'adductus et du creux.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

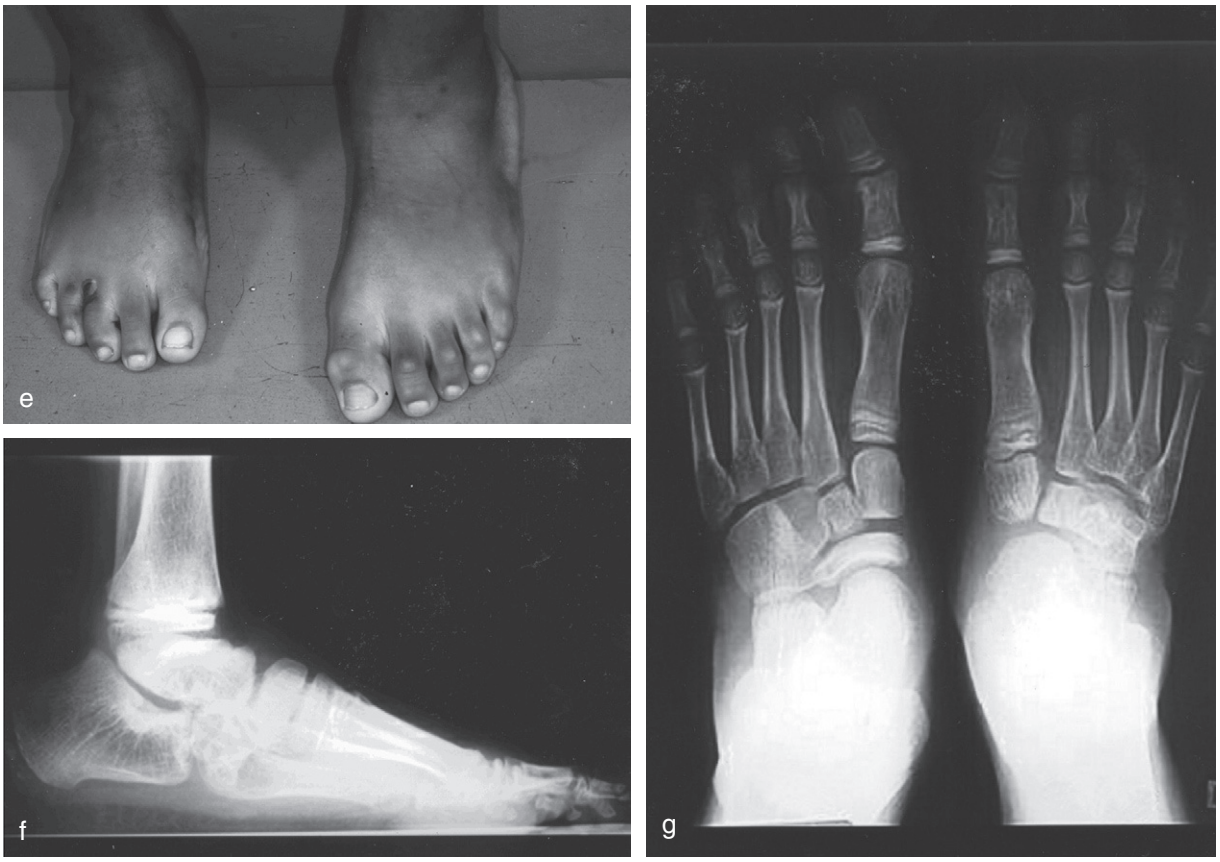


Figure 20. Suite.

mesure de précaution incontournable. En cas d'ischémie aiguë, il convient de diminuer la correction.

Une épiphysiodèse du 1er métatarsien ou du tibia distal est une complication exceptionnelle mais grave, en particulier pour cette dernière car, souvent postérieure, elle aggrave l'équin.

Synthèse de la prise en charge pendant l'enfance

Les progrès réalisés en matière de traitement conservateur pendant l'enfance (en particulier le maintien prolongé avec une attelle nocturne) ont permis une amélioration très nette de la qualité des résultats observés en fin de croissance. Le taux de libération des parties molles a diminué de façon très significative et intervient de façon majeure dans cette amélioration. Cette évolution s'accompagne d'une augmentation de la fréquence de chirurgie mineure, comme l'allongement ou le transfert du tibial antérieur.

L'évaluation des résultats du traitement en fin de croissance a motivé la publication de plus de 15 scores. Le score fonctionnel de Laaveg et Ponseti [61] décrit il y a 30 ans attribue, sur un total de 100 points, 70 points sur des critères subjectifs (satisfaction, activités quotidiennes, douleur) et 30 points sur des éléments objectifs (orientation de l'arrière-pied, flexion dorsale de cheville et qualité de la marche). Ghanem et Seringe [62] ont proposé plus récemment une classification détaillée dans le tableau 2. Parmi 100 points, seulement 26 sont consacrés à des critères subjectifs (satisfaction, douleurs, répercussions sur les activités sportives et quotidiennes). Dans l'avenir, l'application des méthodes d'analyse de la marche devrait apporter des méthodes d'évaluation objectives et reproductibles de la fonction (voir le chapitre « Pied et analyse de la marche », page 69).

Le PBVE à l'âge adulte

Appréciation clinique et radiologique des séquelles

Examen clinique

Il note les caractéristiques générales du membre inférieur (amyotrophie…) et du pied (taille…), le caractère

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Tableau 2
Évaluation des résultats selon Ghanem et Seringe [69]. À partir d'un score total de 100 points, on procède par pénalisation en retranchant des points pour chaque défaut en fonction de sa sévérité

A. Attribution des points				
Morphologie : 40 points	Avant-pied : 10 points	Adduction : 4 points	> 20°	–4
			> 5° et < 20°	–2
			> –10° (hypercorrection)	–2
			Adduction dynamique des orteils	–1
		Creux : 2 points	Creux médial modéré	–1
			Creux médial important	–2
			Pied plat	–1
			Convexité plantaire avec hypercorrection	–2
		Supination : 4 points	Très importante, irréductible, ou dorsal bunion	–4
			Modérée (réductible jusqu'à 0° de pronation)	–2
			Mineure (réductible avec pronation positive)	–1
	Arrière-pied : 10 points		Varus > 5°	–6
			Varus < 5°	–4
			Neutre	–2
			Valgus modéré supérieur au valgus physiologique	–2
			Valgus > 10° (hypercorrection)	–6
			Valgus excessif avec translation latérale du pied	–10
	Adduction globale : 4 points		> 0 et ≤ 10°	–1
			> 10 et ≤ 25°	–2
			> 25 et ≤ 40°	–3
			> 40°	–4
	Chaussage : 4 points	Chaussures orthopédiques		–4
		Chaussures normales mais plus de 2 tailles de différence entre les deux pieds		–2
	Cicatrice : 2 points		Inesthétique	–2
	Radio : 10 points	DTC : 2 points	< 15° (dorsoplantaire)	–1
			< 15° (profil)	–1
		Dôme talien : 2 points	Modérément plat	–1
			Très plat (carré)	–2
		Subluxation talo naviculaire : 6 points	< 1/3 de la hauteur du naviculaire	–2
			< 1/3 de la hauteur du naviculaire + cunéiformisation	–3
			> 1/3 de la hauteur du naviculaire	–4
			> 1/3 de la hauteur du naviculaire + cunéiformisation	–6
Fonction : 50 points	Passive : 20 points	Flexion dorsale : 8 points	< –10°	–8
			< 0° et > –10°	–4
			> 0° et < 10°	–2

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

		Flexion plantaire : 8 points	< 10° (avec flexion dorsale > 25°)	–8
			≥ 10° et < 30°	–4
			≥ 30° et < 40°	–2
		Articulation sous-talienne : 4 points	Complètement raide	–4
			Modérément raide	–2
	Active : 30 points	Activité quotidienne et sports : 8 points	Restriction sévère	–8
			Restriction moyenne	–4
			Restriction modérée	–2
		Douleur : 8 points	Permanente et sévère	–8
			Modérée au cours de l'activité quotidienne	–4
			Après une activité sportive soutenue	–2
		Triceps sural : 12 points	Marche sur la pointe impossible	–12
			Marche sur la pointe possible et SMP impossible	–8
			SMP possible mais difficile	–4
		Flexor hallucis longus : 2 points	Non fonctionnel	–2
			Hyperactif (défaut d'appui antéromédial)	–2
			Supination dynamique	–1
Satisfaction du patient : 10 points			Non satisfait	–10
			Modérément satisfait	–5
B. Résultat en fonction des points				
Score			**Résultat**	
90 ≤ nombre de points ≤ 100			Très bon	
80 ≤ nombre de points < 90			Bon	
70 ≤ nombre de points < 80			Moyen	
Nombre de points < 70			Mauvais	

DTC : divergence talocalcanéenne ; SMP : saut monopode sur la pointe.

plantigrade, les déformations résiduelles de l'arrière-pied et de l'avant-pied, et surtout les amplitudes articulaires (flexion dorsale de la cheville, varus-valgus de l'arrière-pied au niveau de la sous-talienne, prosupination de l'avant-pied).

Examen radiographique

Il comporte des radiographies standard en charge avec mesures de différents paramètres. Sur la radiographie de face dorsoplantaire, on mesure la divergence talocalcanéenne, l'angle calcaneus-M5, l'angle talus-M1 ; sur la radiographie de profil en charge, la divergence talocalcanéenne, l'angle talus-M1, l'angle M1-M5 ; l'index talocalcanéen correspond à la somme des divergences talocalcanéennes de face et de profil. La mesure de l'axe de l'arrière-pied est faite sur l'incidence de cheville de face selon Méary (inconnue des Anglo-Saxons). Les remaniements articulaires (cheville, sous-talienne, talonaviculaire, calcanéocuboïdienne), la cunéiformisation et la subluxation du naviculaire, l'aplatissement du dôme talien sont également recherchés.

Devenir du PBVE à l'âge adulte

Plusieurs études ont analysé les résultats cliniques et radiologiques des différents traitements pratiqués pendant l'enfance par rapport à un groupe témoin ou par rapport aux pieds opposés sains, mais aucune publication ne rapporte les résultats du traitement des séquelles du PBVE à l'âge adulte [61,63-68].

Cependant, deux séries doivent tout particulièrement retenir notre attention : celle de Docquier [69], sur 30 pieds bots sévères (Seringe 3) opérés, en moyenne à l'âge moyen de 18 mois, et revus avec un recul moyen postopératoire de 19 ans ; celle de Huber

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

[70], sur 19 PBVE opérés par libération postérieure à l'âge de 2 mois en moyenne et revus avec un recul moyen de 39 ans. De ces deux séries historiques, faisant le bilan à l'âge adulte des gestes chirurgicaux réalisés dans l'enfance, on retiendra un certain nombre d'enseignements.

Évaluation fonctionnelle

Selon le score de Laaveg et Ponseti [61], elle montre des résultats globaux bons dans 82 % des cas [69], avec des patients très satisfaits dans 68 % des cas et satisfaits dans 24 %. Seulement 4 % se disaient moyennement satisfaits et 4 % insatisfaits. Les patients ne sont jamais limités, même pour le sport dans 60 % des cas, et 8 % sont rarement limités pour le sport. Aucun patient n'est gêné pour la marche. La douleur n'est présente occasionnellement que dans 16 % des cas lors du sport, et dans 24 % des cas lors d'activités intenses. Aucun patient n'est douloureux lors de la marche. Il faudrait probablement pondérer cet enthousiasme à la lumière de la classification de Ghanem et Seringe [62].

Analyse baropodométrique dynamique

L'analyse des courbes de pressions dynamiques plantaires [70] a permis d'objectiver les mouvements de pronation en phase d'appui. Les pieds bots idiopathiques conservant une mobilité en pronation de l'arrière-pied ont un meilleur pronostic fonctionnel à long terme. La préservation de la mobilité de l'articulation sous-talienne est un facteur déterminant dans les résultats du traitement du PBVE.

Résultats radiographiques

• L'analyse radiologique retrouve des anomalies toujours présentes. Au niveau de l'*articulation talocrurale*, la diminution de la hauteur du dôme talien est un signe constant du pied bot, indépendant du type de traitement. L'articulation est régulièrement aplatie mais reste congruente. Au niveau du tibia, on peut retrouver une pente de la partie postérieure de la surface articulaire. Une empreinte sur la marge antérieure tibiale est parfois retrouvée, liée au contact du col du talus raccourci avec la marge tibiale antérieure. Le talus et le calcaneus sont toujours plus courts que du côté normal. Le dôme talien est toujours plus aplati que du côté normal, mais souvent de façon légère. Cette diminution de sphéricité du dôme talien entraîne une diminution de mobilité de l'articulation talocrurale qui est souvent compensée par une hypermobilité de l'articulation de Chopart. Plus le dôme talien est plat, plus l'articulation talocrurale est raide. Le *« flat-top talus »* moyen est moins fréquent, et sa forme sévère très rare, mais la plus importante limitation de flexion dorsale a été observée après nécrose partielle du talus avec enfoncement de la surface articulaire.

• La *correction de l'arrière-pied* est évaluée avec la divergence talocalcanéenne de face et de profil. Le manque de divergence traduit un varus résiduel (hypocorrection) tandis que l'excès de divergence accompagne l'hypercorrection en valgus. Une légère hypocorrection est retrouvée fréquemment, mais reste bien tolérée, tandis que l'hypercorrection est en général mal supportée.

• *Au niveau talonaviculaire*, une surface articulaire sphérique et congruente est la condition pour avoir une conservation des mouvements de pronation-supination, une articulation talonaviculaire incongruente entraînant une raideur de l'articulation sous-talienne. Le naviculaire peut présenter une forme cunéiforme de profil comme de face. Il peut être subluxé médialement (hypocorrection) ou latéralement (hypercorrection). Il peut également être subluxé dorsalement, traduisant un varus calcanéen résiduel. Le déplacement dorsal du naviculaire entraîne une accentuation du pied creux.

• L'*alignement de l'avant-pied sur l'arrière-pied* peut être évalué sur le cliché de face en charge par deux angles (angle talus-1er métatarsien et angle calcaneus-5^{e} métatarsien). L'appréciation de l'état de l'articulation sous-talienne reste indispensable, car elle peut modifier l'angle talus-1er métatarsien. Fréquemment, un très léger metatarsus adductus persiste. La présence d'un cavus peut être décelée sur le cliché de profil par deux angles (angle talus-1er métatarsien et angle 1er–5^{e} métatarsien). La présence d'un éventuel dorsal bunion ou d'un hallux varus est parfois retrouvée. Les clichés dynamiques montrent l'importance de la mobilité dans l'articulation de Chopart par rapport à la mobilité dans la cheville.

Résultat global

Ainsi, le PBVE ne devient jamais normal cliniquement et radiologiquement à l'âge adulte, quels que soient la précocité et le type de traitement, malgré des résultats fonctionnels bons dans plus de 80 % des cas. L'atrophie du mollet et le raccourcissement du pied sont constants. L'inégalité de longueur des membres est fréquente. L'hypoplasie du dôme talien est un signe constant du pied bot à l'âge adulte, indépendamment du type de traitement réalisé pendant l'enfance. Elle entraîne une limitation de la flexion dorsale de la cheville. La congruence de l'articulation talonaviculaire

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

est essentielle pour la fonction du pied et en particulier la mobilité de l'articulation sous-talienne. Une petite hypocorrection est souvent présente mais bien tolérée, tandis que l'hypercorrection est moins bien supportée. La mobilité talocrurale est toujours limitée par rapport au côté normal, mais compensée par une hypermobilité dans l'articulation de Chopart. Les résultats sont en général bons quant à la satisfaction du patient, au niveau de douleur et à la fonction.

Principales déformations cliniques résiduelles

Adduction du médio-pied (figure 21)

Elle est de loin la déformation la plus fréquente (> 60 % des cas) [71,72]. On retrouve des facteurs anatomopathologiques favorisants (remodelage des facettes articulaires) [73,74]. Elle majore les effets du varus résiduel et donc de l'hypocorrection globale. Les muscles fibulaires sont déficients et l'interligne de Lisfranc est enraidi, avec une déformation trapézoïdale des cunéiformes.

Subluxation dorsale de l'os naviculaire (figure 22)

Elle est présente dans 50 à 60 % des cas [61,71,74]. Un déplacement médial ou latéral est souvent associé. Une déformation cunéiforme du naviculaire est fréquente.



Figure 21. Adduction résiduelle du médio-pied et de l'avant-pied. Arthrose débutante du Lisfranc.

L'arthrose talonaviculaire et le conflit arthrogène avec la marge antérieure du tibia font le pronostic à long terme.

Varus calcanéen (figure 23)

Il représente 30 % des cas environ [61,71,74]. Il est souvent minime et bien toléré. On retrouve parfois un équin résiduel, voire un pied creux avec une pronation de l'avant-pied.

« Dorsal bunion » (figure 24)

Il s'agit d'un durillon dorsal, commun à de nombreuses affections du pied, principalement à l'âge pédiatrique. Il est défini stricto sensu par un durillon situé à la face dorsale du pied, au niveau de la tête du 1er métatarsien. L'aspect clinique comporte une horizontalisation du 1er métatarsien associée à une flexion plantaire de l'hallux. Les déséquilibres musculaires concernant le long fibulaire, le court fléchisseur de l'hallux, le tibial antérieur et le triceps sural vont déstabiliser des articulations naviculocunéennes et cunéométatarsiennes encore souples [75]. Les deux motifs de consultation, pratiquement toujours associés, sont l'esthétique d'une part et des métatarsalgies d'autre part.

D'un point de vue radiologique, le diagnostic peut être évoqué lorsque, sur un cliché de profil en charge, la différence de hauteur entre le bord inférieur de la tête du 5e métatarsien et le bord inférieur des sésamoïdes atteint 5 mm. Même si les séries publiées sur le sujet sont rares, c'est une séquelle classique de la chirurgie du pied bot par faiblesse du tendon d'Achille, un long fléchisseur de l'hallux trop puissant, une supination globale de l'avant-pied associée à un tibial antérieur puissant et la faiblesse du long fibulaire. Certains auteurs [76,77] ont évoqué le fait qu'une correction de l'équin sans allongement du tendon long fléchisseur de l'hallux constitue un facteur déterminant dans la genèse du durillon dorsal séquellaire de la chirurgie du PBVE. En pratique, l'allongement du muscle long fléchisseur de l'hallux n'est pas utile. Il semble en fait que le muscle tibial antérieur joue un rôle majeur dans l'apparition de cette déformation. De plus, le muscle long fléchisseur de l'hallux est mis à contribution pour compenser l'insuffisance relative du triceps par rapport au muscle tibial antérieur [43].

Pied creux

Présente dans 15 à 30 % des cas [71,78], la déformation est complexe (varus de l'arrière-pied et pronation de l'avant-pied). La laxité progressive du ligament collatéral latéral (figure 25), les griffes d'orteils et les métatarsalgies aggravent le tableau clinique.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

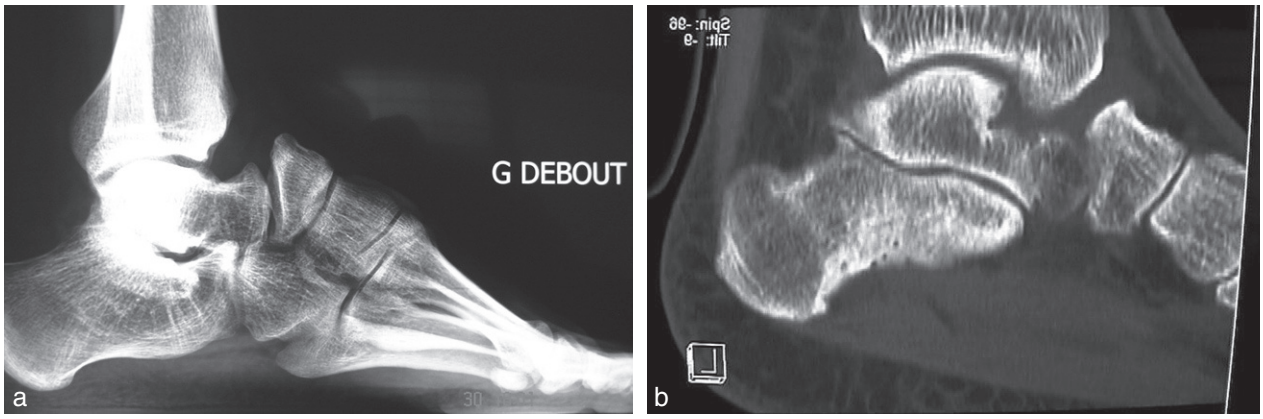


Figure 22. Subluxation dorsale de l'os naviculaire, bien visible sur la radiographie standard (a), et arthrose tibio-talo-naviculaire débutante, sur le scanner (b).

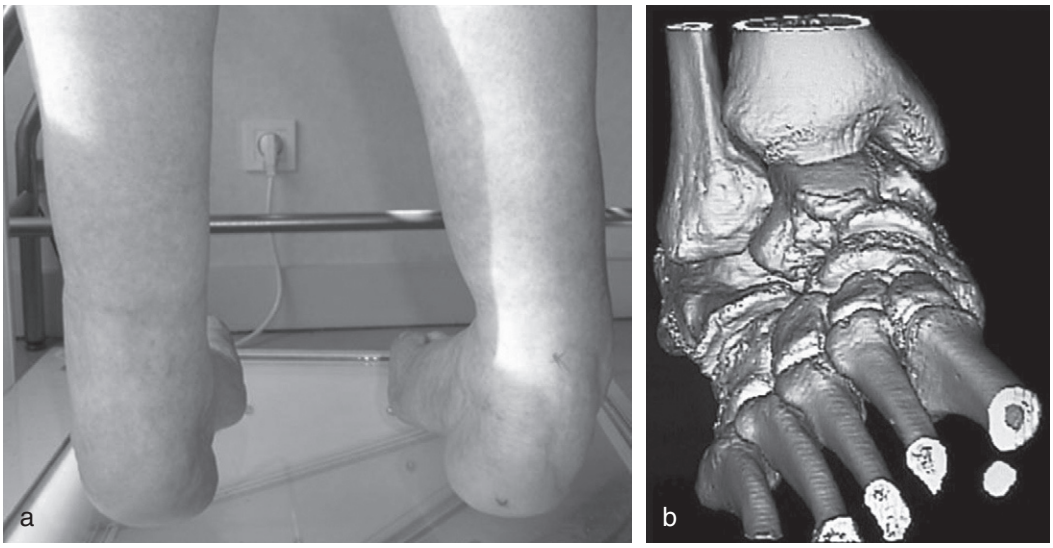


Figure 23. Varus calcanéen.
a. Varus bilatéral de l'arrière-pied, très important à droite. b. Supination de l'avant-pied accompagnant un varus de l'arrière-pied (évaluation avec TDM 3D).

Hypercorrection (figure 26)

Elle est plus rare (10 % des cas environ) [71,79]. Une libération excessive des parties molles et un allongement intempestif du tendon calcanéen en sont les causes principales. Un pied plat valgus apparaît, avec arthrose et enraidissement de l'articulation sous-talienne ainsi qu'un conflit fibulocalcanéen. C'est l'une des causes de dégradation consécutive de l'articulation talocrurale.

Autres

Des problèmes connexes doivent être discutés [80], comme les troubles de torsion du squelette jambier et surtout l'arthrose talocrurale (figure 27).

Ses causes sont multiples et souvent associées dans le cadre du PBVE de l'adulte :

- dystrophie du corps du talus ;
- perte de la flexion dorsale de la cheville ou même équin irréductible ;

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

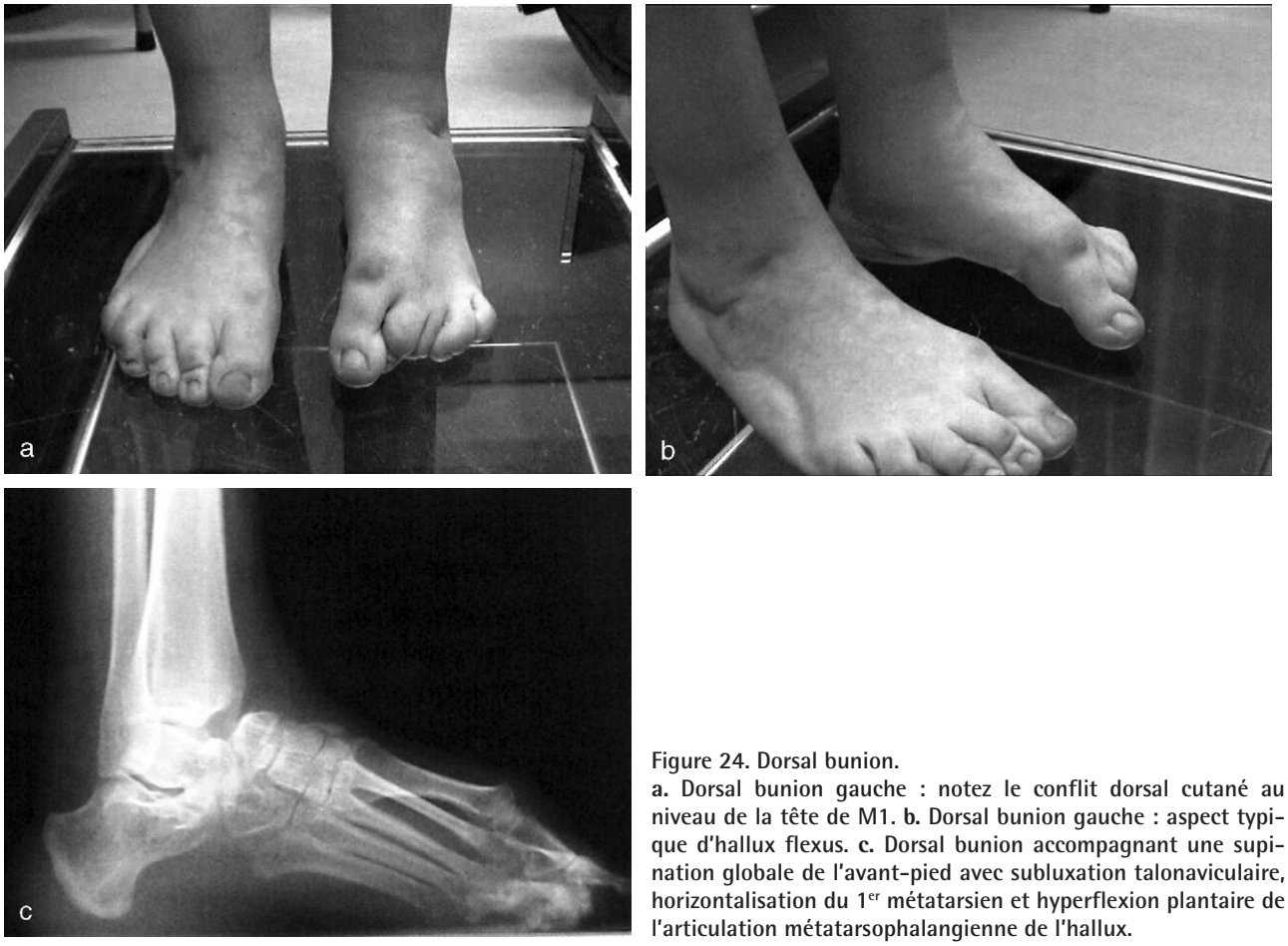


Figure 24. Dorsal bunion.
a. Dorsal bunion gauche : notez le conflit dorsal cutané au niveau de la tête de M1. **b.** Dorsal bunion gauche : aspect typique d'hallux flexus. **c.** Dorsal bunion accompagnant une supination globale de l'avant-pied avec subluxation talonaviculaire, horizontalisation du 1er métatarsien et hyperflexion plantaire de l'articulation métatarsophalangienne de l'hallux.



Figure 25. Laxité latérale progressive de l'articulation talocrurale sur hypocorrection résiduelle avec pied creux et varus de l'arrière-pied.

- caractère bilatéral du PBVE ;
- raideur des articulations sous-jacentes ou arthrodèses plus ou moins étendues de l'arrière-pied et du médio-pied ;
- décompensation en varus avec laxité latérale de cheville (en particulier en cas de varus résiduel sur un arrière-pied rigide ;
- contexte de chirurgie itérative avec des voies d'abord multiples et un état cutané précaire.

Propositions thérapeutiques

Les objectifs thérapeutiques sont l'obtention d'un appui plantigrade, sans varus, sans douleur et permettant un chaussage du commerce. La raideur et l'arthrose sont des éléments déterminants dans les choix thérapeutiques. Le fonctionnement optimal de la cheville est la finalité. Aucune publication ne rapporte les résultats du traitement des séquelles du PBVE à l'âge adulte.

Ostéotomie du calcaneus

Elle est le plus souvent valgisante [50,58,81] pour corriger un varus résiduel, sans arthrose ni raideur. Elle est parfois associée à un allongement du tendon

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

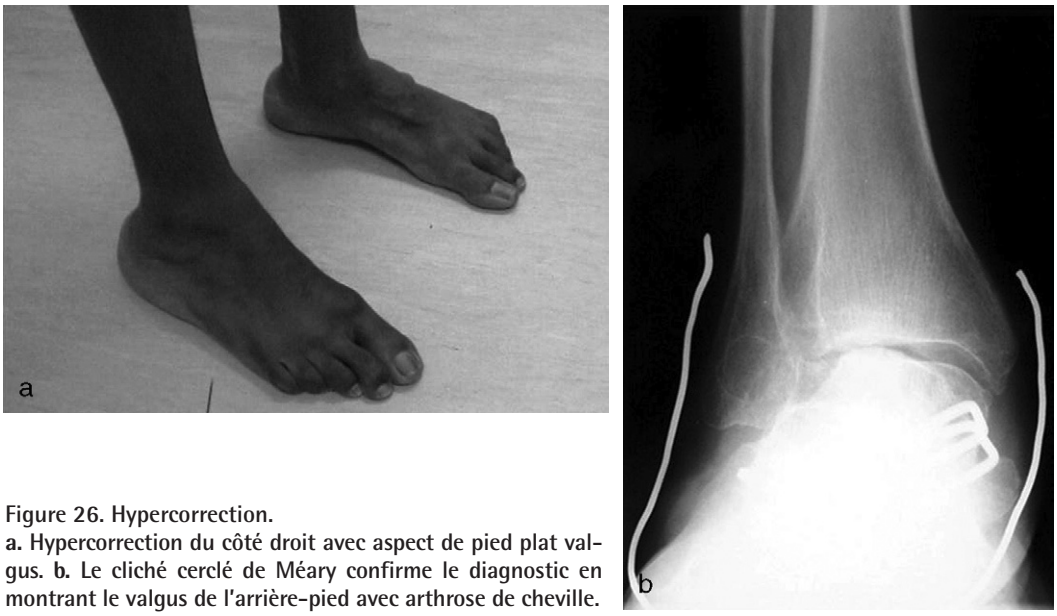


Figure 26. Hypercorrection.
a. Hypercorrection du côté droit avec aspect de pied plat valgus. **b.** Le cliché cerclé de Méary confirme le diagnostic en montrant le valgus de l'arrière-pied avec arthrose de cheville.



Figure 27. Hypercorrection à un stade évolué avec arthrose péritalienne globale : sous-talienne, talonaviculaire et tibiotalienne.

calcanéen et à des gestes sur le médio-pied. Elle est parfois de translation médiale [82] pour les hypercorrections en valgus, y compris après arthrodèse sous-talienne.

Ostéotomie du médio-pied (figure 28)

Elle corrige une adduction résiduelle souple et sans arthrose par raccourcissement de la colonne latérale et allongement de la colonne médiale. Les niveaux sont variables et les variantes techniques nombreuses [50,73,83].



Figure 28. Ostéotomie du médio-pied pour adduction résiduelle (pied multiopéré dans l'enfance).

Arthrodèses combinées (figures 29 et 30)

Ce sont le plus souvent des résections-arthrodèses valgisantes corrigeant varus, équin, adduction et arthrose dans le même temps. Un allongement du tendon calcanéen avec libération postérieure peut aussi être indiqué. Devant une hypercorrection fixée en valgus avec un conflit fibulotalien et une arthrose sous-talienne,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

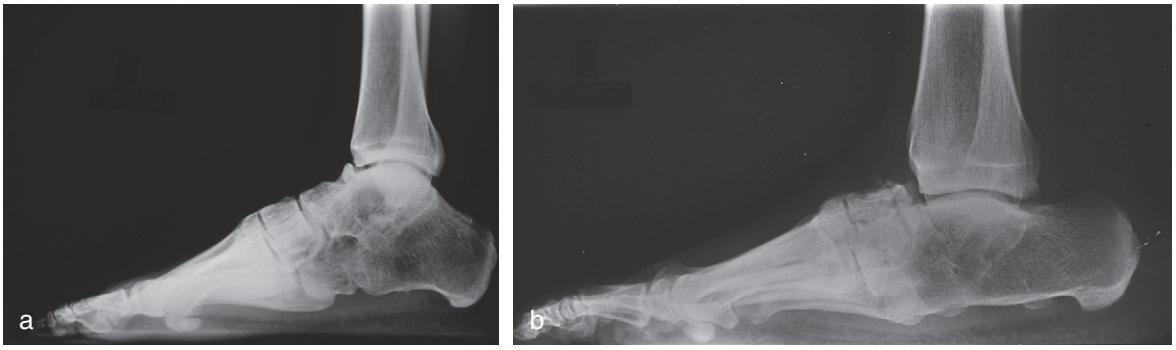


Figure 29. Arthrodèses combinées.
a. Triple arthrodèse sur hypocorrection résiduelle. Dégradation débutante de l'interligne tibiotalien. b. Triple arthrodèse avec hypercorrection et luxation in situ du naviculaire. Arthrose tibiotalienne et conflit tibionaviculaire. Notez l'hypoplasie du col du talus et la platibasie du dôme talien.

une arthrodèse sous-talienne utilisant un greffon varisant sous-talien peut être proposée [84].

Méthode d'Ilizarov

C'est une alternative à la triple arthrodèse sans raccourcissement supplémentaire du pied ni effet déstabilisant [53,85]. Des gestes sur les parties molles sont associés (allongement tendineux).

Talectomie

Aboutissant à une arthrodèse tibiocalcanéenne, elle est indiquée dans les raideurs sévères [86-88].

Traitement du « dorsal bunion »

Les techniques ou leurs variantes sont nombreuses [27,28,89-93]. On retiendra plus particulièrement celles présentées ci-après.

Transfert du long fléchisseur de l'hallux

Le *« reverse Jones »* [77] consiste en la réinsertion du long fléchisseur de l'hallux au niveau de l'extrémité distale du 1er métatarsien.

Intervention de Lapidus

Lapidus [91] a proposé, en 1940, une technique élaborée de correction chirurgicale de la déformation. Une résection d'un coin osseux à base plantaire et une arthrodèse sont pratiquées au niveau de l'articulation cunéométatarsienne. Le tendon du long fléchisseur propre de l'hallux est alors désinséré et passé dans un tunnel préalablement percé obliquement dans la diaphyse du 1er métatarsien puis réinséré, avec la capsule, au niveau dorsal de la 1re articulation métatarsophalangienne.

Technique de Ryan [93]

Récemment, Ryan a proposé un allongement ou un transfert du tendon du muscle tibial antérieur sur le cunéiforme latéral associé à une ostéotomie du cunéiforme médial, une capsulotomie et une capsulorraphie de la première articulation métatarsophalangienne. Les premiers résultats, obtenus sur 23 pieds opérés en 13 ans, semblaient concluants. Une variante consiste à réaliser une ostéotomie de la base du 1er métatarsien et un transfert de l'hémitendon du tibial antérieur sur le cuboïde.

Tarsectomie de pronation

Elle est envisagée lorsque le primum movens est une supination excessive de l'avant-pied.

Traitement de l'arthrose talocrurale

La décompensation de l'articulation talocrurale chez l'adulte constitue un tournant dans l'évolution fonctionnelle du PBVE ; sa prise en charge est difficile et les options thérapeutiques restent à évaluer. Aucune étude n'a été publiée à ce jour, mais quelques publications rapportent le recours à l'arthrodèse par enclouage transplantaire [94] ou appareil d'Ilizarov [95].

Des propositions thérapeutiques ont été discutées récemment sur la base de dossiers cliniques fournis

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

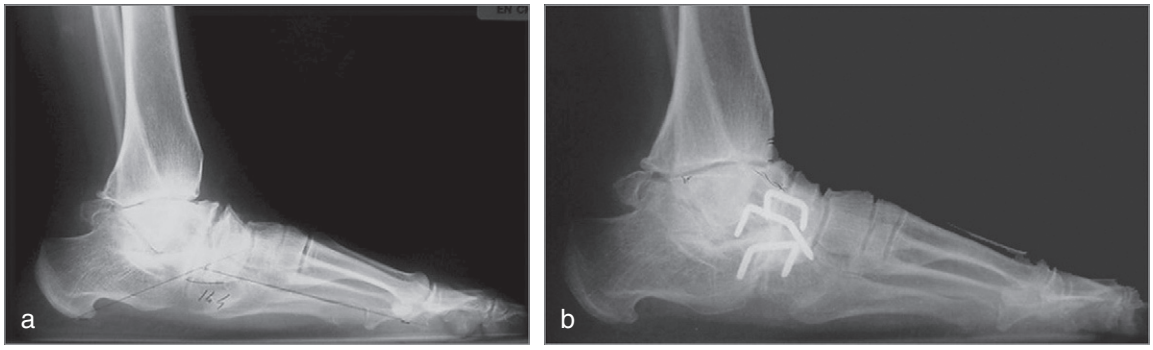


Figure 30. Arthrose globale péritalienne.
a. Aspect préopératoire. b. Stabilisation de l'arrière-pied avec une triple arthrodèse.

par différents chirurgiens de l'Association française de chirurgie du pied [96].

Traitement conservateur

Comportant économie articulaire avec adaptation des activités professionnelles et de loisirs, orthèse plantaire compensatrice en matériau très amortissant, chaussage orthopédique avec tige plus ou moins montante et barre de roulement, il doit être proposé en première intention.

Arthrodèse de la cheville (figure 31)

C'est la solution de facilité, mais en supprimant la mobilité résiduelle de la talocrurale, elle aggrave les contraintes sur le médio-pied et sur l'avant-pied, surtout en cas d'atteinte bilatérale, de déformations résiduelles et de rigidité du pied liée aux interventions itératives et aux arthrodèses de l'arrière-pied et du médio-pied. Cette procédure est difficile à proposer, l'indication doit être mûrement réfléchie.



Figure 31. Arthrodèse talocursale pour arthrose séquellaire sur hypocorrection, pied creux et hypoplasie du dôme talien. Notez la dégradation de l'articulation sous-talienne.

Correction des désaxations et ligamentoplastie de cheville

La correction des désaxations résiduelles de l'arrière-pied (par des ostéotomies et/ou des arthrodèses) associée à une ligamentoplastie de cheville peut être proposée lors de décompensation du varus résiduel avec constitution d'une laxité latérale de cheville. Mais cette option ne résout pas le problème de douleurs de la cheville en cas d'arthrose évolutive.

Arthroplastie totale de cheville (figure 32)

Cette intervention est en théorie la solution idéale pour sauvegarder la mobilité résiduelle de la cheville, mais sa réalisation est difficile en raison des associations lésionnelles : dystrophie avec aplatissement du dôme talien (et même éventuelle nécrose qui conduira à une faillite de l'implant talien), trouble de la torsion tibiale, ankylose en équin fixé, laxité de cheville, déformation résiduelle de l'arrière-pied, état cutané précaire avec de multiples voies d'abord (pouvant rendre impossible la chirurgie prothétique). Deux temps opératoires peuvent parfois être discutés afin de limiter les risques de complications : corrections des désaxations par des ostéotomies [50,58,81,82] ou des arthrodèses de l'arrière-pied [97], puis prothèse de cheville.

Synthèse de la prise en charge du PBVE chez l'adulte

Le PBVE de l'adulte ne sera jamais un pied normal : il est plus court, plus large, avec une amyotrophie locorégionale. Les facteurs pronostiques de bons résultats sont essentiellement cliniques : dans 80 % des cas, le pied est indolore, plantigrade, mobile (talocrurale et

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

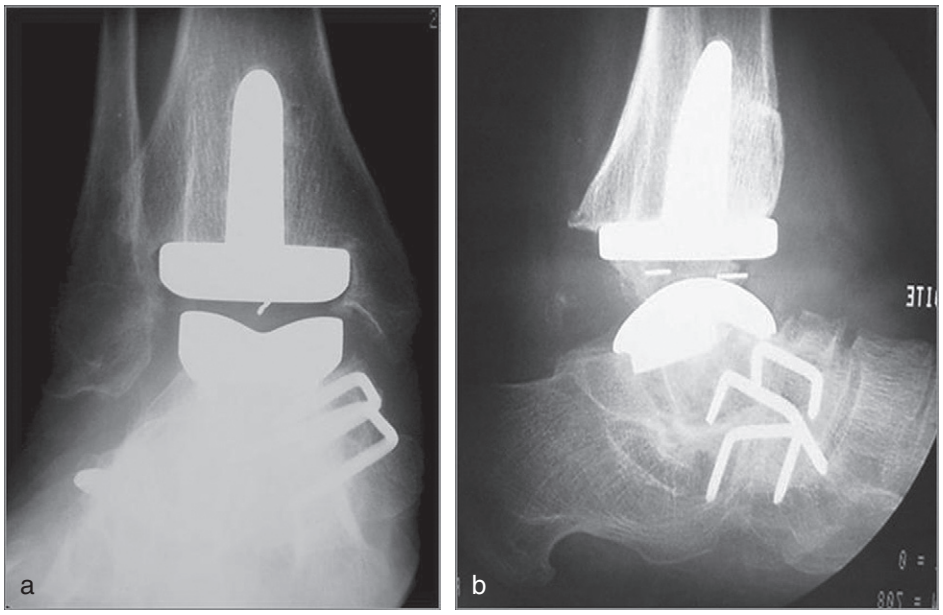


Figure 32. Arthroplastie totale de cheville : 8 ans de recul avec amplitudes de flexion dorsale de 10° et de flexion plantaire de 30°. a. Vue de face. b. Vue de profil.

sous-talienne). En revanche, les résultats fonctionnels sont peu corrélés aux valeurs de corrections angulaires radiologiques. Il est porteur de troubles résiduels acceptables, parfois gênants mais dans certains cas intolérables.

Les séquelles en fin de croissance s'intensifient à l'âge adulte : le varus, l'adduction, l'équin et l'hypercorrection sont des motifs fréquents de consultation chez l'adulte. Elles s'accompagnent souvent d'arthrose, de douleur et de raideur. Ces séquelles semblent proportionnelles à la nature de la prise en charge infantile et au degré de sévérité initiale du pied. La priorité doit être donnée au traitement conservateur orthopédique et à la rééducation fonctionnelle. Les gestes chirurgicaux doivent être limités en qualité et en quantité. Il s'agit d'une véritable chirurgie « à la carte », exception faite des PBVE graves qui nécessitent souvent une chirurgie lourde et précoce.

Le suivi longitudinal des pieds bots prouve que les gestes extensifs et/ou répétés conduisent à la raideur et à l'arthrose par rapport aux séries prônant des méthodes thérapeutiques plus douces.

Les hypocorrections *(varus, adduction, équin)* sont plus simples à traiter. Elles bénéficient d'une chirurgie conservatrice à type d'ostéotomie et de transfert tendineux en l'absence d'arthrose et de raideur. Dans le cas contraire, des arthrodèses combinées classiques au niveau de l'arrière-pied sont proposées et permettent d'obtenir des résultats identiques à ceux obtenus pour d'autres étiologies.

Ainsi, les problèmes du PBVE de l'adulte sont triples :
- le *PBVE négligé* se rencontre encore. Les résultats de son traitement chirurgical sont médiocres et permettent, au mieux, d'obtenir un pied pilon ;
- l'*hypercorrection* est aussi pourvoyeuse de résultats médiocres en rapport avec les difficultés techniques lors de la prise en charge chirurgicale ;
- l'*avenir de l'articulation talocrurale* semble un point fondamental actuel, car sa dégradation arthrosique est multifactorielle. La prothèse totale de cheville dans l'arsenal thérapeutique semble un élément intéressant, mais qui nécessite encore une expertise clinique et du recul. La correction préalable des troubles statiques sous-jacents est fondamentale.

Références

1 Vincent-Jackson T. Treatment of clubfoot by immediate straightening of the foot sequential to tenotomy. Lancet 1888 ; 1 : 1220.
2 Masse P. Le traitement du pied bot par la méthode « fonctionnelle ». In : Cahier d'enseignement de la SOFCOT. Paris : Expansion Scientifique ; 1977. p. 51-6.
3 Ponseti IV. Congenital clubfoot. Fundamentals of treatment. Oxford, New York, Tokyo : Oxford University Press ; 1996.
4 Zimny ML, Willig SJ, Roberts JM, Ambrosia RD. An electron microscopic study of the fascia from the medial and lateral sides of clubfoot. J Pediatr Orthop 1985 ; 5 : 577-81.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

5 Irani RN, Sherman MS. The pathological anatomy of clubfoot. Clin Orthop Relat Res 1972 ; 84 : 14-20.
6 Loren GJ, Karpinski NC, Mubarak SJ. Clinical implications of clubfoot histopathology. J Pediatr Orthop 1998 ; 18 : 765-9.
7 Bohm M. The embryologic origins of clubfoot. J Bone Joint Surg 1929 ; 11 : 229.
8 Kawashima T, Uhthoff HK. Development of the foot in prenatal life in relation to idiopathic clubfoot. J Pediatr Orthop 1990 ; 10 : 232-7.
9 Lochmiller C, Johnston D, Scott A, Risman M, Hecht JT. Genetic epidemiology study of idiopathic talipes equinovarus. Am J Med Genet 1998 ; 79 : 90-9.
10 Chung CS, Nemechek RW, Larsen IJ, Ching GH. Genetic and epidemiological studies of clubfoot in Hawaï. General and medical considerations. Hum Hered 1969 ; 19 : 321-42.
11 Wynn-Davies R. Genetic and environmental factors in the etiology of talipes equinovarus. Clin Orthop Relat Res 1972 ; 84 : 9-13.
12 Rebbeck TR, Dietz FR, Murray JC, Buetow KH. A single-gene explanation for the probability of having idiopathic talipes equinovarus. Am J Hum Genet 1993 ; 53 : 1051-63.
13 De Andrade M, Barnholtz JS, Amos CI, Lochmiller C, Scott A, Risman M, et al. Segregation analysis of idiopathic talipes equinovarus in a texan population. Am J Med Genet 1998 ; 79 : 97-102.
14 Kruse LM, Dobbs MB, Gurnett CA. Polygenic threshold model with sex dimorphism in clubfoot inheritance : the Carter effect. J Bone Joint Surg Am 2008 ; 90 : 2688-94.
15 Philip J, Silver RK, Wilson RD, Thom EA, Zachary JM, Mohide P, et al. Late first-trimester invasive prenatal diagnosis : results of an international randomized trial. Obstet Gynecol 2004 ; 103 : 1164-73.
16 Tredwell SJ, Wilson D, Wilmink MA. Review of the effect of early amniocentesis on foot deformity in the neonate. J Pediatr Orthop 2001 ; 21 : 636-41.
17 Seringe R. Anatomie pathologique du pied bot varus équin congénital. I. Les défauts ostéoarticulaires à la naissance. Ann Chir 1977 ; 31 : 107-11.
18 Seringe R. Anatomie pathologique du pied bot varus équin congénital. II. Les défauts ostéoarticulaires du pied déjà traité ou en cours de traitement. Ann Chir 1977 ; 31 : 113-8.
19 Seringe R. Anatomie pathologique. In : Le pied bot varus équin congénital. Cahier d'enseignement de la SOFCOT n° 43. Paris : Expansion Scientifique ; 1993. p. 7-20.
20 Shapiro F, Glimcher MJ. Gross and histological abnormalities of the talus in congenital clubfoot. J Bone Joint Surg Am 1979 ; 61 : 522-30.
21 Masse P, Benichou J, Dimeglio A, Onimus M, Padovani JP, Seringe R, et al. Pied bot varus équin congénital. Rev Chir Orthop 1976 ; 62 (suppl) : 37-50.
22 Bonnell J, Cruess RL. Anomalous insertion of the soleus muscle as a cause of fixed equinus deformity. A case report. J Bone Joint Surg Am 1969 ; 51 : 999-1000.
23 Hootnick DR, Levinsohn EM, Crider RJ, Packard DS. Jr. Congenital arterial malformations associated with clubfoot. A report of two cases. Clin Orthop Relat Res 1982 ; 167 : 160-3.
24 Flyn JM, Donohoe M, Mackenzie WG. An independent assessment of two clubfoot-classification systems. J Pediatr Orthop 1998 ; 18 : 323-7.
25 Dimeglio A, Bensahel H, Souchet P, Mazeau P, Bonnet F. Classification of clubfoot. J Pediatr Orthop B 1995 ; 4 : 129-36.
26 Koureas G, Seringe R, Wicart P. The incidence and treatment of rocker bottom deformity as a complication of the conservative treatment of idiopathic clubfoot. J Bone Joint Surg Br 2008 ; 90 : 57-60.
27 Méary R. Sur une forme particulière de défaut d'appui antéro-interne du pied. Rev Chir Orthop 1956 ; 42 : 235-45.
28 McKay DW. Dorsal bunions in children. J Bone Joint Surg Am 1983 ; 65 : 975-80.
29 Wicart P, Richardson J, Maton B. Adaptation of gait initiation in children with unilateral idiopathic clubfoot. J Electromyogr Kinesiol 2006 ; 16 : 650-60.
30 Offerdal K, Jebens M, Blaas HG, Eik-Nes SH. Prenatal ultrasound detection of talipes equinovarus in a non-selected population of 49 314 deliveries in Norway. Ultrasound Obstet Gynecol 2007 ; 30 : 838-44.
31 Seringe R. Le pied bot varus équin congénital : étude radiologique. Ann Chir Inf 1977 ; 18 : 97-114.
32 Wicart P, Chotel F. Clubfoot : conservative treatment. French technique versus Ponseti technique. Rev Chir Orthop 2008 ; 94 (suppl 6) : S197-9.
33 Shiels WE, Coley BD, Kean J, Adler BH. Focused sonographic dynamic evaluation of the congenital clubfoot. Pediatr Radiol 2007 ; 37 : 1118-24.
34 Patel CV. The foot and ankle : MR imaging of uniquely pediatric disorders. Magn Reson Imaging Clin N Am 2009 ; 17 : 539-47.
35 Bensahel H, Guillaume A, Czukonyi Z, Desgrippes Y. Results of physical therapy for idiopathic clubfoot : a long-term follow-up study. J Pediatr Orthop 1990 ; 10 : 189-92.
36 Diméglio A, Bonnet F, Mazeau P, De Rosa V. Orthopaedic treatment and passive motion machine : consequences for the surgical treatment of clubfoot. J Pediatr Orthop B 1996 ; 5 : 173-80.
37 Lascombes P. Pied bot varus équin idiopathique congénital. Description et conduite à tenir avant l'âge de 2 ans. Cahier d'enseignement de la Sofcot n°38. Paris : Expansion Scientifique Française ; 1990. p. 67-84.
38 Metaizeau JP, Lemelle JL. Continuous passive motion in the treatment of congenital clubfoot. Med Orthop Tech 1991 ; 111 : 194-8.
39 Seringe R, Atia R. Pied bot varus équin congenital idiopathique : résultats du traitement fontionnel (269 pieds). Rev Chir Orthop 1990 ; 76 : 490-501.
40 Gottschalh HP, Karol LA, Jeans KA. Gait analysis of children treated for moderate clubfoot with physical therapy versus the Ponseti cast technique. J Pediatr Orthop 2010 ; 30 : 235-9.
41 Alvarez CM, De Vera MA, Chhina H, Williams L, Durlacher K, Kaga S. The use of botulinum type A toxin in the treatment of idiopathic clubfoot : 5-year follow-up. J Pediatr Orthop 2009 ; 29 : 570-5.
42 Garceau GJ, Palmer RM. Transfer of the tibial anterior tendon for recurrent club foot : a long-term follow-up. J Bone Joint Surg Am 1967 ; 49 : 207-31.
43 Wicart P, Barthes X, Ghanem I, Seringe R. Clubfoot posteromedial release : advantages of tibial anterior tendon lengthening. J Pediatr Orthop 2002 ; 22 : 526-32.
44 Turco VJ. Resistant congenital club foot : one-stage posteromedial release with internal fixation. J Bone Joint Surg Am 1979 ; 61 : 805-14.
45 Crawford AH, Marxen JL, Osterfeld DL. The Cincinnati incision : a comprehensive approach for surgical procedure for foot and ankle in childhood. J Bone Joint Surg Am 1982 ; 64 : 1355-8.
46 Carroll NC. Controversies in surgical management of clubfoot. Instr Course Lect 1996 ; 45 : 331-7.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

47 Seringe R, Miladi L, Bonvin JC, Fassier F. Traitement chirurgical du pied bot varus équin congénital idiopathique par libération des parties molles. Rev Chir Orthop 1996 ; 72 (Suppl 2) : 63-5.
48 Seringe R, Wicart P. Traitement opératoire du pied bot varus équin congénital. In : Carlioz H, Kohler R, éds. Orthopédie pédiatrique. Membre inférieur et bassin.. Paris : Masson ; 2005. p. 155-62.
49 Lichtblau S. A medial and lateral release operation for clubfoot : a preliminary report. J Bone Joint Surg Am 1973 ; 55 : 1377-84.
50 Wicart P, Seringe R. Ostéotomies du tarse. Encycl Méd Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Techniques chirurgicales, Orthopédie-Traumatologie 44-920, 2010.
51 Ghanem I, Zeller R, Miladi L, Seringe R. La résection distale intra-articulaire du calcanéum dans le traitement du pied bot varus équin congénital idiopathique sévère ou récidivant. Rev Chir Orthop 1995 ; 81 : 709-15.
52 Mehrafshan M, Rampal V, Seringe R, Wicart P. Recurrent club-foot deformity following previous soft-tissue release : mid-term outcome after revision surgery. J Bone Joint Surg Br 2009 ; 91 : 949-54.
53 Laville JM, Collin JF. Treatment of recurrent or neglected clubfoot by Ilizarov's appliance. Rev Chir Orthop 1992 ; 78 : 485-90.
54 Nakase T, Yasui N, Ohzono K, Shimizu N, Yoshikawa H. Treatment of relapsed idiopathic clubfoot by complete subtalar release combined with the Ilizarov method. J Foot Ankle Surgery 2006 ; 45 : 337-41.
55 Freedman JA, Watts H, Otsuka NY. The Ilizarov method for the treatment of resistant clubfoot : is it an effective solution? J Pediatr Orthop 2006 ; 26 : 432-7.
56 Legaspi J, Li YH, Chow W, Leong JC. Talectomy in patients with recurrent deformity in clubfoot. A long-term follow-up study. J Bone Joint Surg Br 2001 ; 83 : 384-7.
57 Laville JM, Bussières F. Place de l'opération de Cahuzac dans la chirurgie itérative du pied bot varus équin. Rev Chir Orthop 1998 ; 84 : 638-45.
58 Dwyer FC. Osteotomy of the calcaneus for pes cavus. J Bone Joint Surg Br 1959 ; 41 : 80-6.
59 Kuo KN, Jansen LD. Rotatory dorsal subluxation of the navicular : a complication of clubfoot surgery. J Pediatr Orthop 1998 ; 18 : 770-4.
60 Laudrin P, Wicart P, Seringe R. Resection of navicular bone for severe midfoot deformity in children. Rev Chir Orthop 2007 ; 93 : 478-85.
61 Laaveg SJ, Ponseti IV. Long-term results of treatment of congenital clubfoot. J Bone Joint Surg Am 1980 ; 62 : 23-31.
62 Seringe R. Pied bot varus équin congénital. Acta Orthopaedica Belgica 1999 ; 65 : 127-53.
63 Moulin P, Hefti F. Long-term results in the treatment of clubfoot. Orthopade 1986 ; 15 : 184-90.
64 Cooper DM, Dietz FR. Treatment of idiopathic clubfoot. A thirty-year follow-up note. J Bone Joint Surg Am 1995 ; 77 : 1477-89.
65 Haasbeek JF, Wright JG. A comparison of the long-term results of posterior and comprehensive release in the treatment of clubfoot. J Pediatr Orthop 1997 ; 17 : 29-35.
66 Bach CM, Watcher R, Stockl B, Gobel G, Nogler M, Frischut B. Significance of talar distortion for ankle mobility in idiopathic clubfoot. Clin Orthop Relat Res 2002 ; 398 : 196-202.
67 Huber H, Galantay R, Dutoit M. Avascular necrosis after osteotomy of the talar neck to correct residual clubfoot deformity in children. A long-term review. J Bone Joint Surg Br 2002 ; 84 : 426-30.
68 Ippolito E, Farsetti P, Caterini R, Tudisco C. Long-term comparative results in patients with congenital clubfoot treated with two different protocols. J Bone Joint Surg Am 2003 ; 85 : 1286-94.
69 Docquier PL, Leemrijse T, Rombouts JJ. Clinical and radiographic features of operatively treated clubfeet after skeletal maturity : aetiology of the deformities and how to prevent them. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 1 : 29-37.
70 Huber H, Dutoit M. Dynamic foot-pressure measurement in the assessment of operatively treated clubfeet. J Bone Joint Surg Am 2004 ; 86 : 1203-10.
71 Sobel E, Giorgini RJ, Michel R, Cohen SI. The natural history and longitudinal study of the surgically corrected clubfoot. J Foot Ankle Surg 2000 ; 39 : 305-20.
72 Cohen-Sobel E, Caselli M, Giorgini R, Giorgini T, Stummer S. Long-term follow-up of clubfoot surgery : analysis of 44 patients. J Foot Ankle Surg 1993 ; 32 : 411-23.
73 Evans D. Relapsed club foot. J Bone Joint Surg Br 1961 ; 43 : 722-33.
74 Ponseti IV, El Khoury GY, Ippolito E, Wenstein SL. A radiographic study of skeletal deformities in treated clubfeet. Clin Orthop 1981 ; 160 : 30-42.
75 Meyer M, Tomeno B. Le défaut d'appui plantaire antéro-interne. Rev Chir Orthop 1976 ; 62 : 463-73.
76 Johnston CE, Roach RW. Dorsal bunion following clubfoot surgery. Orthopedics 1985 ; 8 : 1036-40.
77 Kuo KN. « Reverse Jones » procedure for dorsal bunion following clubfoot surgery. In : Simons G, éds. The clubfoot, the present and a view of the future. Springer Verlag ; 1994. p. 384-90.
78 Otremski I, Salama R, Khermosh O, Wientroub S. An analysis of the results of a modified one stage posteromedial release (Turco operation) for the treatment of clubfoot. J Pediatr Orthop 1987 ; 7 : 149-51.
79 Ghali NN, Smith RB, Clayden AD, Sillk FF. The results of pantalar reduction in the management of congenital talipes equinovarus. J Bone Joint Surg Br 1983 ; 65 : 1-7.
80 Lichtblau S. External rotation tibial osteotomy in clubfoot : adverse late effects. Clin Orthop Relat Res 1978 ; 136 : 225-9.
81 Malerba F, De Marchi F. Calcaneal osteotomies. Foot Ankle Clin 2005 ; 10 : 523-40.
82 Koutsogiannis E. Treatment of mobile flat foot by displacement osteotomy of the calcaneus. J Bone Joint Surg Br 1971 ; 53 : 96-100.
83 Schaefer D, Hefti F. Combined cuboid/cuneiform osteotomy for correction of residual adductus deformity in idiopathic and secondary clubfeet. J Bone Joint Surg Br 2000 ; 82 : 881-4.
84 Trnka HJ, Easley ME, Lam PWC, Anderson CD, Schon LC, Meyerson MS. Subtalar distraction bone block arthrodesis. J Bone Joint Surg Br 2001 ; 83 : 849-54.
85 De La Huerta F. Correction of the neglected clubfoot by the Ilizarov method. Clin Orthop Relat Res 1994 ; 301 : 89-93.
86 Mirzayan R, Early SD, Matthys GA, Thordarson DB. Single-stage talectomy and tibiocalcaneal arthrodesis as a salvage of severe, rigid equinovarus deformity. Foot Ankle Int 2001 ; 22 : 209-13.
87 Jarde O, Dami M, Vernois J, Massy S, Raad GA. Equinovarus of the foot in adults treated with tibiocalcaneal arthrodesis. Review of 18 cases. Acta Orthop Belg 2002 ; 68 : 272-8.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

88 Weber M, Schwer H, Zilkens KW, Siebert CH. Tibiocalcaneonaviculo-cuboidale arthrodesis : 6 patients followed for 1–8 years. Acta Orthop Scand 2002 ; 73 : 98-103.
89 Albert A, Leemrijse T. The dorsal bunion : an overview. Foot Ankle Surg 2005 ; 11 : 65-8.
90 Hohmann G. Fuss und bein : ihre erkrankungen und deren behandlung 2 aufl. Munich : Bergmann ; 1934.
91 Lapidus PW. Dorsal bunion : its mechanics and operative correction. J Bone Joint Surg 1940 ; 22 : 627-37.
92 Hammond G. Elevation of the first metatarsal bone with hallux equines. Surgery 1943 ; 13 : 240-56.
93 Ryan DD. Dorsal bunion : a new corrective procedure. American Academy of Orthopaedic Surgeons. 70th Annual Meeting. 2003 poster 180.
94 Pelton K, Hofer JK, Thodarson DB. Tibiocalcaneal arthrodesis using a dynamically locked retrograde intramedullary nail. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 759-63.
95 Ferreira RC, Costa MT, Frizzo GG, Santin RA. Correction of severe recurrent clubfoot using a simplified setting of the Ilizarov device. Foot Ankle Int 2007 ; 28 : 557-68.
96 Besse JL, Leemrijse T, Themar-Noel C, Tourné Y. Association française de chirurgie du pied. Congenital clubfoot : treatment in childhood and problems in adulthood. Rev Chir Orthop 2006 ; 92 : 175-92.
97 Wei SY, Sullivan RJ, Davidson RS. Talonavicular arthrodesis for residual midfoot deformities. Foot Ankle Int 2000 ; 21 : 482-5.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied convexe congénital

R. SERINGE[1], P. WICART[2]

Le pied convexe congénital (PCC) est une déformation congénitale rare, de cause obscure, caractérisée par une luxation ou une subluxation irréductible de l'articulation médiotarsienne touchant principalement l'articulation talonaviculaire [1-6].

La verticalité fréquente mais inconstante du talus explique la dénomination anglo-saxonne usuelle : *« congenital vertical talus »* [7-13].

Étiologie

Le PCC est idiopathique et isolé dans environ la moitié des cas. Dans les autres cas, il est associé à des affections neurologiques ou des syndromes comme l'arthrogrypose, la myélodysplasie, la luxation congénitale de hanche ou encore la luxation congénitale du genou (genu recurvatum congénital) [1,4,6,10,14].

La cause exacte est obscure, mais il semble que la déformation s'installe pendant le 2e ou le 3e trimestre de la vie intra-utérine, parfois en rapport avec un déséquilibre musculaire (comme dans les spina bifida).

Anatomie pathologique

La luxation médiotarsienne est l'élément majeur du PCC : la luxation dorsale de l'os naviculaire sur le talus est constante, irréductible et fixée par les rétractions des parties molles (ligaments dorsaux et tendons extenseurs) [figure 1]. La tête du talus est souvent un peu déformée, aplatie de haut en bas du fait de la situation de l'os naviculaire à sa face dorsale. La subluxation calcanéocuboïdienne est restée longtemps méconnue à cause de l'orientation dorsale anormale de la grande apophyse du calcaneus [3].

L'équinisme tibiotalien varie d'un enfant à l'autre à la naissance et est à la base de la classification pronostique de Wattincourt et Seringe [4]. C'est dans les cas très sévères ou dans les cas négligés pendant plusieurs années que le talus est vertical, expliquant la terminologie anglo-saxonne, mais dans nombre de cas, le talus est seulement oblique. Les rétractions postérieures de

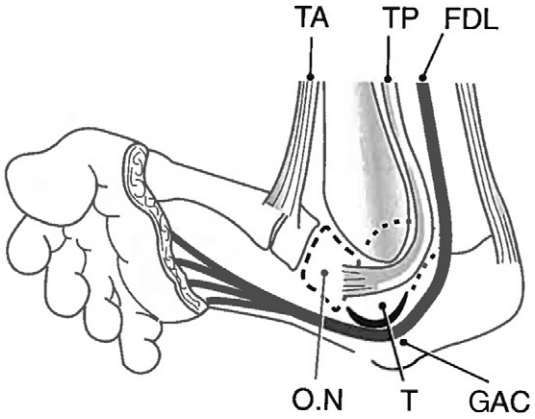


Figure 1. Vue médiale de la luxation médiotarsienne entre l'os naviculaire (ON) et le talus (T).
Rétraction des tendons d'Achille, tibial antérieur (TA) et tibial postérieur (TP). Le fléchisseur digitorum longus (FDL) est situé entre la tête du talus et la grande apophyse du calcaneus (GAC).

l'articulation tibiotalienne ou de l'articulation sous-talienne ont été surestimées, car les tissus capsulaires et ligamentaires sont minces et très peu rétractés à la naissance (ceci est donc très différent de l'anatomie pathologique du pied bot varus équin congénital).

Il y a très peu d'anomalies de l'articulation sous-talienne.

Si l'on considère les colonnes longitudinales du pied, il existe fréquemment un déséquilibre avec une colonne médiale allongée et une colonne latérale raccourcie expliquant l'abduction de l'avant-pied.

Il existe une distension très importante du ligament calcanéonaviculaire plantaire (ligament glénoïdien) qui reçoit la tête du talus, laquelle plonge dans la plante.

Ce sont essentiellement les muscles de la loge antérieure de la jambe qui sont rétractés (tibial antérieur, muscles extenseurs, troisième fibulaire). Si l'avant-pied est en éversion, le muscle court fibulaire est également rétracté, alors que si l'avant-pied est en supination, c'est l'extenseur long de l'hallux et le tibial antérieur qui sont raccourcis.

[1] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Caractéristiques cliniques

Le diagnostic clinique peut être évident dans les cas très sévères dès la naissance, lorsque le pied est déformé en « piolet » avec l'arrière-pied complètement en équin alors que l'avant-pied est relevé sur la face antérieure de la jambe. Il existe une saillie nette de la tête du talus dans la partie médiale de la plante, et parfois aussi une saillie de la grande apophyse du calcaneus dans la partie latérale de la plante. Il existe toujours une saillie postérieure de la tubérosité calcanéenne, caractéristique du PCC. L'avant-pied est souvent en éversion, mais parfois en varus. La rigidité apparente de cette déformation est contredite par les radiographies en flexion dorsale et en flexion plantaire, qui montrent non seulement l'irréductibilité de la luxation médiotarsienne, mais une hypermobilité sagittale entre l'avant-pied et l'arrière-pied.

À l'exception des formes graves, il est reconnu que le diagnostic à la naissance est souvent difficile, et cela est dû au fait que les critères usuels du diagnostic sont inadéquats. Traditionnellement, on oppose la déformation irréductible et rigide du PCC et la déformation souple et réductible du pied calcanéovalgus (anciennement pied talus), et une forme intermédiaire dont l'existence est d'ailleurs discutable, le pied plat congénital. En réalité, il existe des différences nettes entre un pied calcaneus et un PCC (voir le chapitre « Pied calcaneus congénital », figure 1, page 136). Dans le pied calcaneus ou calcanéovalgus, le pied lui-même est normal et il n'y a pas de subluxation ni de luxation médiotarsienne, car la dorsiflexion importante est située dans l'articulation talocrurale, comme le confirment les radiographies en dorsiflexion et en flexion plantaire de la cheville [4].

Dans le PCC, qu'il s'agisse d'une forme extrêmement importante ou d'une forme modérée, la flexion apparente de l'avant-pied n'est pas située dans l'articulation talocrurale (comme le confirmerait aisément une radiographie de profil en dorsiflexion) mais dans les articulations entre l'arrière-pied et l'avant-pied : l'articulation transverse du tarse et les articulations plus distales (comme le confirment les radiographies dynamiques sagittales du pied). Ce qui est trompeur, c'est l'apparente souplesse de ces PCC, à cause de l'hypermobilité anormale entre l'avant-pied et l'arrière-pied, et qui ne correspond pas à une réduction de la luxation ou de la subluxation médiotarsienne (comme le confirment les radiographies de profil). Cette mobilité anormale caractérise la désolidarisation entre le médio-pied et l'arrière-pied et constitue un signe clinique extrêmement fiable pour le diagnostic de PCC chez le nouveau-né ou chez le petit nourrisson.

Comme dans les formes sévères de PCC, il existe dans les formes modérées ou mineures une saillie postérieure de la tubérosité calcanéenne lorsque le pied est porté en dorsiflexion alors que, lorsqu'il s'agit d'un pied calcaneus, la tubérosité calcanéenne s'efface en bas et vers l'avant et on retrouve une saillie postérieure bien plus haute qui correspond à la poulie du talus.

Signes radiologiques

Le bilan radiologique, quand on suspecte ou quand on veut évaluer un PCC, comporte quatre clichés : deux incidences de profil, l'une en dorsiflexion maximale, l'autre en flexion plantaire, et deux incidences de face, l'une dorsoplantaire du pied et l'autre de face de la cheville.

La difficulté, dans les premières années et en particulier à la naissance, est liée au fait que le noyau d'ossification de l'os naviculaire n'est pas visible ; pourtant, il faut affirmer à la fois la luxation talonaviculaire et son caractère irréductible. En réalité, l'os naviculaire est situé dans le prolongement du 1er métatarsien et sur une incidence de profil, il se projette également dans le même alignement que le noyau d'ossification du cunéiforme latéral ; ainsi, l'étude des axes longitudinaux du 1er métatarsien et du talus sur les radiographies de profil permet de résoudre la difficulté. C'est seulement lorsque le noyau d'ossification du talus, en cas d'immaturité osseuse, est sphérique voire absent que cette étude est impossible et souligne alors l'intérêt d'une analyse échographique.

Radiographies de profil pour affirmer la luxation médiotarsienne (figure 2)

- Dans la position en dorsiflexion, la luxation médiotarsienne est exagérée et la rupture entre l'avant-pied et l'arrière-pied est manifeste, avec un angle très augmenté entre l'axe longitudinal du talus et celui du 1er métatarsien (cet angle peut dépasser 90°).
- C'est l'incidence de profil en flexion plantaire qui est essentielle pour confirmer l'irréductibilité de la luxation médiotarsienne : l'axe de M1 reste au-dessus de l'axe longitudinal du talus ; parfois, il est parallèle, parfois il est oblique et dirigé vers le col ou la partie supérieure de la tête du talus. En cas de luxation ou subluxation calcanéocuboïdienne, le noyau du cuboïde reste au-dessus de la ligne marquant le bord inférieur du calcaneus.

Autres informations données par les radiographies de profil

- Angle tibiotalien : dans certains cas, le talus est vertical ou presque, c'est-à-dire que son axe est parallèle

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

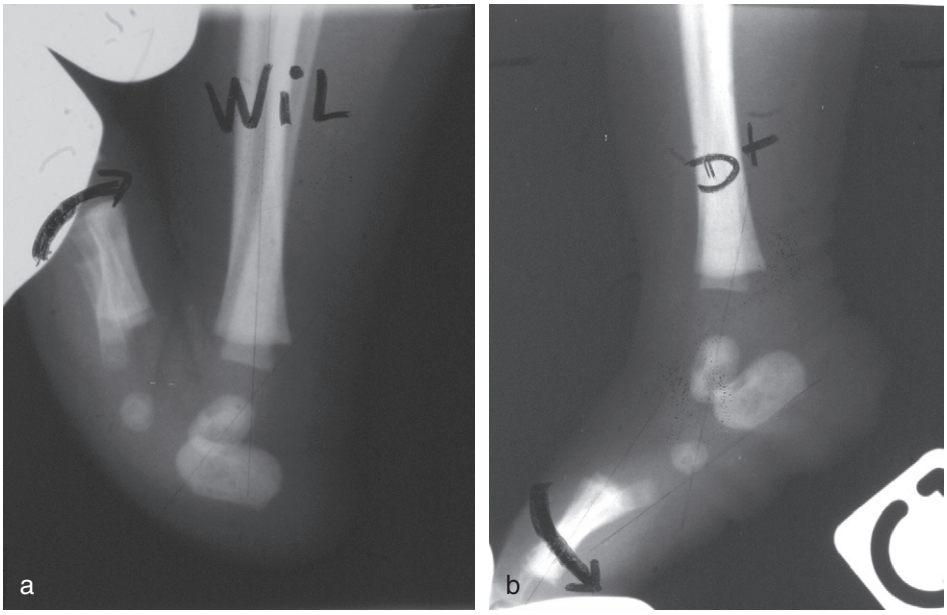


Figure 2. Radiographies « dynamiques » de profil en flexion dorsale (a) et en flexion plantaire (b) permettant de faire le diagnostic de luxation irréductible talonaviculaire, même chez un nouveau-né.

à celui de l'axe longitudinal du tibia, et surtout il est perpendiculaire à la plante du pied. Dans d'autres cas, il est seulement oblique et en avant. L'évaluation de l'angle tibiotalien sur l'incidence de profil en dorsiflexion a une valeur pronostique et permet de classer les PCC en trois formes de gravité croissante : forme modérée (90 à 109°), forme intermédiaire (110 à 145°) et forme sévère (> 145°).

- Angle tibiocalcanéen : le calcaneus est en équin et dans certains cas, l'angle tibiocalcanéen en dorsiflexion est seulement de 90°, voire légèrement inférieur à la naissance : ceci souligne que l'équin de l'arrière-pied peut être discret à la naissance.
- Divergence talocalcanéenne : cet angle est habituellement dans les limites de la normale.

Incidences radiologiques de face

- Incidence dorsoplantaire de face du pied : l'angle talocalcanéen mesuré sur cette radiographie est habituellement considéré comme augmenté dans le PCC. En réalité, il y a une erreur dans l'interprétation de cet angle car, lorsque le talus est vertical sur une radiographie de profil, il est en vue axiale sur l'incidence de face ; ainsi, l'axe longitudinal dessiné sur le noyau d'ossification du talus sur une vue de face est en réalité son axe transversal, et la divergence talocalcanéenne est surestimée de façon erronée [15].
- Radiographie de la cheville de face : c'est sur cette incidence, lorsqu'il y a un équin majeur de l'arrière-pied, qu'il faut évaluer la divergence talocalcanéenne, et elle est habituellement dans les limites de la normale.

Principes du traitement

Le but du traitement est de réduire la luxation médiotarsienne, de corriger la dorsiflexion excessive de l'avant-pied ainsi que l'équinisme de l'arrière-pied et de maintenir la réduction. L'expérience nous a montré que le traitement conservateur entrepris dès la naissance est susceptible de corriger toutes les formes modérées et une grande partie des formes intermédiaires ainsi qu'un petit pourcentage de formes très sévères à la naissance (figure 3). En cas d'échec du traitement

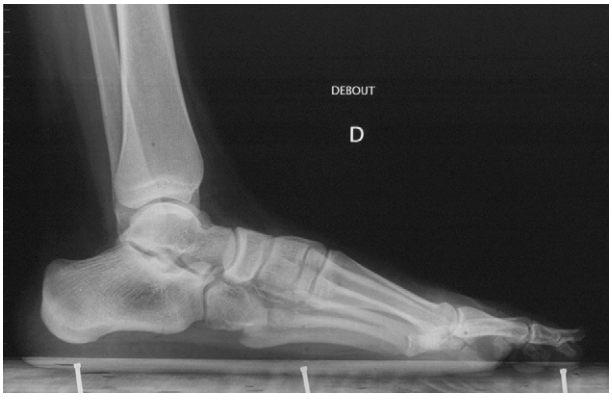


Figure 3. Excellent résultat à l'âge de 15 ans du traitement conservateur chez un nouveau-né (même pied que la figure 2).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

fonctionnel, une intervention chirurgicale peut être proposée à partir de l'âge de 8 à 12 mois.

Traitement conservateur

Il est essentiellement utilisé chez le nouveau-né et le petit nourrisson, et consiste à étirer les parties molles rétractées, c'est-à-dire surtout le tibial antérieur et les muscles extenseurs de la loge antérieure de la jambe, ainsi qu'à fixer le pied dans la meilleure position de correction sur une plaquette incurvée [4].

Manipulations

L'avant-pied doit être mis en équin maximal de façon à l'aligner sur l'arrière-pied en exerçant une force de distraction entre le pouce et l'index. L'élongation des parties molles plantaires permet de porter l'avant-pied si nécessaire en supination et en adduction, alors que l'arrière-pied est repoussé en dorsiflexion grâce à une pression sous la tête du talus et éventuellement sous la grande apophyse du calcaneus. Le triceps est étiré de façon à abaisser la tubérosité postérieure du calcaneus cependant que la grande apophyse est refoulée en dorsiflexion.

Plâtres correcteurs

Les plâtres doivent être confectionnés de façon bien moulée, avec la pression du pouce appliquée sur la partie distale du calcaneus et du talus dans la plante. Des plâtres successifs peuvent être changés à des intervalles de 1 ou 2 semaines, et le pied doit être à chaque fois manipulé de façon à étirer les parties molles.

Attelles

L'alternative au plâtre correcteur est de fixer le pied par un bandage adhésif non élastique sur une petite plaquette incurvée pour restaurer la cambrure plantaire. On ajoute habituellement une attelle jambopédieuse antérieure pour maintenir l'avant-pied le plus en équin possible. Le système peut être enlevé tous les jours pour la séance de manipulation.

Traitement chirurgical

De nombreuses techniques chirurgicales ont été décrites. Certaines ne sont plus justifiées car elles ne répondent pas au but du traitement : par exemple, la talectomie. En revanche, la naviculectomie n'est pas totalement illogique, car elle permet le raccourcissement de la colonne médiale lorsqu'il existe une abduction très importante de l'avant-pied et un grand excès de longueur de la colonne médiale par rapport à la colonne latérale.

La chirurgie en un temps est actuellement prônée par la majorité des auteurs [12,16], mais il existe encore deux principaux types d'intervention chirurgicale : les libérations péritaliennes et la libération dorsale de l'articulation transverse du tarse associée à un simple allongement d'Achille.

Libération péritalienne

Cette opération n'est pas très logique, mais est utilisée par de nombreux auteurs probablement du fait de l'appellation : « *congenital vertical talus* » qui attire l'attention sur le talus. Cette chirurgie implique une libération extensive de la capsule sous-talienne en arrière, en dedans et même souvent en dehors avec parfois section du ligament interosseux talocalcanéen. Cette libération est associée à une libération extensive talocrurale postérieure. Le tout explique les résultats qui ne sont pas bons puisqu'ils associent des échecs de réduction, des réductions incomplètes et surtout des nécroses du talus [1,11].

Libération transverse du tarse (figure 4)

Cette libération est logique, avec un allongement de tous les muscles extenseurs [4,5]. Elle est à prédominance dorsale et doit être complétée par une capsulorraphie plantaire du ligament glénoïdien et souvent, par nécessité, un allongement du tendon d'Achille pour mieux corriger l'équin de l'arrière-pied et réaligner le médio-avant-pied sur l'arrière-pied. Elle comporte plusieurs temps.

- L'incision postéromédiale permet d'identifier et de détacher temporairement le tendon du tibial postérieur, d'identifier le paquet vasculonerveux, les tendons des fléchisseurs. Le ligament glénoïdien et toute la capsule talonaviculaire sont ouverts ; l'os naviculaire est détaché de la face dorsale du col du talus. À ce stade de l'intervention, la réduction talonaviculaire n'est pas possible du fait de la brièveté des tendons extenseurs.
- Une incision au tiers inférieur de la loge antérieure de la jambe permet un allongement « blanc-rouge » de la totalité des tendons tibial antérieur, long extenseur de l'hallux, long extenseur des orteils, troisième fibulaire. Si nécessaire, un allongement distal supplémentaire du tibial antérieur peut être réalisé. À ce stade de l'intervention, si la réduction n'est pas possible, il faut faire le temps latéral.
- L'incision dorsolatérale sur l'articulation calcanéocuboïdienne offre au chirurgien deux possibilités :
  - soit une libération capsulaire circulaire de l'articulation calcanéocuboïdienne pour pouvoir abaisser

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

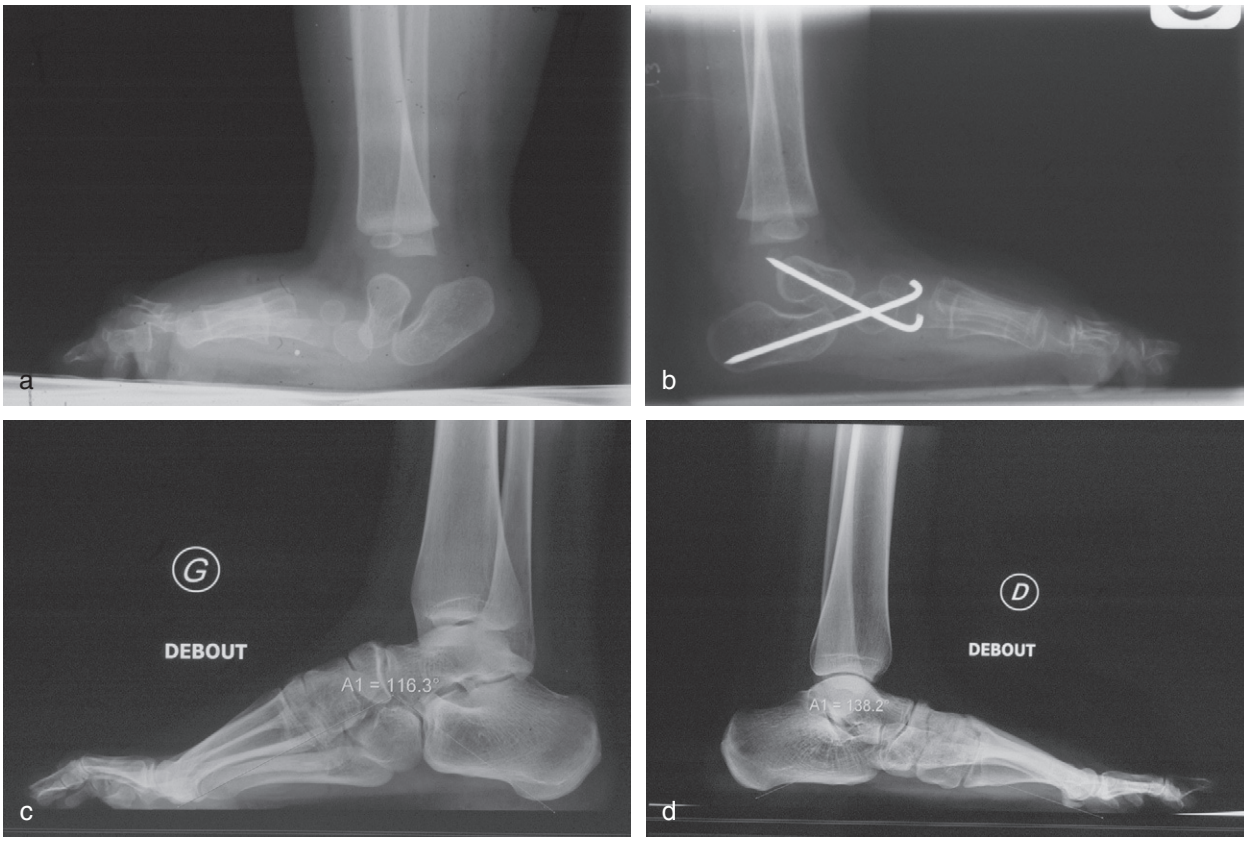


Figure 4. Bon résultat initial du traitement chirurgical chez un enfant de 1 an par libération de l'articulation transverse du tarse et allongement du tendon d'Achille (PCC idiopathique bilatéral).
a. Préopératoire à 1 an. b. Postopératoire à 1 an 3 mois. c,d. À 18 ans. Les deux pieds présentent des déformations installées progressivement à partir de l'âge de 6 ans : cavovarus à gauche (c) sans gêne fonctionnelle, valgus de l'arrière-pied et du médio-avant-pied à droite (d) avec douleurs après une marche de 2 h.

le cuboïde par rapport à la grande apophyse du calcaneus ;
– soit une ostéotomie distale du calcaneus suivie d'un bâillement dorsal pour réorienter en monobloc toute l'articulation calcanéocuboïdienne avec la grande apophyse par rapport au reste du calcaneus (un greffon osseux pour maintenir le bâillement dorsal est souvent nécessaire) [2].

• Lorsque les deux colonnes longitudinales du pied sont bien libérées, la réduction de la luxation transverse du tarse est facile à obtenir et maintenue par un embrochage des deux colonnes. Pour la colonne médiale, la broche est mise d'avant en arrière dans la tête puis le col et le corps du talus, elle ressort temporairement en arrière en réclinant les vaisseaux tibiaux postérieurs et elle est réenfoncée d'arrière en avant dans le naviculaire et le cunéiforme médial au moment de la réduction. La colonne latérale est embrochée d'avant en arrière à partir du cuboïde. Les contrôles radiographiques peropératoires sont indispensables pour apprécier la qualité de la réduction.

• Une attelle postérieure pendant 1 semaine permet d'attendre que le pied dégonfle pour faire le plâtre fémoropédieux avec anesthésie générale vers le 7e jour postopératoire. Vers le 45e jour, le genou est libéré de façon à transformer le plâtre fémoropédieux en une botte de marche pour 6 semaines supplémentaires. Le risque de récidive étant bien connu, il est conseillé de laisser les broches environ 6 mois supplémentaires et de protéger le pied par une coque talonnière pendant cette période.

Gestes chirurgicaux associés

• L'arthrodèse extra-articulaire de Grice est conseillée si l'enfant est très âgé (au-delà de 5–6 ans), car le risque de récidive est important en l'absence d'une stabilisation définitive.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

• Transfert musculaire : de nombreux procédés ont été proposés. Le transfert du tendon du tibial antérieur au travers du col du talus permet probablement d'éviter la récidive de la subluxation médiotarsienne, mais crée une pathologie iatrogène distale du premier rayon…

Indications thérapeutiques

Tous les PCC ne justifient pas une correction chirurgicale. On considère qu'il faut opérer ceux qui présentent en charge un équinisme de l'arrière-pied, car la persistance à l'âge adulte d'appui plantaire au niveau de la zone médiotarsienne sans aucun appui calcanéen et avec des déformations d'orteils et des mauvais appuis distaux risque de créer une situation extrêmement difficile à corriger à l'âge adulte, et très gênante fonctionnellement.

Résultats

Dans la majorité des publications, les résultats sont loin d'être parfaits mais l'étude de la littérature montre que les résultats de la libération de l'articulation transverse du tarse associée à un simple allongement du tendon d'Achille sont bien meilleurs que ceux des libérations péritaliennes.

Les complications sont souvent sous-estimées et il nous apparaît utile, au contraire, d'insister :

• nécrose avasculaire du talus : c'est une complication propre aux libérations péritaliennes, sources de dévascularisation du talus. Elle entraîne un aplatissement du talus et une raideur sévère des articulations de voisinage (articulation talocrurale et articulation sous-talienne). C'est la raison principale pour laquelle la libération péritalienne doit être évitée ;

• déséquilibre musculaire : dans le plan sagittal, une conséquence de la chirurgie est souvent l'affaiblissement net du triceps avec une possibilité de déformation progressive en pied calcaneus. C'est la raison pour laquelle l'allongement du tendon d'Achille ne doit être réalisé qu'en fin d'intervention chirurgicale, lorsque la correction du pied n'est pas possible sans cela. Un autre type de déséquilibre peut survenir dans le plan frontal, puisque les PCC peuvent être liés à des étiologies très variées ;

• hypocorrection : cette complication qui est en réalité un défaut de correction chirurgicale est expliquée par une libération incomplète des parties molles si on ne connaît pas parfaitement l'anatomie pathologique ;

• hypercorrection : cette complication est une déformation progressive en creux interne, probablement secondaire à un déséquilibre musculaire, et la prévention en est très difficile (figure 4d) ;

• récidive : un certain degré de récidive de la subluxation médiotarsienne est possible après une correction chirurgicale. La cause d'une récidive vraie peut être liée à l'absence de structure anatomique plantaire normale. C'est la raison pour laquelle l'immobilisation plâtrée, la durée de la période de conservation des broches doit être aussi longue que possible. Enfin, chez des enfants âgés d'au moins 4 ans, il peut être prudent d'associer soit de façon primaire, soit secondairement une arthrodèse extra-articulaire de Grice.

Conclusion

Le PCC apparaît comme une anomalie peu fréquente et récalcitrante. Son diagnostic n'est souvent fait que secondairement, car les signes cliniques et radiologiques initiaux de la période néonatale sont mal connus. Pourtant, le diagnostic est faisable et le traitement fonctionnel commencé dès la naissance peut donner des résultats extrêmement intéressants, y compris parfois dans des formes sévères. Comme les résultats du traitement orthopédique sont bien meilleurs que ceux de la chirurgie, c'est la raison pour laquelle il faut insister sur l'importance d'un diagnostic précoce et d'un traitement fonctionnel adapté dès la période néonatale.

Références

1 Rigault P, Pouliquen JC. Le pied convexe congénital. Ann Chir Infant 1970 ; 11 : 261-81.
2 Campos Da Paz A, De Souza V, De Souza DC. Congenital convex pes valgus. Orthop Clin North Am 1978 ; 9 : 207-18.
3 Seringe R, Martin G, Katti E, Vaquier J. Congenital convex foot. An anatomical study and its practical application. Rev Chir Orthop 1990 ; 76 : 234-44.
4 Seringe R. Le pied convexe congénital. In : Cahier d'enseignement de la SOFCOT n° 70. Paris : Expansion Scientifique ; 1999. p. 223-34.
5 Daumas L, Filipe G, Carlioz H. Le pied convexe congénital. Techniques et résultats de la correction opératoire en un seul temps. Rev Chir Orthop 1995 ; 81 : 527-37.
6 Duncan R, Fixsen J. Congenital convex pes valgus. Instructional Course Lecture. J Bone Joint Surg (Br) 1999 ; 81 : 250-4.
7 Harrold AJ. Congenital vertical talus in infancy. J Bone Joint Surg (Br) 1967 ; 49 : 634-43.
8 Coleman SS, Stelling FH, Jarrett J. Pathomechanics and treatment of congenital vertical talus. Clin Orthop 1970 ; 70 : 62-72.
9 Clark MW, D'Ambrosia RD, Ferguson AD. Congenital vertical talus. J Bone Joint Surg (Am) 1977 ; 56 : 816-24.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

10 Drennan JC. Congenital vertical talus. Instructional Course Lecture. J Bone Joint Surg (Am) 1995 ; 77 : 1916-23.
11 Napiontek M. Congenital vertical talus : a retrospective and critical review of 32 feet operated on by peritalar reduction. J Pediatr Orthop (part B) 1995 ; 4 : 179-87.
12 Kodros S, Dias L. Single stage surgical correction of congenital vertical talus. J Pediatr Orthop 1999 ; 19 : 42-8.
13 Storen H. Congenital convex pes valgus with vertical talus. Acta Orthop Scand 1967 ; 94 : 1-104.
14 Specht EE. Congenital paralytic vertical talus. J Bone Joint Surg (Am) 1975 ; 57 : 842-7.
15 Adamsbaum C, Seringe R, Kalifa G. Réalité de la divergence astragalo-calcanéenne de face dans le pied convexe congénital. Rev Im Med 1991 ; 3 : 591-2.
16 Raab P, Krauspe R. One-stage procedure for surgical correction of congenital vertical talus. In : Epeldegui T, éd. Flatfoot and forefoot deformities. Madrid : Vicente ; 1995. p. 253-8.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied calcaneus congénital

R. SERINGE[1]

Le pied calcaneus (anciennement « pied talus »), qu'il soit direct ou en valgus, est une anomalie congénitale assez fréquente et bénigne [1–3]. La nouvelle dénomination (« calcaneus ») est préférable à l'ancienne, car il s'agit de la terminologie internationale. Le diagnostic de pied calcaneus est parfois porté par excès par méconnaissance d'un authentique pied convexe congénital (voir le chapitre précédent).

Physiopathologie

Parmi les anomalies congénitales des membres et du pied en particulier, on distingue les malformations qui surviennent pendant la période embryonnaire par trouble de l'organogenèse et les déformations qui se constituent à la fin de la vie fœtale par altération de la forme et de la structure d'un organe indemne de toute malformation [1]. Le pied calcaneus appartient aux déformations congénitales et il peut relever de deux étiologies : affection neurologique ou neuromusculaire (spina bifida, arthrogrypose, myopathie congénitale) et facteur postural intra-utérin. La malposition intra-utérine explique la fréquence de l'association à d'autres anomalies positionnelles (luxation de hanche, torticolis, genu recurvatum….). Plus la malposition est tardive durant la fin de la vie intra-utérine, plus la déformation du pied est mineure, entièrement réductible et rapidement réversible (spontanément ou avec un traitement simple).

Pied calcaneus direct

Il est caractérisé par un excès de dorsiflexion de l'articulation talocrurale et une insuffisance de flexion plantaire. Le triceps est distendu et peu efficace à la naissance, alors que les muscles releveurs (extenseurs et tibial antérieur) sont bien actifs et plus ou moins rétractés. Leurs tendons sont visibles sous la peau lorsqu'on essaye de porter le pied en flexion plantaire. La forme du pied est conservée, et en particulier le calcaneus est bien solidaire du médio-avant-pied dans les mouvements de dorsiflexion et de flexion plantaire. Ces signes cliniques permettent déjà de distinguer cette anomalie du pied convexe congénital (figure 1). La radiographie de profil en flexion dorsale maximale montre comme seule anomalie une diminution de l'angle tibiotalien (nettement inférieur à 90°) en rapport avec une adaptation-déformation du col du talus et du rebord antérieur de l'épiphyse tibiale [4].

Le diagnostic différentiel doit être fait avec le pied calcaneus paralytique par paralysie complète du triceps. Dans les premiers jours de vie, un pied calcaneus congénital positionnel ayant un triceps faible peut prêter à confusion mais, très rapidement, les contractions musculaires vont apparaître. L'autre diagnostic avec lequel il ne faut pas se tromper, car le traitement en est bien différent, est le pied convexe congénital.

Le traitement du pied calcaneus fait appel à des stimulations du triceps, des étirements des tendons des muscles de la loge antérieure de la jambe et une immobilisation du pied en flexion plantaire, soit par un système simple comme une pelote anticalcaneus (paquet de compresses fixé à la face antérieure du cou-de-pied), soit par une attelle thermoformable si la déformation est importante. La guérison est rapide et complète, de sorte qu'on n'en observe jamais à l'âge adulte.

Pied calcanéovalgus

Il s'agit, en réalité, d'une variante de l'anomalie précédente : la plante du pied, au lieu de regarder directement en avant comme dans le pied calcaneus direct, regarde en dehors. L'origine du valgus peut exceptionnellement résider dans l'articulation sous-talienne [5] ; plus souvent, c'est l'orientation oblique en bas et en dehors de l'axe bimalléolaire qui l'explique.

La sémiologie clinique est identique à celle du pied calcaneus direct, et le problème diagnostique est exactement le même : il ne faut pas le confondre avec un pied convexe congénital.

[1]Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

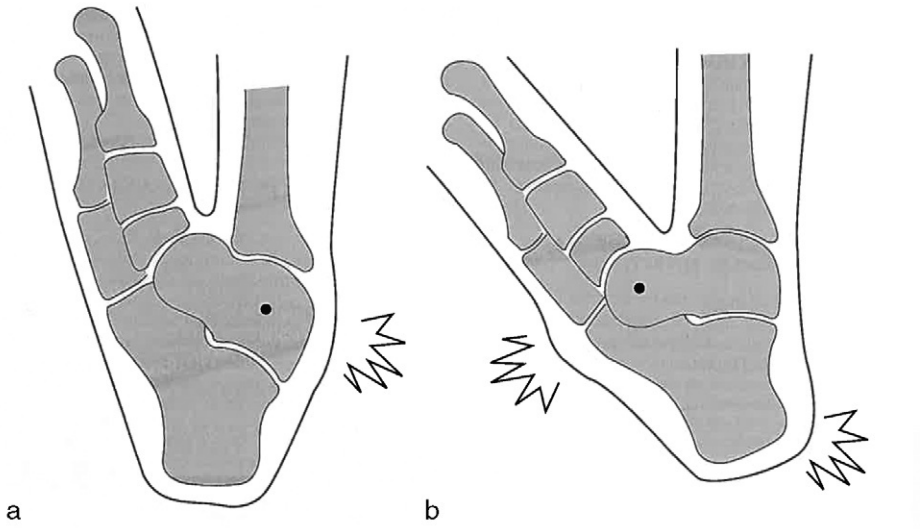


Figure 1. Différences entre pied calcaneus (ou calcanéovalgus) et pied convexe congénital.
a. Pied calcaneus : architecture conservée du pied, saillie postérieure du corps du talus, angle tibiotalien inférieur à 70°. b. Pied convexe congénital : convexité du pied avec saillie plantaire de la tête du talus, saillie postérieure de la grosse tubérosité calcanéenne, angle tibiotalien supérieur à 90°.

L'évolution du pied calcanéovalgus a longtemps été considérée comme moins favorable que pour le pied calcaneus direct, avec un risque de développement d'un pied plat valgus avec la croissance. En réalité, dans un travail prospectif portant sur 2400 nouveau-nés, Widhe a montré qu'il n'y avait jamais d'évolution vers le pied plat valgus, puisqu'il a pu revoir tout ses cas à l'âge de 16 ans, c'est-à-dire en fin de croissance [6].

Pied calcanéovalgus dans une courbure congénitale de jambe

Le pied est en flexion dorsale maximale soit directement en avant, soit le plus souvent en valgus au sein d'une incurvation du tiers inférieur du squelette tibiofibulaire [7]. La concavité de la courbure jambière est toujours antérieure et latérale. La correction de cette courbure est habituellement spontanée ; en quelques mois, elle diminue nettement puis s'atténue très progressivement sur plusieurs années. Elle laisse souvent un raccourcissement de la jambe qui peut atteindre plusieurs centimètres et qui peut rendre nécessaire une chirurgie d'égalisation des membres inférieurs. Mais dans tous les cas, le pied lui-même est strictement normal, car la déformation siège isolément dans le squelette tibiofibulaire et non pas dans l'articulation talocrurale ni dans le pied.

Conclusion

Les pieds calcaneus et calcanéovalgus congénitaux méritent d'être connus du fait de leur fréquence chez le nouveau-né et du risque de méconnaître un pied convexe congénital.

Références

1 Dunn P. Congenital postural deformities. Brit Med Bull 1976 ; 32 : 71-6.
2 Seringe R, Cressaty J, Girard B, Francoual C. L'examen orthopédique de 1500 nouveau-nés en maternité. Chir Pediatr 1981 ; 22 : 365-87.
3 Widhe T, Aaro S, Elmstedt E. Foot deformities in the newborn : incidence and prognosis. Acta Orthop Scand 1988 ; 59 : 176-9.
4 Seringe R. Le pied convexe congenital. In : Cahiers d'enseignement de la SOFCOT n° 70. Paris : Expansion Scientifique ; 1999. p. 223-34.
5 Edwards E, Menelaus M. Reverse clubfoot. Rigid and recalcitrant talipes calcaneo valgus. J Bone Joint Surg 1987 ; 69B : 330-4.
6 Widhe T. Foot deformities at birth : a longitudinal prospective study over a 16-year period. J Pediatr Orthop 1997 ; 10 : 20-4.
7 Heyman C, Herndon C, Heible K. Congenital posterior angulation of the tibia with talipes calcaneus. J Bone Joint Surg 1959 ; 41A : 476-88.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied en Z

P. WICART[1], P. LORIAUT[1], R. SERINGE[1]

Introduction

Le pied en Z a été décrit pour la première fois par McCormick et Blount en 1949 [1]. Appelé aussi pied serpentin [2] ou *skew foot* [3], c'est une déformation du médio-/avant-pied sans définition nosologique précisément décrite dans une littérature peu abondante. Il s'agit d'une pathologie rare. Kite [2] n'en a dénombré que 9 parmi 400 pieds qualifiés de métatarsus varus.

Afin d'apporter des éléments dans la compréhension de cette pathologie, nous avons étudié une série non encore publiée de 49 pieds.



Figure 1. Bosse dorsale bien visible chez un enfant âgé de 6 ans.

Étiologie

Il n'existe pas d'étiologie univoque. Il peut s'agir d'une pathologie congénitale dont le diagnostic est fait à la naissance. Dans ce cas, la déformation peut être idiopathique ou survenir sur un terrain syndromique avec anomalie des parties molles comme le syndrome de Marfan, le nanisme diastrophique, une arthrogrypose, un syndrome de Protée ou de Larsen, par exemple [4,5]. Il peut aussi s'agir d'une déformation acquise, après traitement d'un pied convexe congénital ou d'un pied bot varus équin congénital. Cette déformation est complètement distincte du métatarsus adductus ou varus, contrairement à l'opinion de certains auteurs qui les décrivent dans un cadre nosologique commun.

Examen clinique

Chez le nouveau-né, le pied en Z ressemble à un métatarsus varus avec concavité plus ou moins importante du bord médial du pied et convexité de son bord latéral. Il n'existe pas de déformation dans le plan frontal ni sagittal. L'élément pathognomonique est une *bosse dorsolatérale du médio-pied* correspondant aux os cunéiformes intermédiaire et latéral, ce qui élimine le diagnostic de métatarsus varus (figure 1).

Chez l'enfant ayant acquis la marche, le pied en Z est caractérisé par une concavité angulaire du bord médial du pied. De facto, le bord latéral est convexe. Il n'existe pas de perturbation dans le plan frontal. Les amplitudes de pronation et supination de l'avant-pied ne sont pas perturbées. Un valgus de l'arrière-pied, rapporté par plusieurs auteurs [1,3-5], est inconstant et ne fait pas partie à proprement parler de la déformation qui concerne le médio-/avant-pied. Une composante de creux médial peut être rencontrée et constitue le seul défaut sagittal. Enfin, une mobilité excessive de cheville a été décrite par Lloyd-Roberts [6]. Celle-ci est corrélée à une anomalie radiologique décrite plus loin, qui peut expliquer un valgus.

Le signe fonctionnel principal est une difficulté au chaussage.

Radiographie

S'agissant d'une déformation siégeant dans le plan transversal, l'incidence dorsoplantaire est la plus informative. Les éléments caractéristiques sont une adduction angulaire de la colonne médiale siégeant dans l'articulation de Lisfranc avec une subluxation cunéométatarsienne du premier rayon [7] quasiment constante, comme l'ont montré Hubbard et al. [8] avec l'imagerie par résonance magnétique (IRM).

[1]Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

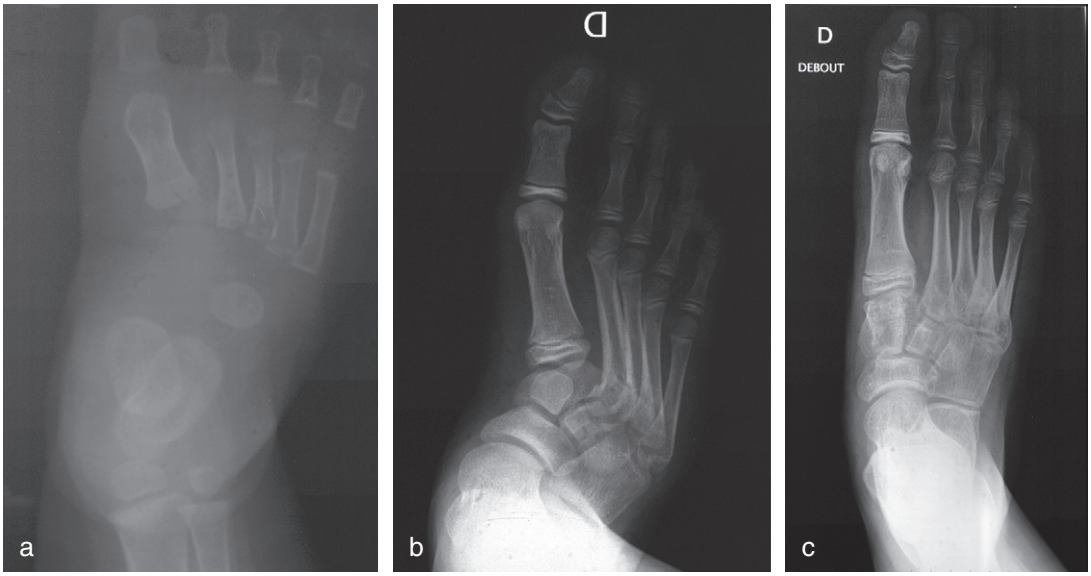


Figure 2. Pied en Z droit.
a. Radiographie à l'âge de 10 mois. b. Radiographie à l'âge de 11 ans. c. Radiographie à l'âge de 15 ans, 4 ans après ostéotomie d'ouverture médiale du cunéiforme médial et ostéotomies métaphysaires proximales des quatre derniers métatarsiens.

Le cunéiforme médial est trapézoïdal à base latérale [5]. Il est dédoublé non exceptionnellement. Cette subluxation peut induire l'apparition d'une néofacette articulaire entre la base du 1er métatarsien et la face médiale du cunéiforme médial. Cette véritable plicature de la colonne médiale réalise un télescopage avec désorganisation du médiotarse générant un alignement entre l'axe longitudinal du 1er métatarsien, les trois os cunéiformes et le cuboïde. En aval, les métatarsiens latéraux suivent la déformation du 1er rayon avec une adduction et une structuralisation réalisant une incurvation métaphysodiaphysaire proximale et parfois une fracture du fatigue du 5e métatarsien. En amont, le naviculaire se trouve refoulé sur le versant latéral de la tête du talus. L'étude des axes longitudinaux du talus et du premier métatarsien donne des informations sur l'architecture du pied. La latéralisation du médio-/avant-pied par rapport à l'arrière-pied entraîne un décalage du 1er métatarsien en dehors, en accord avec Javish et al. [5]. Ces deux axes peuvent être parallèles ou former un angle dans le sens de l'adduction, sans que le second cas corresponde à une aggravation du premier (figures 2a et 2b). La seconde configuration des deux axes semble plus sévère que la première. Cet angle devient de plus en plus aigu pour aboutir à la forme ultime à une juxtaposition de ces deux axes qui sont parallèles mais avec une baïonnette, l'axe de M1 étant plus médial que celui du talus [9]. Il n'existe pas d'anomalie des rapports entre le calcaneus et le talus. L'existence d'une augmentation de la divergence talocalcanéenne est une association fortuite. Javish et al. [5] décrivent une aggravation de la déformation proportionnelle à celle de la divergence talocalcanéenne, que nous n'avons pas observée. Enfin, il n'existe le plus souvent pas d'anomalie médiotarsienne (abduction médiotarsienne), contrairement à ce que suggèrent Napiontek et al. [9] et Berg et al. [10]. En effet, dans la grande majorité des cas, les bords latéraux du calcaneus et du cuboïde sont alignés (figure 2b).

Une incidence de Méary peut permettre de noter une déformation de la cheville de type « *ball and socket* », comme l'a décrit Lloyd Roberts [6]. Cette anomalie est caractérisée par un dôme talaire rond s'articulant avec une mortaise tibiofibulaire de forme correspondante associée à un valgus tibiotarsien. Le valgus tibiotarsien ne fait pas partie du syndrome, mais dépend surtout de l'étiologie.

La radiographie de profil est difficilement interprétable à cause de la superposition importante des défauts dans le plan transversal.

Histoire naturelle

L'évolution au cours de la croissance se traduit par une aggravation liée au cisaillement vertical par le tendon du tibial antérieur autour duquel s'enroule le cunéiforme médial. Cette aggravation se manifeste plus par

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

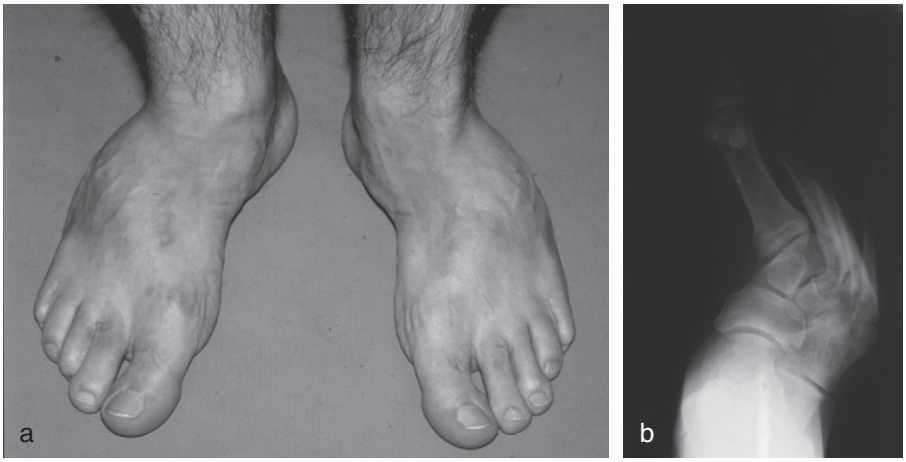


Figure 3. Histoire naturelle de la maladie : pied en Z à l'âge de 45 ans (il s'agit du père du sujet dont le pied a servi dans l'illustration de la figure 2).

un enraidissement que par l'accentuation de l'adduction ou de la latéralisation. L'histoire naturelle à l'âge adulte est peu connue, n'ayant fait l'objet d'aucune publication. Ceci peut être expliqué par la rareté de cette déformation et le caractère exceptionnel des formes invétérées à l'âge adulte. Les signes fonctionnels sont de deux ordres : difficultés de chaussage liées à la largeur du pied et à sa hauteur (bosse dorsale) et phénomènes douloureux du fait de la saillie de la base du 5e métatarsien (figure 3).

Traitement

Traitement orthopédique

Un traitement orthopédique doit être institué chez le nouveau-né. Il repose sur la rééducation afin de corriger la déformation posturale par l'utilisation de plâtres puis d'attelles fémoropédieuses et plaquettes [9]. Après l'âge de 6 mois, Javish et al. [5] proposent de renouveler les plâtres correcteurs pendant 3 mois.

Traitement chirurgical

Le traitement chirurgical est indiqué en cas d'échec du traitement orthopédique avec persistance de la déformation. Plusieurs techniques peuvent être utilisées en fonction de l'âge.

Libération des parties molles de la colonne médiale

Cette technique, indiquée chez le jeune enfant, idéalement à l'âge de 18 mois, donne de très bons résultats jusqu'à l'âge de 6 ans [9,11]. Cette intervention est logique car elle permet une correction à l'apex de la déformation. Elle consiste à réaliser une ouverture médiale dorsale et plantaire des articulations entre le 1er métatarsien et le cunéiforme médial et entre ce dernier et le naviculaire. La correction de l'adduction, obtenue en faisant bâiller ces deux articulations, est maintenue avec un plâtre ou une broche axiale [11]. L'ouverture de l'articulation entre 1er métatarsien et cunéiforme médial est importante, car son absence expose à la récidive de la déformation même après ouverture des articulations talonaviculaire et naviculocunéenne [4]. Une déformation associée des métatarsiens latéraux conduit de façon logique à compléter le geste par une ostéotomie de ces derniers.

Libération complète tarsométatarsienne

Une libération complète tarsométatarsienne, comme décrite par Heyman [12], a été proposée par Javish et al. [5]. Ces auteurs recommandent d'y associer une ouverture de l'articulation naviculocunéenne et une section du ligament tarsométatarsien latéral. Une ouverture médiotarsienne est contre-indiquée, car elle expose au risque de déstabilisation. Cependant, cette intervention est arthrogène à long terme [13] et ne semble pas constituer une indication de choix.

Ostéotomies

Chez le grand enfant, il n'y a pas d'alternative à des ostéotomies. Coleman [14], Fowler [15] et Lincoln et al. [16] ont proposé une ostéotomie d'ouverture médiale du cunéiforme médial, comme Mosca qui y associe une ostéotomie d'allongement du calcaneus [17]. Cette dernière n'est pas à proprement parler

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

indiquée dans la correction du pied en Z, car elle ne corrige que le valgus de l'arrière-pied qui est inconstant dans cette pathologie. Une ostéotomie de la base du 1er métatarsien a le même effet. Cette étape doit être suivie par une correction de la déformation des rayons latéraux. Ceci peut faire appel à des ostéotomies des quatre derniers métatarsiens (figure 2).

L'intervention de choix semble être une ostéotomie de fermeture latérale du cuboïde combinée à une ostéotomie d'ouverture médiale et plantaire des trois os cunéiformes avec interposition d'un greffon en provenance du cuboïde. Ces deux traits d'ostéotomie doivent se rejoindre pour permettre de corriger la latéralisation du médio-/avant-pied par rapport au médio-/arrière-pied inhérente à la fermeture de l'ostéotomie du cuboïde. Une section sélective de l'aponévrose plantaire à travers une courte incision plantaire avec l'ouverture plantaire de l'ostéotomie des os cunéiformes permet de corriger le creux qui est une composante fréquemment observée en cas de pied en Z. Un allongement avec section blanc/rouge de l'abducteur de l'hallux permet de corriger l'adduction de l'hallux liée à l'allongement de la colonne médiale.

Conclusion

Le pied en Z est une déformation rare, caractérisée par une adduction angulaire de la colonne médiale du pied située au niveau de l'articulation tarsométatarsienne. Son étiologie n'est pas univoque. L'efficacité des traitements chirurgicaux réalisés de part et d'autre de l'articulation de Lisfranc conforte la localisation dans le médio-/avant-pied du primum movens de cette déformation.

Références

1 McCormick DW, Blount WP. Metatarsus adductovarus : « skewfoot ». JAMA 1949 ; 141 : 449-53.
2 Kite JH. Congenital metatarsus varus (a study based on four hundred cases). Instr Course Lect 1950 ; 7 : 126-9.
3 Mosca VS. Flexible flatfoot and skewfoot. Instr Course Lect 1996 ; 45 : 347-54.
4 Peterson HA. Skewfoot (forefoot adduction and heel valgus). J Pediatr Orthop 1986 ; 6 : 24-30.
5 Jawish R, Rigault P, Padovani JP, Klizsowski PH, Finidori G, Touzet P, et al. The Z-shaped or serpentine foot in children and adolescents. Chir Pédiatr 1990 ; 31 : 314-21.
6 Lloyd-Roberts GC, Clark RC. Ball and socket ankle joint in metatarsus adductus varus (S-shaped or serpentine foot). J Bone Joint Surg Br 1973 ; 55 : 193-6.
7 Peabody CW, Muro F. Congenital metatarsus varus. J Bone Joint Surg 1933 ; 15 : 171-89.
8 Hubbard AM, Davidson RS, Meyer JS, Mahboubi S. Magnetic resonance imaging of skewfoot. J Bone Joint Surg Am 1996 ; 78 : 389-97.
9 Napiontek M, Kotwicki T, Tomaszewski M. Opening wedge osteotomy of the medial cuneiform before age 4 years in the treatment of forefoot adduction. J Pediatr Orthop 2003 ; 23 : 65-9.
10 Berg EE. The reappraisal of metatarsus adductus and skewfoot. J Bone Joint Surg Am 1986 ; 68 : 1185-96.
11 Ghali NN, Abberton MJ, Silk FF. The management of metatarsus adductus and supinatus. J Bone Joint Surg Br 1984 ; 66 : 376-80.
12 Heyman CH, Herndon CH, Strong JM. Mobilization of the tarsometatarsal and intermetatarsal joints for the correction of resistant adduction of the fore part of the foot in congenital club-foot or metatarsus varus. J Bone Joint Surg Am 1958 ; 40 : 299-310.
13 Stark J, Johanson J, Winter R. The Heyman-Herndon tarsometatarsal capsulotomy for metatarsus adductus : results in 48 feet. J Pediart Orthop 1987 ; 7 : 305-10.
14 Hofmann AA, Constine RM, McBride GG, Coleman SS. Osteotomy of the first cuneiform as treatment of residual adduction of the fore part of the foot in club foot. J Bone Joint Surg Am 1984 ; 66A : 985-90.
15 Fowler SB, Brooks AL, Parrish TF. The cavovarus foot. J Bone Joint Surg Am 1959 ; 41A : 757.
16 Lincoln CR, Wood KE, Bugg Jr EI. Metatarsus varus corrected by open wedge osteotomy of the first cuneiform bone. Orthop Clin North Am 1976 ; 7 : 795-8.
17 Mosca VS. Skewfoot deformity in children : calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot. J Bone Joint Surg Am 1995 ; 77 : 500-12.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Synostoses congénitales des os du tarse

J.A. COLOMBIER[1], N. KHOURI[2]

Introduction

Les synostoses du tarse (du grec *syn* : fusion, *osteon* : os) correspondent à une fusion osseuse entre deux ou plusieurs os voisins du tarse. Cette fusion peut aussi être fibreuse (syndesmose) ou cartilagineuse (synchondrose). Le terme de « coalition tarsienne » (CT), de plus en plus utilisé, regroupe toutes les formes de fusion.

La diversité des tableaux cliniques [1] que peuvent revêtir les CT explique qu'un certain nombre d'entre elles ne se révèlent qu'à l'âge adulte. Le tableau classique du pied valgus contracturé et douloureux est la forme type chez l'enfant et l'adolescent. Il n'échappe que rarement au diagnostic dans la deuxième décennie. Les autres formes incomplètes, non douloureuses, sans ou avec peu de troubles statiques, ne sont bien souvent symptomatiques que chez l'adulte dans la troisième ou quatrième décennie.

Étiologie

Dans une première hypothèse, les synostoses pourraient résulter de l'incorporation d'osselets accessoires tarsiens (ossicule de la petite apophyse du calcaneus, os trigone…) aux os normaux adjacents. La constatation de coalitions chez le fœtus, le caractère souvent héréditaire, une perturbation dans la formation embryologique de la cavité articulaire ont fait abandonner cette théorie [2].

Le rôle d'un défaut dans la segmentation mésenchymateuse des os du tarse est l'hypothèse actuellement retenue. La segmentation normale des os du tarse s'effectue sur une longue période. À la 9e semaine, on retrouve un pont chondral entre les os du tarse postérieur dans 27 % des cas, alors que ce taux n'est que de 5 % à la 21e semaine [3]. Il est probable qu'à la naissance, certains nouveau-nés n'ont pas fini cette segmentation.

Le caractère héréditaire est retrouvé dans plusieurs observations familiales. L'étude de Léonard [4] sur les familles de 31 cas de coalitions symptomatiques a montré que 39 % des 98 proches parents avaient une coalition sans différence significative selon leur sexe. Cela suggère une transmission autosomique dominante proche d'une pénétrance totale. Il ne semble pas y avoir de différence dans l'hérédité des divers types de coalition.

L'incidence dans la population générale serait de l'ordre de 1 %. Cette appréciation est approximative en raison de la sélection des séries et de la variabilité des techniques de dépistage radiographique. La prépondérance masculine serait de 60 à 80 %. Le caractère bilatéral est constaté dans près de 50 % des cas. Les CT sont le plus souvent des malformations isolées. Elles peuvent être associées à des malformations du membre ipsilatéral : pied bot varus équin, hémimélie fibulaire, adactylie, hypoplasie fémorale. Les CT peuvent faire partie de syndromes généralisés : syndrome de Nievergelt (fusion du tarse, pied bot, dysplasie des coudes avec synostose radio-ulnaire et dysplasie fémorale et tibiale), maladie d'Apert (fusion des os du tarse, crâniosynostose, hypoplasie médiofaciale, syndactylie des doigts et des orteils et élargissement de la phalange distale du pouce et du gros orteil).

Formes anatomocliniques

Tous les os du tarse peuvent être le siège d'une coalition, mais les coalitions calcanéonaviculaires (CCN) et les coalitions talocalcanéennes (CTC) se partagent la majorité des cas (70 à 90 %).

Coalitions calcanéonaviculaires

La coalition siège entre le bord latéral du naviculaire et la grande apophyse du calcaneus (figure 1). Les formes complètes présentent un pont osseux continu, les formes incomplètes autorisent une discrète mobilité. On en rapproche le « bec calcanéen trop long » (figure 2)

[1] Clinique de l'Union, boulevard de Ratalens, 31240 Saint-Jean.
[2] Service de chirurgie orthopédique, hôpital d'enfants Armand-Trousseau, 26, avenue du Dr-Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

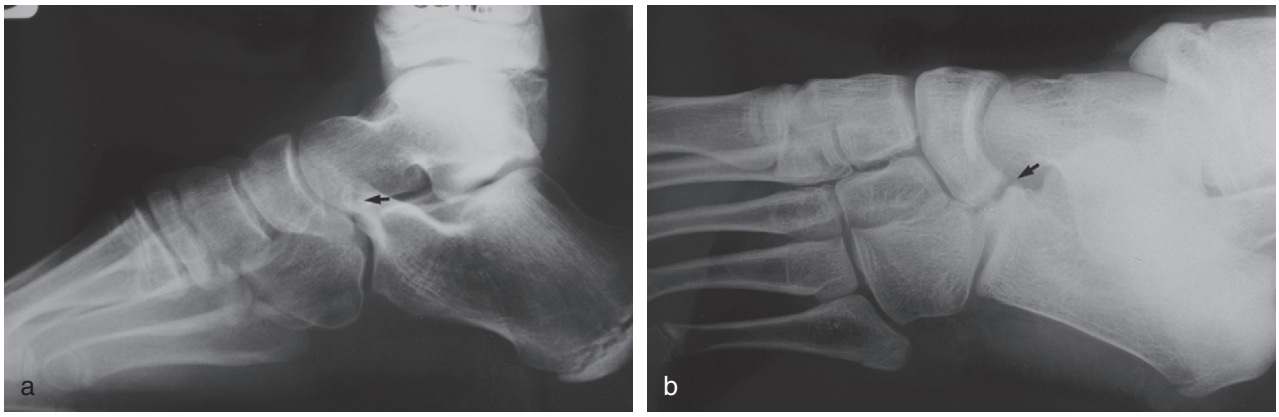


Figure 1. Coalition calcanéonaviculaire incomplète.
a. Vue de profil. **b.** Oblique interne.

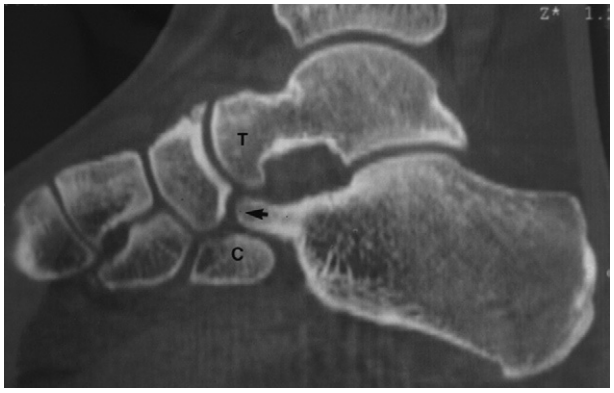


Figure 2. Bec calcanéen « trop long ».
Le processus antéromédial du bec calcanéen (flèche) s'insinue entre la tête du talus (t) et le cuboïde (c).

décrit par Pouliquen et al. [5] avec le processus antéromédial de la grande apophyse calcanéenne qui passe entre tête du talus et cuboïde sans fusion osseuse ou cartilagineuse. Lors d'un mouvement d'inversion forcé, il peut entrer en contact avec le naviculaire et reproduit alors les symptômes d'une CCN.

Coalitions talocalcanéennes

Le pont se trouve entre talus et calcaneus, au niveau du bord médial de l'articulation sous-talienne (figure 3). Ce pont plus ou moins étendu peut concerner la facette articulaire portée par la petite apophyse du calcaneus, ou la surface thalamique à sa partie postérieure réalisant une forme clinique particulière en varus [6]. Harris [2] a décrit quatre types selon que le pont est complet, partiel ou qu'il persiste un hiatus cartilagineux ou fibreux, et deux formes rudimentaires dans lesquelles seule la portion talienne ou calcanéenne du pont est présente. Les coalitions de la facette antérieure sont exceptionnelles.

Autres coalitions

Les synostoses talonaviculaires sont peu symptomatiques et souvent englobées dans un système plurimalformatif ; les synostoses cunéonaviculaires seraient plus fréquentes, souvent incomplètes et peut-être d'origine ethnique [7].

Pathomécanique

Les mouvements de rotation et de glissement dans le complexe articulaire sous-talien permettent la réalisation du programme locomoteur du pied. La fusion complète d'un ou plusieurs os du tarse va altérer ce fonctionnement et entraîner un surmenage des articulations voisines responsable, durant la croissance, de modifications de forme des pièces osseuses, puis plus tard de lésions dégénératives avec, sur le plan clinique, des douleurs et des instabilités sans laxité.

Ces modifications anatomiques sont plus modérées dans les CCN, mais en cas de fusion calcanéonaviculaire complète, les mouvements du naviculaire par rapport à la tête du talus ne peuvent plus se faire, entraînant une surcharge mécanique des ligaments, des tendons fibulaires, de la sous-talienne et de l'articulation transverse du tarse avec apparition de lésions dégénératives.

Dans les CTC, il se produit le plus souvent une déformation en valgus de l'arrière-pied, laissant libres les articulations du médio-pied. À l'inverse, dans les déformations en varus, le médio-pied est verrouillé.

La perte des mouvements en éversion-inversion est responsable [8] de l'aplatissement de la voûte plantaire conduisant à un raccourcissement adaptatif des

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

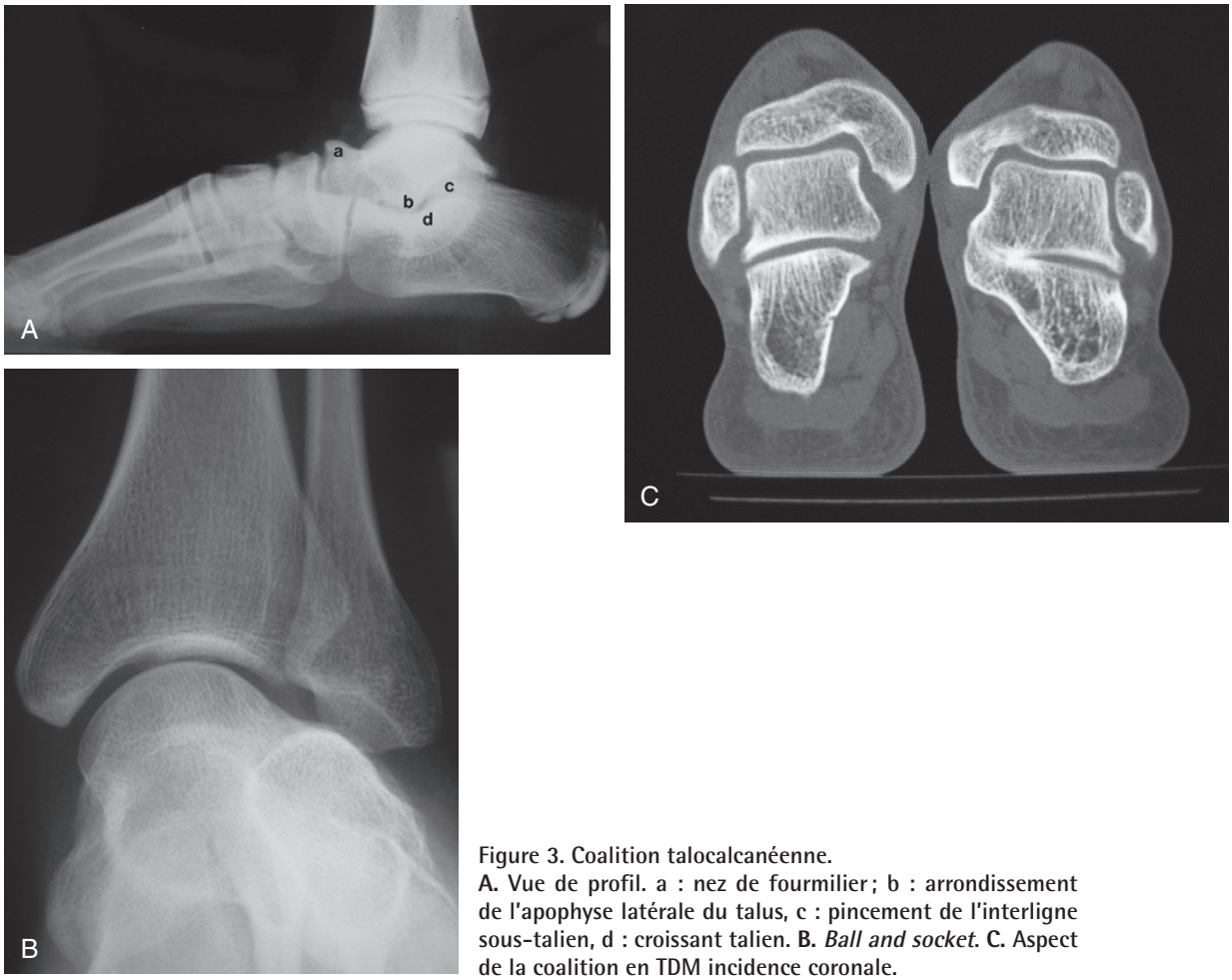


Figure 3. Coalition talocalcanéenne.
A. Vue de profil. a : nez de fourmilier ; b : arrondissement de l'apophyse latérale du talus, c : pincement de l'interligne sous-talien, d : croissant talien. B. ***Ball and socket.*** **C. Aspect de la coalition en TDM incidence coronale.**

tendons fibulaires (pied plat contracturé) et d'adaptation morphologique au niveau du talus réalisant au maximum le classique talus en dôme *(« ball and socket »)*. La perte des mouvements en flexion-extension retentit sur la talonaviculaire, avec apparition d'un conflit entre le naviculaire et le bord antérosupérieur de la tête du talus. Les forces de traction sont augmentées au niveau de la capsule et des ligaments, conduisant à la déformation en nez de fourmilier ou *« talar beaking »*.

Clinique

Chez l'enfant

L'âge de révélation correspond à l'ossification de la coalition : 8 à 12 ans pour la CCN, 12 à 16 ans pour la CTC. Un diagnostic plus précoce est cependant possible, à condition d'y penser systématiquement devant un pied plat raide asymptomatique de l'enfant.

Les premiers symptômes apparaissent progressivement, souvent après une augmentation des activités physiques ou sportives. Les *douleurs* sont de type mécanique, sous-malléolaires latérales près du sinus du tarse (douleurs de la sous-talienne), dorsales et médiales (talonaviculaires) ou plus vagues et diffuses.

Les crises de contractures ou spasmes des muscles fibulaires peuvent être un mode de révélation réalisant l'aspect du *pied plat valgus contracturé* [9]. Le pied est déformé en plat valgus avec un avant-pied en abduction. Il existe une contracture élective des fibulaires souvent associée à une contracture de l'extenseur commun des orteils dont les tendons saillent sous la peau. Le complexe articulaire sous-talien est totalement bloqué. Ces crises de contracture émaillent l'évolution des CT : intermittentes, déclenchées par un effort physique ou plus ou moins permanentes. La pathogenèse de ces spasmes est discutée : contraction réflexe lors d'un mouvement d'inversion du pied (entorse latérale) ou raccourcissement musculaire

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

secondaire à la déformation du pied. Les CT représentent la cause la plus fréquente mais non exclusive du pied plat valgus contracturé. Il faut éliminer les autres étiologies plus rares (inflammatoire, infectieuse ou traumatique).

La présentation clinique habituelle est celle d'un *pied plat raide et douloureux*. La raideur est fonction de la localisation de la coalition et de sa forme complète ou incomplète. Ainsi, une CCN ménage une certaine mobilité sous-talienne alors qu'une CTC la supprimera. Dans les CTC médiales, la déformation en valgus est la plus marquée et on peut parfois palper la masse osseuse hypertrophique de la coalition sous la malléole médiale.

Chez l'adulte

Coalitions calcanéonaviculaires

La symptomatologie diffère peu de ce qu'elle est chez l'enfant, où elles sont le plus souvent diagnostiquées et prises en charge.

Coalitions talocalcanéennes

Elles sont beaucoup plus fréquentes. Le plus souvent, le tableau réalisé est celui d'un pied valgus, le médio-pied reste souple, conservant un certain degré d'inversion-éversion lié à une adaptation de l'articulation transverse du tarse pendant la croissance. Bien souvent, un traumatisme révélateur à type d'entorse est à l'origine du diagnostic devant la persistance anormalement longue d'une symptomatologie douloureuse.

Le diagnostic clinique repose essentiellement sur la douleur au niveau du compartiment médial ou en regard du sinus du tarse. Le signe essentiel dans la forme habituelle est l'absence de varisation de l'arrière-pied lors de la montée sur la pointe des pieds (à l'exception des synostoses calcanéennes postérieures, où l'arrière-pied peut être fixé en varus). La contracture des muscles fibulaires fréquemment associée au pied plat chez l'enfant est rare chez l'adulte jeune.

Diagnostic

L'évaluation radiologique d'une suspicion de coalition nécessite trois incidences : face dorsoplantaire, profil en charge et incidence oblique interne à 45°. Mais c'est sur l'examen tomodensitométrique (TDM) [10] que reposent aujourd'hui le diagnostic et l'évaluation d'une coalition.

Coalitions calcanéonaviculaires

Le diagnostic est fait sur l'incidence spéciale oblique qui dégage au mieux la région intercalcanéonaviculaire. Cet espace est totalement ou partiellement oblitéré selon que la CCN est complètement ou partiellement ossifiée. Sur la radiographie de face du pied, on peut voir l'extrémité latérale hypertrophiée du naviculaire. De profil, la partie antérosupérieure du calcaneus se prolonge dorsalement vers la partie moyenne du naviculaire.

Cas particulier du bec calcanéen

Le profil strict le montre, mais l'incidence oblique est la meilleure, faisant apparaître le bec qui vient s'interposer entre le talus et le cuboïde. L'espace clair calcanéonaviculaire est estimé pathologique quand il est inférieur à 5 mm.

Coalitions talocalcanéennes

Leur diagnostic en radiologie conventionnelle est difficile. Le cliché de face est inutile.

Le cliché de profil peut montrer des remaniements ostéoarticulaires secondaires à la coalition. Ce sont de véritables signes indirects de toute pathologie limitant la mobilité sous-talienne :

- exostose du rebord antérosupérieur de la tête talienne (bec ou barre talienne) et de la face supérieure du naviculaire ;
- arrondissement de l'apophyse latérale du talus, qui est normalement pointue ;
- pincement de l'interligne sous-talien postérieur ;
- croissant talien (ou signe de la roue) : condensation arciforme concave en haut à la partie moyenne de l'interligne talocalcanéen. Il correspond à la projection de l'excroissance osseuse médiale de la CTC.

La TDM identifie la nature osseuse de la coalition, sa forme complète ou incomplète, et sa localisation. En cas de coalition médiale, la succession des coupes coronales permet une appréciation exacte de son étendue en longueur et en largeur (intégrité de la facette antérieure, état de l'interligne talocalcanéen postérieur). Cet examen est indispensable dans tout bilan préthérapeutique. La scintigraphie osseuse est toujours positive, témoignant du remaniement et de la reconstruction osseuse. Cependant, elle n'est pas spécifique et n'a qu'une valeur localisatrice. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet de détecter les formes fibreuse ou cartilagineuse et d'étudier l'état du cartilage articulaire sous-talien lorsqu'on projette une chirurgie conservatrice.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Traitement

Les indications thérapeutiques dépendent de l'intensité des troubles, de la souplesse du pied et du type anatomique de la coalition. L'abstention est la règle dans les formes asymptomatiques sans troubles majeurs de la statique du pied. Le traitement initial de toute coalition symptomatique est conservateur. Selon l'intensité des douleurs, on propose une réduction des activités physiques, le port d'orthèses plantaires, des infiltrations du sinus du tarse et de la kinésithérapie. Les formes douloureuses aiguës (spasmes des fibulaires) peuvent justifier une immobilisation en botte de marche (parfois faite sous anesthésie générale) pendant 4 semaines. Ce type de traitement donne un résultat positif et durable sur la douleur dans 30 à 60 % des cas. Le traitement chirurgical est indiqué en cas d'échec du traitement conservateur. Deux options sont à discuter : la résection et l'arthrodèse.

Traitement chirurgical de la coalition calcanéonaviculaire

La prise en charge ne diffère pas chez l'adulte et chez l'enfant.

La résection de la coalition est conduite par voie antérolatérale après désinsertion du muscle court extenseur des orteils. Elle supprime largement la coalition ou le bec calcanéen trop long, laissant un espace calcanéonaviculaire égal ou supérieur à 10 mm (figure 4). L'interposition du muscle court extenseur des orteils diminue le risque de récidive et de douleurs [11]. Les suites opératoires comportent une immobilisation pendant 2 semaines, suivie d'une rééducation active avec reprise progressive de l'appui. Dans la plupart des séries publiées, les résultats à long terme sont régulièrement bons [12]. Cette intervention simple permet d'obtenir l'indolence et un gain de mobilité sous réserve que l'indication en soit bien posée : absence d'autre coalition associée, contracture du pied pas trop ancienne, intégrité des surfaces articulaires de la sous-talienne et de la talonaviculaire. La présence d'un « bec talien » (exostose de traction) n'est pas considérée comme une contre-indication à la résection.

Traitement chirurgical de la coalition talocalcanéenne

La résection isolée du pont synostosique chez l'enfant peut donner des résultats satisfaisants (sous réserve d'indication précise). Chez l'adulte, il semble que ces résultats soient plus incertains, et que le recours à l'arthrodèse constitue le moyen le plus fiable de soulager la douleur [13].

Dans une série rétrospective présentée à la table ronde sur les anomalies du complexe articulaire sous-talien de l'Association française de chirurgie du pied (AFCP) en novembre 2004, concernant 45 synostoses opérées dont 34 % de talocalcanéennes, 6 résections isolées ont donné 5 échecs repris par arthrodèse et 1 résultat moyen avec une ankylose et des douleurs sous-taliennes persistantes. Les 18 résections-arthrodèses ont toutes donné à moyen terme des résultats bons ou excellents. Des séries rapportent néanmoins la possibilité de traitement conservateur après résection du pont synostosique au niveau de la facette médiale, avec des résultats satisfaisants [14]. Cette controverse persiste du fait de l'hétérogénéité des séries qui englobent volontiers des adolescents et des adultes jeunes, des types de coalitions différentes plus ou moins complètes ou étendues.

Les résections isolées se conçoivent sous réserve de respecter des indications strictes : pont de synostose inférieur

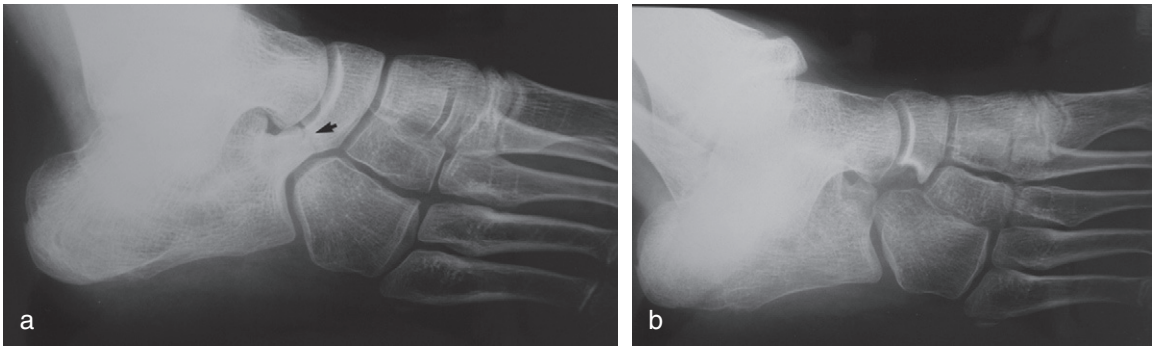


Figure 4. Coalition calcanéonaviculaire.
a. Coalition incomplète chez un garçon de 12 ans. b. Deux ans après la résection avec interposition du muscle court extenseur des orteils.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

à un tiers de la surface articulaire et valgus de l'arrière-pied inférieur à 16°. La difficulté d'apprécier la surface de la synostose mérite néanmoins d'être soulignée.

Dans notre expérience, la résection isolée des synostoses chez l'adulte n'a que rarement permis de traiter la douleur et le traitement de choix reste la résection-arthrodèse, en tout cas dans les formes complètes et étendues, ce d'autant que la résection isolée de la coalition ne permet pas de restaurer le fonctionnement de la sous-talienne [15].

Technique de résection de la coalition talocalcanéenne

La résection se fait par un abord médial centré sur la petite apophyse du calcaneus [16,17]. Après ouverture de la gaine des fléchisseurs et relèvement soigneux du périoste, la coalition est réséquée en mordant davantage du côté talien pour conserver le support calcanéen. La résection est considérée comme complète quand un anneau cartilagineux est visible en périphérie de la zone excisée et qu'on récupère une bonne mobilité sous-talienne. Le vide est comblé par de la graisse. Le périoste est suturé par-dessus. Les suites opératoires sont identiques à celles des résections des CCN.

Techniques d'arthrodèse

Arthrodèse partielle

Il est indispensable de commencer par la résection du pont synostosique pour contrôler l'axe de l'arrière-pied et positionner le calcaneus sous le talus.

Pendant de nombreuses années, la réalisation d'une arthrodèse au niveau de l'une des articulations du complexe articulaire sous-talien conduisait à la réalisation d'une *« arthrodèse triple »*. Actuellement, il est préférable de limiter l'arthrodèse à un seul interligne [18]. La conservation des autres articulations du complexe articulaire sous-talien permet l'adaptation de l'avant-pied. Si celle-ci fait défaut, des gestes complémentaires sont nécessaires (abaissement du premier rayon).

L'abord est médial, le pont est largement réséqué, autorisant l'introduction d'un distracteur dans l'articulation sous-talienne postérieure, au niveau de laquelle les surfaces articulaires et le sinus sont avivés. Les fragments de la synostose sont utilisés comme greffon et introduits au niveau de l'interligne. Une supplémentation peut être réalisée avec un substitut osseux ou un prélèvement de greffon autologue. Le positionnement est soigneux : il est réalisé en maintenant la cheville à 90°, le calcaneus doit être mis en valgus modéré (5 à 7°) pour éviter un conflit avec la malléole latérale.

Il est important de veiller à ne pas laisser un varus résiduel qui entraînerait un verrouillage du médio-pied. Pour l'ostéosynthèse, de nombreuses techniques ont été utilisées. Nous préconisons une fixation par deux vis parallèles introduites depuis le talon, autorisant un vissage en compression.

Arthrodèse triple

L'« arthrodèse triple » (talocalcanéenne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne) garde sa place dans les coalitions avec arthrose médiotarsienne et sous-talienne, dans les déformations majeures de l'ensemble du pied et dans les échecs des techniques antérieures. Elle peut être réalisée par une ou plusieurs voies d'abord.

Conclusion

Si le diagnostic d'une coalition aidé par l'imagerie moderne est en règle facile aussi bien chez l'enfant que chez l'adulte jeune, le choix thérapeutique est toujours difficile.

Le traitement conservateur doit toujours être mis en œuvre, mais son échec fréquent conduit à une solution chirurgicale : la résection de la coalition. Son taux de succès est élevé et reproductible dans les formes calcanéonaviculaires ; cependant, l'existence d'échecs fréquents dans les formes talocalcanéennes chez l'adulte impose souvent d'avoir recours à la réalisation d'une arthrodèse sous-talienne après résection du pont osseux.

Références

1 Roger A, Méary R. Les synostoses des os du tarse. À propos de 41 cas. Rev Chir Orthop 1969 ; 55 : 521-41.
2 Harris BJ. Anomalous structures in the developing human foot. Anat Rec 1955 ; 121 : 399.
3 Kawashima T, Uhthoff HK. Prenatal development around the sustentaculum tali and its relation to talocalcaneal bridges. J Pediatr Orthop 1990 ; 10 : 238-43.
4 Leonard MA. The inheritance of tarsal coalition and its relationship to spastic flat foot. J Bone Joint Surg Br 1974 ; 56 : 520-6.
5 Hardy J, Pouliquen JC. Un bec calcanéen trop long. Rev Chir Orthop 1983 ; 69 : 567-72.
6 Stuecker R, Bennett J. Tarsal coalition presenting as a pes cavo-varus deformity : report of three cases and review of the literature. Foot Ankle Int 1993 ; 14 : 540-4.
7 Kumai T, Tanaka Y, Takakura Y, Tamai S. Isolated first naviculocuneiform joint coalition. Foot Ankle Int 1996 ; 17 : 635-40.
8 Vu L, Mehlman CT. Tarsal coalitions. http : //emedicine.medscape.com/article/1233780.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

9 Mosier KM, Asher MA. Tarsal coalitions and peroneal spastic flat foot : a review. J Bone Joint Surg Am 1984 ; 66 : 976-84.
10 Cooperman DR, Janke BE, Gilmore A, Latimer BM, Brinker MR, Thompson GH. A three-dimensional study of calcaneonavicular tarsal coalitions. J Pediatr Orthop 2001 ; 21 : 648-51.
11 Moyes ST, Crawford EJ, Aichroth PM. The interposition of extensor digitorum brevis in the resection of calcaneo-navicular bars. J Pediatric Orthop 1994 ; 14 : 387-8.
12 Gonzalez P, Kumar SJ. Calcaneonavicular coalition treated by resection and interposition of the extensor digitorum brevis muscle. J Bone Joint Surg Am 1990 ; 72 : 71-7.
13 Sakellariou A, Claridge RJ. Tarsal coalition. Orthopedics 1999 ; 22 : 1066-73.
14 Luhman SJ, Schoenelker PL. Symptomatic talocalcaneal coalition resection : indications and results. J Pediatr Orthop 1998 ; 18 : 748-9.
15 Hetsroni I, Nyska M, Mann G, Rozenfeld G, Avalon M. Subtalar kinematics following resection of tarsal coalition. Foot Ankle Int 2008 ; 29 : 1088-94.
16 Dutoit M. Talocalcaneal bar resection. J Foot Ankle Surg 1998 ; 37 : 199-203.
17 Olney BW, Asher MA. Excision of symptomatic coalition of the middle facet of the talocalcaneal. J Bone Joint Surg Am 1987 ; 69 : 539-44.
18 Mann RA, Baumgarten M. Subtalar fusion for isolated subtalar disorders. Preliminary report. Clin Orthop 1988 ; 226 : 260-5.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied malformatif

A. BADINA[1], J.-P. PADOVANI[1], C. GLORION[1]

Les malformations congénitales des membres inférieures incluent : les anomalies réductionnelles des membres par inhibition du développement embryonnaire (les agénésies et les hypoplasies), les duplications, l'hyper- et l'hypotrophie, la maladie amniotique, les anomalies de différenciation (où éventuellement on peut inclure les synostoses et l'arthrogrypose) [1].

L'arrière-pied et le médio-pied sont surtout touchés dans les hypoplasies longitudinales (latérale et médiale) et dans la maladie amniotique. L'agénésie centrale (pied en fourche), de même que la plupart des duplications et des hypertrophies congénitales du pied (macrodactylie), n'intéressent que l'avant-pied. L'arthrogrypose (voir le chapitre « Pieds syndromiques », page 305) et les synostoses (voir le chapitre précédent) sont traitées dans d'autres chapitres, étant donné leurs particularités.

Hypoplasies fibulaires

Elles associent souvent un ensemble de manifestations qui incluent : fémur court, genu valgum, instabilité du genou, raccourcissement du tibia, anomalies de la cheville et du pied [2,3].

Description des anomalies

La classification de Stanitski [4] est très pratique. Elle comprend trois types :

- type I : fibula presque normale ;
- type II : petite fibula ;
- type III : fibula absente.

Les anomalies de la cheville sont notées « H » si l'interligne est horizontal, « S » si la cheville est sphérique (en dôme) et « V » si la cheville est déviée en valgus, avec un aspect triangulaire de l'épiphyse distale tibiale.

La présence d'une coalition tarsienne est affectée de la lettre « c » et le nombre des rayons présents d'un chiffre de 1 à 5.

Les auteurs retrouvent une déviation en valgus de la cheville plutôt dans les types II et III, et un interligne sphérique est associé le plus souvent à une fibula presque normale (tableau 1) [4].

Tableau 1
La fréquence des anomalies de la cheville, en fonction du type de l'hypoplasie fibulaire selon Stanitski [5].

	Interligne horizontal (H)	Interligne sphérique (S)	Interligne valgus (V)
Type I	25 %	50 %	25 %
Type II	16,5 %	16,5 %	67 %
Type III	33 %	0	67 %

La cheville en dôme représente plutôt le résultat d'une modification adaptative des épiphyses tibiale et fibulaire distales à un talus malformé [5]. Elle permet une flexion plantaire/dorsale normale et même des mouvements d'inversion-éversion chez les patients présentant des synostoses multiples [5].

Le troisième type de cheville, avec un interligne en valgus (« V »), secondaire à l'épiphyse tibiale distale triangulaire (qui regarde en dehors et en arrière), est étudié par Choi et al. [6]. Ils décrivent cet aspect particulier de l'épiphyse distale tibiale comme un processus qui débute dans la période prénatale, dû à une asymétrie de croissance au niveau du cartilage tibial distal, secondaire à une fibula courte ou absente.

Les synostoses entre les os de l'arrière- et/ou du médio-pied sont surtout retrouvées dans le type III (absence totale de la fibula). Elles sont présentes dans 68 % des cas lorsque la cheville est en valgus et seulement dans 12 % des cas lorsque la cheville est en dôme [5].

Les synostoses du pied sont surtout talocalcanéennes, mais aussi talonaviculaires, calcanéocuboïdiennes ou multiples [2,3].

Le nombre des rayons du pied diminue du type I au type III [4].

La plupart des auteurs décrivent une déformation en valgus de l'arrière-pied en association avec l'hémimélie longitudinale latérale. Caskey et Lester [7], dans une étude rétrospective sur 70 ans comprenant 121 patients (147 membres) avec une hémimélie longitudinale

[1] Service d'orthopédie pédiatrique, hôpital Necker Enfants malades, 149, rue de Sèvres, 75020 Paris.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

latérale, constatent une association d'une déformation en varus équin au niveau de l'arrière-pied dans 16 % des cas. Des synostoses de l'arrière-pied étaient présentes dans 18 cas (sur 21) ; dans 7 cas, la cheville était en dôme ; 19 pieds avaient un nombre réduit de rayons. Les auteurs expliquent la faible incidence de cette association (pied bot et hémimélie longitudinale latérale) dans la littérature par l'existence de cas où les signes d'hémimélie longitudinale sont minimes.

Traitement

L'attitude vis-à-vis du pied dépend du pronostic d'inégalité de longueur finale des membres inférieurs et, en conséquence, du choix thérapeutique : allongement ou prothèse. Pour les grandes inégalités de longueur, l'appareillage s'impose et l'amputation du pied représente un prérequis pour un bon chaussage de la prothèse.

Il faut aussi savoir que la hauteur du pied va entrer dans le pronostic d'inégalité de longueur des membres pour 1–3 cm.

Pendant l'allongement tibial, les structures fibreuses postérolatérales et le tendon d'Achille participent à la déviation en valgus de la cheville, d'autant plus que cette déviation existe avant l'allongement [6].

L'allongement de jambe entraîne souvent une décompensation de l'arrière-pied, d'autant plus importante que la cheville a un interligne oblique (« V ») et est instable. Pour les chevilles stables, avec un interligne horizontal ou en dôme, les déformations sont moins importantes mais présentes.

Dans la série de Necker [2], 7 enfants qui présentaient une ectromélie longitudinale latérale avec *cheville stable horizontale* ont eu des allongements. Six fois, une intervention sur le pied ou la cheville a été nécessaire : 3 fois pour un allongement du tendon d'Achille, 2 triples arthrodèses, 1 abaissement du premier métatarsien. Dans la même série, sur 14 allongements de jambes avec des *chevilles en dôme*, stables, 10 interventions sur 7 pieds ont été nécessaires, dont 2 triples arthrodèses.

L'allongement dans le cas d'une ectromélie longitudinale latérale associée à une cheville oblique avec une épiphyse tibiale distale triangulaire a été étudié par Choi et al. [6]. Il montre que pour tous les cas où l'épiphyse tibiale distale est modifiée, l'allongement de la jambe conduit à une dégradation de la morphologie du pied, pouvant conduire à des pieds valgus très sévères.

Dans la série de Necker [2], on remarque pour les pieds valgus sévères (types « V » de Stanitski), instables, souvent associés à une aplasie fibulaire complète, qu'une reposition précoce du pied donne de meilleurs résultats qu'une correction secondaire, après l'allongement (figure 1). Pour 23 patients, avaient été pratiqués entre l'âge de 5 et 20 mois, par une voie d'abord latérale large, une résection de la fibula vestigiale et de la bride qui lui fait suite, une résection ou un allongement du tendon d'Achille, un transfert des tendons fibulaires sur le dos du pied, une arthrodèse intraépiphysaire de la tibiotarsienne avec résection d'un coin antérieur et, dans quelques cas, une correction de la crosse tibiale. Il a parfois fallu pratiquer une ostéotomie supplémentaire de l'arrière-pied pour corriger le valgus.

Dans 5 cas où l'arthrodèse tibiotarsienne intraépiphysaire n'a pas été effectuée, la déformation a récidivé, surtout pendant l'allongement de la jambe.

Après une reposition précoce, la principale complication a été la déviation en calcaneus, 6 fois parmi 17 pieds, dont 1 fois un pied qui n'avait pas eu une arthrodèse tibiotalienne. La déformation en calcaneus n'a été gênante que dans 1 seul cas.

L'idée d'une chirurgie de l'arrière-pied avant l'allongement de jambe est soutenue aussi par Jawish et Carlioz, mais pas très tôt, sur un pied cartilagineux, sauf si le valgus rend l'appui et la marche impossibles [8].

Hypoplasies tibiales

Description des anomalies

Elles représentent un syndrome ayant comme principale caractéristique l'absence complète ou partielle du tibia. Les autres anomalies sont : syndactylie, polydactylie, pied en fourche, diplopodie, anomalies du membre supérieur ou rachidiennes [9].

Jones réalise une classification en quatre types en fonction de l'aspect radiographique [10]. Dans le type 1, le tibia n'est pas visible (type 1a : il n'existe pas ; 1b : le tibia proximal existe mais il est cartilagineux à la naissance) ; dans le type 2, seule la partie proximale tibiale est présente ; dans le type 3, le tibia proximal est absent mais la partie distale présente. Dans le type 4, le tibia est court et il y a un diastasis tibiofibulaire distal.

Les anomalies morphologiques au niveau du pied sont variées [2] : pied varus équin, pied varus (associé à un diastasis tibiofibulaire), présence de synostoses (10 cas sur 37), duplication du talus, hypoplasie ou aplasie des rayons médiaux, duplication du pied, syndactylies.

Traitement

Pour le type 1a (aplasie tibiale complète), le traitement conservateur aboutit pratiquement toujours à l'échec. La meilleure solution reste la désarticulation du genou et l'appareillage [2,9,11].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 1. Hypoplasie fibulaire type II. a. Le tibia est déformé en crosse, la cheville déviée en valgus, instable, avec synostose talocalcanéenne, pied avec trois rayons (selon la classification de Stanitski : II, V, c, 3), pronostic d'inégalité 15 %. **b,c.** Réalignement précoce du pied avec arthrodèse tibiotalienne, ostéotomie de réaxation dans la synostose, transposition des tendons fibulaires ; ostéotomie tibiale pour corriger la crosse antérieure. **d.** Pied avec 9 ans de recul : persistance d'un léger équin de l'arrière-pied avec convexité plantaire permettant un certain déroulement du pas malgré une raideur du pied. Il se chausse normalement et il a une inégalité de longueur résiduelle de 2 cm.

Pour les types 1b et 2, on peut opter pour une translocation de la fibula au niveau de l'extrémité proximale du tibia [2,9,11]. Le pied subit le plus souvent une amputation de Syme ou Boyd [2,9,11]. Dans certains cas (2 fois sur 9 dans la série de Necker), on peut essayer de réaligner le pied sous la fibula, après une talectomie.

De même pour les pieds type 4 (diastasis tibiofibulaire), le traitement est le plus souvent une amputation de Syme ou Boyd [9,12]. Tokmakova [12] considère que pour ce type de déformation (type 4 de Jones), la position du pied au niveau du tiers distal du tibia controlatéral (groupe 1 de la classification de Choi [13]) est une indication de traitement conservateur avec reconstruction de la mortaise. Les 3 enfants dans sa série qui ont eu une arthrodèse tibiotalienne ou une talectomie ont un pied stable et marchent correctement.

Dans la série de Necker, dans les 2 cas de disjonction, le pied a été réaligné sous la fibula (figure 2),

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

après plusieurs interventions chirurgicales (talectomie, arthrodèse tibiocalcanéenne, allongement de la tubérosité calcanéenne). Après l'allongement progressif du tibia, le chaussage et la marche sont normaux pour ces 2 cas.

Dans le cadre des hypoplasies fibulaire ou tibiale, le pied a un rôle fondamental de support du membre inférieur et son médiocre état peut radicalement compromettre un programme réussi d'égalisation, ou sa malformation rendre ce dernier inutile ou inopérant.

Maladie amniotique

Description des anomalies

La maladie amniotique est une maladie rare qui peut associer, outre la présence de sillons (de profondeur et localisation variable), des amputations, des acrosyndactylies, une fente palatine et des pieds bots. L'incidence du pied bot dans la maladie amniotique varie entre 12 et 56 % [14-16]. Il est bilatéral dans environ 30 % des cas [15-17].

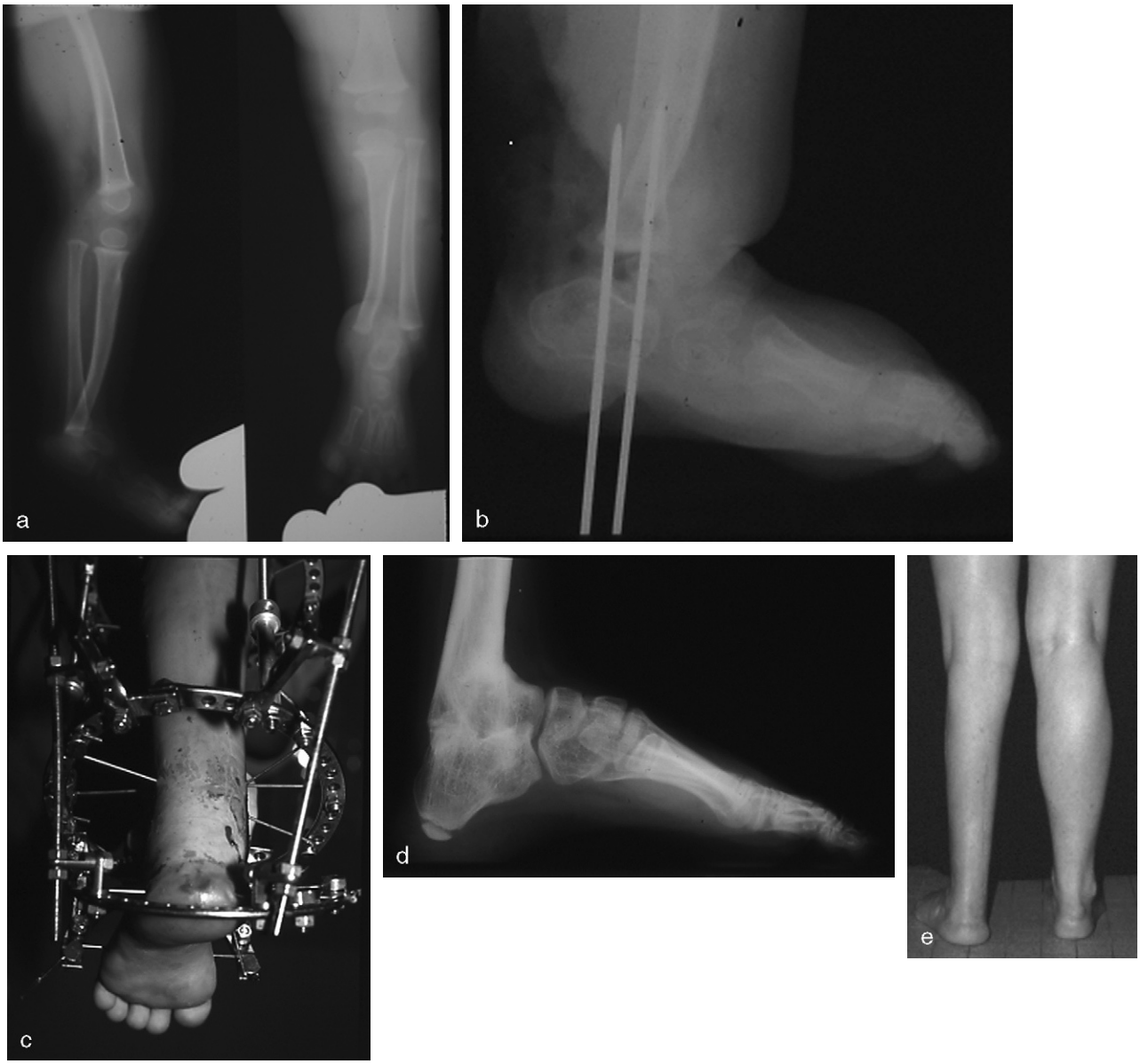


Figure 2. Hypoplasie tibiale type 4 selon Jones. a. Le diastasis tibiofibulaire est bien visible sur la radiographie de face. b. Réalignement précoce du pied. c. Allongement progressif de jambe avec l'appareil d'Ilizarov et fixation du pied pendant la période d'allongement. Deux allongements de jambe ont été nécessaires à 5 et 12 ans, permettant de gagner 9 cm. d. Résultat radiographique à la fin de la croissance. e. Résultat clinique à la fin de la croissance.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 3. Sillon amniotique chez un nouveau-né avec un pied peu déformé et une amputation de P2 de l'hallux.



Figure 4. Sillon amniotique corrigé par des plasties en Z au-dessus d'un pied bot varus équin en cours de traitement.

Les brides amniotiques sont présentes sur le membre avec un pied bot (figure 3) dans un pourcentage qui varie selon les auteurs entre 38 et 80 % [14-16]. La sévérité du pied bot est dépendante de la localisation de la bride et de sa profondeur [12]. En fonction de cette dernière, on peut distinguer quatre degrés [14] :

- grade 1 : localisation sous-cutanée ;
- grade 2 : au niveau du fascia mais sans compromettre la circulation distale (figure 4) ;
- grade 3 : fascial mais avec des troubles circulatoires qui nécessitent une libération chirurgicale de la bride ;
- grade 4 : amputation spontanée.

Hennigan [14] décrit deux types de pied bot associés à la maladie amniotique : une forme dite « idiopathique » et une neurologique. Les défauts neurologiques sont représentés le plus souvent par un déficit sensitif et un déficit moteur sur les releveurs. Trente-six pour cent des pieds bots de sa série sont associés à des troubles neurologiques. Tous ces patients présentaient une bride ipsilatérale, localisée entre le genou et la cheville, de grade 3 [14]. Tada avait déjà décrit cette forme neurologique de pied bot amniotique en liaison avec une bride profonde qui comprime le nerf fibulaire [18].

D'autres anomalies peuvent accompagner le pied bot amniotique comme : une syndactylie au niveau des orteils, un métatarsus adductus [16], des troubles vasculaires importants en rapport avec une bride, une inégalité de longueur des membres (39 à 60 % des cas [1,17]) pouvant dépasser 2,5 cm.

Traitement

Si la chirurgie au niveau des sillons est nécessaire (allongement en « Z »), elle doit être réalisée de préférence avant toute chirurgie pour le pied bot [14-16] afin d'éviter un possible œdème postopératoire (1 cas décrit par Gomez [15]).

Le traitement du pied bot dans la maladie amniotique est conservateur (plâtres, kinésithérapie, orthèses) et/ou chirurgical. La plupart des auteurs signalent l'échec fréquent des méthodes conservatrices et le recours souvent nécessaire à la chirurgie [14-16].

Lorsque l'examen neurologique avait été pris en compte, les auteurs [14,18] ont remarqué une évolution nettement moins favorable des pieds neurologiques, avec un échec certain du traitement conservateur et des reprises chirurgicales fréquentes.

Pour les pieds « idiopathiques », Tada [18] note une bonne évolution à long terme avec un traitement conservateur (série de plâtres) dans tous les cas (9 pieds). Hennigan montre une bonne évolution avec le traitement conservateur pour seulement 6 pieds sur 26 idiopathiques [14].

Le traitement chirurgical est le même que pour le pied bot idiopathique ou paralytique, impliquant libération postéromédiale, transfert musculaire et gestes osseux éventuellement associés [14-16]. La voie d'abord utilisée est souvent celle de Cincinatti. Les orthèses et les chaussures adéquates sont aussi indispensables [14-16].

Les pieds rigides, insensibles, avec des troubles vasculaires peuvent nécessiter une amputation.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Conclusion

Les malformations des membres inférieurs posent des problèmes à la fois fonctionnels, psychologiques et sociaux [19]. La prise en charge de ces malformations doit tenir compte de ces trois facteurs, surtout pour le choix difficile entre amputation et conservation du membre. Le traitement de l'arrière-pied représente juste une partie de ce programme thérapeutique. Étant donné la grande variété de ces anomalies, la chirurgie n'est pas standardisée et doit être adaptée à chaque situation clinique.

Références

1 Clavert JM. Embryologie normale et pathologique des membres inférieurs. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT n° 74. Paris : Elsevier ; 2000. p. 3-15.
2 Bronfen C, Rigault P, Padovani JP. Foot deformities in longitudinal ectromelia of the lower limbs. Int Orthop 1994 ; 18 : 139-49.
3 Achterman C, Kalamchi A. Congenital deficiency of the fibula. J Bone Joint Surg [Br] 1979 ; 61 : 133-7.
4 Stanitski DF, Stanitski CL. Fibular hemimelia : a new classification system. J Pediatr Orthop 2003 ; 23 : 30-4.
5 Pappas A, Miller J. Congenital ball and socket ankle joints and related lower extremity malformations. J Bone Joint Surg 1982 ; 64A : 672-9.
6 Choi IH, Lipton GE, Mackenzie W, Bowen JR, Kumar SJ. Wedge-shaped distal tibial epiphysis in the pathogenesis of equinovalgus deformity of the foot and ankle in tibial lengthening for fibular hemimelia. J Pediatr Orthop 2000 ; 20 : 428-36.
7 Caskey PM, Lester EL. Association of fibular hemimelia and clubfoot. J Pediatr Orthop 2002 ; 22 : 522-5.
8 Jawish R, Carlioz H. La conservation du pied dans le traitement de l'ectromélie longitudinal externe. Rev Chir Orthop 1991 ; 77 : 115-20.
9 Herring JA. Limb deficiencies. In : Tachdjian's pediatric orthopaedics. 3e éd. Philadelphie : WB Saunders ; 2002.
10 Jones D, Barnes J, Lloyd-Roberts GC. Congenital aplasia and dysplasia of the tibia with intact fibula : classification and management. J Bone Joint Surg [Br] 1978 ; 60 : 31-9.
11 Kalamchi A, Dawe RV. Congenital deficiency of the tibia. J Bone Joint Surg [Br] 1985 ; 67 : 581-5.
12 Tokmakova K, Riddle EC, Kumar SJ. Type IV congenital deficiency of the tibia. J Pediatr Orthop 2003 ; 23 : 640-53.
13 Choi IH, Kumar SJ, Bowen JR. Amputation or limb-lengthening for partial or total absence of the fibula. J Bone Joint Surg [Am] 1990 ; 72 : 1391-9.
14 Hennigan SP, Kuo KNJ. Resistant talipes equinovarus associated with congenital constriction band syndrome. J Pediatr Orthop 2000 ; 20 : 240-5.
15 Gomez VR. Clubfeet in congenital annular constricting bands. Clin Orthop Relat Res 1996 ; 323 : 155-62.
16 Askins G, Ger E. Congenital constriction band syndrome. J Pediatr Orthop 1988 ; 8 : 461-6.
17 Allington NJ, Kumar SJ, Guille JT. Clubfeet associated with congenital constriction bands of the ipsilateral lower extremity. J Pediatr Orthop 1995 ; 15 : 599-603.
18 Tada K, Yonenobu K, Swanson A. Congenital constriction band syndrome. J Pediatr Orthop 1984 ; 4 : 726-30.
19 Clavert JM. Retentissement psychologique, familial et social. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT n° 74. Paris : Elsevier ; 2000. p. 3-15.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied plat valgus idiopathique

P. WICART[1], E. TOULLEC[2]

Introduction

Le pied plat valgus est caractérisé par un effondrement de l'arche médiale du pied, un valgus sous-talien, une supination de l'avant-pied et, de façon inconstante, une abduction de l'avant-pied. Le pied plat valgus idiopathique (PPVI) est une déformation *acquise*, souvent appelée *pied plat statique* chez l'enfant car la déformation se révèle lorsque le pied est en charge et disparaît complètement lorsque le pied est en décharge. Le caractère idiopathique exclut toutes les affections neurologiques, dystrophiques et les malformations congénitales [1].

- La composante « plat » du PPVI « vrai » correspond à un effondrement de l'arche médiale défini par une altération de l'angle de Méary sur la radiographie de profil en charge. Dans d'autres cas, l'empreinte du pied est bien plate, mais sans effondrement de l'arche médiale et avec conservation d'un angle de Méary normal. Il s'agit alors d'un morphotype avec un bloc calcanéopédieux (BCP) plat du fait d'un angle d'incidence du calcaneus faible (voir les chapitres « Morphotypes », page 57 et « Analyse segmentaire des déformations », page 75).
- Le valgus est articulaire essentiellement dans le complexe articulaire sous-talien. Il est également osseux talien [2] et/ou calcanéen, mais aussi tibial. L'examen clinique ne donne que très peu d'éléments quant à la topographie du valgus.
- Il existe parfois un équin. Il doit être recherché après avoir positionné le pied en inversion, car l'examinateur peut être trompé par une abduction/flexion dorsale siégeant dans les articulations sous-talienne et transverse du tarse. Inversement, il existe parfois une dorsiflexion très importante de la cheville en rapport avec une hyperlaxité articulaire et une hyperextensibilité du triceps.

Le pied plat valgus dans sa forme modérée peut être considéré comme une variante de la normale. Cependant, certaines formes caractérisées par une déformation plus importante entraînent des signes fonctionnels. Ainsi, il n'existe pas un PPVI mais *des* PPVI, avec une association de défauts d'intensité variable et des combinaisons multiples. Sachant qu'il existe des pieds plats sans valgus excessif et des pieds valgus non plats, il est utile de différencier les pieds plats valgus, pour lesquels l'aplatissement est plus sévère que le valgus, et les pieds valgus plats, pour lesquels le valgus est plus important que l'aplatissement (voir le chapitre « Analyse segmentaire des déformations », page 75).

En outre, le PPVI peut survenir sur un morphotype préexistant particulier, de sorte qu'on doit opposer :

- le PPVI avec morphotype de BCP plat, qui aboutit à une déformation très sévère ;
- le PPVI avec morphotype de BCP cambré et incidence calcanéenne élevée, qui correspond au pied « plat-creux » (plat sur la colonne médiale et creux sur la colonne latérale).

Physiopathologie

Le primum movens est une perturbation des rapports entre l'unité talo-tibio-fibulaire (UTTF) et le BCP. L'origine de cette perturbation est inconnue ; il s'agit peut-être d'une laxité articulaire anormale.

Dans les formes évoluées de l'adulte, une laxité articulaire médiale de la cheville, de même qu'une laxité de l'articulation talonaviculaire avec lésion du ligament calcanéonaviculaire plantaire (« *spring ligament* ») ou encore une laxité sagittale d'une articulation de l'arche médiale (naviculocunéenne ou cunéométatarsienne), peut être notée.

Sur le plan tendineux, il est certain que la rétraction du tendon d'Achille ou des gastrocnémiens occasionne et/ou pérennise non seulement le valgus compensatoire de l'arrière-pied, mais aussi une hyperpression sur le médio-pied avec en conséquence une distension progressive plantaire et médiale des articulations du médio-pied. Le tendon tibial postérieur est souvent lésé, mais est-ce la cause ou la conséquence du pied plat ? Le rôle du long fléchisseur de l'hallux, qui solidarise le processus postérieur du talus au calcaneus en soutenant la petite apophyse du calcaneus, est aussi à envisager.

Sur le plan fonctionnel, le pied plat se caractérise par un défaut de verrouillage du pied au cours

[1] Université Paris-Descartes, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Polyclinique de Bordeaux-Tondu, 151, rue du Tondu, 33000 Bordeaux.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

du déroulement du pas par déficit d'inversion, bien analysé en baropodométrie dynamique [3], ou lors du test d'appui sur la pointe des pieds, surtout en monopodal.

Son architecture est caractérisée par deux éléments. D'une part, il existe un dévrillage de l'hélice du BCP, avec une supination de l'avant-pied et une pronation de l'arrière-pied. D'autre part, une rotation médiale de l'UTTF au-dessus du BCP correspond à une abduction-pronation de ce dernier.

Histoire naturelle

Elle se fait souvent vers la correction partielle ou complète de la déformation entre les âges de 7 et 13 ans [4,5]. Les études des empreintes plantaires et des radiographies révèlent une modification de l'arche médiale au cours de la première décennie de la vie [6]. Ainsi apparaît une diminution de l'angle de Méary se poursuivant jusqu'à l'âge de 8 ans. Cette observation remet en cause l'intérêt des traitements orthopédiques de type orthèses plantaires ou chaussures orthopédiques. D'ailleurs, le développement de l'arche médiale est indépendant de l'utilisation d'orthèse plantaire ou de chaussures correctrices, puisque des études réalisées dans des pays où les enfants ne sont pas chaussés révèlent la même évolution [7]. Il a même été suggéré que les chaussures altèrent la qualité du développement de l'arche médiale. Ainsi, il n'y a aucune indication dans le PPVI à prescrire des chaussures particulières ou une orthèse.

Le pied plat valgus fréquent chez l'enfant se retrouve avec une fréquence de 23 % chez l'adulte pour Harris et Beath [8]. La déformation est plus fréquente dans certaines ethnies, sans être toutefois pathologique. Selon Méary [9], 65 % des pieds plats se corrigent spontanément, tandis que 30 % restent plats asymptomatiques et 5 % seulement deviennent pathologiques. Harris et Beath [8] suggèrent que c'est la brièveté du triceps qui serait responsable de l'apparition des troubles fonctionnels et de la décompensation des pieds plats à l'âge adulte.

Signes fonctionnels

Ils apparaissent rarement avant l'âge de 8 ans et se caractérisent chez l'enfant par deux éléments : une douleur à la face médioplantaire de l'articulation transverse du tarse en regard de la tête du talus, et une perturbation de la marche et/ou du chaussage du fait de l'importance de l'abductus.

Chez le grand enfant ou l'adulte, la douleur siège le plus souvent sur le bord médial de l'arrière-pied ou de la cheville par tendinopathie du tendon tibial postérieur, arthrose talonaviculaire ou lésion ligamentaire du ligament collatéral médial de la cheville. Un œdème est souvent associé en pré- et sous-malléolaire médial. Il s'y associe parfois, du côté latéral, des douleurs du fait d'un conflit calcanéocuboïdien en cas d'abduction ou calcanéofibulaire pouvant aller jusqu'à la fracture de fatigue de la malléole latérale en cas de valgus majeur. On peut aussi rencontrer des douleurs du sinus du tarse avec contracture des tendons fibulaires. Le score VTT (vitesse tout-terrain), qui est un indice fonctionnel de performance du pied [10], prend en compte le périmètre de marche, la vitesse et la possibilité de marche en terrain instable.

Examen clinique

Examen dynamique

La marche permet d'apprécier l'importance des différentes composantes de la déformation en charge. Les différentes manœuvres dynamiques permettent d'évaluer la réductibilité de la déformation et la qualité de l'activité des différents muscles. La marche sur la pointe des pieds révèle une amplitude de flexion dorsale de l'hallux satisfaisante et la réductibilité de l'effondrement de l'arche médiale qui creuse lors de la phase de levée du talon. La marche sur les talons s'accompagne d'une diminution du valgus. La possibilité d'imprimer un varus actif de l'arrière-pied est synonyme d'un bon contrôle moteur et d'une réductibilité importante de la déformation.

L'analyse de la marche peut se faire soit avec une analyse vidéo au ralenti, soit avec la baropodométrie dynamique. L'analyse vidéo dans le plan frontal peut montrer une boiterie en cas de douleur ou de pied plat unilatéral du fait du raccourcissement dû à l'affaissement du pied. L'analyse du mouvement des épaules et du bassin permet de comprendre les conséquences sur la statique globale. L'analyse centrée sur le pied permet de différencier le valgus précoce de l'appui talonnier du valgus plus tardif, n'apparaissant qu'à l'appui plantigrade lié à une supination de l'avant-pied. L'analyse sagittale s'attache à visualiser la flexion dorsale de la cheville, souvent limitée, et la mobilité du genou. L'analyse baropodométrique dynamique distingue deux grands types de pied plat selon la prédominance de l'abduction ou du valgus avec de nombreux intermédiaires [11]. L'étude de la courbe d'index latéromédial montre un appui prédominant sur le bord médial du pied qui apparaît soit durant tout le pas, soit sur une partie : phase initiale si valgus, phase finale si supination ou hypermobilité du 1er rayon [3].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Examen statique debout

La déformation clinique est caractérisée par trois composantes :

• *l'effondrement* constant, plus ou moins marqué, de la *colonne médiale* qui est au contact du sol avec disparition de la cambrure médiale. Un appui excessif sur la peau médioplantaire peut entraîner une rougeur et parfois une callosité. L'examen de la colonne latérale est important, et révèle le plus souvent un affaissement. Cependant, il peut exister un creux du bord latéral du pied qui ne repose pas au sol : il s'agit du pied « plat-creux » ;

• *le valgus de l'arrière-pied* est plus ou moins marqué, pouvant aller jusqu'à une translation latérale du pied ;

• *l'abductus* est secondaire à la rotation médiale de l'UTTF au-dessus du BCP (le bord latéral est rectiligne). Il peut aussi s'agir d'une abduction de l'articulation transverse du tarse caractérisée par une concavité du bord latéral du pied. L'abductus est souvent mixte.

Inspection (figure 1)

De face, elle cherche à visualiser l'abduction de l'avant-pied et un hallux valgus souvent associé.

La vue postérieure permet d'évaluer le valgus de l'arrière-pied et de mesurer l'abduction du médio-pied par le *« too many toes sign »*, qui consiste à compter le nombre d'orteils visibles de l'arrière. La vue de profil médial montre l'importance de l'affaissement et le siège de la cassure.

Il est important de mesurer les axes des membres inférieurs, une désaxation du genou pouvant modifier les



Figure 1. Les déformations du pied plat valgus en charge.
a. Affaissement de l'arche médiale (face médiale). **b.** Valgus de l'arrière-pied (vue postérieure). **c,d.** Abduction de l'avant-pied (vue de face en charge et plante en décharge).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

conséquences du valgus de l'arrière-pied. L'évaluation clinique (voir le chapitre « Examen clinique », page 31) de la torsion fémorale mais surtout des deux os de la jambe complète l'analyse de l'abductus du pied.

Tests cliniques de réductibilité

Plusieurs tests permettent d'évaluer la réductibilité d'un pied plat valgus en charge.

• *La manœuvre de rotation latérale de la jambe* applique à l'UTTF une abduction et une flexion dorsale au-dessus du BCP, induisant une disparition du valgus talonnier et de l'abductus ainsi que la réapparition d'une cambrure médiale.

• Ce test peut être réalisé en passif ou en actif.

• *Le test d'élévation du 1er métatarsien (test d'Hinterman)* consiste à corriger le valgus de l'arrière-pied au sol et à analyser la réductibilité ou non de la supination de l'avant-pied. Si la tête du 1er métatarsien ne touche pas le sol, la supination de l'avant-pied est fixée.

• *L'hyperextension passive du gros orteil (test de Jack)* entraîne les mêmes phénomènes de correction du valgus de l'arrière-pied par augmentation de la cambrure de l'arche médiale (enroulement de l'aponévrose plantaire sous les têtes métatarsiennes). Il nécessite une bonne mobilité de la 1re articulation métatarsophalangienne.

• *Le test de mise sur la pointe des pieds* (figure 2) évalue la possibilité d'inversion active du pied qui fait intervenir la possibilité de verrouillage du BCP et la fonction du tendon tibial postérieur. Si le pied reste en éversion en pointe des pieds bipodale, il existe soit une raideur de l'articulation sous-talienne avec arthrose, synostose ou déficit neurologique, soit une hypermobilité sous-talienne avec ou sans déficit du tendon tibial postérieur. Si l'appui sur la pointe bipodal est normal en inversion mais en éversion en appui monopodal, il s'agit d'un déficit du tendon tibial postérieur sur pied plat réductible ou d'une lésion du ligament calcanéonaviculaire plantaire [12]. Une douleur sur l'insertion du tendon tibial postérieur à la manœuvre de pointe des pieds monopodale répétée 8 fois traduit une tendinite du tendon tibial postérieur.

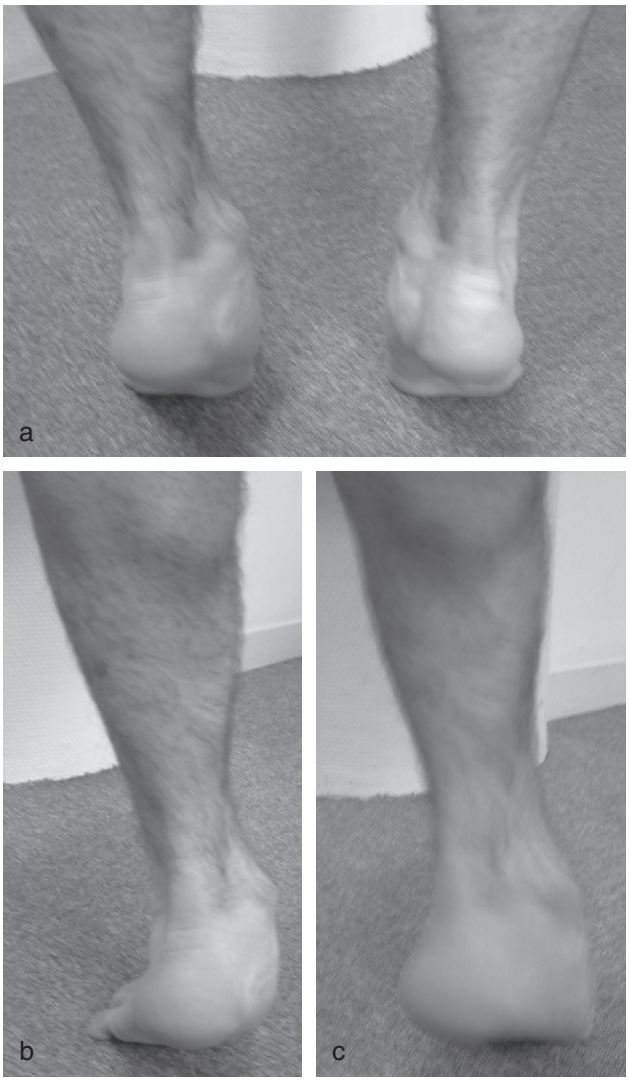


Figure 2. Test de mise sur la pointe des pieds (analyse de la fonction du tendon tibial postérieur et du ligament calcanéonaviculaire plantaire).
a. Test bipodal : analyse la fonction du complexe articulaire sous-talien entre BCP et UTTF. b. Test monopodal du côté pathologique (lésion du tendon tibial postérieur à gauche). c. Test monopodal du côté sain (pied droit).

Examen en décubitus dorsal

• En premier lieu, il importe de visualiser la plante du pied *après correction du valgus* de l'arrière-pied :

– s'il existe une supination de l'avant-pied, il est nécessaire de juger de la réductibilité en pronation du médio-pied par une pression dorsale sur le 1er rayon ;

– s'il existe une abduction de l'avant-pied, la réductibilité sera jugée en adduction passive de l'articulation de Chopart ;

– s'il existe une hypermobilité du 1er rayon, on note parfois un durillon sous la tête du 2e métatarsien et sous la 1re phalange de l'hallux par le metatarsus elevatus.

La mobilisation passive du 1er rayon maintenu entre deux doigts comparativement aux rayons latéraux maintenus par l'autre main permet de préciser le diagnostic lorsque le déplacement dorsoplantaire est supérieur à 8 mm.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

• L'examen articulaire recherche soit une laxité, soit une hypermobilité au niveau de l'articulation tibiotarsienne en valgus passif, de l'articulation talonaviculaire en abduction passive ou de l'arche médiale en flexion plantaire et dorsale du 1er rayon. Il faut tenir compte de la brièveté tendinomusculaire du soléaire et/ou des gastrocnémiens ou des tendons fibulaires, qui peut limiter la mobilisation articulaire à ces différents niveaux lorsque la cheville est en flexion dorsale ; en revanche, la flexion plantaire de la cheville permet de constater la récupération de la mobilité articulaire, ce qui permet de différencier une brièveté tendinomusculaire d'une raideur articulaire (arthrose ou synostose).
• La flexion dorsale de cheville s'évalue en correction passive du valgus de l'arrière-pied et genou en extension, puis en flexion à la recherche d'une rétraction des gastrocnémiens.
• Le testing musculaire (voir le chapitre « Testing moteur », page 41) cherche soit un déficit par distension ou rupture tendineuse, soit un déficit neurologique, soit une douleur contre résistance évoquant une tendinite. Le tendon tibial postérieur se teste en inversion contre résistance à partir d'une position en éversion et flexion plantaire. Il ne faut pas oublier de tester les tendons fléchisseurs des orteils, les fibulaires et le tibial antérieur.

Au terme de cet examen clinique, le diagnostic de PPVI est défini, précisant le siège des atteintes articulaires et tendineuses et son évolutivité.

Examens complémentaires

Le PPVI se définit par un affaissement de l'arche médiale en charge : il est donc essentiel de le définir par une imagerie en charge. Aujourd'hui, seule la radiographie permet de préciser la morphologie à l'appui, mais il faut être vigilant sur la position du pied en charge : un profil jambe en rotation latérale donne une image instantanée d'un pied corrigé. Il est indispensable de bien poser le pied sur l'arche médiale pour connaître la réalité de l'affaissement. Les radiographies font donc l'objet d'une analyse critique et la corrélation à l'examen clinique est fondamentale (voir le chapitre « Radiologie et imagerie », page 47).

Radiographies standard

Des radiographies ne sont demandées que si la déformation est importante, dans le cadre d'un bilan préthérapeutique.

Trois incidences en charge (figure 3) permettent une analyse tridimensionnelle de la déformation (voir le chapitre « Radiologie et imagerie », page 47 et suivantes). Une arthrose du médio-pied, de l'arrière-pied ou de la cheville peut être visualisée.

Incidence de profil

Elle montre :
• l'horizontalisation du 1er métatarsien avec talus oblique descendant, définissant un angle de Méary obtus vers la plante ;
• le siège de la déformation (apex du plat) qui, dans ce plan, peut être articulaire (talonaviculaire et/ou cunéonaviculaire), avec ou sans déformation structurale en coin à base plantaire du naviculaire et/ou des os cunéiformes ;
• l'angle entre le calcaneus et le 5e métatarsien caractérisant la colonne latérale qui, nous le verrons, est un élément clé des indications chirurgicales ;
• l'incidence du calcaneus par rapport au sol ou pente calcanéenne (dont la diminution peut être due soit à un équin tibiotarsien, soit à un effondrement de l'arche latérale, soit à un morphotype) ;
• l'apex de la déformation, qui peut être articulaire (talonaviculaire, cunéonaviculaire ou cunéométatarsien) ou osseux (naviculaire ou cunéiforme). Chez l'adulte, une laxité articulaire se traduit par un bâillement plantaire ou un pincement dorsal en cas d'évolution arthrosique.

Incidence dorsoplantaire

Elle permet de préciser le siège de l'abduction :
• abduction sous-talienne caractérisée par une augmentation de la divergence talocalcanéenne ;
• abduction médiotarsienne avec un angle calcaneus/5e métatarsien obtus en dedans ;
• abduction mixte à la fois médiotarsienne et sous-talienne ;
• le déplacement latéral du naviculaire par rapport à la tête du talus, inhérent à l'abduction sous-talienne ou médiotarsienne (double appartenance de l'articulation talonaviculaire), dont les caractéristiques radiologiques sont précisées dans le chapitre relatif à la radiologie du pied ;
• la brièveté de la colonne latérale par rapport à la colonne médiale, qui est un élément déterminant pour la prise en charge future.

Incidence de la cheville de face et cerclée de Méary

• Elle quantifie le valgus de l'arrière-pied (angle normal entre 4 et 8°).
• Elle recherche un valgus tibiotarsien caractérisé par la cunéiformisation à base médiale de l'épiphyse tibiale et une orientation en haut et en dehors de l'interligne talocrural. Une ascension de la physe fibulaire distale (située normalement au niveau de l'articulation talocrurale) est en principe un élément évocateur, mais de façon moins spécifique.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 3. Les trois incidences radiologiques en charge.
a. Face dorsoplantaire (abduction). b. Profil (affaissement de l'arche médiale). c. Incidence cerclée de Méary (valgus).

• Elle recherche une laxité médiale de l'articulation tibiotarsienne avec parfois une arthrose latérale, une dysmorphie osseuse souvent post-traumatique lors de la période de croissance, une fracture de la malléole latérale par conflit.

Radiographies spéciales

Des clichés en stress soit en valgus forcé de l'articulation tibiotarsienne, soit en abduction-adduction pour l'articulation de Chopart, soit en flexion plantaire-flexion dorsale pour l'arche médiale permettent de dépister les zones d'hypermobilité, de laxité articulaire et de réductibilité des différentes composantes de la déformation.

Autres examens d'imagerie

• *L'échographie* permet de visualiser la qualité du tendon tibial postérieur et des structures ligamentaires médiales [13]. Des tests de mobilisation passive articulaire peuvent mettre en évidence une laxité articulaire. Cet examen est non irradiant et peu onéreux. Cependant, la qualité des renseignements fournis dépend de l'expérience de l'opérateur.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

• *L'imagerie par résonance magnétique (IRM)* est le meilleur examen pour visualiser les lésions du tendon tibial postérieur et du ligament calcanéonaviculaire. Plusieurs classifications des lésions tendineuses ont été décrites [14-16] et permettent de distinguer les avulsions à l'insertion, les ruptures capsulaires ou intratendineuses, les fissurations, les élongations en continuité et les ténosynovites ou les épaississements. Les limites de l'analyse du tendon doivent être connues, car la qualité du tendon évaluée au cours de l'intervention n'est pas toujours corrélée à l'IRM préopératoire.
• *La tomodensitométrie* permet d'étudier les particularités de l'articulation sous-talienne, ce qui est utile avant une ostéotomie du calcaneus [17]. Par ailleurs, cet examen est indiqué en cas d'atypie clinique comme une raideur et peut alors révéler une synostose ou une évolution arthrosique du pied plat.

Synthèse diagnostique

• *Le PPVI* est une déformation acquise pendant l'enfance (PPVI juvénile) souvent associée à une brièveté ou à une rétraction du tendon d'Achille ou des gastrocnémiens, pouvant évoluer soit vers une résolution spontanée, soit vers l'aggravation.
• *Le pied plat trophostatique* de la femme obèse postménopausique est une entité de PPVI caractérisée par une dysfonction du tibial postérieur d'origine dégénérative. Il existe plusieurs stades, décrits par Johnson et Ström [18] :
– stade 1 : ténosynovite du tibial postérieur avec pas ou peu de déformation ;
– stade 2 : pied plat réductible avec étirement ou prérupture tendineuse ;
– stade 3 : déformation sévère avec pied plat fixé.
Myerson et al. [19] ont décrit un 4e stade lorsqu'il existe une atteinte de la tibiotarsienne (laxité ou arthrose).

Bluman et al. [20] ont affiné cette classification en distinguant trois sous-catégories morphologiques dans le stade 2 : le stade IIA avec un valgus prédominant de l'arrière-pied lié à une supination souple (IIA1) ou fixée de l'avant-pied (IIA2), le stade IIB avec une abduction de l'avant-pied et le IIC avec une hypermobilité du 1er rayon. Cette classification a l'intérêt de préciser deux points essentiels avant d'envisager la thérapeutique : la réductibilité ou non du PPVI et le siège de la ou des lésions ostéoarticulaires.
• Par définition, le *PPVI* ne s'accompagne d'aucune autre anomalie clinique. Devant un pied plat valgus, l'élimination de certains diagnostics différentiels est indispensable avant de parler de pied plat valgus. Une raideur peut être secondaire à une synostose talocalcanéenne, mais est inconstante en cas de synostose calcanéonaviculaire. Une hyperlaxité constitutionnelle (syndrome de Marfan ou d'Ehlers-Danlos) favorise le développement d'un pied plat. Des pathologies neurologiques sont de grandes pourvoyeuses de pied plat valgus. L'apparition d'un pied plat est une modalité évolutive fréquente du pied rhumatoïde et non exceptionnelle du pied de Charcot du diabétique. Enfin, des traumatismes osseux (cal vicieux du tibia, tassement de la grande apophyse du calcaneus), articulaires (arthrose valgisante sous-talienne ou tibiotarsienne), ligamentaires (laxité médiale de cheville, rupture du ligament calcanéonaviculaire plantaire) ou tendineux (rupture du tendon tibial postérieur) peuvent générer un pied plat valgus.

Traitement conservateur

Même si l'efficacité de ce traitement sur la correction de la déformation est contestée, il garde un intérêt pour soulager le patient. Comme tout traitement orthopédique, il associe un rééquilibrage musculaire à un maintien postural par des chaussures et orthèses plantaires.

Rééducation

La rééducation consiste à étirer les structures rétractées telles que les gastrocnémiens, le tendon d'Achille ou les tendons fibulaires, et à renforcer l'inversion active, le tendon tibial postérieur n'étant pas le seul à participer à ce mouvement. Le renforcement des fléchisseurs des orteils ne doit pas être négligé, car ils sont souvent étirés par l'abduction de l'avant-pied. Cependant, aucune étude scientifique ne vient étayer l'efficacité de ces méthodes (voir le chapitre « Morphotypes», page 57).

Sur le plan technique, l'étirement du triceps sural se fait par une flexion dorsale de la cheville, pied en inversion avec genou tendu en charge et en décharge (autorééducation ou conseils par les parents chez l'enfant). Le renforcement du tendon tibial postérieur est réalisé en marchant sur la pointe des pieds en varus et en adduction.

Orthèses plantaires et chaussures

• Chez l'enfant avec signes fonctionnels, il existe des mesures à visée symptomatique sans effet sur la morphologie du pied : les chaussures du commerce avec surélévation de la voûte plantaire (chaussures de jogging) et, dans les formes plus sévères, des coques moulées en résine antivalgus à insérer dans des chaussures du commerce, les orthèses diurnes ou les chaussures sur mesure. Cependant, il n'existe aucun support scientifique de leur efficacité, et une étude a même montré leur inefficacité à rétablir une morphologie correcte [21].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

• Chez l'adulte, il convient de distinguer les orthèses dynamiques qui cherchent à corriger une déformation souple avec un coin supinateur postérieur des orthèses statiques de confort avec une voûte de soutien médial, souvent thermomoulées et plus ou moins rigides selon la tolérance. Le volume de certaines voûtes nécessite une pointure de chaussure plus grande. La chaussure doit tenir l'arrière-pied avec un cambrion postérieur rigide pour que le pied ne glisse pas sur la semelle. La présence d'un talon de 2–3 cm est préférable pour éviter de tirer sur le tendon d'Achille, ce qui valgise l'arrière-pied. Dans les déformations plus sévères, on utilise des maintiens thermomoulés sur mesure qui remontent au-dessus de la cheville (Arizona Brace™, DAFO [Dynamic anklefoot orthosis] des Anglo-Saxons). Enfin, dans les tendinopathies hyperalgiques du tendon tibial postérieur, l'immobilisation par une botte en résine pendant 15 j à 6 semaines donne souvent une bonne sédation des douleurs, permettant ensuite une reprise de la marche avec les orthèses plantaires sans nécessiter de chirurgie.

Traitement chirurgical

Dans les formes réductibles résistantes au traitement médical, la chirurgie du PPVI peut être envisagée dans le but de corriger la déformation tant sur le plan de l'architecture ostéoarticulaire du pied que sur le plan de l'équilibre tendinomusculaire.

Chirurgie ostéoarticulaire

Il convient de distinguer les ostéotomies des interventions de repositions articulaires. La correction d'un équin avec allongement du tendon d'Achille (à ciel ouvert ou percutané) ou une aponévrotomie des gastrocnémiens est un préalable indispensable à la correction chirurgicale d'un pied plat valgus. Le surmenage du tendon tibial postérieur souvent retrouvé dans le PPVI est contré par la récupération de la congruence talonaviculaire et de l'axe talo-1er métatarsien.

Ostéotomies

Le principe global des ostéotomies est de corriger la brièveté relative de l'arche latérale par rapport à l'arche médiale. Le chirurgien peut avoir recours à un allongement de la colonne latérale, un raccourcissement de la colonne médiale ou une combinaison entre ces deux principes. Une fois l'arrière-pied axé, il importe d'analyser la supination de l'avant-pied qui, si elle n'est pas corrigée, nécessite un geste d'abaissement du 1er rayon.

Ostéotomie d'allongement de la colonne latérale

Ce type d'intervention peut être proposé en l'absence de creux (angle calcaneus-5e métatarsien de profil) ou de rectitude (angle calcaneus-5e métatarsien sur l'incidence dorsoplantaire) de la colonne latérale, car elle générerait respectivement une aggravation du creux latéral ou une convexité du bord latéral.

• *L'ostéotomie d'allongement du calcaneus* a été initialement décrite par Evans [22], puis revisitée par Mosca [23,24]. Elle corrige la dysharmonie de longueur entre les colonnes latérale et médiale en allongeant la colonne latérale, ce qui permet une disparition de toutes les composantes de la déformation. Cette intervention modifie les rapports articulaires au sein du complexe articulaire sous-talien [17], avec adduction/pronation/flexion plantaire du médio-pied et de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied et au varus de l'arrière-pied. Une sphéricité congruente de l'articulation talonaviculaire est requise (figures 4 et 5). Le tendon court fibulaire est allongé en Z. L'abord extrapériosté du calcaneus prévient la fragilisation des berges de l'ostéotomie. L'ostéotomie calcanéenne d'ouverture et d'allongement est réalisée entre les surfaces articulaires sous-taliennes antérieure et moyenne (soit 10 à 15 mm) en proximal de l'articulation calcanéocuboïdienne, parallèlement à l'articulation. Il ne faut pas sectionner les ligaments dorsaux et plantaires de l'articulation calcanéocuboïdienne sous peine de subluxation secondaire. L'ouverture de l'ostéotomie permet de juger de la taille de greffon souhaitable en évitant de mettre un greffon trop large, sous peine de créer une convexité du bord latéral. Un greffon iliaque tricortical trapézoïdal, ou idéalement de l'os de banque préparé de façon adaptée, est introduit pour maintenir la correction obtenue. L'allongement peut être réalisé après brochage longitudinal calcanéocuboïdien afin de prévenir une subluxation dorsale talonaviculaire ou une ascension du fragment calcanéen distal par rapport au fragment proximal. L'ostéosynthèse, qui peut se faire avec une vis oblique de la partie distale de la grande apophyse du calcaneus vers le sustentaculum tali ou avec une plaque latérale, n'est pas toujours obligatoire devant le bon maintien par la compression dans l'ostéotomie, surtout chez l'enfant. Chez la personne âgée, la compression d'un greffon ostéoporotique peut entraîner une perte de correction et justifie une ostéosynthèse rigide.

Une fois obtenue la correction de l'abduction et du valgus, une correction incomplète de la supination de l'avant-pied peut nécessiter une ostéotomie de fermeture plantaire des os cunéiformes médial et

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

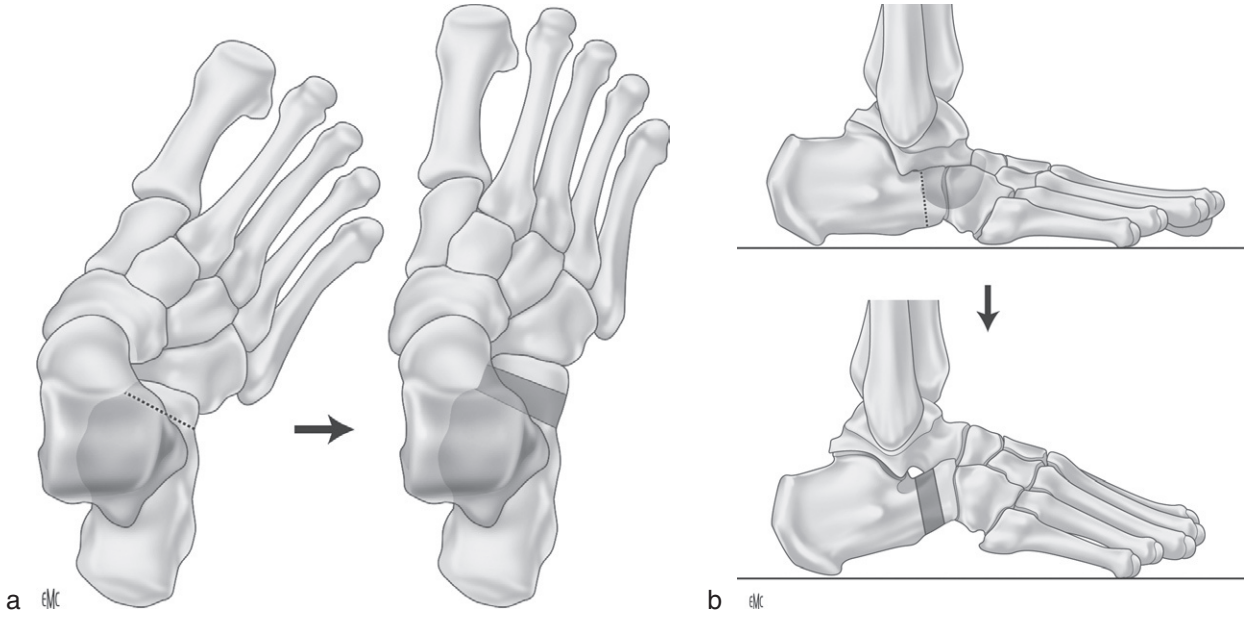


Figure 4. Schémas de l'effet de l'ostéotomie d'allongement du calcaneus. a. De face. b. De profil.
D'après Wicart P, Seringe R. Ostéotomies du tarse. Encycl Méd Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Techniques chirurgicales, Orthopédie-Traumatologie, 44–920, 2010.

intermédiaire (figure 6). Une capsulorraphie talonaviculaire médiale avec remise en tension du tendon du tibial postérieur avec ou sans brochage de la colonne médiale a pour objectif de prévenir une récidive. Les bons résultats rapportés à moyen terme peuvent être grevés par une limitation de la mobilité sous-talienne ou une arthrose calcanéocuboïdienne du fait de l'hyperpression induite au niveau de cette articulation par l'allongement de la colonne latérale. Certains auteurs préfèrent réaliser l'allongement dans l'articulation calcanéocuboïdienne pour éviter une évolution arthrosique par hyperpression, avec cependant un risque non négligeable de pseudarthrose de cette arthrodèse calcanéocuboïdienne d'allongement. Chez l'adulte, le greffon représente le point faible de cette technique, car il peut être tassé avec perte de correction, expulsé heureusement le plus souvent vers le sinus du tarse avec creusement de l'arche latérale et un effet Grice souvent bénéfique, ou peut évoluer vers une pseudarthrose douloureuse. Le nerf sural peut être lésé dans cette technique.

• *L'ostéotomie d'ouverture du cuboïde* [25] est une alternative, cependant plus rarement proposée.

Ostéotomies de raccourcissement de la colonne médiale

Elles sont indiquées en cas de creux latéral (angle calcaneus-5e métatarsien de profil) ou de rectitude du bord latéral du pied (angle calcaneus-5e métatarsien sur l'incidence dorsoplantaire) et consistent à réaliser une ostéotomie de fermeture plantaire ou médiale corrigeant respectivement le plat/supination de l'avant-pied et l'abductus. La topographie de cette chirurgie peut être le *cunéiforme médial* [23-25], *les trois os cunéiformes* ou les *articulations naviculocunéiformes* avec arthrodèse de ces articulations. Les ostéotomies d'allongement de la colonne latérale et de raccourcissement médial ou d'abaissement de l'arche médiale peuvent être combinées, le greffon osseux issu du raccourcissement médial peut être introduit dans l'allongement latéral.

Ostéotomies d'abaissement de l'arche médiale

Elles sont indiquées pour corriger la supination irréductible de l'avant-pied.

De nombreuses techniques sont décrites dans la littérature :

• *les ostéotomies du col du talus* peuvent paraître logiques devant une déformation de la tête du talus comparable aux déformations de la tête du 1er métatarsien dans l'hallux valgus juvénile ; cependant, elles exposent à un risque de nécrose osseuse qui les ont fait récuser par la plupart des auteurs ;

• *les ostéotomies de soustraction plantaire et médiale de l'os naviculaire* permettent une bonne correction de

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

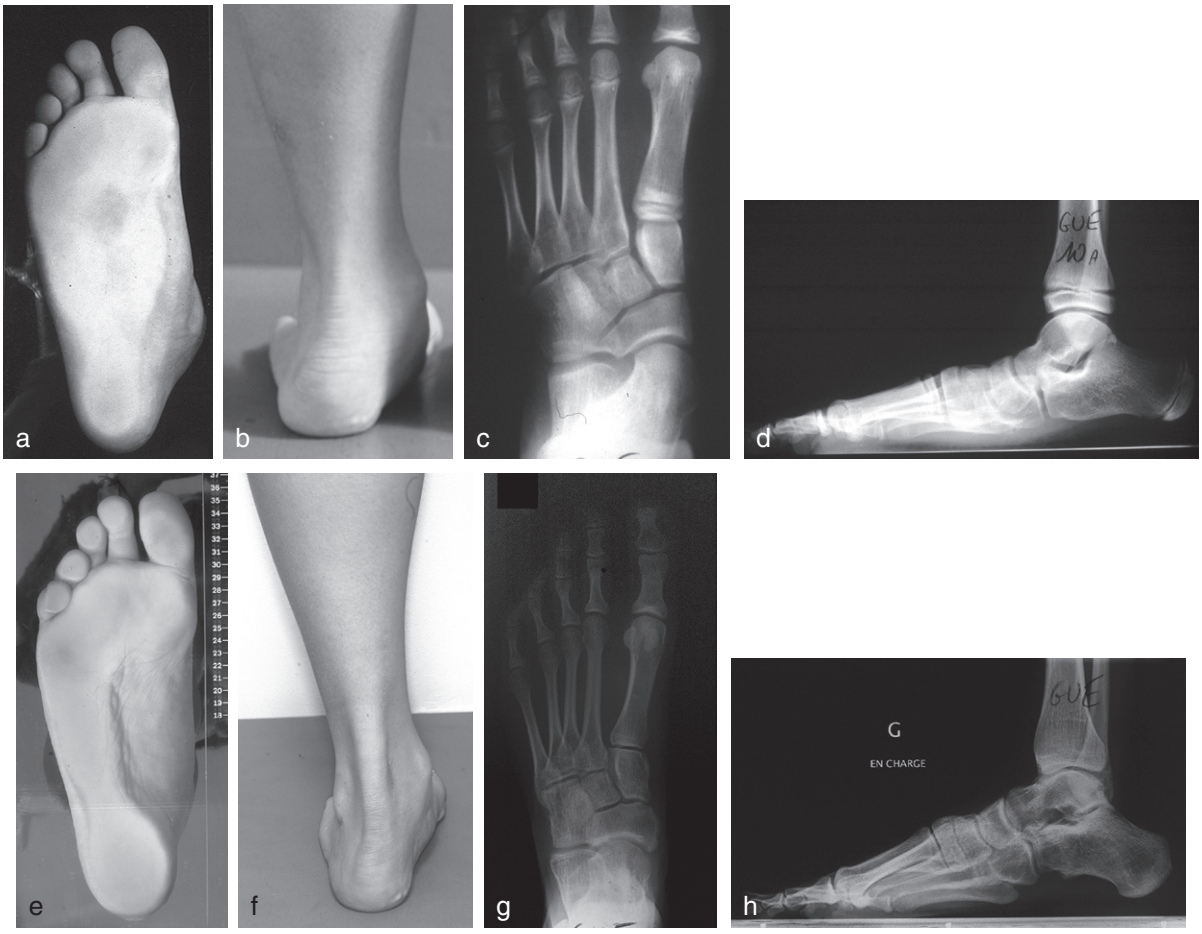


Figure 5. Résultat du traitement chirurgical du pied plat valgus idiopathique avec ostéotomie d'allongement du calcaneus chez une fille âgée de 10 ans.
a,b. Aspect clinique préopératoire : effondrement de l'arche médiale et valgus excessif du talon. **c.** Radiographie préopératoire (incidence dorsoplantaire) : noter la subluxation latérale de l'articulation talonaviculaire (secondaire à une abduction du BCP sous l'UTTF caractérisée par une augmentation de la divergence talocalcanéenne, alors que le caractère rectiligne du bord latéral calcaneus-5e métatarsien réfute une origine dans l'articulation transverse du tarse). **d.** Radiographie préopératoire (incidence de profil) : rupture de la ligne de Méary confirmant le plat de la colonne médiale, qui est réparti dans l'articulation talonaviculaire (+), dans l'os naviculaire (+), dans l'articulation naviculocunéenne (+++) et dans l'os cunéiforme médial (+). **e,f,g,h.** Aspects cliniques et radiographies en fin de croissance : noter la correction des différents défauts cités précédemment.

l'affaissement de l'arche médiale, au prix d'un risque non négligeable de nécrose osseuse, et sont par conséquent déconseillées ;

- *les ostéotomies du cunéiforme médial de soustraction plantaire ou d'addition dorsale* [26], en plus de l'abaissement du 1er métatarsien, stabilisent une articulation cunéiforme médial-1er métatarsien hypermobile ;
- *les ostéotomies basales d'addition dorsale du 1er métatarsien* avec un trait oblique à 60° conservant une charnière plantaire permettent aussi de restituer une cambrure de l'arche médiale en cas de supination irréductible isolée.

En cas d'hypermobilité ou d'arthrose, l'abaissement est réalisé au moyen d'une arthrodèse d'une ou plusieurs articulations de l'arche médiale.

Autres ostéotomies

L'ostéotomie de translation médiale ou de médialisation de la tubérosité du calcaneus [24] corrige le valgus du talon, mais n'a pas ou peu d'effet sur les autres composantes de la déformation (figure 7). Cette ostéotomie repositionne l'insertion du tendon d'Achille et de l'aponévrose plantaire par rapport à l'axe du BCP (axe de Henké), et restitue un axe correct de l'arrière-pied en corrigeant le valgus, diminuant ainsi l'étirement du ligament collatéral médial de la cheville pendant la phase d'appui talonnier. Cette translation médiale induit une rotation latérale du pied et doit être systématiquement associée à un geste de remise en

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 6. Ostéotomie d'allongement du calcaneus complétée avec un allongement percutané d'Achille, une ostéotomie de fermeture plantaire des os cunéiformes médial et intermédiaire et un vissage malléolaire médial.
a. Incidence dorsoplantaire : noter l'importance de la subluxation latérale de l'articulation talonaviculaire (d'origine mixte avec une abduction du BCP sous l'UTTF caractérisée par une augmentation de la divergence talocalcanéenne, et une abduction dans l'articulation transverse du tarse avec concavité latérale de l'angle calcaneus-5e métatarsien). b. Incidence de profil : le plat de la colonne médiale est réparti dans l'articulation talonaviculaire (+++), dans l'os naviculaire (++), dans l'articulation naviculocunéenne (+) et dans l'os cunéiforme médial (+). c. Incidence de Méary : valgus tibiotalien important avec cunéiformisation de l'épiphyse tibiale distale et ascension modérée de la physe fibulaire distale (qui est située normalement au niveau de l'interligne de la cheville. d,e. Radiographies postopératoires révélant une très bonne correction de la déformation.

tension ou de réparation du tendon tibial postérieur. Sur le plan technique, le patient est en décubitus dorsal avec un garrot pneumatique à la cuisse, un coussin sous la fesse homolatérale et les pieds en bout de table. L'incision est oblique à 45° sur le versant latéral du talon, puis l'ostéotomie est réalisée dans le corps du calcaneus selon la direction de l'incision cutanée écartée par deux écarteurs de Hohmann. Il faut s'assurer que la coupe est complète du côté médial de manière à avoir une translation facile. La translation est maintenue par un écarteur de Hohmann piqué dans l'os spongieux du fragment proximal le temps de l'ostéosynthèse par une ou deux vis placées à partir du talon. Le contrôle des vis nécessite un cliché de profil et un cliché rétrotibial peropératoire. Parmi les complications, si les pseudarthroses sont très rares, les défauts de correction et les lésions des nerfs sural ou plantaire médial sont plus classiques. Son indication dans cette pathologie est exceptionnelle chez l'enfant, mais reste une procédure usuelle chez l'adulte.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

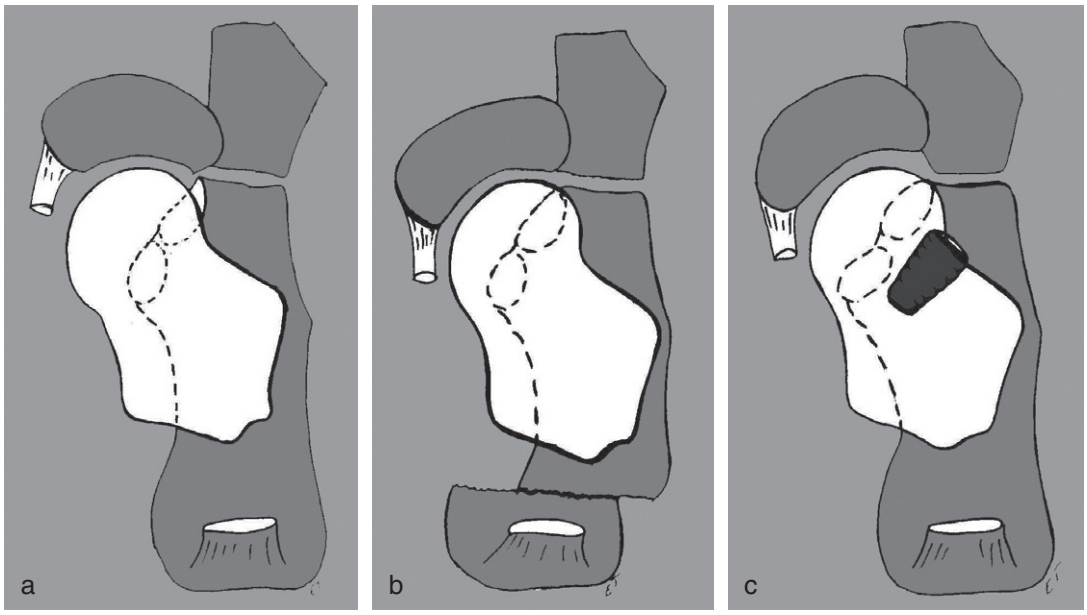


Figure 7. Schémas (vues dorsoplantaires) de la correction d'un pied plat valgus idiopathique réductible.
a. PPVI. b. Ostéotomie de translation médiale de la tubérosité du calcaneus associée à une remise en tension du tendon tibial postérieur. c. Arthrorise (endoprothèse du sinus du tarse) stabilisant le repositionnement du talus sur le calcaneus.

D'autres ostéotomies plus complexes ont été décrites : *l'ostéotomie scarf du calcaneus* décrite par Malerba [27] et reprise par Weil [28] combine la translation médiale et l'allongement du bord latéral du calcaneus.

D'autre part, certains auteurs [29] combinent plusieurs ostéotomies, comme par exemple l'ostéotomie d'Evans avec la translation médiale du calcaneus.

L'association entre un pied plat valgus et un hallux valgus n'est pas exceptionnelle. Chez l'enfant, il est possible de réaliser une épiphysiodèse latérale du premier métatarsien pour corriger un metatarsus varus avec hallux valgus. Chez l'adulte, une ostéotomie Scarf ou une ostéotomie basale abaissante permet de corriger la déformation dans les deux plans.

Techniques de repositionnement du talus sur le calcaneus

Ces interventions consistent à repositionner le BCP sous l'UTTF. Le rechaussement du talus sur le calcaneus permet de restituer des rapports articulaires normaux de l'articulation sous-talienne en diminuant la divergence talocalcanéenne, au prix d'un enraidissement de la sous-talienne.

Il existe plusieurs procédés pour maintenir le rétablissement de rapports corrects entre l'UTTF et le BCP. *L'intervention du cavalier* (figure 8) maintient la correction acquise avec une vis talocalcanéenne [30].

L'intervention de Grice consiste à introduire dans le sinus du tarse un greffon tibial ou fibulaire réalisant une arthrodèse sous-talienne extra-articulaire [31]. Plus récemment, a été utilisé un *implant sous-talien expansible* mis en place par voie mini-invasive dans le sinus du tarse après réduction de la divergence talocalcanéenne [32]. La correction clinique et radiologique de la déformation est le plus souvent spectaculaire (figures 7 et 9). Cette arthrorise a comme avantages sa simplicité et l'absence d'ostéotomie, intéressante chez les enfants et les vieillards. Les pieds plats valgus avec hyperlaxité ligamentaire marquée constituent la meilleure indication. Cependant, la tolérance fonctionnelle peut être altérée parfois sévèrement par une limitation douloureuse de la mobilité sous-talienne. L'ablation de l'implant, initialement prévue 2 ans après la chirurgie, doit être anticipée. Certains auteurs associent l'arthrorise à d'autres techniques : ostéotomie d'allongement du calcaneus, translation médiale du calcaneus, ostéotomie du cunéiforme médial [26], et surtout à des interventions tendineuses de rééquilibration.

Correction d'un valgus tibiotalien

L'existence d'un valgus tibiotarsien, objectivé sur la radiographie de cheville en incidence de Méary (rare en cas de PPVI), peut justifier la réalisation d'un blocage temporaire de la croissance de la malléole

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

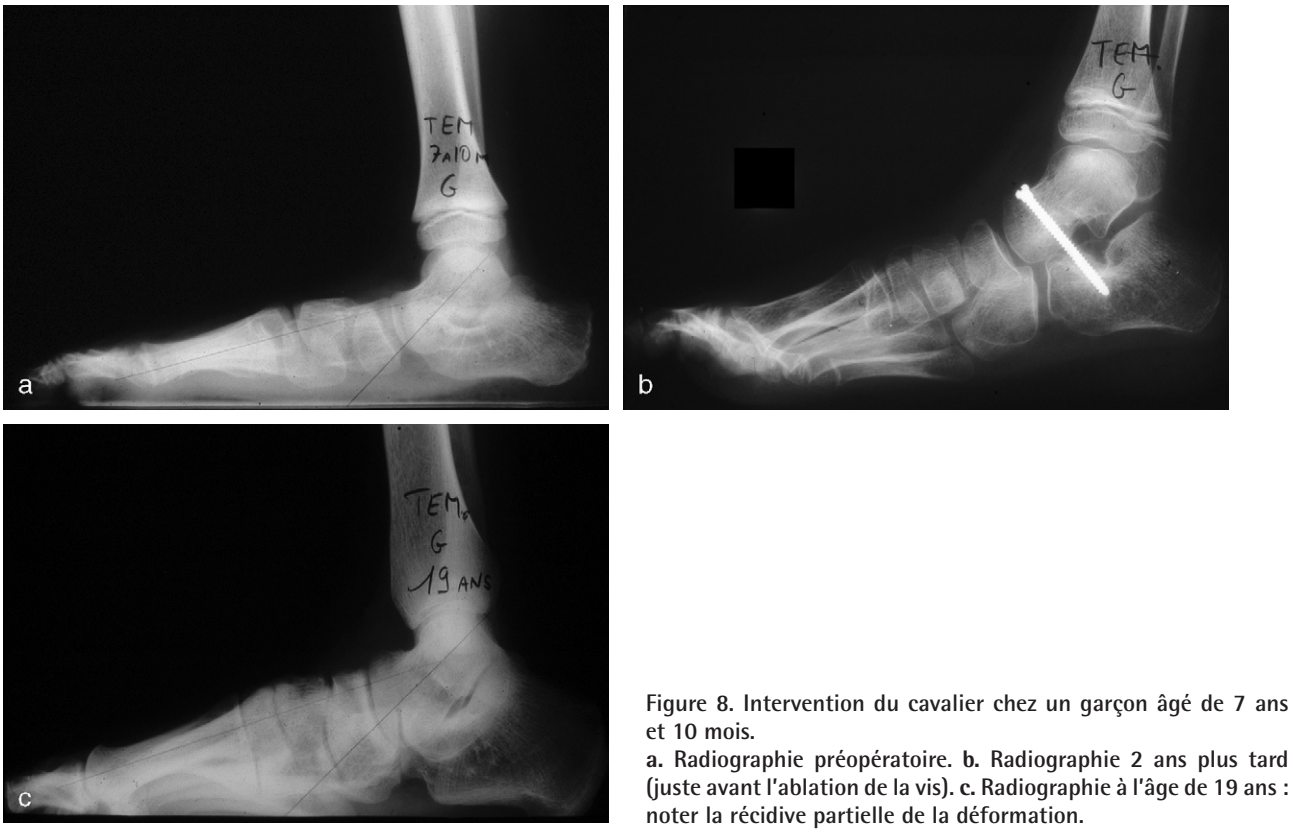


Figure 8. Intervention du cavalier chez un garçon âgé de 7 ans et 10 mois.
a. Radiographie préopératoire. b. Radiographie 2 ans plus tard (juste avant l'ablation de la vis). c. Radiographie à l'âge de 19 ans : noter la récidive partielle de la déformation.

tibiale avec un vissage malléolaire médial (avant l'âge osseux de 10 ans chez la fille et 12 ans chez le garçon) [figure 5d].

Arthrodèses

Chez l'enfant, la triple arthrodèse (sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne) est une solution de rattrapage indiquée de façon exceptionnelle après échec des méthodes précédentes. Elle donne une correction souvent incomplète et la rigidité du pied met à contribution, à long terme, la cheville.

Chez l'adulte, lors d'atteinte arthrosique ou d'hyperlaxité importante, l'arthrodèse doit être envisagée (stades 3 et 4 de Bluman, et parfois 2). Les niveaux d'arthrodèse sont définis par le bilan de chaque articulation : talonaviculaire isolée, calcanéocuboïdienne isolée, sous-talienne isolée, sous-talienne et médiotarsienne. Cependant, une atteinte plus extensive peut nécessiter une arthrodèse tibiotalienne (stade 4B) ou de l'arche médiale : naviculocunéenne ou cunéométatarsienne. L'arthrodèse sous-talienne et médiotarsienne avec éventuellement un effet d'allongement du bord latéral du pied en cas d'abduction de l'avant-pied est indiquée en cas de pied plat arthrosique et raide [33]. Une voie d'abord médiale unique, permettant la réparation du tendon tibial postérieur et l'arthrodèse, diminue le risque de souffrance cutanée.

La difficulté est la correction des axes avant la fixation : la plupart des auteurs recommandent de fixer l'articulation sous-talienne en léger valgus avant de corriger le médio-pied dans une position de neutralité en pronosupination. Staquet et al. [34] retrouvent 67 % de bons résultats dans leur série d'arthrodèses dans des pieds plats, ce qui montre que la prise en charge est parfois incomplète : l'arche médiale doit être analysée en fin d'intervention pour ne pas laisser une hypermobilité du 1er rayon ou une supination fixée de l'avant-pied, l'arrière-pied doit être examiné à la recherche d'une désaxation ou d'une rétraction du tendon d'Achille s'il n'a pas été allongé au préalable.

Au rang des complications figurent la pseudarthrose (de 2 à 20 % selon les séries) et la récidive du pied plat valgus parfois liée à une insuffisance de correction lors de l'arthrodèse. Certains auteurs y associent parfois une ostéotomie de translation médiale du calcaneus. La correction de l'axe de l'arrière-pied n'empêche pas l'évolution arthrosique de la tibiotarsienne à long terme. Une laxité médiale de la tibiotarsienne

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 9. Garçon âgé de 11 ans : arthrorise avec implant sous-talien.
a,b. Radiographies préopératoires : le plat et l'abductus siègent de façon équilibrée dans les différents niveaux décrits en figures 5 et 6. **c,d.** Radiographies après 1 an de recul.

ne doit pas être oubliée. La place de l'arthroplastie de cheville dans les atteintes arthrosiques reste limitée devant des résultats plutôt décevants chez certains auteurs [35]. L'indication de la panarthrodèse est encore souvent la seule solution, au prix d'un sacrifice fonctionnel [35].

Chirurgie des parties molles

Allongement du tendon d'Achille

L'allongement du tendon d'Achille, percutané ou à ciel ouvert, est régulièrement réalisé soit d'emblée, si la flexion dorsale de la cheville n'est pas suffisante lorsque le valgus de l'arrière-pied est corrigé, soit en fin d'intervention, si le geste n'est pas réalisé au début et que la flexion dorsale de cheville reste limitée.

Chirurgie du tendon tibial postérieur

Si le PPVI est secondaire à une insuffisance musculotendineuse tibiale postérieure, le traitement de ce déséquilibre complète le rétablissement d'une architecture correcte du pied au moyen de gestes osseux. Si certains auteurs ne réparent pas le tendon tibial postérieur lorsqu'ils

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

réalisent une ostéotomie d'allongement du calcaneus, la plupart des techniques nécessite une réparation du tendon inverseur le plus souvent pathologique, même lors d'arthrodèse de l'arrière-pied. La réparation isolée du tendon tibial postérieur ne peut se faire que si le tendon est pathologique et s'il n'y a pas de déformation importante en plat-abductus-valgus. Les gestes chirurgicaux possibles sur le tendon tibial postérieur sont soit la *ténosynovectomie* avec éventuellement réparation d'une fissure tendineuse, soit la *remise en tension du tendon* selon Kidner [36], soit *un transfert tendineux* en cas de rupture. Les transferts les plus classiques sont la technique de Cobb [37], qui déroute la moitié du tibial antérieur pour le fixer sur le moignon du tibial postérieur, ou le transfert du long fléchisseur des orteils ou du long fléchisseur de l'hallux, introduit puis fixé dans un orifice confectionné dans l'os naviculaire.

Chirurgie du ligament calcanéonaviculaire plantaire

L'exploration et la réparation du ligament calcanéonaviculaire inférieur sont réalisées dans le même temps. Le rechaussement de la tête du talus par ostéotomie d'allongement du calcaneus ou l'arthrodèse talonaviculaire est certainement la meilleure méthode pour détendre le ligament calcanéonaviculaire, mais certains auteurs ont décrit des réparations par suture simple, plastie au tendon tibial postérieur ou au fibulaire avec des résultats moins probants.

- *La réparation du plan ligamentaire médial* de la cheville reste difficile et heureusement d'indication peu fréquente. Certains utilisent une remise en tension du ligament sur ancre fixée dans la malléole médiale, d'autres un transplant tel que le plantaire [38] ou le long fibulaire [39], ou encore une ostéotomie de raccourcissement de la malléole médiale pour tendre le ligament.
- Dans certains cas, il existe une *laxité latérale de cheville* associée qui peut nécessiter une réparation chirurgicale en tenant compte des incisions préalables.

Soins postopératoires

L'immobilisation varie selon les techniques utilisées : l'arthrorise sans geste tendineux est compatible avec la reprise d'un appui immédiat avec une botte plâtrée ou en résine. La réalisation d'une ostéotomie justifie 2 à 3 mois d'immobilisation avec reprise de l'appui après 30 à 45 j. Après arthrodèse de cheville, 3 mois d'immobilisation au moins sont requis.

Pour limiter l'œdème à l'ablation de l'immobilisation, nous conseillons le port de chaussettes de contention et d'une orthèse stabilisatrice de cheville pendant au moins 1 mois du fait du déséquilibre tendinomusculaire induit par la chirurgie.

Une orthèse plantaire de type coque en résine réalisée après moulage avec un coin postéromédial ou une voûte médiale est prescrite pour 1 an au minimum, en tenant compte du pied opposé, souvent pathologique. Une bonne qualité de chaussage devra être respectée même si l'œdème pose parfois quelques problèmes.

La rééducation s'attache à récupérer la mobilité de la cheville dans un premier temps, mais il faudra attendre une récupération des muscles fibulaires et du tibial postérieur pour réaliser un travail proprioceptif, soit environ 4 mois. La fonction des tendons fléchisseurs des orteils est évaluée car la correction de l'abduction ou de l'hypermobilité du 1er rayon entraîne parfois une détente importante des fléchisseurs et de l'abducteur de l'hallux qui peut justifier une électrostimulation.

Indications

Les indications peuvent être résumées de la façon suivante.

Enfant avant l'âge de 10 ans

Il y a peu d'indications thérapeutiques. Cependant, la réalisation de photographies et de radiographies si la déformation est notable permet d'objectiver une éventuelle aggravation.

Préadolescent et adolescent (10–16 ans)

En cas de signes fonctionnels avec un PPVI sévère, seul le traitement chirurgical a fait la preuve de son efficacité. Cependant, les indications chirurgicales sont rares. L'intervention de choix est l'ostéotomie d'allongement du calcaneus, complétée le cas échéant par une ostéotomie des os cunéiformes et un allongement du tendon d'Achille. En cas d'hyperlaxité, un implant sous-talien peut donner un bon résultat de façon inconstante, et l'enfant et ses parents doivent être informés de son caractère aléatoire. L'existence d'un valgus tibiotarsien objectivé sur la radiographie de cheville avec incidence de Méary peut justifier la réalisation d'un blocage temporaire de la croissance de la malléole tibiale avec vissage si l'âge osseux est compatible.

Chez l'adulte

Le traitement conservateur est indiqué pour les stades I essentiellement, mais aussi parfois aux autres stades

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

lorsqu'il existe une contre-indication chirurgicale. La stratégie chirurgicale tient compte du terrain (âge, obésité, ostéoporose, diabète, troubles vasculaires), de l'étiologie et du type morphologique de pied plat avec son stade évolutif.

• *Dans le stade I,* la place de la chirurgie est limitée à la ténosynovectomie ou à la réparation des fissures tendineuses du tendon tibial postérieur et parfois à la réaxation de l'arrière-pied. *Dans le stade III,* les arthrodèses, surtout sous-talienne et médiotarsienne, restent l'indication de choix. *Dans le stade IV,* les réparations ligamentaires médiales et les prothèses associées à l'arthrodèse sous-talienne et médiotarsienne ne donnent pas toujours les résultats escomptés et l'indication de la panarthrodèse reste un bon compromis.

• *Le stade II* fait l'objet de plus de discussions même si la classification de Bluman a largement contribué à affiner les indications. Celles-ci restent à être évaluées.

– *Le stade IIA* avec valgus prédominant par supination de l'avant-pied est l'indication d'une ostéotomie de translation médiale du calcaneus avec réparation du tendon tibial postérieur et du ligament calcanéonaviculaire plantaire. S'il existe une supination irréductible de l'avant-pied (stade IIA2), un geste d'abaissement du 1er rayon est recommandé.

– *Le stade IIB*, avec une abduction prédominante de l'avant-pied, oriente vers une ostéotomie d'allongement du calcaneus associée à un allongement du tendon d'Achille régulièrement et parfois à une correction de la supination fixée ou de l'hallux valgus.

– *Le stade IIC* avec hypermobilité du 1er rayon nécessite une stabilisation par une arthrodèse de l'arche médiale ou une ostéotomie du cunéiforme médial de Cotton.

L'arthrorise avec implant du sinus du tarse et les arthrodèses de l'arrière-pied conservent aussi une place évidente à ce stade, de même que les associations de techniques.

Conclusion

Il n'y a pas un PPVI, mais des PPVI. Un examen clinique attentif et une analyse radiologique précise et méthodique permettent d'en établir les caractéristiques. Ces déformations, fréquentes chez le jeune enfant, ont une tendance nette à se corriger spontanément en cours de croissance. Cependant, il persiste parfois après l'âge de 10 ans une déformation importante, générant des signes fonctionnels qui iront crescendo avec l'âge. Une indication thérapeutique, le plus souvent chirurgicale, est alors justifiée. Le choix de l'intervention est basé sur l'analyse clinique et radiologique. Il convient de privilégier des traitements chirurgicaux réalisés avant la fin de croissance, dans le but de préserver la mobilité articulaire.

Références

1 Khouri N. Pied plat idiopathique de l'enfant et de l'adolescent. Conférence d'enseignement 2008. Cahier d'enseignement de la SOFCOT no 97. Paris : Elsevier ; 2008. p. 197-205.

2 Anderson J, Harrington R, Ching RP, Tencer A, Sangeorzan BJ. Alteration in talar morphology associated with adult flatfoot. Foot Ankle Int 1997 ; 18 : 705-9.

3 Toullec E. Évaluation par baropodométrie dynamique de la force latéromédiale dans le pied plat valgus sévère avant et après chirurgie. Rev Chir Orthop 2005 ; 91 (Suppl) 6 : 3S129.

4 Widhe T. Foot deformities at birth : a longitudinal prospective study over a 1-year period. J Pediatr Orthop 1997 ; 17 : 20-4.

5 Vanderwilde R, Staheli LT, Chew DE, Malagon V. Measurements on radiographs of the foot in normal infants and children. J Bone Joint Surg Am 1988 ; 70 : 407-15.

6 Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch : a survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. J Bone Joint Surg Am 1987 ; 69 : 426-8.

7 Rao UB, Joseph B. The influence of footwear on the prevalence of flat foot : a survey of 2300 children. J Bone Joint Surg Br 1992 ; 74 : 525-7.

8 Harris RI, Beath T. Army foot survey : an investigation of foot ailments in canadian soldiers, vol. 1. Ottawa : National Research Council of Canada ; 1947.

9 Méary R. Symposium sur les pieds plats. Ann Orthop Ouest 1969 ; 1 : 55-71.

10 Ferré B, Maestro M. Plaidoyer pour une standardisation des dossiers cliniques, photographiques et radiologiques pour le recueil des données en pathologie du pied. In : Besse JL, éd. Monographie AFCP no 4. Montpellier : Sauramps Médical ; 2008. p. 103-22.

11 Toullec E, Barouk LS. Intérêt de la baropodométrie dynamique dans l'analyse de la chirurgie du pied plat valgus de l'adulte. Med Chir Pied 2004 ; 20 : 17-22.

12 Tryfonidis M, Jackson W, Mansour R, Cooke PH, Teh J, Ostlere S, et al. Acquired adult flat foot due to isolated plantar calcaneonavicular (spring) ligament insufficiency with a normal tibialis posterior tendon. Foot Ankle Surg 2008 ; 14 : 89-95.

13 Cohen M, Demondion X, Piclet-Legré B, Jacob D. Échographie du spring ligament. In : Besse JL, Maestro M, Leemrijse T, éds. Monographie AFCP no 5. Sauramps Médical : Montpellier ; 2009. p. 123-7.

14 Bonnel F. Les tendinopathies mécaniques de surcharge du pied. Concept biomécanique et histopathologique. Med Chir Pied 1993 ; 9 : 191-4.

15 Funk DA, Cass JR, Johnson KA. Acquired adult flat foot secondary to posterior tibial-tendon pathology. J Bone Joint Surg Am 1986 ; 68 : 95-102.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

16 Conti S, Michelson J, Jahss M. Clinical signs of magnetic resonance imaging in preoperative planning for reconstruction of posterior tibial tendon ruptures. Foot Ankle Int 1992 ; 13 : 208-14.
17 Dumontier TA, Falicov A, Mosca V, Sangeorzan B. Calcaneal lengthening : investigation of deformity correction in a cadaver flatfoot model. Foot Ankle Int 2005 ; 26 : 166-70.
18 Johnson KA, Ström DE. Tibialis posterior tendon dysfunction. Clin Orthop Relat Res 1989 ; 239 : 196-206.
19 Myerson M, Solomon G, Shareff M. Posterior tibial tendon dysfunction : its association with seronegative inflammatory disease. Foot Ankle Int 1989 ; 9 : 219-25.
20 Bluman E, Craig T, Myerson M. Posterior tendon rupture : a refined classification system. Foot Ankle Clinics 2007 ; 12 : 233-49.
21 DR Mauldin D, Speck G, Morgan D, Lieber RL. Corrective shoes and inserts as treatment for flexible flatfoot in infants and children. J Bone Joint Surg Am 1989 ; 71 : 800-10.
22 Evans D. Calcaneo-valgus deformity. J Bone Joint Surg Br 1975 ; 57 : 270-8.
23 Mosca VS. Calcaneal lengthening osteotomy for valgus deformity of the hind-foot. J Bone Joint Surg Am 1995 ; 77 : 500-12.
24 Wicart P, Seringe R. Ostéotomies du tarse. Encyl Méd Chir (Elsevier Masson SAS, Paris), Techniques chirurgicales, Orthopédie-Traumatologie, 44-920, 2010.
25 Rathjen KE, Mubarak SJ. Calcaneal-cuboid-cuneiform osteotomy for the correction of valgus foot deformities in children. J Pediatr Orthop 1998 ; 18 : 775-82.
26 Cotton FJ. Foot statics and surgery. N Engl J Med 1936 ; 214.
27 Malerba F, De Marchi F. Calcaneal osteotomies. Foot Ankle Clin 2005 ; 103 : 523-40.
28 Weil LS, Roukis T. The calcaneal scarf osteotomy : operative technique. J Foot Ankle Surg 2001 ; 40 : 178-82.
29 Catanzariti RA, Mendicino RW, King GL, Neerinqs B. Double calcaneal osteotomy : realignment considerations in eight patients. J Am Podiatr Med Assoc 2005 ; 85 : 53-9.
30 Judet J, Largier A, Pouliquen JC. L'opération du cavalier dans le traitement des pieds plats valgus graves. In : Judet R, editor. Actualités de chirurgie orthopédique XIII. Paris : Masson ; 1976. p. 109-19.
31 Ross PM, Lyne ED. The Grice procedure : indications and evaluation of long-term results. Clin Orthop Rel Res 1980 ; 153 : 194-200.
32 Giannini S, Girolami M, Ceccarelli F. The surgical treatment of infantile flat foot. A new expanding endo-orthotic implant. Ital J Orthop Traumatol 1985 ; 11 : 315-22.
33 Kadakia AR, Haddad SL. Hindfoot arthrodesis for the adult acquired flat foot. Foot Ankle Clin 2003 ; 8 : 569-94.
34 Staquet V, Mehdi N, Naudi S, Maynou C, Mestdagh H. Résultats à long terme du traitement du pied plat valgus de l'adulte par arthrodèse médiotarsienne. Rev Chir Orthop 2007 ; 93 : 469-77.
35 Haddad SL, Coetzee JC, Estok R, Fahrbach K, Banel D, Nalysnyk L. Intermediate and long-term outcomes of total ankle arthroplasty and ankle arthrodesis. A systematic review of the literature. J Bone Joint Surg Am 2007 ; 89 : 1899-905.
36 Leonard MH, Gonzalez S, Breck LW, Basom C, Palafox M, Kosicki ZW. Lateral transfer of the posterior tibial tendon in certain selected cases of pes plano valgus (Kidner operation). Clin Orthop Relat Res 1965 ; 40 : 139-44.
37 Parsons S, Naim S, Richards PJ, McBride D. Correction and prevention of deformity in type II tibialis posterior dysfunction. Clin Orthop Relat Res 2010 ; 468 : 1025-32.
38 Hintermann B, Valderrabano V, Kundert HP. Lengthening of the lateral column and reconstruction of the medial soft tissue for treatment of acquired flatfoot deformity associated with insufficiency of the posterior tibial tendon. Foot Ankle Int 1999 ; 20 : 622-9.
39 Tellisi N, Lobo M, O'Malley M, Kennedy JG, Elliott AJ, Deland JT. Functional outcome after surgical reconstruction of posterior tibial tendon insufficiency in patients under 50 years. Foot Ankle Int 2008 ; 29 : 179-83.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied creux idiopathique

C. MAYNOU[1], S. NAUDI[1]

Définitions et étiologie

Le pied creux se définit par l'accentuation de la concavité plantaire avec rapprochement des appuis plantaires antérieurs et postérieurs. Cette déformation est mesurée sur des clichés radiologiques en charge de profil par l'angle de Djian et Annonier [1]. Le pied est considéré comme creux lorsque cet angle est inférieur à 120° (figure 1). La simplicité de cette définition contraste avec la complexité physiopathologique de cette déformation.

La majorité des pieds creux étant d'origine neurologique, le terme « idiopathique » est réservé aux pieds creux pour lesquels aucune étiologie n'est diagnostiquée, et qui ne sont associés à aucune autre anomalie clinique ou électrodiagnostique pouvant évoquer une origine neurologique. Il s'agit donc d'un diagnostic d'élimination dont sont également exclues les déformations séquellaires des pieds bots de l'enfance et les étiologies traumatiques.

Le pied creux idiopathique est très majoritairement de type antérieur et direct, caractérisé par une déformation exclusivement dans le plan sagittal sans varus de l'arrière-pied [2]. Une déformation à prédominance antéromédiale avec varus calcanéen (pied creux varus ou pied creux antéromédial) est exceptionnellement observée et doit imposer un bilan neurologique approfondi ; elle sera alors prise en charge comme un pied creux neurologique (voir le chapitre « Pied de la maladie de Charcot-Marie-Tooth », page 187).

Cette définition trouve ses limites dans les moyens mis en œuvre pour rechercher une étiologie neurologique, et il est probable que de nombreux pieds creux ont été classés comme idiopathiques à défaut d'un bilan approfondi, comme l'ont démontré de nombreux auteurs [3-6].

Pour ces raisons, il est difficile d'évaluer précisément la part des cas idiopathiques parmi les pieds creux, bien qu'elle soit fréquemment évaluée entre 10 et 30 % dans la littérature [7].

Types anatomocliniques

L'une des caractéristiques du pied creux idiopathique est son caractère principalement direct et antérieur, comportant une déformation exclusive dans le plan sagittal liée à une verticalisation de l'ensemble de la palette métatarsienne sans retentissement sur l'axe frontal de l'arrière-pied, qui conserve un valgus physiologique dans la plupart des cas [8,9]. Le creux antérieur intéresse à parts égales l'arche médiale et l'arche latérale sans troubles de la pronosupination de l'avant-pied (figure 2).

Une forme plus rare est représentée par le pied creux valgus, qui comporte une pronation calcanéenne amenant à une surélévation de l'arche latérale et à une supination de l'avant-pied [10].

L'apex de la déformation se situe fréquemment en regard de l'articulation tarsométatarsienne [11]. Le cavus antéropostérieur peut être accompagné d'une exagération de la concavité transversale de l'arche antérieure, réalisant alors un avant-pied creux constituant le « pied tripode ».

Par ailleurs, on retrouve parfois une verticalisation du calcaneus par insuffisance tricipitale associée à la flexion plantaire de la palette, réalisant alors un pied creux mixte (antérieur et postérieur).

Enfin, il convient de différencier le pied creux idiopathique, qui correspond à une déformation statique visible lors de la mise en charge, du « pied creux physiologique », dont les déformations visibles hors appui disparaissent totalement lors de la mise en charge. Ce dernier n'est en effet pas pathologique et reste toujours asymptomatique.

Physiopathologie

Les mécanismes physiopathologiques du pied creux sont variables, discutés et parfois contradictoires, incriminant fréquemment une asynergie des muscles plantaires et dorsaux [12,13].

Schnepp [14] explique la progression du pied creux essentiel par une croissance osseuse plus rapide que celle de la corde plantaire. La voûte osseuse ainsi bridée augmente de courbure vers le haut. L'horizontalisation du talus qui en résulte conduit à une insuffisance du muscle tibial antérieur que tentent de compenser les autres fléchisseurs dorsaux, conduisant à une hyperextension métatarsophalangienne et à un défaut d'appui pulpaire des orteils.

[1] Service de chirurgie orthopédique A, hôpital Roger-Salengro, CHRU Lille, rue Émile-Laine, 59037 Lille cedex.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 1. Pied creux.



Figure 2. Absence de troubles de la pronosupination de l'avant-pied.

Afin de restituer l'appui pulpaire, les fléchisseurs des orteils vont se contracter, majorant la griffe des orteils encouragée par une éventuelle insuffisance des muscles intrinsèques du pied.

Ces griffes vont majorer l'appui sur les têtes métatarsiennes, accentuant la pente métatarsienne et conduisant ainsi à un cercle vicieux [15]. Initialement, la déformation est réductible et la croissance s'accompagne d'une « cunéiformisation » des os de la voûte qui, conjointement à la brièveté des parties molles plantaires, aboutit souvent à l'irréductibilité du cavus vers l'âge de 16 à 18 ans.

Examen clinique

Chez l'enfant

Le pied creux essentiel apparaît dans l'enfance, vers l'âge de 5 à 7 ans. Jusqu'à l'âge adulte, il reste le plus souvent réductible et asymptomatique, et l'examen s'assurera en particulier de l'absence de métatarsalgie et de durillon. L'examen podoscopique objective alors des empreintes plantaires du talon et de l'avant-pied avec une diminution de la largeur de la bande d'appui latérale.



Figure 3. Excès d'appui antérieurs.

Chez l'adulte

À l'âge adulte apparaît la perte progressive de la souplesse du pied, pour atteindre le plus souvent une irréductibilité plus ou moins complète de la déformation. Celle-ci peut longtemps rester bien tolérée, bien que patente, se limitant parfois à des crampes du mollet et à une sensation d'appui instable. Lorsqu'il devient symptomatique, le pied creux idiopathique se caractérise essentiellement par des douleurs et une gêne au chaussage. L'examen pied chaussé peut révéler une petite usure asymétrique médiale dans les pieds creux valgus et les patients tolèrent mal la marche pieds nus ou un chaussage à talon plat.

L'excès d'appui antérieur se traduit par des métatarsalgies d'appui s'accompagnant de durillons, soit médians en cas d'avant-pied rond, soit sous les 1re et 4e ou 5e têtes métatarsiennes en cas d'avant-pied creux (pied tripode) [figure 3]. Des talalgies postérieures peuvent accompagner la découverte d'un durillon talonnier, signant la participation postérieure. On s'attache à rechercher des griffes d'orteils et à tester leur réductibilité ; une hyperkératose sur la face dorsale des articulations interphalangiennes proximales traduit le conflit avec la chaussure. On peut retrouver une bosse au sommet de la déformation dont la saillie peut être responsable de douleurs de nature conflictuelle. L'examen clinique apprécie les mobilités articulaires et la tension de l'aponévrose plantaire en mettant la cheville en posi-

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

tion neutre et en exerçant une hyperflexion dorsale des orteils. Enfin, on confirme l'absence de varus calcanéen et l'éventuelle présence d'un valgus de l'arrière-pied dont on appréciera la réductibilité [9]. L'empreinte podoscopique permet d'objectiver une diminution de la largeur de la bande isthmique (type 1), une interruption de cette bande (type 2), voire sa disparition complète (type 3), et confirme le défaut d'appui pulpaire [10].

Le reste de l'examen consiste en un testing moteur et sensitif du membre inférieur à but étiologique, et apprécie les réflexes ostéotendineux du membre inférieur. Même si les caractéristiques cliniques de l'examen du pied semblent orienter vers un pied creux idiopathique, un bilan étiologique complémentaire est toujours nécessaire et comprend systématiquement une consultation de neurologie ou de neuro-orthopédie.

Examens radiographiques

Un bilan radiographique standard suffit à identifier et quantifier les déformations, uniquement sagittales le plus souvent, du pied creux idiopathique. La réalisation d'un scanner n'est utile que lorsque des lésions arthrosiques associées sont suspectées.

Incidence de profil en charge

Elle est indispensable pour établir et caractériser le pied creux. La mesure de l'angle de Djian et Annonier permet d'apprécier le cavus sans préjuger du siège antérieur ou postérieur de la déformation. Le pied est considéré comme creux lorsque cet angle est inférieur à 120°.

Lorsqu'il existe une flexion de l'avant-pied, on retrouve une cassure de la ligne de Méary, quantifiée par la mesure de l'angle de Tomeno. Le sommet de cet angle à sinus inférieur permet de déterminer le siège de la déformation (cunéométatarsien, naviculaire ou cunéiforme). L'angle d'attaque des métatarsiens (axe des métatarsiens par rapport au plan du sol) est augmenté. La pente calcanéenne peut apparaître augmentée en cas de participation postérieure, bien qu'elle puisse également être en rapport avec un redressement compensatoire de l'arrière-pied. Une augmentation de l'angle talocrural révélera la présence d'un équinisme associé.

Autres incidences radiographiques

L'incidence de Méary de la cheville de face avec cerclage du talon apprécie l'existence d'un éventuel valgus calcanéen et confirme l'absence de varus.

L'incidence sésamoïdienne de Walter-Müller ou de Guntz permet d'étudier l'arche métatarsienne antérieure, normalement plate : elle peut être convexe dans le pied rond antérieur ou concave, expliquant certaines métatarsalgies antérieures. Cette incidence peut également dépister un abaissement plus prononcé d'un rayon par rapport à ses voisins.

L'incidence dorsoplantaire en charge est de moindre intérêt, dans la mesure où la déformation prédomine dans le plan sagittal ; elle peut rarement révéler une légère diminution de la divergence talocalcanéenne.

Traitement

Dans la mesure où la déformation est purement sagittale, les doléances fonctionnelles des patients résident essentiellement dans des difficultés et douleurs au chaussage prédominant en regard des têtes métatarsiennes, du dos du pied ou des griffes d'orteils.

Le caractère idiopathique de la pathologie doit être pris en compte, car les déformations ne sont pas évolutives, à l'inverse de certains pieds creux neurologiques.

L'intensité de la gêne fonctionnelle et la réductibilité des déformations sont déterminantes dans le choix thérapeutique qui privilégie systématiquement le traitement médical et orthétique.

Le traitement chirurgical n'est envisagé que dans les rares cas où les lésions sont fixées et le traitement médical en échec. Ces gestes chirurgicaux ont pour objectif de corriger la chute de l'avant-pied par la réalisation d'ostéotomie de relèvement dont le niveau dépend du site de la déformation. Les gestes postérieurs sont limités aux ostéotomies de varisation calcanéenne rendues nécessaires par la présence d'un valgus calcanéen marqué.

Traitement médical

Orthèses plantaires

Elles peuvent être correctrices, lorsqu'elles cherchent à améliorer une déformation réductible, ou compensatrices, lorsque les lésions sont fixées.

Une composante talonnière peut être proposée en présence d'un valgus calcanéen sous la forme d'un coin supinateur postérieur auquel peut être adjoint une excavation en regard d'un durillon d'hyperappui talonnier éventuel.

La plupart du temps, l'axe de l'arrière-pied est normal et aucune correction n'est nécessaire. Toutefois, une cuvette postérieure indifférente peut être envisagée pour stabiliser l'arrière-pied et prévenir l'apparition d'une déformation ultérieure.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

L'existence d'un équinisme fréquemment modéré peut requérir une surélévation postérieure de l'orthèse si elle ne dépasse pas 5 à 10 mm.

Le traitement des métatarsalgies privilégie le port d'orthèses plantaires comportant une barre d'appui rétrocapitale, soulageant de façon équilibrée les contraintes excessives s'exerçant sur les têtes métatarsiennes. Ces orthèses seront adaptées aux hyperappuis éventuels et l'on peut en particulier réaliser une excavation sous la 2e tête métatarsienne en cas de syndrome du 2e rayon long associé ou en regard des zones d'hyperkératose marquées et douloureuses. Si l'avant-pied est plat mais réductible, un coussin médian peut également permettre de rendre un cintre plus harmonieux à l'arche antérieure.

Ces orthèses doivent être confortables et adaptées au mode de chaussage du patient, elles doivent être renouvelées tous les ans afin d'en garantir une efficacité pérenne.

Les orthèses d'orteils peuvent lutter contre les griffes par une barre placée à la face plantaire des articulations interphalangiennes ou une orthèse d'orteil moulée (orthoplastie). En cas de défaut d'appui de la pulpe du premier rayon par erectus du premier orteil, un prolongement de l'orthèse par un « haricot » sous la pulpe de P1 sera adapté.

Kinésithérapie

Elle a essentiellement pour but d'entretenir les amplitudes articulaires passives du pied et des orteils et de prévenir les rétractions musculoaponévrotiques par diverses techniques d'étirement. Même si les vertus curatives de la kinésithérapie sont évidemment limitées, le thérapeute accompagnera le patient dans son adaptation aux orthèses et notamment à l'entretien proprioceptif de la marche [13].

Traitement chirurgical

Les indications du traitement chirurgical sont rares et réservées aux échecs du traitement orthétique, notamment lorsque le creux antérieur est fixé. La déformation étant purement sagittale et prédominant sur l'avant-pied, il n'est pas illogique que l'essentiel des interventions proposées s'accordent à privilégier des ostéotomies de relèvement de l'avant-pied. Ces interventions s'attacheront à obtenir un réalignement de la ligne de Méary en évitant le sacrifice d'articulations essentielles au bon déroulement de la marche, qui pourrait compromettre l'avenir fonctionnel du pied. Par ailleurs, les déformations du pied creux idiopathiques n'étant guère évolutives, la correction chirurgicale obtenue permet d'espérer un résultat thérapeutique prolongé.

Ostéotomies du pied

Ces ostéotomies doivent être réalisées au sommet de la déformation, en sachant que la correction est d'autant plus importante que l'ostéotomie est proximale. Dans l'immense majorité des cas, la verticalisation calcanéenne est partiellement corrigée par la détente qu'octroie l'ostéotomie de l'avant-pied, dans cette mesure, et partant du fait qu'elle est volontiers asymptomatique, elle ne justifie pas de geste chirurgical spécifique.

Ostéotomies basimétatarsiennes

Les ostéotomies basimétatarsiennes de relèvement par soustraction cunéiforme à base dorsale ont été utilisées par de nombreux auteurs dans les pieds creux directs avec de bons résultats [10,16,17]. Elles présentent l'avantage d'être extra-articulaires, mais elles ne corrigent pas la déformation en regard de son sommet, ce qui peut être un inconvénient si la saillie de la déformation est une plainte fonctionnelle importante. Elles ne permettent que des corrections limitées ; en outre, il peut être difficile de réaliser une ostéotomie identique sur chaque métatarsien au risque d'aboutir à un hyperappui sur l'un d'entre eux.

Résection-arthrodèse tarsométatarsienne

La résection-arthrodèse tarsométatarsienne, proposée par Jahss en 1980 [18], réalise une soustraction à base dorsale de l'interligne de Lisfranc, mais l'obtention de l'arthrodèse est rendue difficile par le nombre et la complexité de la forme des articulations. Elle permet la correction des déformations dont le sommet se situe sur l'interligne de Lisfranc, surtout si ces déformations sont fixées.

Ostéotomies réalisées dans les cunéiformes

Les ostéotomies réalisées dans les cunéiformes [19,20] sont moins pratiquées et, là encore, n'autorisent que des corrections limitées.

Ostéotomie en V inversé de Japas

L'ostéotomie en V inversé de Japas [21] reste confidentielle quoique théoriquement séduisante

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 4. Tarsectomie antérieure.



Figure 5. Tarsectomie antérieure.

puisqu'autorisant une correction de l'avant-pied dans plusieurs plans. Ces difficultés de réalisation technique et le fait que les traits d'ostéotomie traversent de nombreux interlignes articulaires expliquent probablement son absence d'évaluation dans la littérature.

Tarsectomie antérieure

La tarsectomie antérieure de Cole, popularisée en France par Méary [22,23], reste une technique de référence dans la mesure où elle corrige la déformation à son sommet sans compromettre la mobilité des interlignes médiotarsiens et tarsométatarsiens. Elle comporte une résection cunéiforme à base dorsale passant dans l'interligne cunéonaviculaire en dedans et à travers le cuboïde en dehors (figures 4 et 5).

Dans notre expérience [24], la tarsectomie donne des résultats fonctionnels satisfaisants dans les pieds creux idiopathiques lorsque la cassure est inférieure à 20°. Les résultats sont d'autant plus favorables que la déformation reste souple et ne s'accompagne d'aucune déformation de l'arrière-pied dans le plan frontal. L'analyse de nos résultats au recul de 10 ans révèle toutefois un taux d'arthrose élevé des articulations de voisinage (74 %), qu'il faut prendre en considération lorsque l'indication est posée. Cette arthrose intéressait préférentiellement l'articulation subtalaire.

Par ailleurs, la tarsectomie isolée est insuffisante à corriger des griffes marquées qui nécessitent un traitement propre.

Cette intervention doit donc être réservée aux pieds creux modérés, car une insuffisance de la correction du pied creux est souvent mal tolérée.

Résection-arthrodèse médiotarsienne

La résection-arthrodèse médiotarsienne [25] peut être discutée devant une déformation sagittale très marquée (angle de Méary > 20°). Elle comporte un caractère enraidissant dans la mesure où elle réduit considérablement la mobilité de l'articulation subtalaire.

Ostéotomies calcanéennes

Les ostéotomies calcanéennes voient leurs indications limitées aux déformations en valgus du calcaneus. Une ostéotomie de varisation calcanéenne peut être envisagée en association au geste d'ostéotomie antérieure ; toutefois, si la déformation est fixée, voire associée à une arthropathie dégénérative débutante, l'arthrodèse subtalaire devra être considérée.

Gestes associés sur les parties molles

Les ostéotomies de l'avant-pied ne suffisent pas à corriger des griffes d'orteils prononcées, voire non réductibles. Leur correction passe donc par la réalisation de gestes spécifiques complémentaires associant arthrolyse, transferts tendineux voire résection arthoplastique interphalangienne. La correction des griffes est indispensable à l'obtention d'un résultat fonctionnel de qualité, car elles représentent fréquemment une plainte essentielle des patients.

L'allongement du tendon calcanéen permet de compenser une brièveté rétractile du triceps, participant ainsi à la correction de l'équin quand il existe.

Les gestes de libération aponévrotiques et capsuloligamentaires plantaires plus ou moins élargis sont conseillés et considérés par de nombreux auteurs comme faisant partie intégrante du traitement chirurgical du

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

pied creux. Il reste que, dans notre expérience du traitement du pied creux direct idiopathique, ces gestes n'ont apporté aucun bénéfice fonctionnel devant faire reconsidérer la nécessité de cette option thérapeutique.

Conclusion

Le pied creux idiopathique est majoritairement de type antérieur et direct, caractérisé par une déformation prédominant dans le plan sagittal sans varus de l'arrière-pied. Le diagnostic est confirmé par la rupture radiologique de la ligne de Méary. Les doléances fonctionnelles sont essentiellement représentées par des difficultés au chaussage, des métatarsalgies et des douleurs en rapport avec la présence fréquente de griffes d'orteils.

Le traitement orthétique doit être privilégié, car ses résultats sont fréquemment satisfaisants et permettent d'éviter le recours à une intervention chirurgicale.

L'échec du traitement conservateur conduira à proposer une correction chirurgicale du creux antérieur sous la forme d'une ostéotomie réalisée à l'apex de la déformation.

Références

1 Djian A, Annonier C. Mesures des déviations angulaires du pied. In : Repères et mesures en imagerie médicale. Paris : Expansion Scientifique Française ; 1991. p. 216-21.
2 Seringe G, Tomeno B. Pied creux. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris). Appareil locomoteur, 14112-A10, 1992 : 8p.
3 Brewerton DA, Sandifer PH. Sweetnam DR. « Idiopathic » pes cavus : an investigation into its aetiology. Br Med J 1963 ; 14 : 659-61.
4 Turner M. Interpretation of encephalographic data in infantile encephalopathy. Rev Neurol 1952 ; 86 : 198-201.
5 Spillane JD. Familial pes cavus and absent tendon-jerks : its relationship with Friedreich's disease and peroneal muscular atrophy. Brain 1940 ; 63 : 275-90.
6 Barenfeld PA, Weseley MS, Shea JM. The congenital cavus foot. Clin Orthop 1971 ; 79 : 119-26.
7 Méary R. Le pied creux essentiel. Rev Chir Orthop 1967 ; 53 : 389-467.
8 Paulos L, Coleman SS, Samuelson KM. Pes cavovarus. J Bone Joint Surg (Am) 1979 ; 62 : 942-53.
9 Coleman SS, Chestnut W. A simple test for hindfoot flexibility in the cavovarus foot. Clin Orthop 1977 ; 122 : 60-2.
10 Lelièvre J. Le pied creux antérieur. In : Lelièvre, éd. Pathologie du pied. 5e éd. Paris : Masson ; 1981. p. 401-25.
11 Watanabe RS. Metatarsal osteotomy for the cavus foot. Clin Orthop 1990 ; 252 : 217-30.
12 Samilson RL, Dillin W. Cavus, cavovarus and calcaneovarus. Clin Orthop 1983 ; 177 : 125-32.
13 Curvale G, Rochwerger A. Pieds creux. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris). Appareil locomoteur, 14-112-A-10. 2002.
14 Schnepp J. Le pied creux essentiel. Rappel anatomoclinique. Méthodes et indications thérapeutiques. In : Cahier d'enseignement de la SOFCOT no 10. Paris : Expansion Scientifique Française ; 1979. p. 73-82.
15 Hicks J. The function of the plantar aponeurosis. J Anat 1951 ; 85 : 414-5.
16 Barouk S, Rippstein P, Toullec E. Nouvelle ostéotomie oblique proximale métatarsienne dans le traitement des métatarsalgies et du pied creux (ostéotomie BRT). Rev Chir Orthop 2001 ; 87 (suppl 6) : 2S34.
17 Swanson AB, Browne HS, Coleman JD. The cavus foot concept of production and treatment by metatarsal osteotomy. J Bone Joint Surg (Am) 1966 ; 48 : 1019.
18 Jahss MH. Tarsometatarsal truncated-wedge arthrodesis for pes cavus and equinovarus deformity of the fore part of the foot. J Bone Joint Surg (Am) 1980 ; 62 : 713-22.
19 Wilcox PG, Weiner DS. The Akron midtarsal osteotomy in the treatment of rigid pes cavus : a preliminary review. J Pediatr Orthop 1985 ; 5 : 333-8.
20 Denis A, Piat C, Goutallier D. Résultats de la tarsectomie distale extra-articulaire. Actual Méd Chir Pied 1988 ; 3 : 152-6.
21 Japas MK. Surgical treatment of pes cavus by tarsal V osteotomy. J Bone Joint Surg (Am) 1968 ; 50 : 927-44.
22 Méary R, Mattei CR, Tomeno B. Anterior tarsectomy for pes cavus : indications and long-term results. Rev Chir Orthop 1976 ; 62 : 231-43.
23 Cole WH. The treatment of clawfoot. J Bone Joint Surg 1940 ; 22 : 895-908.
24 Naudi S, Dauplat G, Staquet V, Parent S, Mehdi N, Maynou C. Résultats à long terme du traitement du pied creux de l'adulte par tarsectomie antérieure. Rev Chir Orthop 2009 ; 95 : 355-63.
25 Steinhauser J. Le rôle de l'interligne de Chopart dans la correction chirurgicale des déformations graves du pied creux de l'adulte. Méd Chir Pied 1987 ; 3 (2) : 59-78.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Marche en équin idiopathique

Brièveté congénitale du tendon d'Achille

R. SERINGE[1]

La marche sur la pointe des pieds (ou marche en équin) est un trouble relativement fréquent de l'enfant. On peut distinguer d'emblée le trouble temporaire pendant les premiers mois qui suivent l'acquisition de la marche du trouble permanent et durable qui doit faire rechercher une cause neurologique ou neuromusculaire. C'est pourquoi tout enfant vu en consultation pour ce symptôme doit être examiné avec rigueur, sans hésiter à solliciter un avis neuropédiatrique. En effet, ce diagnostic de démarche en équin idiopathique est un diagnostic d'exclusion [1].

Examen clinique

Il faut préciser la nature et les circonstances de survenue. Habituellement, ce type de démarche commence dès l'acquisition de la marche (qui se fait souvent dès l'âge de 1 an) et concerne les deux pieds ; parfois ce symptôme est intermittent, le plus souvent il est permanent. Souvent il disparaît lorsque l'enfant se tient debout au repos, et parfois il persiste. On vérifie qu'il n'y a pas eu d'intervalle entre l'acquisition de la marche et l'apparition secondaire de ce trouble (cela orienterait très rapidement vers une étiologie neuromusculaire). On recherche des signes associés : chutes inexpliquées, troubles de la vue ou de l'audition, convulsions, irritabilité anormale. Il faut préciser le déroulement de la grossesse, les circonstances de l'accouchement, le terme, le poids de naissance et l'existence éventuelle d'une souffrance fœtale aiguë.

L'examen commence par l'observation de la marche et, chez un jeune enfant, il est commode de lui demander de transporter un objet de façon symétrique avec les deux mains pour essayer d'obtenir une marche naturelle. En effet, si on lui demande de marcher, il va s'appliquer ou faire le « clown ». Il faut bien regarder si les genoux restent fléchis ou si au contraire ils se mettent en extension, voire en recurvatum lors de la marche.

L'examen orthopédique comporte l'étude des mobilités articulaires avec en particulier l'étude de la dorsiflexion du pied en flexion du genou pour tester la longueur du muscle soléaire, puis en extension du genou pour identifier une éventuelle participation des gastrocnémiens (en pratique bien rare). La forme des pieds en charge doit être analysée pour rechercher un pied plat valgus qui pourrait être la conséquence de la brièveté du triceps. La trophicité des membres inférieurs est évaluée par la recherche d'une amyotrophie ou, au contraire, d'une hypertrophie des mollets. L'examen doit se poursuivre avec l'étude du rachis et des membres supérieurs. L'examen neurologique est fondamental, à la recherche d'une hypertonie musculaire principalement sur les triceps mais aussi sur les ischiojambiers, voire les adducteurs de hanche. On doit rechercher un signe de Babinski, étudier les réflexes ostéotendineux, rechercher une fatigabilité lors des manœuvres d'accroupissement (signe de Gowers). L'examen général permet d'étudier le poids, la taille, de rechercher un syndrome dysmorphique et de préciser le comportement de l'enfant à la recherche de signes d'instabilité psychomotrice aussi bien à la maison qu'à l'école.

Il ne faut pas oublier de rechercher des signes de dysraphisme spinal : problèmes urinaires, constipation, anomalies cutanées dans la région lombosacrée sous forme d'angiome plan, de fossette, de touffe de poils, de lipome.

Examens complémentaires

Les radiographies standard ont peu d'intérêt, sauf en cas d'équin unilatéral avec une sensation clinique de butoir lorsqu'on essaye de corriger l'équin. Cela pourrait être en rapport avec une exostose tibiale inférieure limitant le mouvement mécanique de dorsiflexion de la cheville : c'est une cause exceptionnelle.

[1] Université Paris-Descartes, hôpital St-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

L'imagerie par résonance magnétique est utile en cas de troubles neurologiques central ou périphérique et si l'on suspecte un dysraphisme spinal.

Le dosage des enzymes musculaires est fait en cas de suspicion de myopathie.

L'étude électrophysiologique, difficile à interpréter chez le petit enfant, est utile si on suspecte une neuropathie : ce sera au spécialiste neuropédiatre ou à l'orthopédiste pédiatre d'en décider.

Diagnostic différentiel

États dits « physiologiques »

Ils correspondent peut-être à une immaturité du système neuromusculaire du jeune enfant au moment ou peu après l'acquisition de la marche. Il s'agit d'un trouble temporaire de la marche qui disparaît spontanément en 3 à 6 mois. Il faut donc faire un bon examen général, un examen neurologique, rassurer les parents et revoir l'enfant quelques mois plus tard pour s'assurer de la disparition des troubles.

Formes frustes d'infirmité motrice cérébrale

Le diagnostic d'une forme fruste de diplégie spastique de Little n'est pas très difficile si l'on retrouve un certain nombre de signes associés : antécédents de signes périnataux, de souffrance fœtale et/ou prématurité, retard d'acquisition de la marche, léger strabisme, syndrome pyramidal des membres inférieurs avec en particulier une hypertonie du triceps qui est tout à fait caractéristique et qu'il faut savoir rechercher.

En cas d'atteinte unilatérale, il peut s'agir d'une forme fruste d'hémiparésie cérébrale infantile, voire d'une monoparésie du membre inférieur, quelquefois réduite à l'atteinte distale avec une spasticité du triceps, un signe de Babinski, et un réflexe achilléen vif. La comparaison avec le côté sain permet de préciser cette sémiologie.

Les enfants suspects d'infirmité motrice cérébrale doivent être adressés au neuropédiatre pour confirmation du diagnostic et examens complémentaires ; ils doivent être pris en charge en orthopédie pédiatrique.

Des tests électromyographiques voire une analyse quantifiée de la marche ont été réalisés pour essayer de différencier la marche en équin idiopathique de la marche en équin du diplégique spastique mineur [2-4]. Même si ces auteurs considèrent que de tels examens constituent une aide pour différencier les deux pathologies, il est quand même préférable de chercher les petits signes cliniques dont le test de Strumpell, qui est fidèle et fiable pour le diagnostic de syndrome pyramidal fruste. C'est la contraction automatique du muscle tibial antérieur en synergie de la flexion de hanche contrariée. Cela se recherche chez un enfant à partir de l'âge de 3 ans, en position assise au bord de la table. L'examinateur demande simplement un mouvement d'ascension de la cuisse par flexion active de la hanche sans aucun effort sur le genou ou sur le pied, qui doivent être bien relâchés. En refaisant la manœuvre avec un contre-appui manuel sur la cuisse, on voit automatiquement une dorsiflexion active du pied et le tendon du tibial antérieur bien visible sous la peau.

La découverte d'une hypertonie fruste du triceps est également très en faveur d'un syndrome pyramidal et doit être recherchée de la façon suivante : l'enfant est couché, bien détendu, avec le membre inférieur en rotation latérale ; l'examinateur saisit d'une main le genou semi-fléchi et, de l'autre, empaume le bout du pied avec le pouce sur la région dorsale des métatarsiens et les autres doigts au niveau de la plante. En s'assurant que l'enfant est bien calme, l'examinateur effectue un mouvement léger mais vif de dorsiflexion pour mettre en jeu le réflexe d'étirement du triceps ou *stretch reflex*. Si ce mouvement est bien fait, très léger mais avec une certaine rapidité, cela entraîne des secousses cloniques du triceps tout à fait évocatrices.

Myopathies

Une dystrophie musculaire de Duchenne peut être évoquée chez un enfant qui a acquis la marche à un âge normal et dont le trouble est apparu progressivement et de façon secondaire. Il existe une diminution de force musculaire à la racine des membres inférieurs, bien objectivée par la manœuvre de Gowers. Il existe également une hypertrophie des mollets. On recherche des antécédents familiaux et on demande un dosage des enzymes musculaires…

Les autres myopathies sont de diagnostic plus délicat, d'où la nécessité d'adresser l'enfant en neuropédiatrie.

Instabilités motrices

Certains troubles du comportement peuvent induire une démarche en équin : cela est connu pour les troubles graves comme l'autisme et c'est possible aussi en cas de troubles mineurs du comportement, surtout s'il existe des difficultés de sommeil, de lecture, etc. [5]. Dans ces cas, un examen complémentaire psychologique est recommandé.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Diagnostic positif

Lorsque l'on a éliminé toutes les causes citées ci-dessus et que l'enfant est strictement normal hormis cette démarche en équin et la brièveté plus ou moins nette des triceps, on conclut au diagnostic de démarche en équin idiopathique. C'est bien un diagnostic d'élimination.

Traitements

Il n'y a pas d'attitude consensuelle car dans la littérature, de nombreux traitements ont été essayés avec des résultats variables. Certains auteurs pensent même que l'absence de traitement aboutit à une amélioration spontanée [6].

Notre expérience montre que, au contraire, le trouble peut s'aggraver avec la croissance : on observe une diminution de l'amplitude de dorsiflexion et l'accentuation de l'équin avec démarche digitigrade, de sorte qu'il y a au bout de plusieurs années un risque d'atrophie du talon par non-utilisation (figure 1).

Le traitement est donc souhaitable : dans la littérature, les plâtres correcteurs, les orthèses de marche aboutissent à la récidive et bien souvent la chirurgie est proposée, avec allongement du tendon d'Achille, ce qui donnerait de bons résultats dans la majorité des cas mais avec également un risque de récidive [7,8]. En réalité, l'allongement chirurgical du tendon n'est pas logique, car la brièveté concerne le corps musculaire, d'où l'intérêt du traitement orthopédique.

Notre expérience nous a conduit à traiter ces enfants par un appareillage purement nocturne maintenant le pied à angle droit pendant plusieurs années. Si l'appareillage nocturne n'est pas bien supporté ou si, dès le premier examen, il existe un équin irréductible important, on commence le traitement par des plâtres correcteurs (un ou deux plâtres de 1 mois chacun). Le gain de flexion dorsale de la cheville après un plâtre d'une durée de 1 mois est habituellement de 10 à 15°. Ensuite, l'orthèse nocturne réglée à 90° est habituellement très bien supportée. Elle est mise pendant une durée moyenne de 3 ans et, comme le confirment les familles, l'évolution est, en général, favorable, c'est-à-dire qu'au mieux la marche normale est récupérée avec une attaque du pas avec le talon et au pire, il persiste un petit équin lors de la marche mais avec un talon seulement à 5 à 10 mm du sol alors qu'il était avant à 5 ou 10 cm du sol lors de la marche.



Figure 1. Enfant de 7 ans et demi marchant en équin depuis l'acquisition de la marche.
Il n'avait eu qu'un traitement temporaire. Il existait une rétraction très important du triceps, une flexion dorsale négative de 30° et un creux. Trois plâtres successifs de 1 mois (plâtre de marche) ont permis de faire revenir la dorsiflexion à 10° positive des deux côtés, et le résultat a été maintenu par une orthèse nocture.

Références

1 Hall J, Salter R, Bhalla S. Congenital short tendo calcaneus. J Bone Joint Surg Br 1967; 49 : 695-7.
2 Griffin P, Wheelhouse W, Shiavi R, Bass W. Habitual toe walkers. A clinical and electromyographic gait analysis. J Bone Joint Surg Am 1977; 59 : 97-101.
3 Hicks R, Durinick N, Gage J. Differentiation of idiopathic toe walking and cerebral palsy. J Pediatr Orthop 1988; 8 : 160-3.
4 Policy J, Torburn L, Rinsky L, Rose J. Electromyographic test to differentiate mild diplegic cerebral palsy and idiopathic toe-walking. J Pediatr Orthop 2001; 21 : 784-9.
5 Saint Supery B. Le faux équin psychologique. In : Le pied de l'enfant. Monographie du GEOP. Montpellier : Sauramps Médical; 2001. p. 159-64.
6 Kogan M, Smith J. Simplified approach to idiopathic toe-walking. J Pediatr Orthop 2001; 21 : 790-1.
7 Stricker S, Angulo J. Idiopathic toe walking : a comparison of treatment methods. J Pediatr Orthop 1998; 18 : 289-93.
8 Stott N, Walt S, Lobb G, Reynolds N, Nicol R. Treatment for idiopathic toe walking. Results at squeletal maturity. J Pediatr Orthop 2004; 24 : 63-9.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied de la maladie de Charcot–Marie–Tooth

P. WICART[1], J.-L. BESSE[2]

Introduction

Décrite simultanément en 1886 par Charcot et Marie en France ainsi que par Tooth en Angleterre, la maladie de Charcot-Marie-Tooth (CMT) est la plus fréquente des neuropathies héréditaires sensitivomotrices. Il est difficile d'évaluer la fréquence de la maladie CMT en France du fait de la très grande variabilité d'expression clinique ; la prévalence estimée serait de 2 à 5/10 000. Cette affection neurologique est évolutive, avec aggravation lente et progressive des troubles neurologiques avec le temps. Les manifestations motrices de cette affection concernent essentiellement les pieds et les mains, mais il existe également d'autres atteintes cliniques. Les déformations du pied constituent une préoccupation très fréquente pour le chirurgien orthopédiste s'occupant de patients atteints de la maladie CMT [1]. Différentes déformations du pied peuvent survenir au cours de l'évolution de cette affection [2]. Le déficit sensitif, affectant en particulier la sensibilité profonde et rarement important, peut contribuer à la sévérité des complications orthopédiques à l'âge adulte.

Classification génétique

La maladie CMT est transmise sur le mode autosomique dominant. Cependant, l'absence d'antécédents est évocatrice de mutation de novo. Classiquement, la maladie CMT se scinde en deux grands types : le type 1, forme démyélinisante avec un ralentissement des vitesses de conduction nerveuse à l'électromyographie (EMG) [vitesse de conduction motrice (VCM) du nerf médian à l'avant-bras < 38 m/s] et le type 2, atteinte axonale avec des vitesses normales ou subnormales.

Le démembrement génétique progressif (plus de 30 gènes ont actuellement été identifiés dans les différentes formes de CMT) permet de retenir actuellement les sous-groupes suivants, eux-mêmes divisés en sous-catégories en fonction des gènes responsables :

- la forme CMT1, la plus fréquente, représentant plus de 50 % des cas, est autosomique dominante. La forme CMT1A (environ 30 % des patients CMT), résultant d'une duplication d'une région du chromosome 17 contenant le gène *PMP22* codant pour une protéine de la myéline, a récemment fait l'objet d'essai thérapeutique évaluant l'effet de la vitamine C à forte dose ;
- la forme CMT2, représentant environ 20 % des patients, est également autosomique dominante. Ses manifestations cliniques sont généralement moins sévères et débutent plus tardivement que les CMT1 ;
- la forme CMT-X, avec une transmission dominante liée à l'X, représente 10 à 20 % des patients, avec des manifestations cliniques surtout chez les hommes ;
- la forme CMT4, autosomique récessive, est rare (maladie de Déjerine-Sottas, démyélinisante, précoce et sévère).

Déformations du pied et Charcot–Marie–Tooth

Classiquement, la maladie CMT comporte une faiblesse des muscles intrinsèques des mains et des pieds avec un pied creux varus, ainsi qu'une faiblesse et une atrophie des muscles de la loge fibulaire. Cependant, il existe une très grande variabilité des atteintes selon les patients, y compris au sein d'une même famille. Les conceptions pathogéniques de l'apparition des déficits moteurs ont varié selon les auteurs. Selon Sabir et Lyttle [3], la dénervation serait centrifuge, affectant initialement les fléchisseurs puis les extenseurs des orteils, suivie des muscles fibulaires, tibial postérieur et enfin tibial antérieur. La paralysie du muscle tibial antérieur ne peut donc être retenue pour l'apparition du pied creux médial, car cette atteinte tardive apparaît alors que le pied est déjà déformé [4]. Le muscle long fibulaire serait moins concerné que les muscles court fibulaire et tibial antérieur [5,6]. Le muscle long

[1]Université Paris-Descartes, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2]Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, centre hospitalier Lyon Sud, 69495 Pierre-Bénite cedex.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

extenseur de l'hallux est parfois respecté. Les muscles de la loge postérieure sont en général épargnés, excepté à des stades évolués de la maladie.

La paralysie des muscles intrinsèques du pied est la clé de la physiopathologie du pied creux médial, encore appelé « pied creux varus » ou « pied cavovarus ». L'atteinte précoce des muscles intrinsèques du pied et de la main constitue l'élément cardinal de la maladie [3,7]. La fonction des muscles intrinsèques du pied est de stabiliser les articulations métatarsophalangiennes lors de la flexion dorsale de cheville et de l'extension des orteils.

Les premiers symptômes de la maladie CMT sont souvent remarqués à l'école ou lors des séances d'éducation physique : retard pour courir, sauter, échec au grimper de corde, maladresse motrice avec des chutes fréquentes, entorses de cheville ; peuvent être notées des difficultés pour monter les escaliers du fait d'un steppage débutant, et l'apparition de crampes dans les mollets. Parfois, l'enfant marche et court sur la pointe du pied du fait d'une rétraction du tendon calcanéen. Aux membres supérieurs, les mouvements fins des doigts sont effectués avec difficulté. À l'école, cela peut se traduire par des difficultés pour tenir un crayon, des difficultés d'acquisition de l'écriture voire un retard scolaire. Chez l'adulte, ce sera une difficulté pour les gestes fins et précis (tenir une vis) ou requérant de la force soutenue (ouvrir un bocal). Les troubles de la sensibilité sont habituellement peu importants mais sont source de paresthésies potentiellement accentuées par le froid ou l'effort, voire exceptionnellement de mal perforant plantaire.

Les déformations des pieds sont une des principales manifestations de la maladie, du fait de leur fréquence et de leur sévérité [2]. Le *pied creux médial* est une déformation présente dans 80 % des cas de patients atteints de CMT. Ce chapitre sera essentiellement focalisé sur cette déformation caractéristique de l'affection. Les lecteurs sont priés de se rapporter aux chapitres correspondants pour les autres déformations qui sont moins spécifiques. Un *pied plat valgus abductus* a été rencontré dans 10 % des cas. Le *pied varus adductus équin*, apanage des formes graves, est caractérisé par leur survenue précoce et par une adduction globale et médiotarsienne marquée, souvent un creux médial, un varus de l'arrière-pied, et un équin significatif avec pied tombant du fait de la parésie des muscles de la loge antérieure. Le chaussage est difficile et la marche précaire. Le *pied tombant* est avant tout secondaire à la paralysie des muscles interosseux au début de l'évolution puis à la faiblesse des muscles de la loge antérieure, alors que les muscles de la loge postérieure sont épargnés. Dans 10 % des cas, les pieds peuvent être normaux.

Éléments diagnostiques du pied creux varus

Anatomie pathologique

Le pied creux médial est une déformation rare dont l'étiologie est dans la très grande majorité la maladie CMT [8]. Le mécanisme du pied creux médial est déterminé à partir des travaux de la littérature et de l'observation des pieds plats valgus dans le cadre de cette maladie, qui passent progressivement en 3 à 6 ans vers un pied creux médial. Le pied creux médial est caractérisé cliniquement par un creux médial alors que l'arche latérale reste au sol. L'avant-pied est le siège d'une pronation irréductible alors qu'il existe un varus de l'arrière-pied réalisant une véritable torsion du bloc calcanéopédieux (BCP). Un degré variable d'adduction du BCP sous l'unité talo-tibio-fibulaire (UTTF) et/ou médiotarsienne confère à cette déformation son caractère tridimensionnel.

La cause du pied creux médial est une paralysie des muscles intrinsèques du pied : interosseux et lombricaux. Leur activité est nécessaire lors de l'extension active des orteils ou de la cheville par la stabilisation des articulations métatarsophalangiennes. La paralysie de ces muscles entraîne une extension de l'articulation métatarsophalangienne. La physiopathologie est résumée dans la figure 1. L'aponévrose plantaire s'insérant sur l'extrémité proximale de la 1re phalange, l'extension de l'articulation métatarsophalangienne entraîne une mise en tension de cette aponévrose et donc l'apparition d'un creux. La caractéristique anatomique de cette aponévrose ainsi que le diamètre décroissant de médial en latéral de la poulie que constituent les têtes métatarsiennes expliquent l'apparition d'un creux médial dont l'apex se situe au niveau des os cunéiformes. Le creux médial s'accompagne d'une pronation irréductible de l'avant-pied. Afin de maintenir un appui tripode du pied au sol sur la tubérosité du calcaneus et les têtes du 1er et du 5e métatarsiens, apparaît une bascule complète du BCP en supination [9]. Ce phénomène associe deux éléments : d'une part, un vrillage du BCP lui-même, avec pronation de l'avant-pied et supination de l'arrière-pied et donc varus du talon ; d'autre part, une rotation latérale de l'UTTF sur le BCP. Cette conception est différente des conceptions classiques, même rapportées récemment [10,11].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

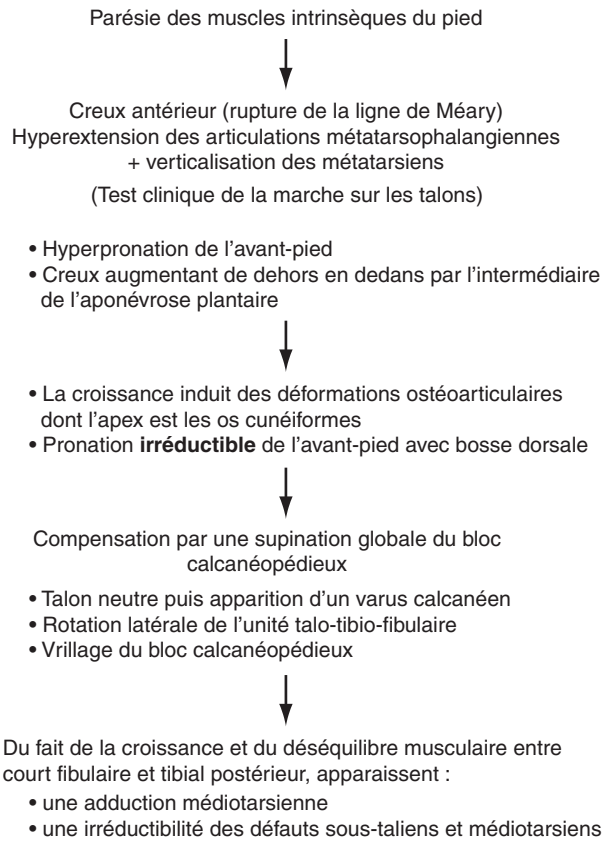


Figure 1. Schématisation de la physiopathologie du pied creux médial.

Une flexion compensatrice des articulations interphalangiennes génère des griffes d'orteils prédominant sur les orteils médiaux mais pouvant affecter le 5e orteil. Les griffes d'orteils évoluent pour leur propre compte.

Signes fonctionnels

Le pied creux varus peut se manifester dès l'âge de 5 ans, et se développer sur un pied initialement plat valgus. Les signes fonctionnels peuvent correspondre à des douleurs plantaires dues à un appui excessif sous la tête du 1er métatarsien ou la base du 5e métatarsien. Une instabilité de cheville, avec entorses récidivantes, est expliquée par le varus de l'arrière-pied et la parésie du muscle court fibulaire. La pérennité du défaut peut aboutir à une instabilité chronique de cheville redoutable de par son évolution à l'âge adulte.

À l'âge adulte, les patients se plaignent de faiblesse musculaire, de durillons plantaires et de cors souvent associés à des métatarsalgies, de difficultés à se chausser, d'instabilité de cheville, et plus rarement de sensation d'engourdissement.

Examen clinique

Si le diagnostic de maladie CMT n'a pas été fait, plusieurs éléments anamnestiques et cliniques peuvent amener à l'évoquer. Tout d'abord, la maladie CMT est la cause la plus fréquente des pieds creux médiaux [2]. Cependant, il existe d'autres étiologies de pied creux neurologiques : les dégénérescences spinocérébelleuses (comme la maladie de Friedreich), la poliomyélite, une syringomyélie, les atteintes lombosacrées (spina bifida), les atteintes pyramidales, en particulier la paralysie cérébrale. Des antécédents familiaux peuvent être retrouvés mais les mutations de novo sont fréquentes ou du fait de la pénétrance variable, certains parents peuvent être porteurs peu ou pas symptomatiques. Un syndrome cérébelleux (maladie de Friedreich), des signes centraux comme la spasticité, des signes de dysraphisme sont absents. L'organisation d'une consultation de neuropédiatrie est indispensable.

Ces enfants sont souvent adressés à la consultation avant l'âge de 5 ans pour un pied plat valgus. L'examen neuro-orthopédique est alors fondamental et permet de faire le diagnostic de maladie CMT. Le test utilisé est celui de la marche sur les talons. Chez l'enfant normal, la marche sur les talons se fait sans difficulté avec une flexion dorsale de cheville et une extension harmonieuse des orteils. L'alignement sagittal tronc-hanche-genou est maintenu. En cas de paralysie des muscles intrinsèques, on observe une hyperextension des orteils avec visualisation à la face antérieure du cou-de-pied des tendons extenseurs y compris celui du tibial antérieur mais sans aucune dorsiflexion de la cheville. Cela s'accompagne d'une rétroposition du tibia et d'un recurvatum du genou et/ou d'une projection du tronc en avant. L'enfant constate alors et dit bien qu'il ne peut pas marcher sur les talons. Lors de cette manœuvre apparaît un creux dynamique médial qui est très évocateur de pathologie neurologique. L'examen en charge statique apprécie le creux médial, l'adduction et le varus du talon (figure 2). La réductibilité de cette déformation tridimensionnelle est évaluée avec le « *block test* » de Coleman [12]. Ce test clinique consiste à supprimer l'effet de la pronation de l'avant-pied en mettant ce dernier dans le vide alors que le talon repose sur une planchette d'une hauteur de 5 cm. L'observateur peut alors noter une disparition plus ou moins complète du varus du talon révélant la réductibilité de l'adduction et de la supination du BCP. D'autres auteurs évaluent la réductibilité des anomalies transversales du pied en positionnant l'enfant à genoux au bord de la table d'examen avec les pieds dans le vide [13]. Cette méthode permet de tester la mobilité des articulations transverse du tarse et

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

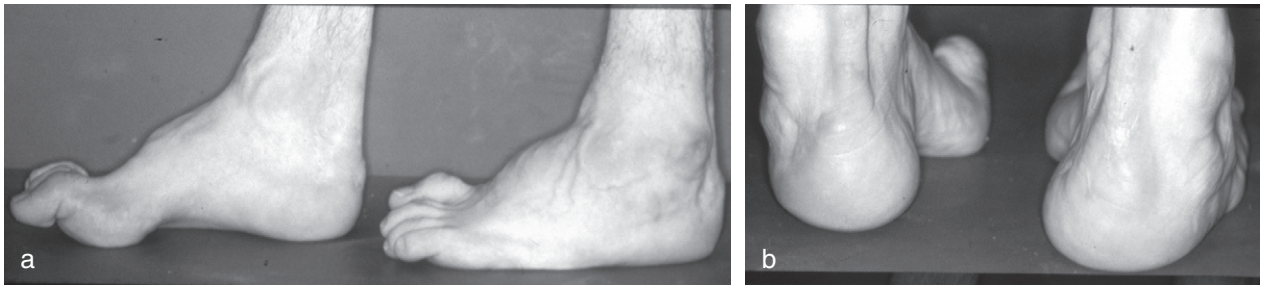


Figure 2. Pied creux varus bilatéral chez un homme âgé de 20 ans.
a. Vue médiale et latérale. b. Vue postérieure.

sous-talienne, mais n'est pas réalisée en charge. Elle est donc complémentaire de la technique de Coleman. Un examen clinique analytique en décubitus dorsal quantifie la pronation de l'avant-pied, peut révéler des anomalies cutanées plantaires en regard de la tête du 1er métatarsien et de la base du 5e métatarsien avec hyperkératose révélatrice d'appuis excessifs. Il existe souvent un défaut de flexion dorsale de cheville, voire parfois un équin. L'examen clinique doit être complété, en particulier au niveau des mains, par une recherche de l'amyotrophie des muscles interosseux et particulièrement du premier interosseux dorsal (très facile à tester par l'étude de la pince pouce-index terminolatérale), et l'examen du rachis.

Imagerie

Le bilan radiographique standard fait appel à trois incidences des deux pieds et chevilles en charge.

Radiographie du pied de profil en charge

Le creux, qui est antérieur, est quantifié avec l'angle de Méary [14], formé par les axes longitudinaux du talus et du 1er métatarsien. Paradoxalement, les radiographies de profil sous-estiment cet angle et donc le cavus. Cela est dû au fait que les anomalies architecturales dans le plan transversal décrites ci-dessus altèrent l'interprétation des radiographies, puisque les axes longitudinaux du talus et du premier métatarsien ne se situent pas dans le même plan sagittal. La parade est de corriger les désordres transversaux avec le « *block test* » décrit par Coleman [12], qui a été modifié sous forme de « test de la planchette oblique » [15] (figure 3a). Cela consiste à mettre sous le bord latéral du médio/avant-pied une cale maintenant la pronation de l'avant-pied dont l'effondrement en appui sur le sol entraîne des perturbations dans le plan transversal. Ainsi, la radiographie de profil devient interprétable (figures 3b et 3c). L'angle de Djian est utilisable en fin de croissance.

Radiographie de face dorsoplantaire

Cette incidence apprécie les désordres secondaires dans le plan transversal. La rotation latérale de l'UTTF au-dessus du BCP est révélée par une diminution de la divergence talocalcanéenne. Cette anomalie peut être corrigée plus ou moins complètement avec le « test de la planchette oblique » (figures 3d et 3e). L'adduction médiotarsienne résiduelle (angle calcaneus-5e métatarsien) correspond à une structuralisation avec subluxation calcanéocuboïdienne, de même que des déformations du naviculaire et du cunéiforme médial.

Radiographie de face des chevilles cerclées selon Méary

Une radiographie de face des chevilles cerclées selon Méary est l'incidence radiologique utilisée en France pour mesurer le varus de l'arrière-pied (les Anglo-Saxons lui préférant l'incidence de Cobey [16] et plus récemment celle de Saltzman [17] : se rapporter au chapitre « Radiologie et imagerie », page 47). Elle peut également dépister une dégradation arthrosique avec instabilité en varus de la cheville et bâillement articulaire latéral permanent en charge.

Clichés dynamiques en valgus/varus de la cheville

Des clichés dynamiques en valgus/varus de la cheville peuvent mettre en évidence une instabilité en varus.

Scanner

Un scanner est utile dans certains cas, en particulier pour des pieds déjà opérés, afin de mieux analyser les déformations. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet de préciser la dégénérescence graisseuse des muscles atteints (tibial antérieur et court fibulaire) et de confirmer le respect de certains comme le long fibulaire [6,7].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 3. Test de la planchette oblique.
a. Modalités pratiques. b. Radiographie de profil sans planchette. c. Radiographie de profil avec planchette. d. Radiographie dorsoplantaire sans planchette. e. Radiographie dorsoplantaire avec planchette.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Classifications fonctionnelles

Il existe dans la littérature deux systèmes de cotation du résultat du traitement du pied cavovarus. La classification de Paulos [18] repose sur des critères cliniques (correction de l'avant-pied et de l'arrière-pied) et subjectifs (satisfaction du patient). La classification de Wicart et Seringe [8] (tableau 1) fait appel à des critères fonctionnels (entorses ou douleurs plantaires), cliniques (orientation de l'arrière-pied), radiologiques (angle de Méary) et évolutifs (la triple arthrodèse est synonyme d'échec de la prise en charge).

Traitement conservateur

Malgré des progrès récents dans la connaissance de la maladie CMT et des projets de traitement médical, la prise en charge est actuellement essentiellement orthopédique.

Chez l'enfant

Il est classiquement rapporté que le traitement orthopédique a peu ou pas de place dans le traitement du pied creux médial [19]. En fait, cela est faux. Pour s'en convaincre, il suffit d'observer un enfant avec un pied creux médial en décubitus dorsal. Il apparaît alors une aggravation du pied creux médial et des griffes des orteils, justifiant l'appareillage nocturne [20].

Appareillage nocturne de type orthèse de Perlstein dévrillante

Sa prescription est logique dans trois conditions : dès l'apparition des premiers signes de pied creux médial afin de prévenir ou différer son aggravation, au décours de la correction orthopédique d'un pied creux médial avec botte plâtrée dévrillante (voir plus bas) ou enfin après traitement chirurgical du pied creux médial chez un enfant afin d'éviter sa récidive du fait de la croissance résiduelle.

Les principes de l'appareillage nocturne *dévrillant* sont les suivants :

- le maintien à 90° de la cheville corrige le creux. Le tendon d'Achille est souvent le siège d'une brièveté avec défaut de flexion dorsale servant de contre-appui à la correction du creux ;
- une supination est imprimée à l'avant-pied ;
- alors que l'arrière-pied est porté en valgus.

Botte plâtrée dévrillante (figure 4)

Son objectif est la correction d'un pied creux médial constitué.

Tableau 1
Évaluation du résultat du traitement du pied cavovarus en fin de croissance [8]

Résultat	Symptômes	Examens clinique et radiographiques
Très bon	Aucun	VG et 0° ≤ angle de Méary ≤ 15° ou N ou VR et 0° ≤ angle de Méary ≤ 5°
Bon		VG et 15° < angle de Méary ≤ 20° ou N et 5° < angle de Méary ≤ 20° ou VR et 5° < angle de Méary ≤ 15° ou –15 ≤ angle de Méary < 0 (hypercorrection mineure)
Moyen		VG ou N et angle de Méary > 20° ou VR et angle de Méary > 15° ou angle de Méary < –15° (hypercorrection majeure)
Mauvais	Douleur ou entorse	Récidive de la déformation requérant une triple arthrodèse
Axe du talon : VG = valgus, N = neutre, VR = varus.		

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Le membre inférieur est positionné sur une « barre à genou ». Un bottillon plâtré est tout d'abord confectionné, les deux tiers proximaux de la jambe étant initialement non plâtrés car l'aide y applique différentes contraintes.

Rôle de l'aide

• Rotation médiale de jambe (donc de l'UTTF) pour faciliter la correction de l'adduction (A1).
• Pression latéromédiale (A2) pour permettre la correction du varus ou la fermeture de l'ostéotomie du calcaneus *après traitement chirurgical*.
• La seconde main maintient le genou fléchi sur une « barre à genou » et applique une pression axiale sur la jambe (A3), servant de contre-appui pour la correction du creux et d'un éventuel équin.

Rôle de l'opérateur

• Valgisation du talon avec une main (O1) s'opposant à la pression latéromédiale de l'aide sur la jambe.
• Dorsiflexion du pied (correction du creux et d'un éventuel équin) [O2].
• Supination de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied (O3).
• Abduction globale (O4) corrigeant l'adduction médiotarsienne et sous-talienne s'opposant à la rotation médiale du squelette jambier.

Lorsque le bottillon plâtré est sec, le second temps consiste à libérer la main jambière de l'aide et à prolonger le plâtre en botte plâtrée circulaire.

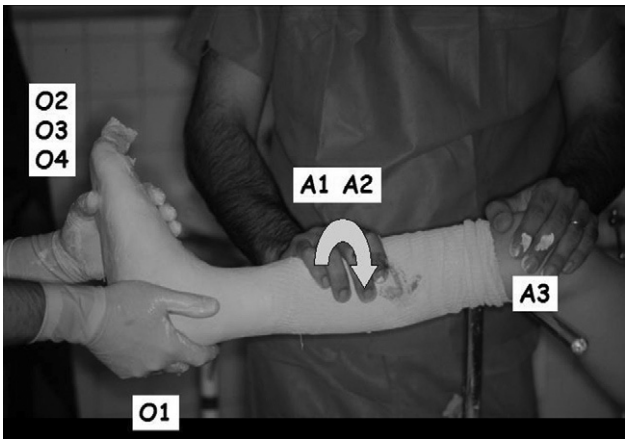


Figure 4. Botte plâtrée dévrillante : technique de réalisation.

Chez l'adolescent et l'adulte

Peu d'articles ont analysé les résultats des traitements non chirurgicaux chez les patients CMT [21]. Pourtant, la plupart de ces patients est traitée non chirurgicalement avec de la kinésithérapie, des attelles nocturnes, des orthèses, des modifications du chaussage allant jusqu'aux chaussures orthopédiques.

La kinésithérapie vise essentiellement à lutter contre les rétractions, en particulier des muscles gastrocnémiens et soléaires, et à entretenir la proprioception. Plus récemment, la pratique d'un entraînement musculaire faible à modéré a été proposée [22] afin d'améliorer la force des muscles, à condition qu'ils ne soient pas extrêmement atteints. Cela peut être débuté avec les conseils d'un médecin rééducateur, d'un kinésithérapeute ou de professionnels sportifs, afin de s'assurer que les exercices sont effectués dans des positions et avec une intensité adéquates ; toutefois cela reste très variable d'un patient à un autre en fonction de la sévérité de ses atteintes.

De même, il est classique de proposer des attelles nocturnes visant à lutter contre l'équin. Une étude randomisée récente [23] avec des patients CMT1A n'a cependant pas démontré leur efficacité, mais la durée de port de l'attelle (6 semaines) était très insuffisante.

Différentes orthèses sont disponibles pour lutter contre le steppage et la bascule en varus, allant d'orthèses plantaires avec relèvement du bord latéral, d'appareillage avec des élastiques, à de véritables orthèses thermoformées anti-varus équin à mettre dans la chaussure.

Les chaussures orthopédiques sont prescrites lorsque les déformations trop importantes et fixées ne permettent plus un chaussage du commerce, elles sont à tige semi-montante lorsqu'il existe un steppage associé. Elles ont l'inconvénient d'être relativement lourdes, ce qui est parfois rédhibitoire pour les patients ayant une faiblesse musculaire importante des membres inférieurs.

Traitements chirurgicaux

Les difficultés inhérentes au traitement chirurgical du pied creux médial [19] expliquent l'abondance des techniques décrites.

Interventions sur les parties molles

Elles sont de deux types : les libérations des parties molles et les transferts musculaires.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Libérations plantaires

Il peut s'agir d'une simple aponévrotomie plantaire sélective à travers un court abord plantaire. Steindler [24] a décrit en 1920 une libération plantaire étendue réalisant par voie médiale une section de l'aponévrose plantaire, des courts fléchisseurs des orteils, de l'abducteur du 5e orteil et du court abducteur de l'hallux. Ces libérations musculaires peuvent être complétées par une libération médiale de l'articulation sous-talienne et de l'articulation talonaviculaire en cas de déformation importante et peu réductible. Ces libérations plantaires, n'exerçant une correction du creux que par un bâillement plantaire de différentes articulations, ne permettent pas d'obtenir sa correction pérenne [25]. Elles doivent impérativement être complétées par des ostéotomies.

Transferts et allongements tendinomusculaires

Les différents transferts peuvent être classifiés selon leur topographie.

Plusieurs transferts concernent l'arrière-pied :

- l'allongement du tendon d'Achille doit être évité avant la fin de croissance. En effet, il constitue le contre-appui nécessaire à la correction chirurgicale ou orthopédique du creux. En revanche, à l'âge adulte, un allongement du tendon d'Achille ou une aponévrotomie des gastrocnémiens est un des gestes souvent associés à une chirurgie, car la relative hyperactivité du complexe gastrocnémien-soléaire contribue à l'équin rapidement fixé [26] ;
- le transfert du tendon long fibulaire sur le tendon court fibulaire est logique puisqu'il supprime l'activité de pronation et de flexion plantaire du muscle long fibulaire et renforce l'activité abductrice du muscle court fibulaire ;
- l'allongement du tendon du tibial postérieur, soit à la jonction blanc-rouge en arrière du tibia soit en reculant son insertion distale, diminue l'adduction inhérente à son activité. Cependant, il convient de moduler cette indication et d'éviter de léser ce tendon qui peut être utilisé à l'âge adulte comme décrit ci-dessous ;
- le transfert du tendon tibial postérieur sur le dos du pied, dont il existe de nombreuses variantes techniques, a pour but de rétablir la dorsiflexion active du pied. Il diminue également la composante varisante de ce muscle. C'est le transfert le plus utilisé chez l'adulte où les composantes déficitaires sur les muscles tibial antérieur et fibulaires apparaissent en plus du pied creux médial.

D'autres transferts concernent le médio-pied : transfert de la moitié du tendon tibial antérieur sur le cuboïde, transfert du tendon du long extenseur des orteils sur le cuboïde (transfert de Hibbs) ou du tendon du 3e fibulaire.

Enfin, l'avant-pied peut faire l'objet de telles procédures :

- le transfert du tendon du long extenseur de l'hallux sur le col du 1er métatarsien, décrit par Jones, nécessite une arthrodèse interphalangienne afin d'éviter une griffe distale [27]. Décrit pour corriger la griffe de l'hallux dans la chirurgie de la poliomyélite, ce transfert isolé donne de bons résultats dans moins de la moitié des cas [28] ;
- de la même façon a été utilisé le transfert des tendons du long extenseur des orteils sur les cols des métatarsiens ;
- des gestes tendineux sont souvent nécessaires au niveau des orteils. Pour les déformations réductibles des orteils latéraux, on peut utiliser le transfert du tendon long fléchisseur sur le tendon extenseur (type Girdlestone), les ténotomies du ou des tendons fléchisseurs, les allongements des tendons extenseurs. Lorsque les griffes d'orteils sont fixées, ces gestes tendineux sont associés à des arthrodèses interphalangiennes.

Les résultats de ces différentes techniques (libération plantaire, allongement tendineux, transferts tendineux) dans la maladie CMT ont été peu évalués, et la plupart des séries est hétérogène aussi bien en termes d'étiologies que de techniques Holmes [29]. Seule l'étude de Roper [30] a démontré l'absence de nécessité de triple arthrodèse ultérieure à un recul de 14 ans, pour 10 enfants et adultes jeunes qui avaient bénéficié de gestes sur les parties molles.

Ostéotomies

L'intérêt des ostéotomies est de corriger la déformation en préservant la mobilité des principales articulations. Différentes ostéotomies ont été décrites. Certaines ont pour objectif une correction du désordre primaire (creux et pronation du médio-/avant-pied) alors que d'autres corrigent des composantes secondaires de la déformation.

Ostéotomie de correction du creux et de la pronation du médio-/avant-pied

Ostéotomies métatarsiennes

Une ostéotomie de flexion dorsale du 1er métatarsien [13], voire de tous les métatarsiens [31] a été

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

proposée. Ces ostéotomies sont inadaptées, car elles ne corrigent pas la déformation à son apex. De plus, l'ostéotomie du 1er métatarsien est insuffisante car elle ne corrige ni l'ensemble du creux ni la pronation de l'avant-pied. En revanche, une ostéotomie complémentaire de fermeture dorsale (dorsiflexion) de la base du 1er métatarsien est indiquée s'il persiste une saillie plantaire du 1er métatarsien après correction du creux et de la pronation du médio-/avant-pied.

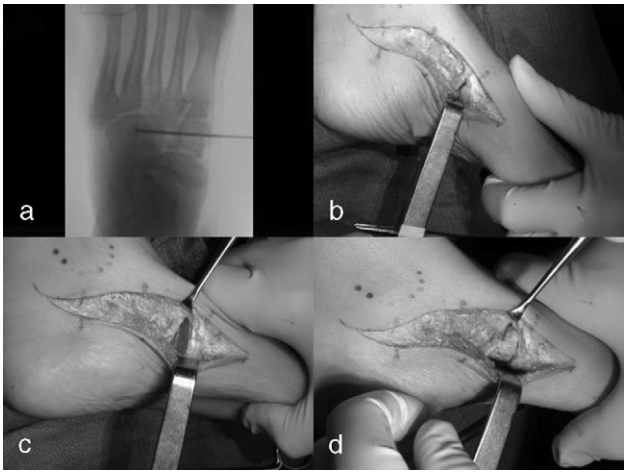


Figure 5. Ostéotomie d'ouverture plantaire des os cunéiformes : technique chirurgicale.
a. Contrôle radiologique de la position correcte de la broche guidant le trait d'ostéotomie. b. Ostéotomie verticale frontale à travers les trois os cunéiformes, maintenant une charnière périostée dorsale. c. Ouverture plantaire de l'ostéotomie. d. Comblement de l'ouverture plantaire avec le greffon provenant du calcaneus (ostéotomie de Dwyer).

Ostéotomie d'ouverture plantaire des os cunéiformes

Cette ostéotomie a plusieurs intérêts chez l'enfant [8]. Les os cunéiformes sont l'apex de la déformation. S'étendant dans les trois os cunéiformes, elle corrige la pronation de l'ensemble de l'avant-pied. L'ouverture plantaire de l'ostéotomie ménageant une charnière ostéopériostée dorsale maintenue avec introduction d'un greffon osseux corrige le creux médial (figures 5 à 7). L'ostéotomie d'ouverture plantaire du seul cunéiforme médial [32], n'agissant que sur la colonne médiale, est insuffisante car elle ne corrige pas la pronation de l'ensemble de l'avant-pied.

Ostéotomies médiotarsiennes

La tarsectomie dorsale décrite par Méary [33] consiste à réaliser une ostéotomie de fermeture dorsale avec exérèse d'un coin osseux naviculo-cunéo-cuboïdien à base dorsale. Le maximum de la résection doit être réalisé au niveau du cunéiforme intermédiaire, qui est le siège de l'apex de la déformation. Ceci est préférable à l'exérèse d'un coin à base dorsomédiale comme proposé dans la technique initiale, génératrice d'adduction médiotarsienne (figures 8 à 10). Jahss [34] a décrit une résection d'un coin à base dorsale de l'articulation tarsométatarsienne. Japas [35] propose une ostéotomie du tarse à travers le cuboïde, le naviculaire et le cunéiforme médial sans excision d'un coin osseux dorsal avec bascule du fragment distal en flexion dorsale. Le but théorique est d'éviter le raccourcissement du pied. Cependant, cette intervention n'est efficace que pour les déformations

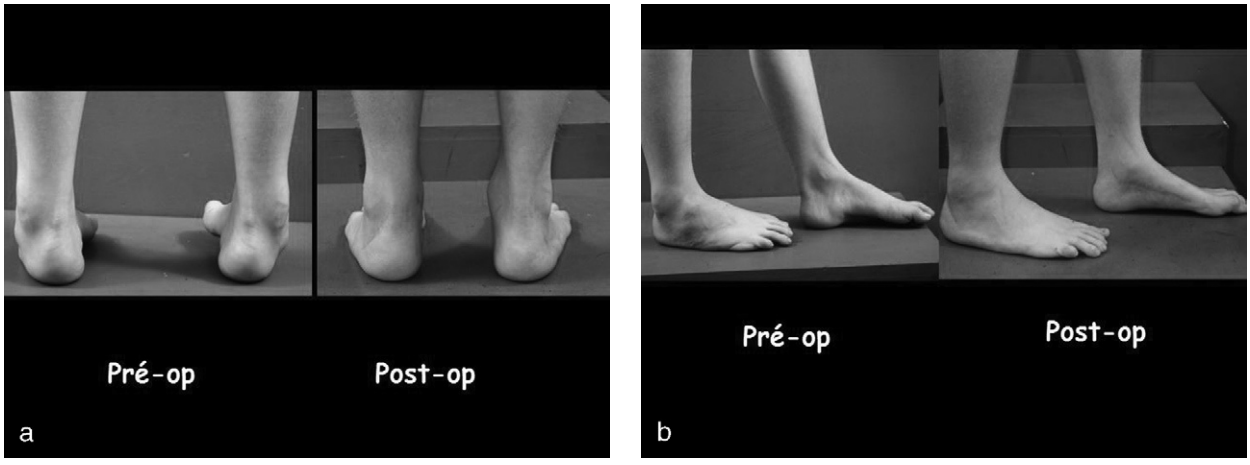


Figure 6. Aspects cliniques pré- (âge : 11 ans) et postopératoires (âge : 15 ans) après ostéotomie d'ouverture plantaire des os cunéiformes, ostéotomie de Dwyer et aponévrotomie plantaire sélective bilatérales.
a. Orientation des talons. b. Profils médial et latéral.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

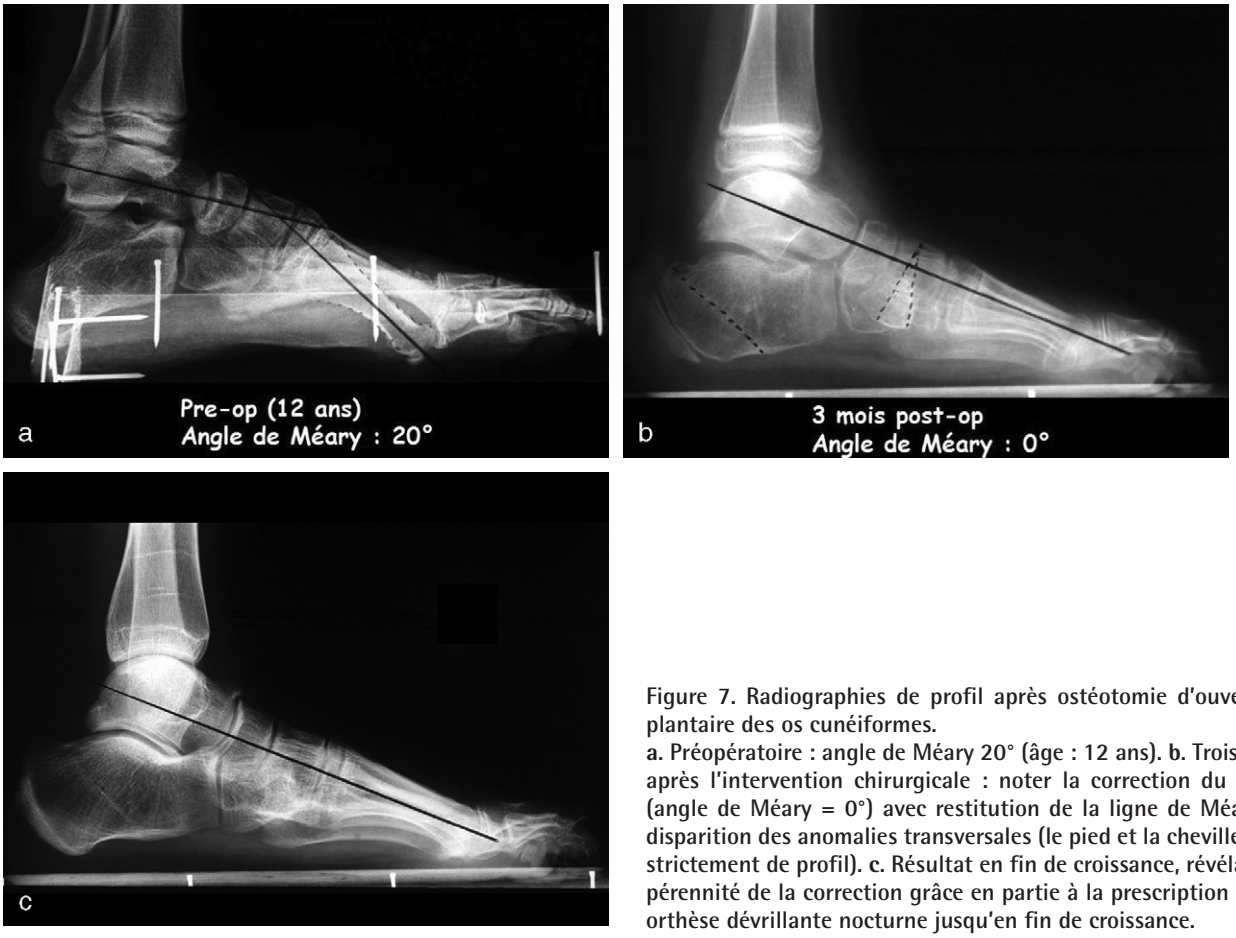


Figure 7. Radiographies de profil après ostéotomie d'ouverture plantaire des os cunéiformes.
a. Préopératoire : angle de Méary 20° (âge : 12 ans). b. Trois mois après l'intervention chirurgicale : noter la correction du creux (angle de Méary = 0°) avec restitution de la ligne de Méary et disparition des anomalies transversales (le pied et la cheville sont strictement de profil). c. Résultat en fin de croissance, révélant la pérennité de la correction grâce en partie à la prescription d'une orthèse dévrillante nocturne jusqu'en fin de croissance.

peu importantes. Wilcox et Weiner [36] proposent une modification de l'ostéotomie décrite par Japas en réalisant une ostéotomie en dôme, comme précédemment décrite, combinée à la résection d'un coin à base dorsale qui permet d'obtenir une meilleure correction de la déformation.

Correction des composantes secondaires de la déformation

Ostéotomie de Dwyer [37]

Réalisant la soustraction latérale d'un coin de 10 mm de largeur aux dépens du corps du calcaneus, elle permet d'obtenir une valgisation extra-anatomique de l'arrière-pied. Cette intervention est le plus souvent nécessaire car la supination de l'arrière-pied secondaire à la pronation de l'avant-pied est insuffisamment réductible après correction de cette dernière. Afin d'avoir un effet de correction plus important, on peut également utiliser des ostéotomies de translation crescentrique [38] ou en « Z » [39].

Ostéotomie de raccourcissement de la colonne latérale

L'intervention décrite par Lichtblau pour le pied bot varus équin congénital [40] (exérèse de l'extrémité antérieure du calcaneus) est indiquée s'il persiste une convexité du bord latéral du pied après libération médiale des parties molles médiotarsiennes (en particulier lorsqu'il y a une subluxation calcanéocuboïdienne).

Arthrodèses

Triple arthrodèse (arthrodèse sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne)

Cette intervention n'est pas une bonne indication pour un pied creux médial. L'évolution à moyen et long terme n'est pas favorable du fait d'une sollicitation mécanique excessive de la cheville, d'autant plus préoccupante qu'il existe des troubles sensitifs et en particulier de la sensibilité profonde [41,42]. Peut

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 8. Tarsectomie : deux schémas différents de la base du coin osseux dorsal à exciser.
a. Correct (modification technique) : enlever très peu d'os aux dépens du cunéiforme médial pour éviter d'induire une adduction. Le coin a une épaisseur maximale au niveau du cunéiforme intermédiaire qui est l'apex du creux. Enlever autant de cuboïde que nécessaire pour corriger l'adduction. b. Incorrect (technique originale) : l'ablation d'un coin à base dorsomédiale génère de l'adduction, ce qui n'est pas souhaitable, car il s'agit d'une des composantes de la déformation initiale.

alors apparaître avant l'âge de 30 ans une instabilité en varus de la cheville avec dégradation arthrosique rapide de cette articulation [43].

Arthrodèse de cheville et panarthrodèse de l'arrière-pied

L'arthrodèse de cheville, réalisant une panarthrodèse, sanctionne sévèrement ce qui peut être qualifié d'échec global de la prise en charge.

La panarthrodèse cheville et arrière-pied [44] est réservée aux patients ayant une décompensation arthrosique varisante de cheville liée à des pieds creux varus sévères, anciens, fixés, et non opérés. Elle peut également être nécessaire, isolément ou associée à des ostéotomies de réaxation de l'arrière-pied, chez des patients CMT ayant une dégradation arthrosique de la cheville sur un arrière-pied plus ou moins bien corrigé par des ostéotomies ou une triple arthrodèse pratiquée antérieurement.

Cette ultime intervention n'est pas toujours une solution, car nous avons observé une arthropathie de Charcot de la cheville après pseudarthrodèse comme cela a déjà été rapporté dans la littérature [45] (figure 11).

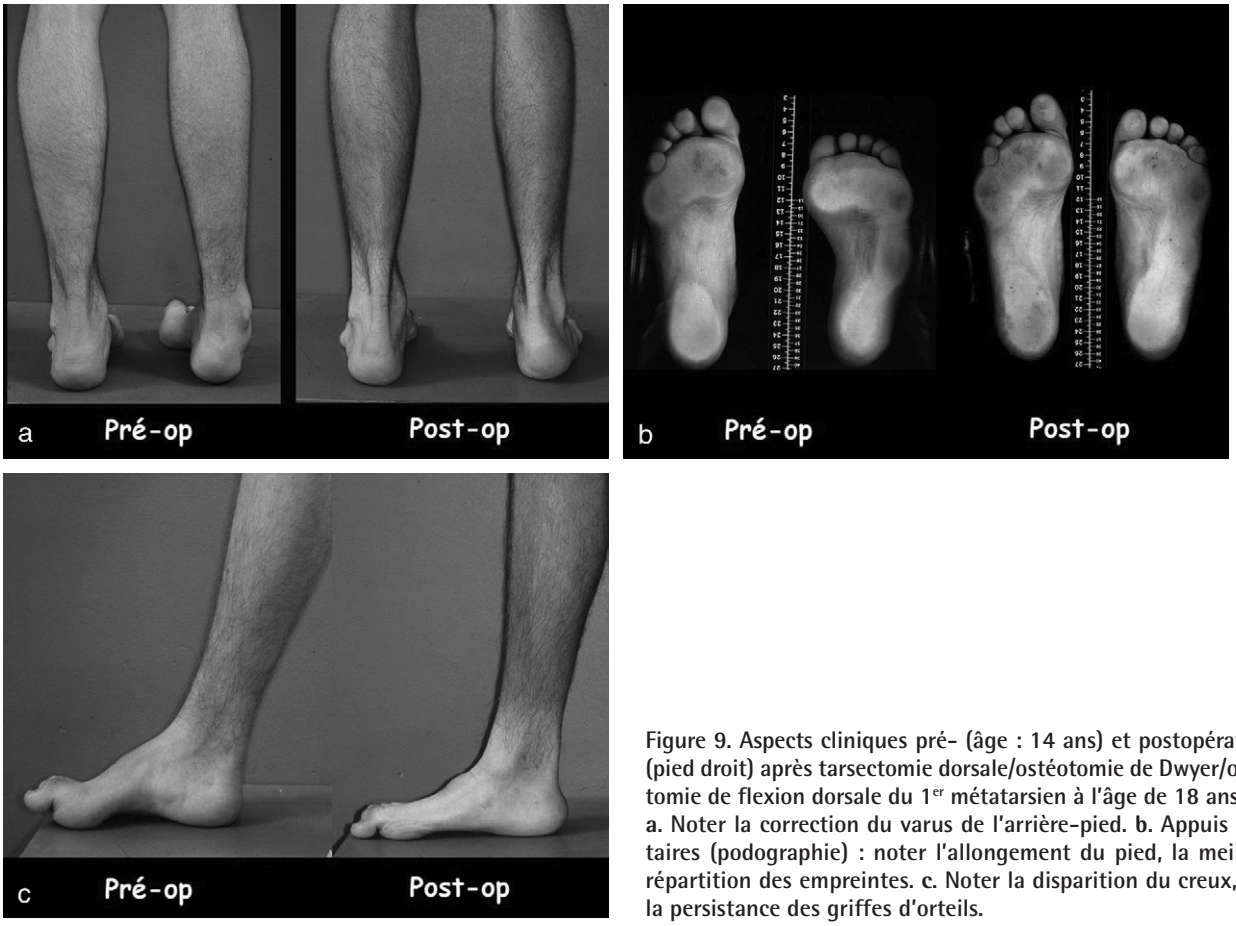


Figure 9. Aspects cliniques pré- (âge : 14 ans) et postopératoires (pied droit) après tarsectomie dorsale/ostéotomie de Dwyer/ostéotomie de flexion dorsale du 1er métatarsien à l'âge de 18 ans.
a. Noter la correction du varus de l'arrière-pied. b. Appuis plantaires (podographie) : noter l'allongement du pied, la meilleure répartition des empreintes. c. Noter la disparition du creux, mais la persistance des griffes d'orteils.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 10. Radiographies pré- (âge : 16 ans) et postopératoires après tarsectomie dorsale/ostéotomie de Dwyer/ostéotomie de flexion dorsale du 1er métatarsien à l'âge de 18 ans.
a. Incidence de profil avec schématisation du coin osseux dorsal à exciser : noter la correction du creux et des troubles rotationnels de l'arrière-pied et de la cheville. b. Incidence dorsoplantaire.



Figure 11. Ostéoarthropathie de Charcot chez un homme de 72 ans (pseudarthrodèse après arthrodèse de cheville indiquée pour instabilité de cheville consécutive à une triple arthrodèse). Aspect clinique (a) et radiographique (b).

Indications thérapeutiques

L'objectif de la prise en charge de la déformation du pied creux médial est d'obtenir une correction de la déformation du pied en maintenant la mobilité des articulations médiotarsiennes et sous-talienne.

Chez l'enfant

L'apparition d'un pied cavovarus est l'indication d'un traitement orthopédique avec orthèse de Perlstein dévrillante. Elle doit être précédée, en cas de déformation notable, d'une botte plâtrée dévrillante. Ce traitement peut permettre de différer ou de rendre caduc un traitement chirurgical. Il s'avère réellement efficace avant l'âge de 10 à 12 ans (figure 12).

Un pied creux médial significatif et évolutif (malgré un traitement orthopédique bien mené) avec signes fonctionnels est une indication chirurgicale chez la fille de moins de 12 ans, le garçon de moins de 14 ans. Il s'agit de l'indication d'ostéotomie d'ouverture plantaire des os cunéiformes précédée d'une ostéotomie de valgisation du calcaneus (Dwyer) produisant le greffon osseux et d'une aponévrotomie plantaire sélective. Une libération médiale des parties molles est indiquée s'il persiste en fin d'intervention une adduction médiotarsienne significative. Une ostéotomie de raccourcissement de la colonne latérale [40] est réalisée s'il persiste une convexité du bord latéral du pied après libération des parties molles. Une saillie plantaire de la tête du 1er métatarsien par rapport à celle du 2e métatarsien notée en fin d'intervention justifie la réalisation d'une ostéotomie de flexion dorsale avec soustraction

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

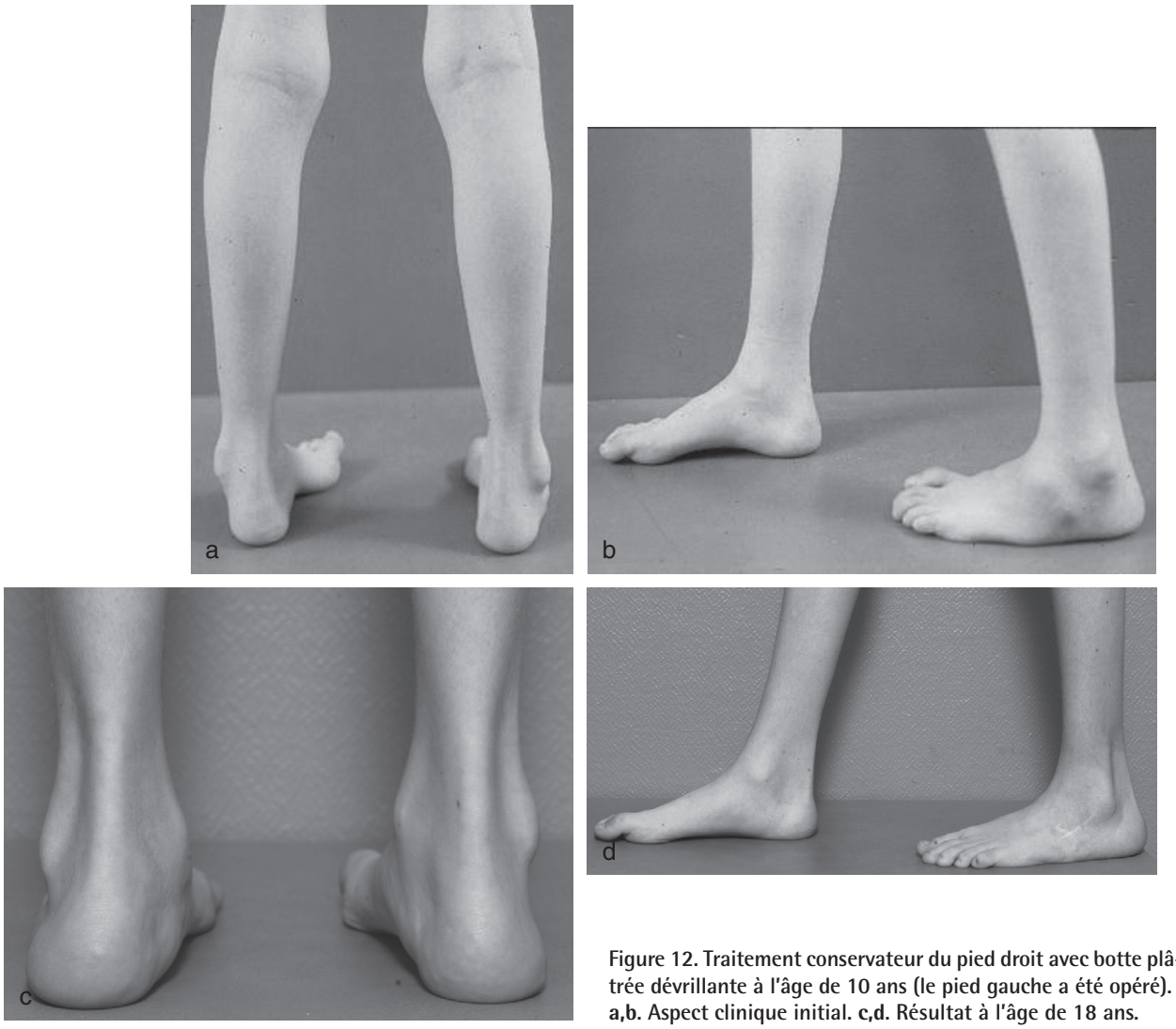


Figure 12. Traitement conservateur du pied droit avec botte plâtrée dévrillante à l'âge de 10 ans (le pied gauche a été opéré). a,b. Aspect clinique initial. c,d. Résultat à l'âge de 18 ans.

dorsale du 1er métatarsien. Le réglage de l'ostéotomie est réalisé avec le plâtre et ne requiert pas d'ostéosynthèse. L'immobilisation plâtrée postopératoire fait appel à une botte plâtrée dévrillante, réalisée au 7e jour postopératoire avec anesthésie générale, pour une période de 3 mois. Elle est relayée avec un appareil de Perlstein dévrillant nocturne pour prévenir la récidive du fait de la croissance et de la persistance de l'anomalie neurologique.

Chez l'adolescent

Le caractère structural de la déformation, après l'âge de 12 ans chez la fille et 14 ans chez le garçon, justifie une tarsectomie dorsale (Méary) précédée d'une aponévrotomie plantaire sélective et d'une ostéotomie de Dwyer, de façon à éviter à tout prix une triple arthrodèse.

Chez l'adulte

Nous recommandons de faire systématiquement un essai de traitement conservateur (orthèse, adaptation du chaussage) et de ne jamais prendre de décision chirurgicale à la première consultation.

Il faut parfois accepter des objectifs limités, par exemple en ne corrigeant que des griffes d'orteils invalidantes dans des chaussures sur mesure ou en se limitant à la correction d'un équin sévère fixé. Mais, inversement, il ne faut pas proposer la chirurgie trop tardivement et laisser s'aggraver une déformation fixée et sévère. Ces déformations associées à l'impossibilité de marcher pieds nus constituent un handicap important (figure 13) amenant le plus souvent les patients à réclamer une solution chirurgicale. Il s'agit alors de déformations sévères et raides, qui

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

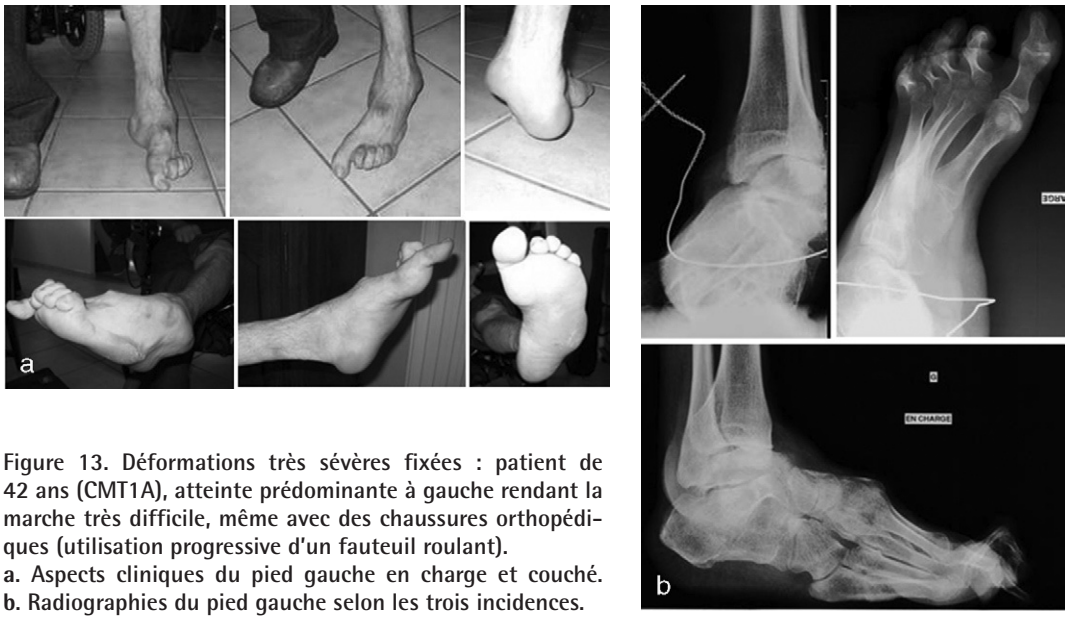


Figure 13. Déformations très sévères fixées : patient de 42 ans (CMT1A), atteinte prédominante à gauche rendant la marche très difficile, même avec des chaussures orthopédiques (utilisation progressive d'un fauteuil roulant).
a. Aspects cliniques du pied gauche en charge et couché.
b. Radiographies du pied gauche selon les trois incidences.

imposeront une correction de toutes les déformations (cheville, arrière-pied, avant-pied, griffes d'orteils) avec successivement une correction de l'équin par des gestes tendineux, une triple arthrodèse, associées à des gestes tendineux de rééquilibrage suivis d'ostéotomies métatarsiennes en particulier du 1er rayon, et de correction des griffes d'orteils pour adapter l'avant-pied à la correction de l'arrière-pied afin de rétablir un appui au sol harmonieux pied à plat en charge (figure 14). De plus, les formes sévères avec un pied creux médial fixé et des atteintes déficitaires musculaires importantes, jamais opérées ou mal corrigées par des ostéotomies et/ou arthrodèses réalisés pendant l'adolescence (figure 15), conduisent à une dégradation arthrosique et varisante de la cheville rendant la marche pieds nus impossible et le chaussage orthopédique de plus en plus massif et lourd, donc incompatible avec la faiblesse musculaire. La seule solution est alors une panarthrodèse de la cheville, de l'arrière-pied et du médio-pied très difficile techniquement et avec un résultat parfois médiocre.

Les indications des transferts et allongements tendineux ne sont pas consensuelles. D'une façon générale, les patients opérés à l'adolescence avec des gestes lourds associant des arthrodèses et des transferts tendineux, en particulier de réanimation de la flexion dorsale, avaient souvent de mauvais résultats à l'âge adulte, en général du fait de l'évolutivité de l'affection [1]. De même, les transferts des tendons extenseurs sur le col des métatarsiens pratiqués durant l'enfance se révèlent inefficaces à l'âge adulte sur la flexion dorsale active du pied, mais entraînent des griffes iatrogènes particulières avec hyperflexion des articulations métatarsophalangiennes et enroulement global en flexion des orteils liés à l'action des fléchisseurs, responsable d'hyperappui pulpaire des orteils. Tynan et Klenerman [28] avait également observé une déformation invalidante en flexion plantaire de l'hallux dans plus de 25 % des cas après transfert du long extenseur de l'hallux type Jones. De même, les gestes tendineux multiples de rééquilibrage pratiqués pendant l'enfance peuvent conduire à un effondrement du pied en planus, lié à la progression de la maladie sur les antagonistes qui étaient sains lors de la chirurgie initiale. Ces déformations primaires ou secondaires en pied plat valgus ne peuvent se corriger que par des gestes d'arthrodèse. Enfin, en dépit d'éventuels allongements du tendon d'Achille pendant l'enfance, l'équin a souvent récidivé à l'âge adulte.

Conclusion

Du fait de découvertes génétiques récentes, l'hétérogénéité de cette affection apparaît encore plus importante, le terme de « maladie CMT » est plus adapté. Nous pouvons espérer que la segmentation de la maladie CMT en différents sous-groupes génétiques permettra de prévoir le développement et la progression

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 14. Patiente de 31 ans (CMT 1), atteinte prédominante à gauche, ne pouvant plus marcher pieds nus du fait de l'équin et de l'instabilité en varus, chaussures orthopédiques.
a. Aspects cliniques (pied gauche : varus sévère, équin fixé 20°, fibulaires 0, tibial antérieur et extenseurs 4). b. Radiographies préopératoires en charge. c. Radiographies après l'intervention (allongement d'Achille, aponévrotomie plantaire, triple arthrodèse avec tarsectomie, ostéotomie de relèvement de M1, chirurgie des orteils et arthrodèse interphalangienne de l'hallux). d. Radiographies à 3 ans (très satisfaite, elle peut marcher pieds nus, chaussage standard avec orthèses plantaires).

des déformations du pied et de la cheville. Cependant, presque la moitié des cas seraient liés à une mutation de novo [10] et n'ont aucune histoire familiale.

Pour l'instant, il n'existe aucune étude chirurgicale randomisée ni même prospective faite spécifiquement dans les sous-groupes de CMT. Il manque également de véritables études de suivi clinique. On ne peut pas proposer d'arbre décisionnel, il ne faut surtout pas appliquer des recettes. Plus le sujet est jeune, plus les gestes chirurgicaux doivent être économes et conservateurs compte tenu de l'incertitude sur l'évolutivité ultérieure ; inversement, à l'âge adulte, la chirurgie ne doit pas être proposée trop tard. Les indications thérapeutiques doivent être individualisées au cas par cas, en fonction de l'attente réelle du patient. La prise en charge thérapeutique de ces patients doit se faire dans des centres de référence avec des équipes pluridisciplinaires.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

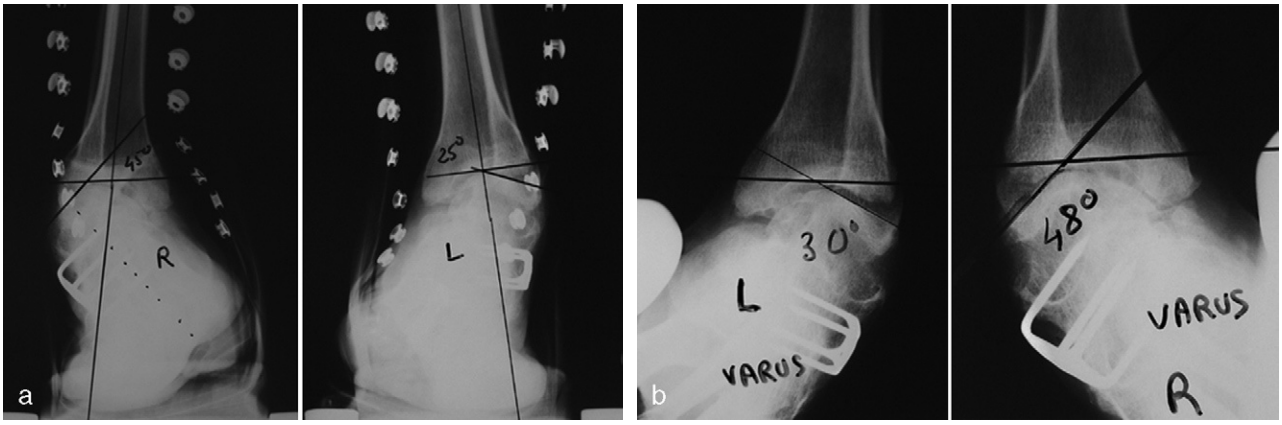


Figure 15. Patient âgé de 41 ans (CMT) opéré 4 fois des deux pieds pendant l'enfance et l'adolescence (libérations plantaires, ostéotomies, triple arthrodèse).
Malgré le chaussage orthopédique, décompensation progressive douloureuse en varus. Testing musculaire à 3 des loges antérieure, antérolatérale et postérieure. a. Radiographies en charge (incidence de Méary avec ses chaussures orthopédiques) objectivant la décompensation varisante intra-articulaire des deux chevilles. b. Radiographies dynamiques en varus forcé : laxité latérale sévère liée à la décompensation varisante (sus-jacente aux triples arthrodèses de l'arrière-pied).

Références

1 Besse JL, Sturtz F, Moyen B, Lerat JL. Atteintes du pied dans la maladie de Charcot-Marie-Tooth. Méd Chir Pied 1995 ; 11 : 25-9.
2 Ghanem I, Zeller R, Seringe R. The foot in hereditary motor and sensory neuropathies in children. Rev Chir Orthop, 1996 ; 82 : 152-60.
3 Sabir M, Lyttle D. Pathogenesis of pes cavus in Charcot-Marie-Tooth disease. Clin Orthop Relat Res 1983 ; 175 : 173-8.
4 Rigault P, Filipe P, Janklevicz H, Kliszowski J, Mallet J, Seringe R. Pied creux interne de l'enfant et de l'adolescent. Ann Orthop Ouest 1988 ; 20 : 99-130.
5 Mann RA, Missirian J. Pathophysiology of Charcot-Marie-Tooth disease. Clin Orthop Relat Res 1988 ; 234 : 221-8.
6 Tynan MC, Klenerman L, Helliwell TR, Edwards RH, Hayward M. Investigation of muscle imbalance in the leg in symptomatic forefoot pes cavus : a multidisciplinary study. Foot Ankle 1992 ; 13 : 489-501.
7 Gallardo E, Garcia A, Combarros O, Berciano J. Charcot-Marie-Tooth disease type 1A duplication : spectrum of clinical and magnetic resonance imaging features in leg and foot muscles. Brain 2006 ; 129 : 426-37.
8 Wicart P, Seringe R. Plantar opening wedge osteotomy of cuneiform bones combined with selective plantar release and Dwyer osteotomy for pes cavovarus in children. J Pediatr Orthop 2006 ; 26 : 100-8.
9 Méary R. Symposium : le pied creux essentiel. Rev Chir Orthop 1967 ; 53 : 389-467.
10 Guyton GP. Current concepts review : orthopaedic aspects of Charcot-Marie-Tooth disease. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 1003-10.
11 Beals TC, Nickisch F. Charcot-Marie-Tooth disease and the cavovarus foot. Foot Ankle Clin 2008 ; 13 : 259-74.
12 Coleman SS, Chesnut WJ. A simple test for hindfoot flexibility in the cavovarus foot. Clin Orthop Relat Res 1977 ; 123 : 60-2.
13 Mubarak SJ, Van Valin SE. Osteotomies of the foot for cavus deformities in children. J Pediatr Orthop 2009 ; 29 : 294-9.
14 Aktas S, Sussman MD. The radiological analysis of pes cavus deformity in Charcot-Marie-Tooth disease. J Pediatr Orthop B 2000 ; 9 : 137-40.
15 Seringe R, Tomeno B. Pied creux. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Appareil locomoteur, 14112, A10, 1992 : 8p.
16 Cobey JC, Sella E. Standardizing methods of measuring foot shape by including the effects of subtalar rotation. Foot Ankle 1981 ; 2 : 30-6.
17 Saltzman CL, El-Khoury GY. The hinfoot alignment view. Foot Ankle Int 1995 ; 16 : 572-6.
18 Paulos L, Coleman SS, Samuelson KM. Pes cavovarus. J Bone Joint Surg Am 1980 ; 62 : 942-53.
19 Mosca VS. The cavus foot. J Pediatr Orthop 2001 ; 21 : 423-4.
20 Seringe R, Mayer M. Les neuropathies périphériques de CMT. In : Les maladies neuromusculaires de l'enfant. : Monographie du GEOP. Montpellier : Sauramps Médical ; 1999. p. 69-74.
21 Sackley C, Disler PB, Turner-Stokes L, Wade DT. Rehabilitation interventions for foot drop in neuromuscular disease. Cochrane Database Syst Rev 2007 ; 18 : CD003908.
22 El Mhandi L, Millet GY, Calmels P, Richard A, Oullion R, Gautheron V, et al. Benefits of interval-training on fatigue and functional capacities in Charcot-Marie-Tooth. Muscle Nerve 2008 ; 37 : 601-10.
23 Refshauge KM, Raymond J, Nicholson G, Van den Dolder PA. Night splinting does not increase ankle range of motion in people with Charcot-Marie-Tooth disease : a randomized, cross-over trial. Aust J Physiother 2006 ; 52 : 193-9.
24 Steindler A. Operative treatment of pes cavus : stripping of the os calcis. Surg Gynecol Obstet 1917 ; 24 : 612.
25 Larivière JY, Miladi L, Dubousset J, Seringe R. Les échecs de l'opération de Dwyer dans le pied creux interne de l'enfant. Considérations physiopathologiques et déductions thérapeutiques. Rev Chir Orthop 1985 ; 71 : 563-673.
26 Alexander IJ, Johnson KA. Assessment and management of pes cavus in Charcot-Marie-Tooth disease. Clin Orthop Relat Res 1989 ; 246 : 273-81.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

27 Gould N. Surgery in advanced Charcot-Marie-Tooth disease. Foot Ankle 1984 ; 4 : 267-73.
28 Tynan MC, Klenerman L. The modified Robert Jones tendon transfer in case of pes cavus and clawed hallux. Foot Ankle Int 1994 ; 15 : 68-71.
29 Holmes JR, Hansen ST Jr. Foot and ankle manifestations of Charcot-Marie-Tooth disease. Foot Ankle 1993 ; 14 : 476-86.
30 Roper BA, Tibrewal SB. Soft tissue surgery in Charcot-Marie-Tooth disease. J Bone Joint Surg Br 1989 ; 71 : 17-20.
31 Sammarco GJ, Taylor R. Combined calcaneal and metatarsal osteotomies for the treatment of cavus foot. Foot Ankle Clin 2001 ; 6 : 533-43.
32 Fowler SB, Brooks AL, Parrish TF. The cavovarus feet. J Bone Joint Surg Am 1959 ; 41 : 757.
33 Méary R, Mattéi CR, Tomeno B. Tarsectomie antérieure pour pied creux. Indications et résultats lointains. Rev Chir Orthop 1976 ; 62 : 231-43.
34 Jahss MH. Evaluation of the cavus foot for orthopaedic treatment. Clin Orthop Relat Res 1983 ; 181 : 52-63.
35 Japas LM. Surgical treatment of pes cavus by tarsal V-osteotomy. J Bone Joint Surg Am 1968 ; 50 : 927-44.
36 Wilcox PG, Weiner DS. The akron midtarsal dome osteotomy in the treatment of rigid pes cavus : a preliminary review. J Pediatr Orthop 1985 ; 5 : 333-8.
37 Dwyer FC. Osteotomy of the calcaneus for pes cavus. J Bone Joint Surg Br 1959 ; 41 : 80-6.
38 Samilson RL, Dillon W. Cavus, cavovarus, and calcaneocavus. An update. Clin Orthop Relat Res 1983 ; 177 : 125-32.
39 Hinterman B. Surgical techniques. In : Total ankle arthroplasty : historical review, current concepts and future perspectives. Vienne : Springer ; 2005. p. 105-26.
40 Lichtblau S. A medial and lateral release, operation for clubfoot. J Bone Joint Surg Am 1973 ; 55 : 1377-84.
41 Wukich DK, Bowen JR. A long-term study of triple arthrodesis for correction of pes cavovarus in Charcot-Marie-Tooth disease. J Pediatr Orthop 1989 ; 9 : 433-7.
42 Wetmore RS, Drennan JC. Long-term results of triple arthrodesis in Charcot-Marie-Tooth disease. J Bone Joint Surg Am 1989 ; 71 : 417-22.
43 Saltzman CL, Fehrle MJ, Cooper RR, Spencer EC, Ponseti IV. Triple arthrodesis : twenty-five and forty-four-year average follow-up of the same patients. J Bone Joint Surg Am 1999 ; 81 : 1391-402.
44 Santavirta S, Turunen V, Ylinen P, Konttinen YT, Tallroth K. Foot and ankle fusion in Charcot-Marie-Tooth disease. Arch Orthop Trauma Surg 1993 ; 112 : 175-9.
45 Medhat MA, Krantz H. Neuropathic ankle joint in Charcot-Marie-Tooth disease after triple arthrodesis of the foot. Orthop Rev 1988 ; 17 : 873-80.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied polio

C. THÉVENIN-LEMOINE[1], N. KHOURI[1], M. GUILLAUMAT[2], P. DENORMANDIE[3]

La poliomyélite [1]

La poliomyélite est une infection à entérovirus à porte d'entrée gastro-intestinale ou respiratoire, à tropisme neurologique, avec atteinte par voie hématogène des motoneurones des cornes antérieures de la moelle.

La maladie évolue en quatre phases.

1. Phase aiguë : les paralysies apparaissent 2 j après le début de la fièvre. Cette phase dure 5 à 10 j et se termine 48 h après normalisation de la température. On privilégie le confort et la prévention des déformations par mobilisations et postures.
2. Phase de récupération : elle dure en moyenne 16 mois avec une phase algique (de 2 semaines à plusieurs mois) où les muscles sont douloureux, avec spasmes, suivie d'une phase indolore. Il faut favoriser la récupération musculaire et éviter les déformations (mobilisations, orthèses) en réalisant des exercices adaptés à la force du muscle, pour éviter les compensations (exemple : travailler la flexion dorsale de cheville sans solliciter les extenseurs des orteils dans une paralysie du muscle tibial antérieur [TA]).
3. Phase séquellaire : aucune récupération n'est possible. Contrairement à la phase de récupération, on cherche à compenser les faiblesses résiduelles par d'autres muscles, et à corriger les désordres architecturaux qui vont s'installer. Le traitement en est développé plus loin.
4. Le syndrome post-polio [2] : il traduit l'épuisement métabolique des motoneurones fonctionnels, qui ont tenté de compenser la perte neuronale consécutive à l'atteinte virale par la production de bourgeons neuronaux supplémentaires. Il survient environ 30 ans après la phase aiguë et est responsable d'une aggravation de la perte d'autonomie. Il se manifeste par une augmentation de la fatigabilité, des douleurs musculaires, des troubles du sommeil, des difficultés à déglutir ou à respirer, des troubles de régulation de la température. La prise en charge consiste en un aménagement de la vie quotidienne et du travail de manière à éviter le surmenage. Aucun traitement médical n'a fait la preuve de son efficacité.

Le tableau est une atteinte musculaire flasque, typiquement asymétrique, la faiblesse musculaire étant proportionnelle à l'atteinte cellulaire. Il existe donc des paralysies complètes ou partielles, d'emblée ou après récupération.

Green et Grice [3] ont décrit le cercle vicieux aboutissant à une aggravation du handicap : les déséquilibres musculaires, les rétractions et les anomalies de contraintes aboutissent à des déformations articulaires. Celles-ci sont aggravées par la mise en charge (lors de la marche) et par la croissance (en particulier à la période pubertaire). En résulteront une augmentation du handicap, mais aussi des déséquilibres musculaires, des rétractions et des anomalies de contrainte, complétant ainsi le cercle vicieux. Plus l'atteinte est précoce au cours de la croissance, plus le risque de déformation est important.

Motifs de consultation

Douleurs

Elles sont mécaniques, il n'existe pas de douleur neuropathique ni de trouble sensitif. Il peut s'agir de douleurs d'appui (métatarsalgies), voire de dégradations articulaires, alors plus souvent d'arrière-pied que d'avant-pied. L'identification de l'articulation douloureuse peut être facilitée par une infiltration.

Griffes d'orteils

Elles sont responsables de conflits au chaussage et d'une gêne esthétique. En flexion des articulations métatarsophalangiennes (MP), elles peuvent être secondaires à une prévalence des fléchisseurs intrinsèques, des fléchisseurs extrinsèques (compensation d'une insuffisance tricipitale) ou du long fibulaire (LF) *[« dorsal bunion »]*.

[1] Service de chirurgie orthopédique, hôpital d'enfants Armand-Trousseau, 26, avenue du Dr-Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12.
[2] Service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Joseph, 185, rue Raymond-Losserand, 75014 Paris.
[3] Service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, boulevard Raymond-Poincaré, 92380 Garches.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

En cas d'hyperextension des MP, elles sont souvent liées à une hyperactivité des extenseurs extrinsèques pour compenser une faiblesse du TA.

Instabilité

Dans le plan frontal, elle peut être en varus par prévalence du tibial postérieur (TP), avec un varus siégeant au niveau de l'articulation sous-talienne, voire dans la tibiotalienne lorsque la sous-talienne a été arthrodésée avec un TP prédominant. Le varus peut aussi être adaptatif à une verticalisation de M1 (prévalence du LF). En valgus, il s'agit d'une prévalence des fibulaires, d'un tendon d'Achille court ou iatrogène après geste sur le TP pour corriger un pied varus.

Dans le plan sagittal, on peut observer des accrochages du pied liés à un steppage ou à un équin, ou une instabilité tibiotalienne due à un déficit tricipital (manœuvre de tiroir antéropostérieur positive).

Perte d'autonomie

Elle peut être secondaire à un syndrome post-polio, un surpoids, une complication iatrogène, ou à des dégradations articulaires, tant aux membres inférieurs (recurvatum de genou, dislocation sous-talienne en valgus) qu'aux membres supérieurs, limitant l'utilisation des aides de marche (pathologie de coiffe, omarthrose). Plus le patient grandit, plus l'appareillage est lourd et devient difficile à supporter.

Bilan du pied polio

Il doit comporter :

- la cotation musculaire muscle par muscle (de 0 à 5) [voir le chapitre « Testing musculaire », page 41], en tenant compte du fait que les muscles normaux n'ont pas la même force « fonctionnelle » (exemple : triceps et TA), d'où des techniques de cotation bien précisées. L'évaluation doit être complète, et ne doit pas être limitée au pied;
- l'évaluation des amplitudes articulaires;
- un bilan fonctionnel ayant pour but de prévoir les conséquences fonctionnelles, l'évolution des déformations au cours de la croissance et le programme thérapeutique. Il doit se faire en situation, avec les aides de marche et les appareillages.

Principes thérapeutiques [1,4]

Distinguer l'enfant de l'adulte

Chez l'enfant, les déséquilibres musculaires au cours de la croissance sont la cause de déformations progressives contre lesquelles il faut lutter précocement, alors que les articulations sont encore souples et les os non déformés, en évitant les rétractions par mobilisations et postures, et en corrigeant les déséquilibres musculaires par des transferts tendineux. Une stabilisation articulaire peut néanmoins être nécessaire. Une déformation osseuse peut parfois se corriger au cours de la croissance, en harmonisant les contraintes musculaires qui s'exercent sur l'os (exemple : correction d'une verticalisation du calcaneus après transfert palliatif du triceps).

Chez l'adulte, le risque de déformation est peu important en cas d'atteinte tardive, et aboutit le plus souvent à des déformations fixées dans les atteintes précoces. On sera amené à associer correction squelettique et rééquilibration.

Kinésithérapie

Elle est capitale, et a pour but le travail des amplitudes articulaires et la lutte contre les rétractions. Le travail musculaire actif est inutile, voire nocif : les muscles partiellement paralysés travaillent spontanément au maximum de leurs possibilités, il est inutile de les fatiguer davantage. La rééducation a également une place importante après la chirurgie de libération ou de transfert.

Postures et appareillages

Les postures ont pour but d'éviter les rétractions. Les orthèses cherchent à restaurer la marche, protéger les muscles faibles des étirements, augmenter ou remplacer l'action d'un muscle faible, et prévenir ou corriger les déformations. Un maintien dynamique plutôt que statique est à privilégier. Chez les petits, les attitudes vicieuses irréductibles sont corrigées par des séries de plâtres, ce qui permet également de faciliter le port des attelles. Si la marche est possible sans appareillage, l'enfant n'utilise habituellement pas les appareils simples comme des releveurs. En revanche, ce type d'appareillage court et léger peut être très utile chez l'adulte (diminution de la boiterie et de la fatigue, sécurité à la marche et stabilité du genou, gain esthétique).

Chirurgie

Divers gestes peuvent être associés.

- Les transferts tendineux ont pour but de rétablir un mouvement et d'éviter une déformation.
- Les arthrodèses permettent de corriger des déformations et de soulager des douleurs dégénératives. Elles peuvent également être réalisées dans le but de limiter

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

le nombre d'articulations sur lesquelles agissent des muscles faibles, ce qui permet de focaliser l'action de ces muscles faibles sur l'articulation laissée libre (exemple : la triple arthrodèse permet de centrer l'action des muscles sur l'articulation tibiotalienne). Au niveau de l'arrière-pied, sont réalisables chez l'enfant une arthrodèse sous-talienne extra-articulaire (Grice) ou une fixation talocalcanéenne temporaire (cavalier). Chez l'adulte, il s'agit principalement de triple arthrodèse, parfois d'arthrodèse tibiotalienne et de tarsectomie.

- Les allongements pour inégalité de longueur des membres inférieurs (ILMI) ont un important taux de complications, avec une lente maturation du cal et des rétractions fréquentes.
- Les ostéotomies : ostéotomie supramalléolaire dans le cas d'une arthrose tibiotalienne latéralisée, ostéotomie métatarsienne pour rétablir un appui homogène du clavier métatarsien, ostéotomies calcanéennes.
- Les arthroplasties en cas d'atteinte dégénérative, en particulier au genou.

Les gestes de stabilisation passive (ténodèse, ligament artificiel) ont été abandonnés car ils n'ont pas donné les résultats escomptés.

Dans les corrections d'attitude vicieuse, la chirurgie d'allongement des parties molles suffit et il est rarement nécessaire d'associer une arthrolyse.

Il faut toujours penser à transférer un muscle plutôt que simplement le ténotomiser. On privilégie les transferts sur le triceps plutôt que sur la loge antérieure, dont l'importance est moindre pour l'obtention d'un appui stable au sol.

Lors de la correction d'un équin ancien, le cartilage antérieur de l'articulation tibiotalienne est chondromalacique, ce qui, lors de la mise en charge, peut être responsable de douleurs, voire d'une évolution arthrosique.

Déformations utiles

Avant de corriger toute déformation, il est capital de se demander si celle-ci n'est pas utile.

L'exemple le plus caractéristique est un équin de cheville utile pour verrouiller le genou : en phase d'appui, en cas de quadriceps faible, la présence d'un équin permet un renvoi en arrière du tibia. Le tronc continuant son avancée, le vecteur force de réaction au sol passe en avant du centre de rotation du genou, ce qui induit un moment latéral en extension qui verrouille le genou par mise en tension des coques condyliennes postérieures (figure 1). La situation malheureusement classique est celle de la correction d'un équin par allongement d'Achille, responsable d'une perte de ce phénomène de verrouillage automatique du genou, rendant alors le patient dépendant d'une orthèse de maintien. Dans le réglage d'une arthrodèse, il faut pour la même raison penser à la possible nécessité d'obtenir en charge une position globale d'équin.



Figure 1. Équin de cheville permettant le verrouillage du genou, au prix d'un recurvatum.

Suivant le même mécanisme, une perte du verrouillage du genou peut être observée sur une déformation du pied en valgus par brièveté du tendon d'Achille, du fait de la diminution du bras de levier du triceps. L'équin peut également permettre la compensation d'une ILMI.

Pièges classiques

- La correction d'un équin par allongement d'Achille excessif est nuisible, en particulier à la stabilisation du genou.
- Le transfert d'un muscle de force insuffisante pour la fonction recherchée le rend inutile et fait perdre un élément moteur qui peut être plus utile ailleurs.
- La correction osseuse sans correction du déséquilibre musculaire risque d'entraîner une récidive de la déformation. Par exemple, un pied varus avec une prévalence du TP peut évoluer, après triple arthrodèse et en l'absence de geste de rééquilibration musculaire, vers une instabilité tibiotalienne en varus.
- L'essai de rééquilibrage musculaire sans correction de la déformation laisse travailler le membre dans des conditions mécaniques défavorables.
- Il faut corriger de manière indépendante la divergence talocalcanéenne et la torsion du squelette jambier.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

• La négligence d'une ILMI peut conduire à la correction d'une déformation utile à la compensation de cette inégalité, ce qui augmente le déséquilibre.

Principes des transferts tendineux [5,6]

Le but est de déplacer l'insertion d'un muscle pour remplacer une activité musculaire paralysée et restaurer un équilibre musculaire. Réalisé de manière précoce, cela peut permettre d'éviter l'apparition d'une déformation. La planification et la réalisation de ces transferts doivent obéir à plusieurs principes.

1. Il est capital de tenir compte de la force fonctionnelle utile du muscle à remplacer (exemple : un LF a une force suffisante pour remplacer l'action d'un TA, mais pas du triceps). En règle, un point de force motrice est perdu après transfert. Un muscle transféré doit au moins être coté à 4 pour restaurer un mouvement, mais s'il est à 3, il peut prévenir la récidive d'une déformation.
2. Le muscle transféré doit le plus possible avoir une course similaire à celle du muscle remplacé. On préfère donc transférer des muscles agonistes. Pour autant, les transferts d'antagonistes sont possibles (exemple : TA sur le calcaneus, TP au dos du pied).
3. La perte de la fonction originale du muscle est à mettre en balance avec le gain recherché dans le choix du muscle à transférer, l'effet pouvant être bénéfique en cas de muscle initialement déséquilibrant, ou au contraire s'avérer responsable d'un nouveau déséquilibre. Par exemple, dans le cadre d'une paralysie du triceps avec un puissant TA, il est déconseillé de transférer le LF sur le calcaneus sans transférer l'insertion du TA au milieu du pied, car cela induirait une supination par horizontalisation de M1 et une flexion de la 1re MCP, l'orteil allant chercher le contact au sol, aboutissant au classique « *dorsal bunion* ».
4. Les déformations doivent être traitées au préalable, par séries de plâtres, allongement chirurgical ou correction osseuse. Par exemple, il est déconseillé de réanimer la flexion dorsale de cheville avant d'avoir traité la déformation fixée en équin.
5. Un espace de glissement doit être disponible pour une course satisfaisante et éviter les adhérences. La dissection du tendon doit préserver le paratendon et la gaine synoviale.
6. Le pédicule vasculonerveux ne doit pas être endommagé lors du transfert.
7. Le muscle transféré doit avoir une course rectiligne, éviter les angulations et les poulies de réflexion.
8. Le tendon doit être fixé avec une tension suffisante pour avoir une course de contraction maximale. Au membre inférieur, du fait des contraintes du poids du corps, il faut préférer une fixation osseuse. L'avivement de l'extrémité distale du tendon permet de favoriser sa cicatrisation.
9. Loi de Scherb : le transfert d'un antagoniste ne fonctionne en automatique que si tous les muscles agonistes du muscle à suppléer sont eux-mêmes paralysés. Par exemple, la réanimation d'une flexion dorsale de cheville par le TP peut échouer du fait de la persistance d'extenseurs des orteils.
10. L'immobilisation postopératoire doit se faire en position de détente du transfert, pendant la durée de cicatrisation, soit 6 semaines environ. Une orthèse doit être maintenue jusqu'à ce que le muscle puisse assumer sa fonction pour éviter la récidive de la déformation et la détente du transfert. Dès que la force acquise est suffisante, on peut commencer un sevrage progressif de l'orthèse, avec prolongation du maintien nocturne.
11. Un âge de 4 ans minimum permet une participation à la rééducation. Au mieux, le patient aura appris en préopératoire à contracter de manière volontaire le muscle à transférer, ce qui facilitera le travail d'intégration du transfert en postopératoire. En cas d'arthrodèse associée, la rééducation du transfert est reportée jusqu'à la fusion osseuse.
12. Chez l'enfant, certains transferts n'ont pas la croissance souhaitée et risquent d'entraîner des déformations, d'autres s'étirent et perdent leur efficacité.

Principe des arthrodèses

Triple arthrodèse (talocalcanéenne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne)

Elle permet de corriger des déformations, de stabiliser l'arrière-pied (pour que les muscles faibles de la cheville puissent exercer préférentiellement leur action sur l'articulation tibiotalienne, plus importante fonctionnellement) ou de prévenir l'apparition d'une déformation après transfert (par exemple le risque d'effondrement du pied après transfert du TP). Elle a pour conséquence des difficultés de la marche en terrain irrégulier et une augmentation des contraintes sur les articulations adjacentes, en particulier l'articulation tibiotalienne, avec des risques de dégradation arthrosique à moyen et long terme.

En préopératoire, il faut vérifier l'absence d'instabilité de l'articulation tibiotalienne en réalisant des

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

clichés dynamiques au moindre doute clinique car la triple arthrodèse, en augmentant les contraintes sur l'articulation tibiotalienne, risque de décompenser une instabilité sous-jacente.

La croissance des os du tarse se faisant de manière concentrique, la triple arthrodèse ne doit être réalisée qu'à maturité squelettique, 13–14 ans chez les filles, 15–16 ans chez les garçons.

Lors de l'intervention :

- il est capital de restaurer une divergence talocalcanéenne normale ;
- la résection du bec naviculaire interne facilite la réduction ;
- le déplacement du calcaneus en arrière par rapport au talus améliore le bras de levier du triceps ;
- il ne faut pas corriger une torsion tibiale externe ou un valgus tibial par la triple arthrodèse, mais réaliser des gestes de correction spécifiques ;
- en cas de pied creux avec importante verticalisation du calcaneus (= pied calcanéocavus) [figure 2], on associe une libération plantaire à une correction osseuse, avec résection d'un coin à base postérieure dans l'articulation sous-talienne et à base dorsale dans le médio-pied (figure 3). La talectomie est déconseillée ;
- en cas d'équin sans réanimation possible, une triple arthrodèse avec effet Lambrinudi [7] (résection d'un coin à base dorsale à cheval sur talus et calcaneus) permet de corriger l'équin du pied sans corriger l'équin talien, en sachant qu'une résection importante sur le talus entraîne un risque de nécrose (figure 4) ;
- en cas de grosse déformation, on préfère une correction par addition que par soustraction pour ne pas diminuer la hauteur de l'arrière-pied, qui induit un abaissement des malléoles avec difficultés de chaussage et un risque de nécrose du talus.

Arthrodèse sous-talienne extra-articulaire (Grice)

Chez l'enfant, elle permet de corriger un valgus isolé d'arrière-pied, sans entraîner de trouble de croissance (figure 5). Cependant, elle est de moins en moins pratiquée étant donné les conséquences sur l'articulation tibiotalienne.

Arthrodèse tibiotalienne et panarthrodèse

L'objectif est de positionner le pied à 5–10° de flexion plantaire. En cas d'équin plus important (pour verrouiller le genou ou compenser une ILMI), on risque des hyperpressions douloureuses sur les têtes de métatarsiens. En position neutre ou en dorsiflexion, le risque est un déverrouillage du genou si le quadriceps et le gluteus maximus sont faibles.

Traitement chirurgical du pied poliomyélitique [8,9]

Si la déformation est réductible, il consiste en un geste de rééquilibration musculaire, mais si elle est fixée, il faut au préalable corriger les défauts architecturaux.

Pied varus équin (figure 6)

- Les muscles paralysés sont les fibulaires, associés à une atteinte partielle ou globale du TA et du long extenseur des orteils (LEO).
- La déformation consiste en une rotation médiale du bloc calcanéopédieux sous le talus, lui-même en équin. Le tableau clinique est un varus d'arrière-pied avec un appui sur la partie antérieure du bord latéral du pied et des forces dislocantes latérales sur l'articulation tibiotalienne.
- La rééquilibration musculaire se fait par transfert du TA latéralement, sur le 2e métatarsien (M2) ou au bord latéral du pied, ou par transfert du TP en fléchisseur dorsal.
- Les corrections architecturales consistent à redonner une convergence talocalcanéenne correcte, par libération des parties molles, et en particulier de l'articulation talonaviculaire, associée à une stabilisation par brochage des deux colonnes, un vissage talocalcanéen ou une triple arthrodèse.

Pied plat valgus (figures 5 et 7)

- Les muscles paralysés sont le TA et le TP, alors que les fibulaires sont généralement conservés.



Figure 2. Pied calcanéocavus, secondaire à une paralysie tricipitale.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

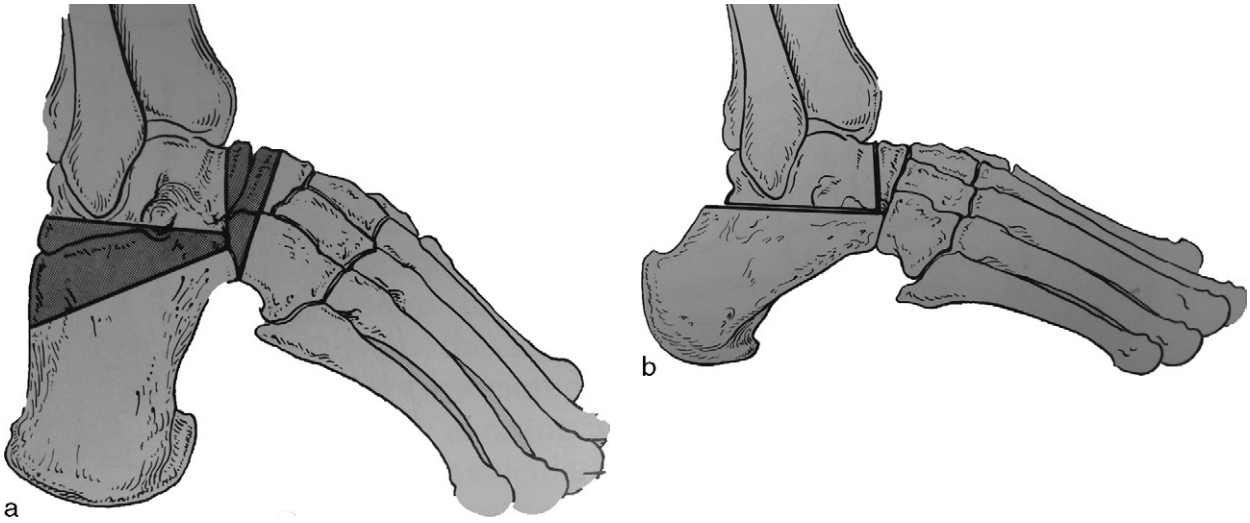


Figure 3. Pied calcanéocavus.
a. Schéma des coupes osseuses nécessaires à la correction. b. Schéma après correction.



Figure 4. Pied équin-cavus chez un enfant de 13 ans.
a. Aspect préopératoire. b. Un an après intervention de Lambrinudi.

• La déformation consiste en un capotage du talus en équin avec augmentation de la divergence talocalcanéenne (qui peut masquer une rétraction du triceps). Le LEO doit être bien évalué, car il a un rôle valgisant important, surtout s'il existe un muscle troisième fibulaire puissant. Il existe deux types de pied valgus : dans le premier, rare, l'avant-pied reste bien axé par rapport à l'arrière-pied, entraînant un faux aspect de pronation et un appui presque exclusif sur le bord médial ; dans le second, plus fréquent, on observe une supination de l'avant-pied par rapport à l'arrière-pied, phénomène adaptatif au premier type, qui permet un appui homogène du clavier métatarsien. La colonne médiale est très perturbée sur toute sa longueur, avec un hallux valgus et une rotation du gros orteil, et un risque d'évolution vers le valgus de la tibiotalienne.
• La rééquilibration musculaire peut être obtenue par transfert du LEO ou transfert d'un fibulaire au dos du pied, plutôt le court fibulaire (CF) que le LF car le CF est éverseur principal et donc logique à

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

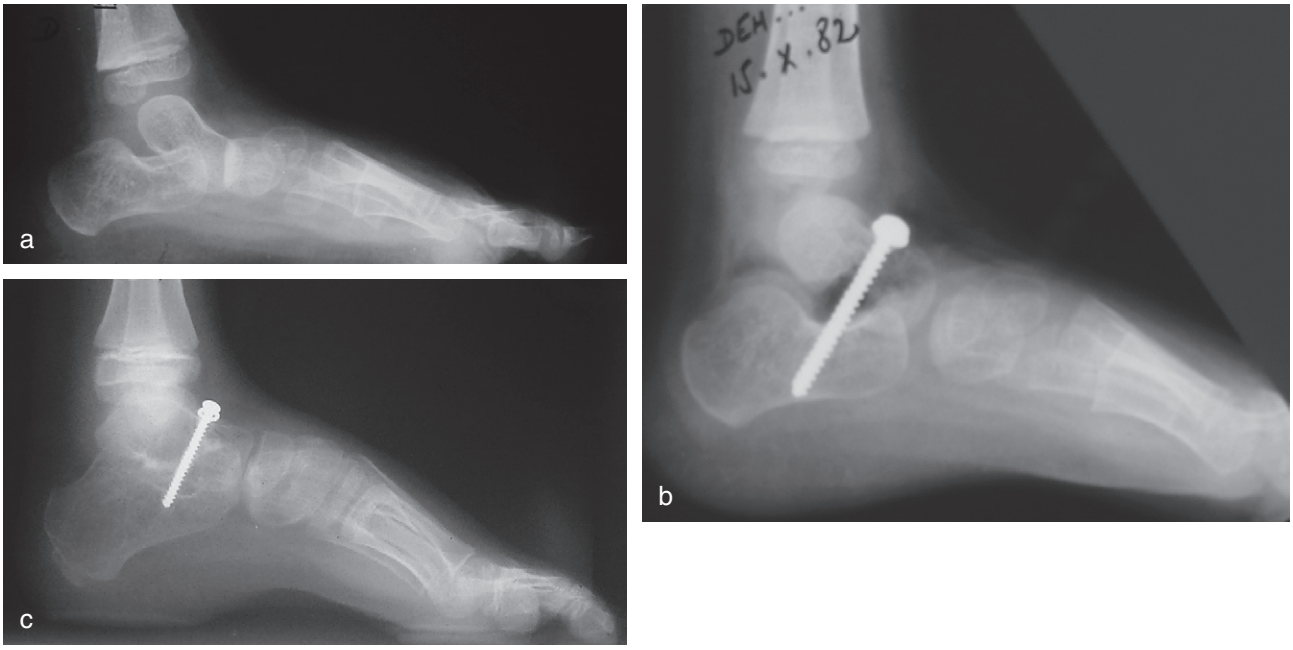


Figure 5. Pied plat valgus chez un enfant de 5 ans.
a. Aspect préopératoire. **b.** Après arthrodèse extra-articulaire sous-talienne (Grice) associant un vissage talocalcanéen et un greffon iliaque dans le sinus du tarse. **c.** Résultat à l'âge de 10 ans. On note l'apparition d'un creux médial, par prévalence du LF sur un arrière-pied bloqué.



Figure 6. Pied varus équin avec une fausse supination de l'avant-pied qui disparaîtra une fois le varus d'arrière-pied corrigé.

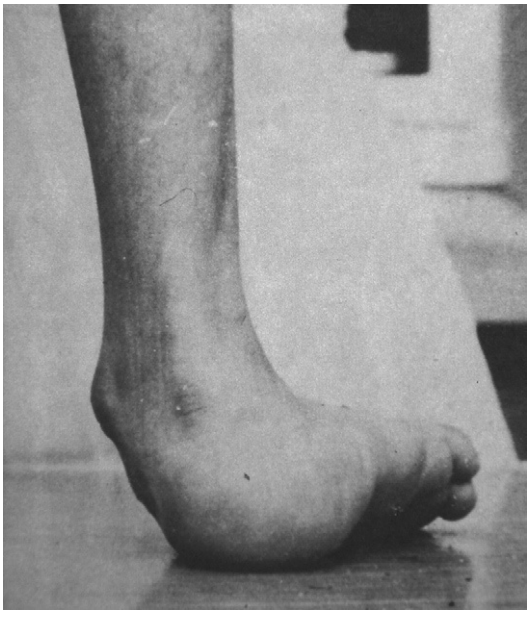


Figure 7. Pied plat valgus avec un avant-pied qui reste bien axé par rapport à l'arrière-pied, entraînant un faux aspect de pronation et un appui presque exclusif sur le bord médial du pied.

déplacer, la préservation du LF permettant le maintien de l'arche médiale [10]. Il faut se méfier du transfert du CF du fait du risque de varus évolutif, et de l'allongement d'Achille, du fait du risque de déstabiliser le genou.

• Les corrections architecturales ont souvent consisté en un vissage talocalcanéen (cavalier), voire une arthrodèse de l'articulation sous-talienne instable (Grice), qui améliore l'efficacité du transfert. On leur préfère actuellement la chirurgie d'allongement de la colonne

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

latérale (allongement du calcaneus selon Evans) et/ou de raccourcissement de la colonne médiale (arthrodèse cunéonaviculaire). La triple arthrodèse est la seule solution efficace en fin de croissance.

Pied calcaneus (figures 2 et 8)

• Le muscle paralysé est le triceps, de manière totale ou partielle, avec conservation des courts fléchisseurs des orteils et d'un fléchisseur dorsal du pied.
• La déformation consiste en un creux sur les deux colonnes, avec un calcaneus qui se verticalise et parfois la prédominance exclusive d'un appui talonnier. Les variantes se font selon la répartition des forces résiduelles au niveau des fibulaires, du TP et des fléchisseurs dorsaux, aboutissant à des tableaux de calcaneus direct, varus ou valgus. En cas de fléchisseurs plantaires accessoires puissants (TP, longs fléchisseurs des orteils) se développe un abaissement de l'avant-pied aboutissant à une déformation en calcanéocavus.
• La rééquilibration musculaire par des transferts d'antagonistes pour suppléer le triceps donne des résultats décevants. Le triceps étant le muscle le plus puissant du pied, il est nécessaire de transférer trois ou quatre muscles en fonction de leur disponibilité et de la faiblesse du triceps. Chez l'enfant, la traction exercée par le transfert permet la correction progressive de la déformation du calcaneus ; chez l'adolescent, il faut associer une triple arthrodèse. La technique d'Esmslies consiste à sectionner le tendon d'Achille à distance de la tubérosité postérieure du calcaneus et à en dédoubler la partie distale avec un chef fixé sur la marge postérieure du tibia en ténodèse et un chef sur lequel on insère les muscles transférés. En cas de paralysie touchant plusieurs muscles, la priorité est donnée au triceps, stabilisateur de la tibiotalienne en charge. Le fait de transférer les stabilisateurs latéraux (TP, LF, CF) au triceps risque d'entraîner une dislocation de la sous-talienne, ce qui impose chez l'enfant un maintien par orthèse et souvent, à maturité, une triple arthrodèse. En cas de transfert insuffisant pour réanimer le triceps, la seule solution est une arthrodèse tibiotalienne.
• Les corrections architecturales sont obtenues par triple arthrodèse, en réséquant dans l'arrière-pied un coin à base postérieure pour horizontaliser le calcaneus et dans le médio-pied un coin à base dorsale pour corriger le creux.



Figure 8. Pied calcanéosupinatus par prévalence du muscle tibial antérieur et paralysie des muscles fibulaires et fléchisseurs plantaires.

Pied creux médial

• Le muscle paralysé est classiquement le TA, de manière isolée.
• La déformation consiste en une verticalisation de M1 (ou, plus exactement, une pronation de l'avant-pied) sous l'effet du LF, ce qui entraîne un excès d'appui plantaire antéromédial. La flexion dorsale est en général bien suppléée par les extenseurs des orteils, au prix de l'apparition de griffes. En phase oscillante, l'avant-pied est en éversion par action des extenseurs des orteils, mais en charge, il se met en inversion du fait du cavus pour permettre l'appui au sol des têtes de métatarsien, le talon suivant en varus (effet tripode). Initialement, ce varus d'arrière-pied est réductible (test de la planchette) puis, progressivement, il devient fixé.
• La rééquilibration musculaire consiste souvent en un transfert du TP, avec une fixation osseuse sur le cunéiforme latéral ou sur le TA dérouté (artifice de Tomeno [11]), ou un transfert du LF sur M2 avec ténodèse du bout distal au CF. C'est pratiquement la seule indication de transfert de suppléance systématique, sans temps osseux. On peut y associer un transfert du LEO sur les têtes de métatarsiens en cas de griffes des orteils. Si les deux fibulaires sont transférés, l'instabilité induite de l'arrière-pied nécessite une arthrodèse sous-talienne.
• Les corrections architecturales, en cas de déformation ne touchant que l'avant-pied, peuvent consister chez l'enfant en une ostéotomie des trois os cunéiformes par addition d'un coin à base plantaire [12] ou, chez l'adolescent et l'adulte, en une ostéotomie

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

transversale du médio-pied avec résection d'un coin à base dorsale (tarsectomie). En cas de déformation fixée de l'arrière-pied, une ostéotomie calcanéenne de soustraction latérale (Dwyer) peut suffire, mais il est souvent nécessaire de réaliser une triple arthrodèse avec ou sans effet Lambrinudi (figure 4).

Pied tombant

- Les muscles paralysés sont les fléchisseurs dorsaux.
- Il n'y a guère de déformation, mais la gêne fonctionnelle est importante à cause du steppage.
- La rééquilibration musculaire est possible de plusieurs façons : si le TP a une bonne force, il fait un bon transfert de suppléance. S'il est à 0, il n'y a pas d'autre bon transfert, le transfert des fibulaires doit être abandonné. Un transfert d'une partie du triceps (contingent du gastrocnémien médial) peut être réalisé si la stabilité du genou peut être assurée.
- Il n'y a guère de correction architecturale, mais une triple arthrodèse avec effet Lambrinudi, en diminuant nettement l'amplitude de flexion plantaire, améliore d'autant le steppage.

Pied à 0

- Aucun muscle de la jambe ou du pied ne fonctionne.
- La déformation peut se faire en varus équin ou en équin direct, nécessitant une triple arthrodèse pour assurer un bon appui dans l'appareillage, mais souvent le pied reste ballant. En cas d'atteinte unilatérale avec marche possible sans appareillage, on essaie d'éviter la panarthrodèse, en raison de ses répercussions sur le genou (douleurs et instabilité). Le traitement est alors fonction du pronostic fonctionnel. La correction des pieds n'est envisagée qu'après celle des hanches et des genoux. Enfin, il ne faut jamais omettre de se servir du pied pour corriger une ILMI (en gardant un peu d'équin) ou pour stabiliser le membre : si le verrouillage du genou se fait grâce à l'équin du pied, la correction de ce dernier doit être très prudente, d'autant plus que le quadriceps et le gluteus maximus sont faibles.

Pied équin fixé compensateur d'une ILMI

La marche est digitigrade, le déroulement du pas aisé et le bassin équilibré. Il aboutit souvent à une abstention thérapeutique. Il faut se méfier avant de proposer un allongement d'Achille qui risque de déstabiliser le genou, et des allongements squelettiques qui aggravent souvent le déséquilibre musculaire et les déformations (figure 9).



Figure 9. Membre inférieur « polio » avec équin mixte (arrière-pied et avant-pied).

« Dorsal bunion »

- Le muscle paralysé est le LF.
- La déformation consiste en une supination de l'avant-pied avec horizontalisation de M1 sous l'effet du TA, l'hallux se positionnant en flexion pour venir chercher l'appui plantaire. La partie dorsale de la 1re MP devient alors saillante, constituant le *« dorsal bunion »*.
- La rééquilibration musculaire se fait par transfert du TA sur M2, transfert du long fléchisseur de l'hallux sur le col de M1 et plicature de la capsule dorsale et de l'extenseur du I à 15–20° de flexion dorsale.
- La correction architecturale est obtenue par ostéotomie de flexion de la base de M1.

Anomalies axiales de jambe

- En cas de désorientation en varus ou en valgus, une ostéotomie supramalléolaire est réalisée en fin de croissance. En cas de laxité médiale, et surtout latérale, en particulier conséquence d'arthrodèses imparfaites, il vaut mieux reprendre l'arthrodèse que bloquer la tibiotalienne.
- Les anomalies de torsion sont généralement des excès de torsion latérale, qui peuvent nécessiter une ostéotomie de dérotation du squelette jambier avec pour but d'aligner le pied par rapport à la mortaise. L'erreur à éviter est de tricher sur la divergence talocalcanéenne lors de la réalisation d'une triple arthrodèse.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Déformations des orteils

Les griffes peuvent être traitées par résection-arthrodèse des interphalangiennes avec brochage, ou ténodèse des extenseurs sur les métatarsiens. Le traitement de l'hallux valgus est sans particularité.

Conclusion

Grace à la diffusion de la vaccination, la prise en charge des séquelles de poliomyélite est devenue occasionnelle. Néanmoins, elle constitue un modèle de maladie neuro-orthopédique du fait de la spécificité de l'atteinte paralytique d'un patient à un autre, où l'examen clinique prend une place capitale dans la réussite de la prise en charge. Elle est la « mère » de la neuro-orthopédie et son apport pédagogique dans la connaissance des effets des différents déséquilibres musculaires a permis des progrès majeurs dans la compréhension d'autres pathologies, en particuliers dans les séquelles de paralysie cérébrale.

Références

1 Herring JA. Poliomyelitis. In : Tachdjian's pediatric orthopedics. Vol. 3. Philadelphie : Saunders ; 2007. p. 27.
2 Easton JK. The post-polio syndrome. S D J Med 1986 ; 39 : 5-10.
3 Green WT, Grice DS. The management of chronic poliomyelitis. American Academy of Orthopedics Surgeons. Instructional Course Lectures. Vol. 9, Ann Arbor : JW Edwards ; 1952. p. 46.
4 Faraj A. Poliomyelitis : orthopaedic management. Current Orthopaedics 2006 ; 20 : 41-6.
5 Le Coeur P. Tendon transplantation in poliomyelitis. Sem Hop 1953 ; 29 : 283-90.
6 Green WT, Grice DS. The management of chronic poliomyelitis. American Academy of Orthopedics Surgeons. Instructional Course Lectures. Vol. 9, Ann Arbor : JW Edwards ; 1952. p. 86.
7 Hall JE, Calvert PT. Lambrinudi triple arthrodesis : a review with particular reference to the technique of operation. J Pediatr Orthop 1987 ; 7 : 19-24.
8 Méary R. Stabilisation chirurgicale du pied poliomyélitique. In : Merle d'Aubigné R, Benassy J, Ramadier JO, éds. Chirurgie orthopédique des paralysies. Paris : Masson ; 1956. p. 184-98.
9 Watts HG. Orthopedic techniques in the management of the residua of poliomyelitic paralysis. Tech Orthop 2005 ; 20 : 179-89.
10 Faraj A. Post poliomyelitis invertor paralysis : which tendon to transfer ? The Foot 2005 ; 15 : 146-8.
11 Tomeno B, Anract P, Vinh TS. Transfer of posterior tibial muscle to the back of the foot : an original procedure for fixing the transplant. Rev Chir Orthop 1998 ; 84 : 194-6.
12 Wicart P, Seringe R. Plantar opening-wedge osteotomy of cuneiform bones combined with selective plantar release and Dwyer osteotomy for pes cavovarus in children. J Pediatr Orthop 2006 ; 26 : 100–8.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied de l'insuffisant moteur d'origine cérébrale marchant

N. KHOURI[1], P. DENORMANDIE[2]

L'analyse et le traitement des déformations orthopédiques secondaires à une infirmité motrice d'origine cérébrale ont considérablement évolué depuis une dizaine d'années. L'apport des données de physiologie de l'ensemble musculotendineux, l'analyse instrumentale venant compléter les données de l'examen clinique, l'intégration du traitement chirurgical dans un ensemble orthopédique comprenant la rééducation et un appareillage adéquat ont contribué à l'amélioration des résultats chirurgicaux [1-4].

Toute déformation du pied doit être étudiée et considérée dans l'optique de *l'ensemble du membre inférieur* et des possibilités globales fonctionnelles et psychiques du patient. Les attitudes vicieuses ou déformations sont la conséquence du déséquilibre musculaire induit par le désordre neurologique central (faiblesse de certains groupes musculaires, contractions excessives ou anarchiques, spasticité). L'effondrement postural en charge et le mauvais positionnement ajoutent leurs effets déformants. Chez l'enfant en croissance, le déséquilibre musculaire persistant entraîne des déformations structurales ostéoarticulaires.

Le terrain de l'insuffisant moteur d'origine cérébrale vu sous l'angle du chirurgien

Définitions

Infirmité motrice cérébrale

Le terme d'« infirmité motrice cérébrale » (IMC) a été créé par G. Tardieu dans les années 1950 : « L'infirmité motrice cérébrale est due à des atteintes cérébrales survenues dans la période périnatale qui entraînent des troubles de la posture ou du mouvement sans caractère évolutif. Ces atteintes cérébrales ont suffisamment préservé les facultés intellectuelles pour permettre une scolarisation. »

Infirmité s'oppose à « maladie » ; il s'agit d'une séquelle neurologique non évolutive. En revanche, les conséquences orthopédiques peuvent être évolutives. Afin de diminuer le caractère péjoratif du mot « infirmité », certains lui préfèrent le mot « insuffisance ».

« Motrice » signifie que l'autonomie est d'abord limitée par les perturbations neuromotrices. Cela élimine les cas dans lesquels le retard d'autonomie est d'abord lié à un retard mental.

« Cérébrale » élimine les pathologies médullaires et périphériques.

Infirmité motrice d'origine cérébrale

Au départ, l'infirmité motrice d'origine cérébrale (IMOC) regroupait les IMC et les encéphalopathies, mettant l'accent sur les similitudes et complications orthopédiques dans l'une et l'autre formes de handicap. Certains limitent aujourd'hui la définition aux formes comportant un retard mental moyen ou profond. C'est une déviation.

« Cerebral palsy »

La paralysie cérébrale des Anglo-Saxons ne recouvre pas exactement les mêmes entités selon les pays. Le terme équivalent français est l'IMOC.

Classification selon la nature des troubles

Spasticité

Le terme de « spasticité » est bien défini lorsqu'il s'applique aux lésions médullaires acquises. Ce vocable a ensuite été appliqué aux lésions cérébrales néonatales, où il recouvre des *entités polymorphes* : exagération isolée du réflexe d'étirement, hypertonie de repos, réactions posturales anormales, ensemble de réflexes et de réactions pathologiques,

[1] Service de chirurgie orthopédique, hôpital d'enfants Armand-Trousseau, 26, avenue du Dr-Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12.
[2] Service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, boulevard Raymond-Poincaré, 92380 Garches.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

résistance excessive à l'étirement d'origine à la fois active (contractile) et passive (viscosité, rétraction). Il vaut mieux utiliser le terme plus global de « contractions », conformément à l'analyse factorielle de Tardieu.

La *spasticité stricto sensu* est définie comme une hyperexcitabilité du réflexe myotatique responsable d'une exagération du réflexe d'étirement et des réflexes tendineux. Cette réponse musculaire est donc liée à la vitesse d'exécution passive du mouvement. Elle peut conduire progressivement à une rétraction musculaire, d'autant que les antagonistes sont souvent déficitaires. Le clonus n'est qu'une anomalie du réflexe d'étirement.

L'hypertonie spastique est l'une des composantes du syndrome pyramidal. Elle est donc toujours associée, à des degrés variables, à un trouble de la commande motrice et au déficit éventuel de certains muscles. Le déficit moteur intéresse également les muscles antagonistes aux muscles spastiques. Ils peuvent aussi être le siège d'une spasticité masquée par celle des agonistes.

Athétose

L'athétose désigne les contractions irrépressibles de repos, variables, aggravées par l'anxiété et le décubitus dorsal, atténuées par la verticalisation du tronc, sources de mouvement lent à type d'enroulement. Cette description princeps correspondait aux séquelles d'ictère nucléaire.

Ataxie, dystonies et dyskinésies

L'ensemble de ces termes recouvre des mouvements anormaux qui n'existent pas au repos complet mais apparaissent lors de l'activité intentionnelle, lors du maintien ou du soutien postural.

Remarque : les descriptions classiques omettaient le trouble le plus constant, le plus flagrant, les faiblesses d'origine cérébrale.

Le tonus musculaire et ses troubles

Tonus physiologique

Le tonus de repos est apprécié par la palpation du muscle et sa résistance à l'étirement. Cette conception mêle des phénomènes passifs (élasticité, viscosité) et actifs (contractions). Certains estiment que le réflexe d'étirement est le support du tonus physiologique. Le tonus postural est l'état de contraction prolongée du muscle s'opposant à l'action de la pesanteur.

Hypertonie

Au repos, elle traduit soit un état permanent et irrépressible de contraction sans mouvements anormaux, soit une viscosité excessive.

Hypotonie

C'est une diminution de la consistance des muscles à la palpation accompagnée d'une diminution du réflexe d'étirement et d'une hyperextensibilité musculaire. L'hypotonie posturale est synonyme de faiblesse posturale.

Raideur

Si tout le monde se comprend en parlant d'un pied enraidi ou difficilement mobilisable, un sujet « raide » est compris comme hypertonique et/ou rétracté.

Nous retiendrons que les termes « raideur non articulaire », « hypertonie », « hypotonie » sont commodes pour désigner un état pathologique sans caractériser un trouble neurologique précis.

Anomalies musculaires et tendineuses dans la paralysie cérébrale

Rétractions musculaires

Les rétractions musculaires de l'IMOC se comprennent généralement en termes de résistance excessive à l'étirement [5]. Une rétraction musculaire est une brièveté à la fois des structures contractiles et des enveloppes élastiques par adaptation réversible à une position maintenue trop longtemps raccourcie. Ce mécanisme adaptatif semble présent chez tous les IMOC, quel que soit l'âge, aussi bien dans le sens de l'allongement que du raccourcissement du muscle. La prévention passe par le positionnement étiré, l'assouplissement manuel qui combat les effets de la viscosité excessive, le traitement des contractions excessives.

Anomalies tendineuses

Les mécanismes associant une rétraction ou un allongement du tendon sont moins bien connus et les traitements préventifs moins bien codifiés. Il semble que l'allongement tendineux soit sous la dépendance des forces actives et passives étirant le muscle. Cette adaptation lente finit par primer celle du muscle *(phénomène du muscle court et du tendon long)*. L'adaptation tendineuse n'est plus décelable en fin de croissance. Les plâtres ou les appareils de positionnement sont irrégulièrement efficaces.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

L'allongement du tendon, qu'il soit spontané, provoqué par un plâtre d'étirement ou bien chirurgical, a pour effet de rendre la contraction musculaire inefficiente dans sa course interne. Cette forme de faiblesse n'est accessible à aucune technique de kinésithérapie active, contrairement aux faiblesses de la commande motrice et à l'atrophie de non-utilisation.

Évaluation clinique

Elle a pour objectif de préciser, pour les différents muscles, le déficit neurologique, la qualité et le type de la commande en décharge comme en charge, la part de spasticité et/ou de rétraction musculotendineuse, la raideur ou l'instabilité articulaire.

Analyse segmentaire

Elle apprécie :

- les secteurs de mobilité passive des articulations de la cheville et du pied. La cheville sera étudiée, genou en extension et en flexion, afin de faire la part de l'équin du pied lié à l'hypertonie-rétraction des gastrocnémiens et du soleus : l'équin lié à une hypoextensibilité des gastrocnémiens apparaît en extension de genou ;
- la commande motrice volontaire évaluée par un testing conventionnel, mais avec des risques d'erreur importants. Son évaluation en situation fonctionnelle est la plus intéressante ;
- la qualité de la commande et ses modalités d'expression :
  – volontaire ou syncinétique. Par exemple, la flexion du genou entraîne automatiquement une contraction d'un ou des muscles de la loge antérieure de la jambe (réflexe de flexion) ;
  – la sélectivité des différents mouvements sera soigneusement notée ;
  – en position assise, en décubitus et à la marche : l'hypertonie peut n'apparaître qu'à la verticalisation. Un schéma de marche en extension de genou peut empêcher l'expression des muscles releveurs par absence de réflexe en flexion.
- la spasticité est mesurée par l'intensité du réflexe d'étirement (score d'Ashworth, coté de 0 à 5) et la recherche du clonus musculaire pour les différents muscles impliqués dans la déformation. Il est nécessaire de la distinguer de la dystonie.

Évaluation fonctionnelle du pied

Elle apprécie la position du pied :

- lors de la verticalisation : recherche d'une hypertonie du muscle tibial antérieur et/ou postérieur provoquant un appui sur le bord latéral du pied ;
- à la marche ou en position statique verticale : recherche d'un appui possible ou non, type de déformation en charge. Elle peut être différente de la déformation sans appui. Exemple : un pied varus dynamique en phase oscillante peut s'exprimer par l'hypertonie du muscle tibial postérieur, mais il devient pied plat valgus en charge sur des muscles gastrocnémiens courts ou hypertoniques.

Cette analyse est indissociable de l'évaluation globale de la marche et des autres segments du membre inférieur.

- Type de schéma de marche : par exemple en extension, qui ne permet pas le mouvement de triple flexion en phase oscillante et donc limite l'efficacité de la contraction automatique des releveurs du pied et le passage du pas (d'autant qu'il existe un équin). La marche se fait en fauchant pour réussir à passer le pas sans accrochage.
- L'utilité de la déformation : part éventuelle d'un équin dans le verrouillage du genou en chaîne fermée (pied en appui au sol) chez des patients qui présenteraient éventuellement un déficit quadricipital et des muscles fessiers ; utilité de l'équin pour la course.
- L'origine de la déformation du pied : primaire ou secondaire. Il s'agit alors d'une déformation de compensation : équin d'adaptation d'un flessum de hanche et ou de genou. Le traitement isolé du pied risquera d'aggraver la situation fonctionnelle.

Analyse instrumentale de la marche

L'examen vidéo de face et de profil synchronisé est le premier examen indispensable permettant d'avoir un document visuel que l'on pourra répéter pour apprécier l'évolution sous traitement.

Les paramètres spatiaux et temporaux, la cinématique et la cinétique des membres inférieurs, l'électromyographie de certains muscles (principalement le couple tibial antérieur-triceps) compléteront utilement le bilan préthérapeutique.

L'électromyographie déterminera le moment d'action des différents muscles pendant le cycle de marche : activité phasique ou dysphasique, activité anormalement prolongée, cocontractions.

Ces examens réalisés en totalité nécessitent une organisation et un plateau technique important. Ils sont surtout utiles dans l'évaluation de déformations complexes, multiétagées, pour mieux comprendre l'intrication des déformations et pour l'évaluation instrumentale de protocoles thérapeutiques.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Dans notre expérience, deux examens restent indispensables : la vidéo et l'électromyographie.

Radiographies du pied

Sont associés aux clichés standard de face et de profil du pied en charge des clichés de la cheville de face en charge de Méary et des clichés dynamiques.

Il convient de rechercher :

- le caractère fixé ou non de la déformation ;
- la composante de l'arrière-pied, de l'avant-pied et du médio-pied dans la déformation ;
- le degré d'instabilité et/ou d'arthrose articulaire.

Blocs moteurs

Ils sont de réalisation facile chez l'adolescent et l'adulte et très utiles dans l'évaluation des pieds neurologiques spastiques. La suppression de la spasticité se fait par une infiltration des troncs nerveux avec un produit anesthésiant type Xylocaïne® ou Marcaïne® pour une durée d'effets plus longue.

Les blocs permettent de préciser si la déformation est réductible, due à un ou plusieurs muscles purement spastiques ou irréductible (partiellement ou totalement), par rétraction musculaire ; d'évaluer les muscles antagonistes à la déformation (leur force, leur mode d'expression volontaire, syncinétique ou dystonique, l'existence d'un degré de spasticité à leur niveau) ; et d'objectiver un aperçu du résultat escompté par une action thérapeutique sur le nerf dans le cadre d'un traitement isolé de la spasticité.

La réalisation d'un bloc dépend de la topographie de la spasticité.

Si la spasticité est relativement globale, on peut réaliser des blocs intéressant les troncs et les branches nerveuses importantes. Selon le niveau de la spasticité, il convient de commencer par des blocs de bas en haut. S'il a y une composante intrinsèque, on réalise un bloc du nerf plantaire dans la région rétromalléolaire médiale. Il apprécie par exemple la part des muscles courts fléchisseurs des orteils et carré plantaire dans la genèse d'une griffe d'orteils. Le bloc du nerf tibial postérieur est réalisé en dessous du creux poplité. Il évalue l'ensemble des muscles extrinsèques et intrinsèques ; pour l'équin du pied, l'action exclusive du soléaire. Le bloc au-dessus du pli du genou évalue en plus la composante des gastrocnémiens.

Si la spasticité est isolée à un ou quelques muscles, on peut réaliser un bloc spécifique n'intéressant qu'une branche nerveuse motrice : nerf supérieur du soleus, nerfs des gastrocnémiens médial et latéral.

Synthèse de l'évaluation clinique

Au terme de cette évaluation sont déterminés les muscles responsables de la déformation, leur caractère spastique (contractions), la qualité des antagonistes, l'importance des rétractions, l'état des articulations.

Deux grands types de situation clinique sont individualisés : tantôt, la spasticité prédomine largement dans la déformation et le patient relève d'un traitement qui agira sur les contractions. Tantôt, les rétractions dominent et il conviendra d'intervenir sur le complexe musculotendineux et si nécessaire sur l'ensemble ostéoarticulaire.

Les tableaux intermédiaires sont très fréquents :

- coexistence d'une rétraction d'un muscle associée à une spasticité qui est encore prononcée. Faut-il agir en même temps sur le nerf et le tendon ou successivement ? dans quel ordre ? Il nous paraît nécessaire d'agir en priorité sur la rétraction. L'allongement tendineux, quelle que soit la technique, assure, outre la disparition de la déformation, une modification de la spasticité en raison d'une modification du réflexe d'étirement. Si la spasticité récidivait, il conviendrait alors d'envisager, dans une deuxième étape, un geste sur le nerf ;
- dans certains cas, la déformation résultante est mixte. Elle fait intervenir des muscles spastiques et des muscles rétractés (exemple : équin du pied secondaire à la spasticité du muscle soléaire associé à une rétraction de la lame tendineuse des gastrocnémiens).

Méthodes thérapeutiques

Traitement des contractions

Le *baclofène* par voie générale peut aider à gérer les contractions présentes sur plusieurs groupes musculaires.

Les *neurolyses chimiques* aux points moteurs ont longtemps été utilisées. L'alcool à 90° doit être proscrit en raison de sa toxicité locale (douleurs, fibrose). L'alcool à 45° n'est pas toxique et est électif sur le réflexe tonique d'étirement. L'alcoolisation avec du phénol au contact du nerf provoque des lésions axonales. La phénolisation, après repérage sous stimulation électrique excitomotrice, est réservée aux branches motrices en raison des douleurs provoquées quand le contingent sensitif est concerné.

La *toxine botulinique* est régulièrement utilisée. Elle agit sur les plaques motrices. Elle est faite en

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

intramusculaire au niveau des points moteurs après repérage électromyographique, excitomoteur ou échographique. L'effet de la toxine sur les contractions apparaît au bout de 15 j, dure de 4 à 6 mois et est toujours réversible. *La parésie entraînée permet d'apprécier sur une durée suffisamment longue ce que pourrait être le résultat d'une neurotomie, de rompre certains schèmes neuromoteurs et de traiter les rétractions associées.*

La *neuroclasie* [6] consiste en un écrasement chirurgical d'une certaine longueur de branche nerveuse dans le but d'entraîner une paralysie transitoire. Elle a été supplantée par les infiltrations de toxine et les neurotomies.

La *neurotomie* a été mise au point sous sa forme moderne par Gros en 1972 [7]. Elle consiste en une section partielle et segmentaire des fascicules moteurs des muscles dont la spasticité est jugée excessive [8]. La redondance de l'innervation motrice permet de conserver une force motrice volontaire utile même après une section subtotale des fascicules moteurs concernés. Ces neurotomies, que l'on peut réaliser directement au niveau des troncs nerveux ou sur les collatérales motrices, sont toujours fasciculaires. Les fascicules moteurs pour chaque muscle sont identifiés grâce à la stimulation peropératoire. La résection progressive des différents fascicules moteurs intéresse habituellement les trois quarts de ceux-ci. Il importe de respecter les fascicules sensitifs (dont la section peut être source de douleurs de désafférentation) lorsque le geste est réalisé au niveau d'un tronc nerveux. Le résultat est acquis dès le réveil. Il ne doit pas y avoir de paralysie postopératoire.

Exemple : la neurotomie au creux poplité. L'incision cutanée est réalisée verticalement au niveau du creux poplité, s'étend sur 4 à 5 cm suivant l'importance de la neurotomie. L'incision permet d'aborder, à la demande, l'ensemble des collatérales motrices du nerf tibial postérieur à ce niveau : les nerfs des muscles gastrocnémiens médial et latéral, le nerf supérieur du soleus, le nerf du tibial postérieur, le nerf des longs fléchisseurs des orteils et de l'hallux.

Chirurgie musculotendineuse

Allongements intramusculaires

La ténotomie horizontale de la lame d'origine du tendon doit s'effectuer au moins 5 à 6 cm au-dessus de la terminaison des dernières fibres musculaires afin d'éviter toute rupture musculaire lors de l'étirement.

Ténotomie d'allongement en Z

Il s'agit classiquement des ténotomies d'allongement avec suture. Nous leur préférons les allongements par glissement dans les fibres tendineuses.

Transferts tendineux

Les bases techniques sont identiques à celles des paralysies nerveuses périphériques, mais les critères de choix des transferts et les résultats sont très différents. En effet, il convient de transférer un muscle qui se cocontracte dans le cadre du mouvement recherché en situation fonctionnelle. Ce muscle peut avoir une contraction soit analytique, soit syncinétique, et peut être lui-même hypertonique. Il convient donc, avant toute neurotomie ou ténotomie, de vérifier si le muscle qui induit une déformation n'est pas transférable. Exemple : réanimation de la flexion dorsale du pied de l'adulte par transfert sur le dos du pied des longs fléchisseurs des orteils qui se cocontractent lors de la phase oscillante.

Les capacités de rééducation ne permettent généralement pas de réaliser un travail sélectif du transfert pour rechercher un mouvement analytique. Cela explique que l'immense majorité des transferts tendineux se comportent plus comme effet ténodèse plutôt que comme de véritables transferts actifs.

Rééquilibrage des actions musculaires

Il s'agit de transférer uniquement la moitié d'un tendon pour rééquilibrer son action. Exemple : la moitié du tendon du tibial antérieur, transférée en dehors, assure un mouvement homogène et équilibré lors de la contraction du muscle en flexion dorsale de cheville.

Chirurgie ostéoarticulaire

Les *arthrolyses* sont rarement utilisées, car les raideurs sont surtout extra-articulaires.

Les *ostéotomies de l'arrière-pied et du médio-pied* sont indiquées pour améliorer l'appui au sol en cas de déformation relativement souple.

L'*arthrodèse tibiotalienne* est exclue dans cette pathologie. Le maintien d'une mobilité dans l'articulation facilite le passage du pas et protège le genou, d'autant que ce dernier peut présenter une instabilité en recurvatum.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

L'*arthrodèse triple* (talonaviculaire, calcanéocuboïdienne et sous-talienne) est d'indication fréquente. Le contrôle du varus de l'arrière-pied et la stabilisation du bloc calcanéopédieux sont essentiels dans la stabilité du pied à l'appui.

Traitement des différentes déformations

Pied équin

Cette déformation est due à un déséquilibre musculaire entre un triceps hyperactif et des muscles releveurs du pied (muscle tibial antérieur, extenseurs d'orteils) normaux ou faibles. Elle gêne la stabilité lors de la station debout et impose une démarche digitigrade avec hyperextension du genou ou, à l'inverse, attitude en flexion compensatrice du genou [9-11]. L'électromyographie fonctionnelle de surface du couple tibial antérieur-triceps est très utile : absence ou présence d'activité, cocontractions, activité prolongée… Les blocs moteurs globaux ou sélectifs permettent d'évaluer la composante dynamique.

Équin dynamique

Il peut être traité par neurotomie sélective ou injection intramusculaire d'alcool à 45°, ou plus récemment par de la toxine botulinique. Ces procédés affaiblissent le muscle et contribuent à réduire le déséquilibre musculaire. L'utilisation de la toxine botulinique est de plus en plus répandue avec des effets bénéfiques pouvant durer près de 6 mois et une possibilité de répéter les injections. Ces infiltrations constituent aussi des tests avant tout traitement chirurgical définitif.

L'injection intramusculaire d'alcool à 45° n'est efficace que sur le réflexe tonique d'étirement, qui est rarement présent isolément.

La neurotomie sélective est actuellement peu utilisée chez l'enfant en raison des récidives fréquentes et des difficultés de dosage [12]. Elle garde des indications certaines chez l'adulte et intéresse les muscles prévalant dans l'hypertonie [13].

Équin fixé

Chez un enfant en croissance, il peut être traité par des plâtres successifs suivis d'un maintien orthétique nocturne et éventuellement diurne. Les plâtres et orthèses ont souvent un effet bénéfique pour lutter contre l'hypoextensibilité musculotendineuse et envisager le traitement chirurgical de la rétraction à un âge ultérieur. L'association de contractions fait souvent associer le traitement par toxine aux bottes d'extensibilité. Les bottes plâtrées successives sont contre-indiquées en cas d'équin valgus ou de dislocation du médiotarse. Le traitement chirurgical de la rétraction comporte une fasciotomie des jumeaux [14] si l'équin est réductible genou fléchi (figure 1) ou un allongement par glissement mesuré du tendon d'Achille si l'équin ne se corrige pas genou fléchi. Le risque d'entraîner une déformation en calcaneus est augmenté après un allongement en Z *(qui doit être proscrit chez le sujet marchant)*. L'allongement par glissement (White et Green) permet un meilleur contrôle de l'allongement, ne nécessite pas de suture et comporte un risque acceptable de récidive. Le maintien orthétique est souvent nécessaire pour prévenir le pied tombant en phase oscillante et éviter la récidive.

Cas particuliers

Équin et griffe d'orteils d'origine extrinsèque

Après correction d'un équin postérieur important peut apparaître une griffe des orteils par rétraction des muscles longs fléchisseurs des orteils et de l'hallux. Il convient, dans le même temps opératoire, d'associer un allongement intramusculaire de ces muscles.

Équin mixte

Il existe une spasticité sur le muscle soléaire et une rétraction de la lame tendineuse des gastrocnémiens.

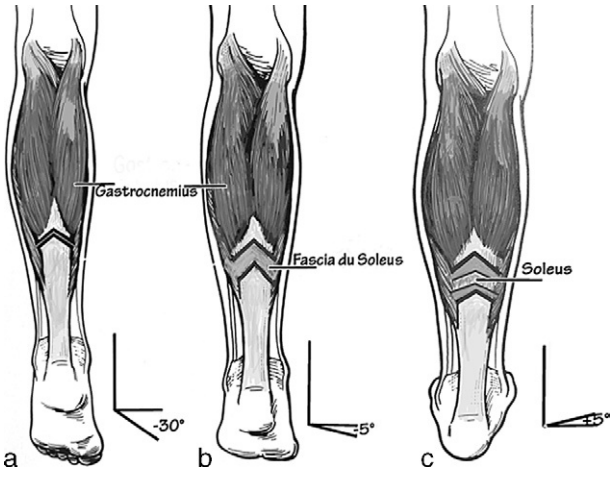


Figure 1. Fasciotomie des jumeaux et du soléaire.
a. Fasciotomie des jumeaux pour corriger un équin de 30° genou étendu. b. Persistance de 5° d'équin nécessitant une fasciotomie du soléaire. c. Correction complète de l'équin jusqu'à obtenir une flexion dorsale de 5°.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

On pratique dans le même temps, par deux voies d'abord, une neurotomie partielle du nerf supérieur du soléaire et un geste tendineux sur les gastrocnémiens.

Équin d'arrière-pied associé à une composante d'avant-pied

La spasticité et/ou la rétraction des muscles intrinsèques associée à un déficit des antagonistes ont pour conséquence une déformation du pied en creux antérieur. Après correction de l'équin de l'arrière-pied, on réalise, suivant le degré de rétraction du pied creux, une neurotomie ou une désinsertion proximale des muscles intrinsèques, une fasciotomie plantaire, une tarsectomie voire une triple arthrodèse.

Pied calcaneus

Cette déformation peut être iatrogène après allongement trop important du triceps, mais elle peut se voir aussi quand on a négligé de traiter les déformations sus-jacentes (genu flexum, flexum de hanche) qui imposent des contraintes dans le sens de la flexion dorsale du pied. Le traitement chirurgical est difficile et décevant. Le meilleur traitement est orthétique, avec une *orthèse courte avec effet de sol* contrôlant l'inclinaison de la jambe vers l'avant.

Pied varus

Dans cette déformation, il y a un *déséquilibre* entre les muscles inverseurs (tibial antérieur, tibial postérieur, et triceps) et les muscles éverseurs (muscles fibulaires). Cela entraîne une instabilité du pied en charge, un steppage en phase oscillante et des difficultés de chaussage. Le varus de l'arrière-pied est habituellement dû à une hyperactivité du tibial postérieur, alors que le varus et la supination de l'avant-pied sont la conséquence de l'hyperactivité du tibial antérieur, qui peut aussi contribuer indirectement au varus de l'arrière du pied [15,16].

Les *transferts tendineux* ont une place de choix pour la correction de ces déséquilibres dans la forme spastique de paralysie cérébrale.

L'analyse instrumentale, en particulier électromyographique, a beaucoup contribué à notre meilleure connaissance de l'étiologie spécifique de la déformation, et elle a permis d'orienter les différentes options thérapeutiques. Dans le cas d'une activité continuelle du tibial postérieur, un allongement intramusculaire ou un transfert de la moitié du tendon est nécessaire. Si le tibial postérieur montre une activité en phase oscillante (éventualité rare), le transfert antérieur de ce muscle peut être choisi. Si le tibial antérieur montre une activité continuelle, ou non phasée, un transfert de la moitié du tibial antérieur peut être proposé.

Le *traitement de l'équin varus de l'arrière-pied* doit comprendre la correction de l'équin associée à un allongement ou à un transfert de la moitié du tibial postérieur [17]. Une ténotomie du tibial postérieur est contre-indiquée, car elle entraînerait une déformation en valgus. L'allongement intramusculaire est la méthode usuelle (avec un risque de récidive en varus). L'allongement en Z peut être excessif et entraîner une déformation en valgus. Le transfert de la moitié du tendon du tibial postérieur vers le court fibulaire est une solution élégante pour stabiliser l'arrière-pied en position neutre. Cette technique peut être associée à un allongement intramusculaire du même muscle s'il y a une rétraction associée (figure 2).

Le transfert antérieur du tendon du tibial postérieur à travers la membrane interosseuse vers le deuxième cunéiforme entraîne souvent de mauvais résultats imprévisibles dans la paralysie cérébrale. Il est fréquent d'entraîner une déformation inverse, en particulier si ce transfert est associé à un allongement du tendon d'Achille. Ce transfert n'est pas recommandé à moins de disposer d'un électromyogramme lors de la marche indiquant que ce muscle a une action inverse en phase oscillante.

Dans les rares situations où le varus est purement dynamique, réductible avec bloc moteur, il convient de proposer des infiltrations de toxine botulique ou une neurotomie partielle sélective.

Une *déformation en varus de l'avant-pied* entraînée par une hyperactivité du muscle tibial antérieur peut être rééquilibrée par un transfert de sa moitié latérale

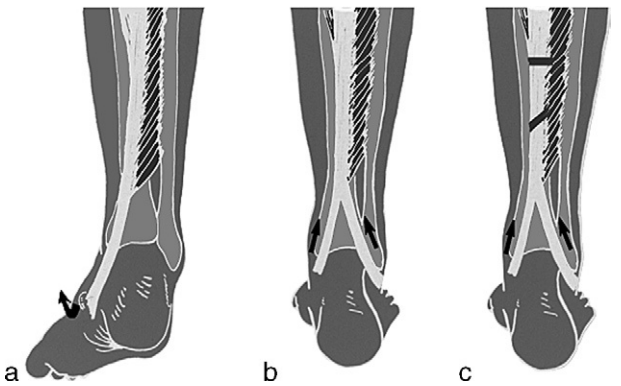


Figure 2. Transfert de la moitié du tendon du muscle tibial postérieur.
a. Action varisante du tibial postérieur. b. Transfert de la moitié du tendon pour obtenir une position neutre de l'arrière-pied. c. Association à un allongement intramusculaire du tendon du muscle tibial postérieur.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

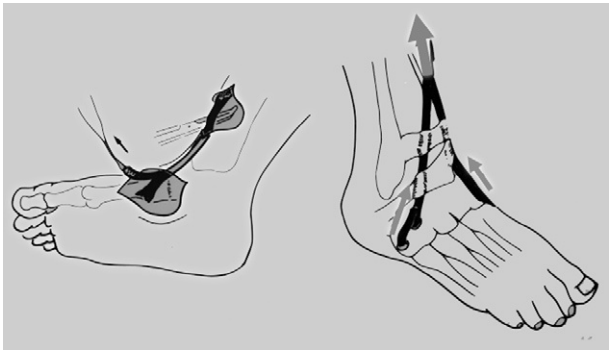


Figure 3. Transfert de la moitié du tendon du muscle tibial antérieur.
La bandelette latérale est fixée au cuboïde.

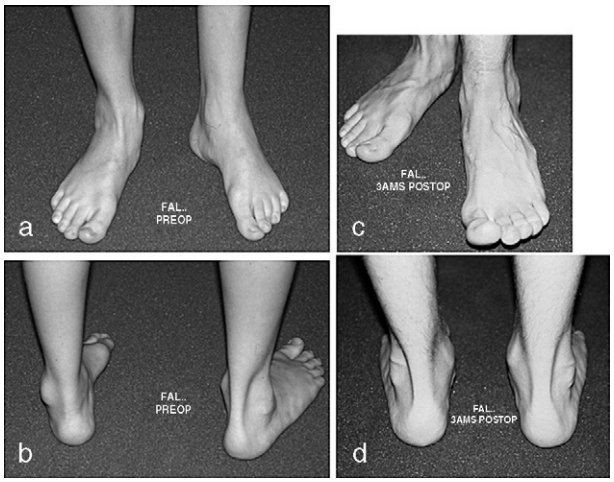


Figure 4. Pied varus gauche chez un adolescent de 12 ans.
a,b. Vues préopératoires. c,d. Trois ans après le traitement chirurgical comportant un allongement intramusculaire du tendon du muscle tibial postérieur et un transfert de la moitié du tendon du tibial antérieur.

vers le cuboïde (figure 3). Si le varus de l'arrière-pied est combiné au varus de l'avant-pied [18,19], un transfert de la moitié du tibial antérieur est associé à un allongement intramusculaire du tibial postérieur (figure 4).

Les transferts tendineux isolés échouent s'il y a des *déformations osseuses fixées*. Elles doivent être traitées concomitamment. Les ostéotomies calcanéennes sont indiquées pour corriger un arrière-pied en varus. Une triple arthrodèse peut être nécessaire pour des déformations raides et plus extensives.

Pied valgus et en équin valgus

Ces déformations sont très fréquentes chez le diplégique IMC, alors que les déformations en varus sont plus fréquentes chez l'hémiplégique. Elles sont la conséquence d'un *déséquilibre* entre un triceps hyperactif et rétracté avec un muscle tibial postérieur faible et des muscles fibulaires spastiques. Ces déformations sont souvent associées à des anomalies rotationnelles des membres inférieurs. Elles diminuent l'efficacité mécanique de l'appui du pied au sol lors de la station debout et de la marche. Elles entraînent des conflits cutanés et des douleurs d'appui.

Le traitement des *déformations souples en valgus de l'enfant* peut être initialement confié à des orthèses (coques moulées, orthèses plastiques jambe-pied). Cependant, avec l'âge, les orthèses sont de moins en moins bien tolérées et les déformations sont difficiles à maîtriser par des traitements orthopédiques.

La chirurgie traditionnelle des *déformations sévères en valgus du sujet en croissance* a été une arthrodèse sous-talienne extra-articulaire (Grice ou dérivés vissage-greffe). Elle est souvent associée à un allongement de l'appareil tricipital en raison de l'équin évident après correction du valgus sous-talien [20]. Cette intervention a plusieurs inconvénients : retentissement néfaste sur la croissance de la cheville, augmentation des contraintes sur le médio-tarse, et non-résolution du déséquilibre musculaire avec un tibial postérieur faible.

Actuellement, la tendance est de conserver une souplesse à l'ensemble du pied en choisissant des ostéotomies correctrices non enraidissantes [21]. L'indication typique d'*ostéotomie d'allongement du calcaneus* est l'association d'une abduction de l'avant-pied à un valgus postérieur excessif. L'ostéotomie passe entre les facettes antérieure et moyenne du calcaneus. L'allongement de l'arche latérale est de 12 à 15 mm (figure 5). Les parties molles rétractées doivent être allongées simultanément : court fibulaire en intramusculaire, triceps. Après correction du valgus peut apparaître une supination de l'avant du pied qui sera corrigée par une ostéotomie de pronation-flexion dans le cunéiforme médial. On peut essayer de rétablir l'équilibre musculaire en raccourcissant le tibial postérieur au niveau de sa jonction intramusculaire. *Il faut souligner que ces interventions ne suppriment pas la nécessité d'utiliser une orthèse diurne appropriée en raison du déséquilibre musculaire. Elles permettent simplement une croissance correcte du pied de l'enfant en évitant les conflits cutanés du pied en charge, et l'efficacité mécanique du pied corrigé appareillé est accrue.*

La *triple arthrodèse* est, à maturité, la meilleure option pour corriger cette déformation avec un muscle tibial postérieur faible et mal commandé. De réalisa-

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

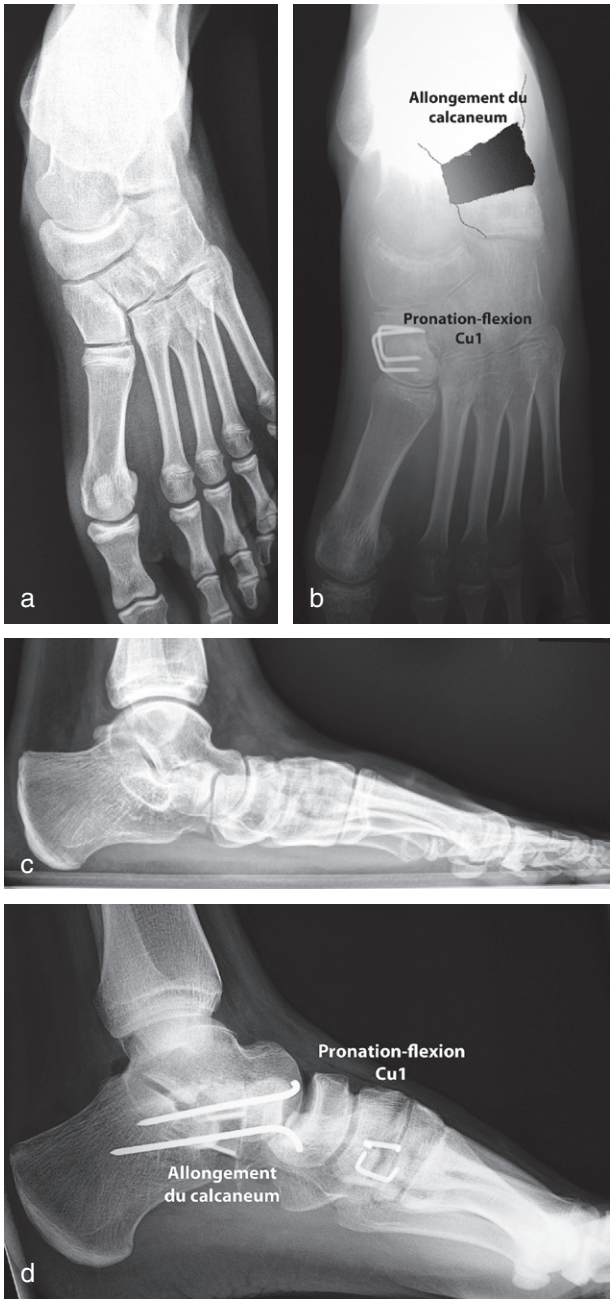


Figure 5. Correction d'un pied plat valgus chez un adolescent de 15 ans par ostéotomie calcanéenne d'allongement de l'arche latérale et ostéotomie de pronation-flexion dans le cunéiforme médial.
Vues de face dorsoplantaires en charge en préopératoire (a) et en postopératoire immédiat (b). Vues de profil en charge en préopératoire (c) et en postopératoire immédiat (d).

tion technique difficile (figure 6), elle doit permettre une reconstruction-arthrodèse du pied pour obtenir un bras de levier efficace lors de la station debout et à la marche.

Déformations des orteils

Les déformations des orteils sont fréquentes chez les *patients adultes*. Elles sont responsables de douleurs, aussi bien à la phase d'appui qu'au chaussage par conflits cutanés ou unguéaux, d'une difficulté pour se chausser et d'une instabilité par accrochage des orteils au passage du pas.

Leur évaluation peut poser un certain nombre de difficultés :

- la *déformation de l'arrière-pied,* en particulier le pied plat valgus, entraîne progressivement une modification de l'avant-pied ;
- la *composante d'hypertonie intrinsèque,* très souvent associée dans les déformations du pied, entraîne un flexum des articulations métatarsophalangiennes des orteils ;
- la *composante éventuelle d'hypertonie extrinsèque* peut créer un flexum des articulations interphalangiennes distales ;
- enfin, il peut y avoir une variation importante entre l'examen en chaîne ouverte et en chaîne fermée, la griffe d'orteils ne pouvant apparaître qu'à la verticalisation ou en position assise.

Hallux valgus

C'est la déformation la plus fréquente. L'hallux est soit en infraductus, soit plus rarement en supraductus quand il y a une hypertonie en extension du long extenseur.

L'hallux valgus a des conséquences sur les autres orteils. Il favorise des conflits avec le deuxième, qui passe plutôt en infraductus et accentue la déviation latérale souvent associée. Celle-ci s'explique aussi par la composante intrinsèque avec l'hypertonie sur l'abducteur du cinquième qui entraîne progressivement une déviation latérale des orteils.

De nombreux IMC marchent en traînant beaucoup les pieds en raison de leur déficit proximal. Dans ce cas, le pied a tendance à glisser au sol et le déroulement du pas est particulièrement limité. La déformation en valgus facilite le passage du pas. La mise dans l'axe de l'hallux peut alors entraîner une gêne fonctionnelle par accrochage de l'hallux. Il faut donc tolérer une déformation en inclinaison latérale des orteils chez les IMC à marche précaire, sans capacité de déroulement du pas et de flexion proximale.

Orthèses courtes dans la paralysie cérébrale

L'orthèse dite « courte » de marche occupe dans l'appareillage du pied de l'IMC une place de plus en plus prépondérante, et ce au détriment de la chaussure orthopédique

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

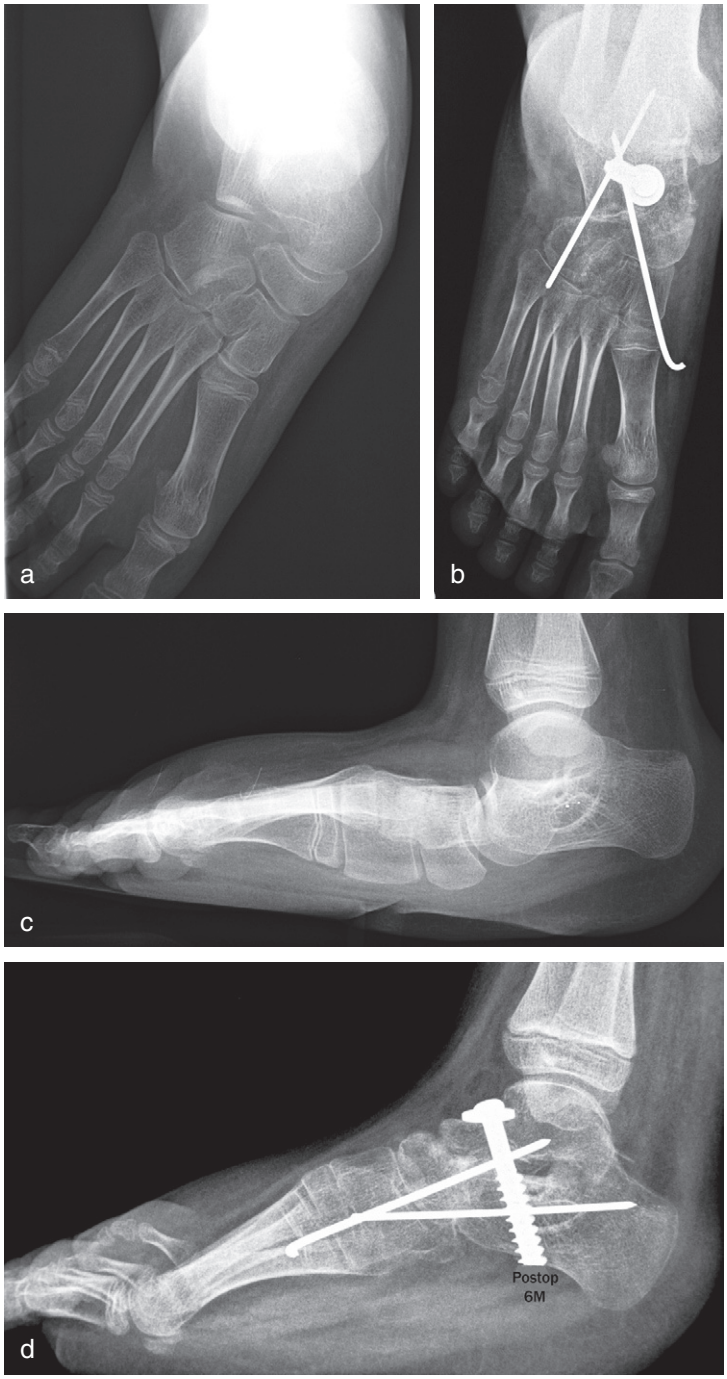


Figure 6. Reconstruction-arthrodèse d'un pied plat valgus équin majeur.
a,b. Vues dorsoplantaires en pré- et postopératoire. Remarquer l'abduction résiduelle du médio-avant-pied par rapport à l'arrière-pied. c,d. Profils pré- et postopératoire.

[22]. *Tout chirurgien orthopédiste traitant une déformation du pied doit maîtriser les concepts mécaniques, la réalisation et la surveillance des orthèses qui vont encadrer l'acte opératoire. Tout projet orthopédique ou chirurgical doit inclure le choix de l'orthèse appropriée.*

L'orthèse rigide est longtemps restée le modèle de référence. Mais ce type d'orthèse ne pouvait convenir à toutes les déformations. Ainsi, depuis quelques années, les modèles d'orthèses se sont largement diversifiés. En contrepartie, une certaine confusion s'est

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

installée dans la terminologie et dans l'indication de ces différents modèles.

Terminologie

En France, une orthèse se définit par sa limite anatomique supérieure et inférieure ou par les segments osseux compris dans ses limites. Ainsi, on devrait, en l'occurrence, parler d'« orthèse tibiopédieuse ». Mais, dans la pratique, on utilise souvent le terme d'« orthèse courte », plus simplement de « botte de marche », plus rarement d'« orthèse mollet-plante ». La terminologie internationale a adopté comme repères les articulations englobées par l'orthèse. Ainsi, *ankle foot orthosis* se traduit par « orthèse cheville-pied ».

Critères de qualité

L'orthèse cheville-pied de marche doit respecter la mobilité de la cheville durant la phase d'appui. Ce

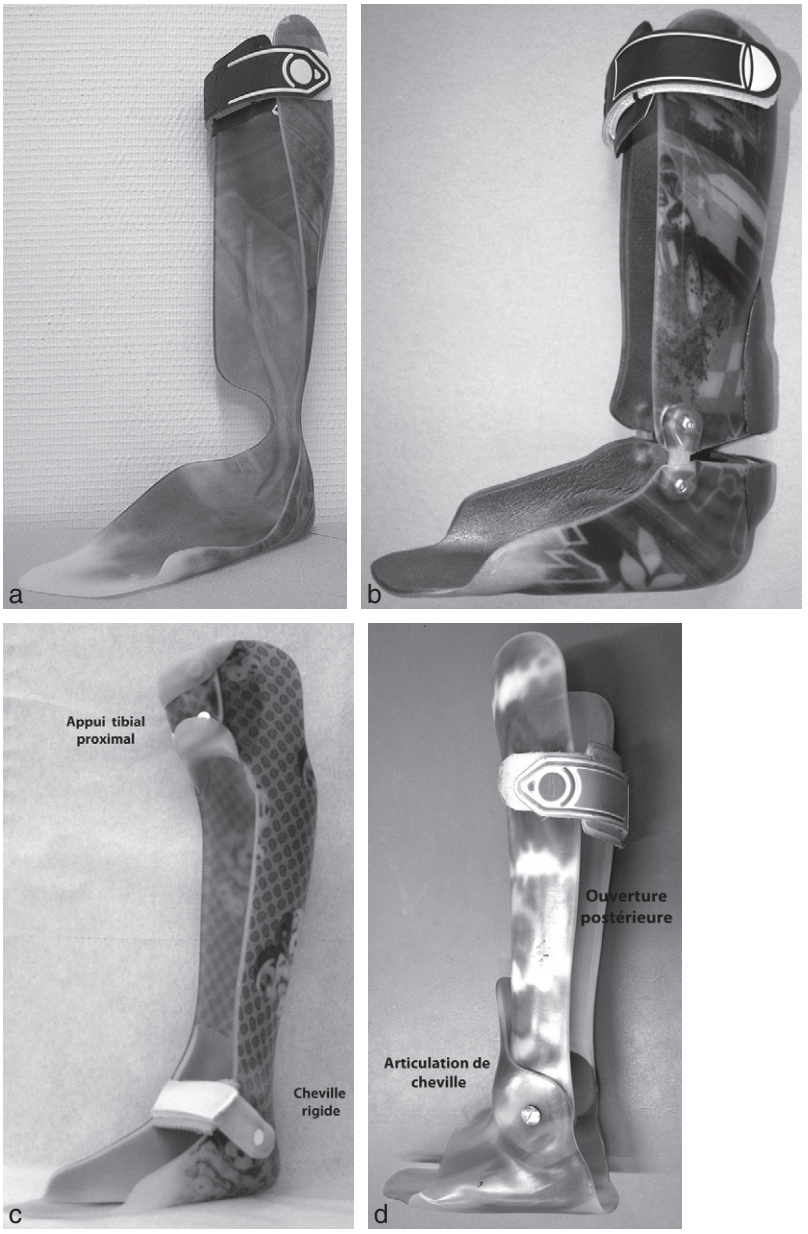
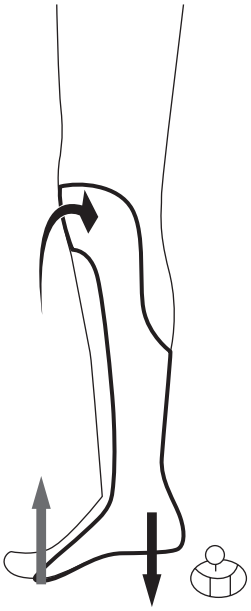


Figure 7. Les différents modèles d'orthèse de marche.
a. Orthèse flexible type « releveur ». **b.** Orthèse articulée cheville type Tamarak. **c.** Orthèse rigide cheville avec effet de sol. **d.** Orthèse articulée cheville avec effet de sol.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



L' extension du genou (↱) résulte du couple de force semelle plantaire/appui tibial supérieur (|) associé au poids du patient en charge (⇩|)

Figure 8. Principe de l'effet de sol.



Figure 9. L'orthèse évolutive, articulée de cheville avec effet de sol.

respect de la *mobilité « utile »* pourra être complet ou partiel. Dans ce dernier cas, il est pratique de se référer à la division de cette mobilité aux trois périodes appelées roulements ou pivots.

La *recherche d'une aide à la fonction* représente la deuxième préoccupation du chirurgien. Le principe du couplage entre la flexion plantaire de la cheville et l'extension du genou est appliqué. Un sujet qui possède des muscles fléchisseurs plantaires insuffisants pour freiner la bascule de la jambe en avant aura un genou sus-jacent en flexion excessive. La mise en place d'orthèse cheville-pied contrôlant la bascule (inclinaison) de la jambe vers l'avant réduit ainsi la flexion du genou et améliore la fonction du quadriceps.

Différents modèles d'orthèses de marche

Il peut s'agir d'une orthèse rigide ou flexible, d'une orthèse à ouverture antérieure ou postérieure, d'une orthèse avec ou sans effet de sol. Il faut souligner que la plupart des orthèses ont des *indications communes*. Elles favorisent l'attaque du pas par le talon, stabilisent la cheville et la jambe et contrôlent le pied tombant.

L'*orthèse rigide cheville-pied* était la plus couramment prescrite. Elle interdit le réflexe d'étirement du triceps que favorise le deuxième roulement et initie l'extension du genou lors de la phase d'appui (grâce au couple flexion plantaire cheville-extension genou). Les trois roulements sont bloqués.

L'*orthèse flexible « type releveur »* (figure 7a) est le grand classique dans le pied périphérique. Elle autorise les trois roulements grâce à sa relative souplesse, mais ils resteront limités. Ses inconvénients sont le revers de sa qualité principale : maintien non strict de l'arrière-pied, contrôle d'une raideur du triceps insuffisant, couple flexion plantaire de cheville-extension du genou nul.

L'*orthèse cheville-pied articulée* (figure 7b) possède deux types d'articulation : type Gillette souple et type Tamarak, s'opposant à l'instabilité médio-latérale du pied. Son réglage se fait à la demande. Le deuxième roulement est possible, le troisième roulement est partiel et le couple flexion plantaire de cheville-extension du genou peut être réglé précisément. Elle ne convient pas à des triceps spastiques et le couple flexion plantaire cheville-extension du genou reste insuffisant pour lutter contre une triple flexion.

L'*orthèse pied-cheville avec effet de sol (ground reaction floor orthosis)* [figures 7c et 7d], qui utilise à l'extrême l'effet du couple flexion plantaire de cheville-extension du genou, est l'orthèse de choix pour s'opposer à la triple flexion (figure 8). Il en existe deux types :

- l'*orthèse articulée de cheville avec effet de sol (rear entry)* est la plus originale et la plus limitée dans ses indications. Elle permet une flexion plantaire, donc

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

un premier roulement, et elle exige une commande des releveurs (figure 7d) ;
• l'*orthèse rigide avec effet de sol* aide à la fonction, mais au prix d'une perte complète de la mobilité de la cheville (figure 7c).

L'*orthèse évolutive articulée de cheville avec effet de sol* (figure 9) est une nouvelle orthèse [23] qui aide à l'extension du genou tout en autorisant une mobilité évolutive de cheville, réglable précisément grâce à un dispositif postérieur. La mobilité de cheville libérée peut permettre un premier roulement (rabattement du pied au contact initial) et un troisième roulement (propulsion du triceps). Associée au dispositif de réglage angulaire de la cheville, l'utilisation d'un bouclier antérieur tibial permet de transmettre le vecteur force vers le genou de manière efficace et constante. Cette orthèse peut convenir au pied tombant ou non durant l'oscillation, au pied raide ou souple, au pied correctement motorisé ou non. Elle permet d'aider à l'extension du genou durant la phase d'appui monopode (pied plantigrade), tout en respectant un déficit possible d'extension du genou et de la hanche, les réglages vers la flexion plantaire et dorsale se faisant de manière précise et indépendante.

Résumé des indications

L'*orthèse rigide* est utile en cas de raideur du triceps avec un pied globalement mal motorisé.

L'*orthèse flexible* est indiquée en cas de pied tombant non ou peu raide.

L'*orthèse articulée* est surtout intéressante si les fléchisseurs plantaires sont à la fois souples et actifs.

L'*orthèse avec effet de sol* s'oppose à une marche en triple flexion : orthèse *rigide* si le pied est tombant en phase oscillante ; orthèse *articulée* si le pied n'est pas tombant.

L'*orthèse évolutive articulée* avec effet de sol s'adapte aux différents types de marche avec un genou trop fléchi au mi-appui.

Conclusion

Les déformations du pied de l'IMOC marchant doivent être évaluées dans leur contexte neurologique et fonctionnel global. Tout l'ensemble du membre inférieur est concerné. Le traitement est planifié après une analyse tridimensionnelle clinique et instrumentale. Les techniques chirurgicales sont variées et de plus en plus adaptées au déséquilibre musculaire et aux déformations ostéoarticulaires.

Références

1 Gage JG ed. The treatment of gait problems in cerebral palsy. Londres : Mac Keith Press ; 2004.
2 Khouri N, Guillaumat M. Surgery of the lower limb in cerebral palsy. British Editorial Society of Bone and Joint Surgery. European Instructional Course Lectures 1999 ; 4.
3 Miller F. Cerebral palsy. New York ; Springer : 2005.
4 Denormandie P, Decq P, et al. Traitement chirurgical du pied spastique chez l'adulte : point de vue du neurochirurgien et du chirurgien orthopédiste. Actes des 9e Entretiens de l'Institut Garches, 1996 ; 79-93.
5 Lespargot A, Renaudin E, Robert M, Khouri N. Les muscles et les tendons de l'IMOC : examen clinique et données expérimentales. Motricité cérébrale 1999 ; 20 : 69-90.
6 Robert M, Khouri N, Lespargot A. Neuroclasie chirurgicale des nerfs du triceps sural chez 14 enfants IMC. Suivi clinique et instrumental, conséquences thérapeutiques. Motricité cérébrale 2003 ; 24 : 178-94.
7 Gros C. La chirurgie de la spasticité. Neurochirurgie 1972 ; 23 : 316-88.
8 Decq P, Mertens P, Kéravel Y, Sindou M. Neurochirurgie de la spasticité. In : Decq P, Kéravel Y, éds. Neurochirurgie. Paris : Ellipses ; 1995. p. 679-90.
9 Barat M, Maisonnave JP, Barouk L, Thomas D, Arne L. Les aspects du pied équin de l'hémiplégique. Ann Méd Physique 1976 ; 19 : 372-9.
10 Bardot A, Delarque A, Costes O, Curvale G, Groulier P. La chirurgie palliative du pied de l'hémiplégique adulte. Neuro-orthopédie des membres inférieurs chez l'adulte. Paris : Masson ; 1989.
11 Barouk LS, Richer R, Deliac M, Laurent F. La chirurgie du membre inférieur de l'hémiplégique. Neuro-orthopédie des membres inférieurs chez l'adulte. Paris : Masson ; 1989.
12 Berard C, Sindou M, Berard J, Carrier H. Selective neurotomy of the tibial nerve in the spastic hemiplegic child : an explanation of the recurrence. J Pediatr Orthop B 1998 ; 7 : 66-70.
13 Sindou M, Mertens P. Selective neurotomy of the tibial nerve for the treatment of the spastic foot. Neurosurgery 1988 ; 23 : 738-44.
14 Javors JR, Klareen HE. The Vulpius procedure for correction of equinus deformity in cerebral palsy. J Pediatr Orthop 1987 ; 7 : 191-3.
15 Blanc-Houvenachel C, Vogt JC. Traitement chirurgical du pied varus équin spastique chez l'adulte. Ann Méd Physique 1988 ; 1 : 77-83.
16 Martin JC, Vogt JC, Lecocq J, Vautravers P. Traitement chirurgical du pied varus équin spastique de l'adulte et de l'adolescent. Neuro-orthopédie des membres inférieurs chez l'adulte. Paris : Masson ; 1989.
17 Green NE. Split posterior tibial tendon transfer : the universal procedure. In : Sussman M, éd. The diplegic child : evaluation and

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

management. Rosemont : American Academy of Orthopaedic Surgeons ; 1992. p. 417-26.
18 Hoffer MM, Barakat G, Koffman M. 10-year follow-up of split anterior tibial tendon transfer in cerebral palsied patients with spastic equinovarus deformity. J Pediatr Orthop 1985 ; 5 : 432-4.
19 Vogt JC. Split anterior tibial transfer for spastic equinovarus foot deformity : retrospective study of 73 operated feet. J Foot Ankle Surg 1998 ; 37 : 2-7 discussion : 78.
20 Bourelle S, Cottalorda J, Gautheron V, Chavrier Y. Extra-articular subtalar arthrodesis. A long-term follow-up in patients with cerebral palsy. J Bone Joint Surg Br 2004 ; 86 : 737-42.
21 Mosca VS. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hind-foot : results in children who have severe, symptomatic flatfoot and skewfoot. J Bone Joint Surg Am 1995 ; 77-A : 500-12.
22 Yepremian D, Jarrige M, Khouri N. Évolution et progrès dans le traitement orthétique du pied de l'IMC. Motricité cérébrale 2002 ; 23 : 49-65.
23 Jarrige M, Yepremian D, Desailly E, Rozière S, Khouri N. Une nouvelle orthèse courte de marche chez l'enfant et l'adolescent IMC : l'orthèse évolutive, articulée cheville avec effet de sol. Motricité cérébrale 2009 ; 30 : 153-8.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied du polyhandicapé

R. SERINGE[1]

Le sujet polyhandicapé associe à une déficience mentale profonde un handicap moteur et très souvent d'autres handicaps. Sa prévalence est d'environ 2 pour 1000. Les causes anténatales d'origine cérébrale correspondent à la très grande majorité des cas, de sorte que la fréquence des naissances d'enfants polyhandicapés n'a pas diminué de façon notable malgré l'amélioration indiscutable de la prise en charge obstétricale.

L'enfant polyhandicapé, bien souvent infirme moteur d'origine cérébrale dans la forme tétraplégique grabataire, est sujet à de nombreuses déformations orthopédiques. Celles-ci sont dominées par l'atteinte des hanches et du rachis, qui conditionne les possibilités de la station assise, qui rend inconfortable le décubitus et difficiles les soins d'hygiène.

Les déformations des pieds sont plus rares, souvent moins gênantes, mais dans certains cas, l'importance de la déformation entraîne des douleurs, des lésions cutanées et parfois même des ulcérations, et enfin l'impossibilité de trouver un chaussage simple et de coût raisonnable. La prise en charge des déformations des pieds chez les sujets polyhandicapés passe au second plan derrière les autres problèmes orthopédiques, mais aussi derrière les efforts qui sont faits pour augmenter les moyens de communication et pour traiter les défaillances multiviscérales.

Physiopathologie des déformations orthopédiques

Plusieurs facteurs concourent à la genèse des déformations : les perturbations du tonus musculaire, le déséquilibre de la force musculaire, les troubles de l'équilibre, de la coordination ainsi que les réactions athétosiques dyskinétiques, certaines postures prolongées nocturnes ou diurnes pérennisant les limitations articulaires ou les attitudes vicieuses, les perturbations de fonctionnement des cartilages de croissance sous l'effet des postures asymétriques, la non-acquisition de la marche qui supprime les sollicitations mécaniques normales sur les cartilages de croissance et sur l'équilibre musculaire.

Les déformations les plus fréquentes

L'évolution spontanée du pied du polyhandicapé se fait bien souvent en équin, dont la prévention est relativement facile par des attelles maintenant les pieds à angle droit [1].

Dans certains cas, l'équin n'est pas direct, car il s'accompagne d'un varus pour lequel la prévention est du même ordre, mais si l'attitude vicieuse est négligée, on peut observer une déformation en varus équin allant même jusqu'à la subluxation de l'articulation transverse du tarse avec saillie sous-cutanée de la tête du talus et de la grande apophyse du calcaneus : les conflits cutanés sont alors fréquents, rendant très difficile le chaussage.

Dans d'autres cas, l'équinisme s'accompagne d'une déformation inverse en valgus, planus et abduction. Là encore, la prévention repose sur les attelles maintenant les pieds à angle droit mais en cas de forme négligée, on peut aboutir à une déformation extrême avec une subluxation puis une luxation du bloc calcanéopédieux à côté de l'unité talo-tibio-fibulaire. Cette déformation peut même s'accentuer dans le médio-avant-pied, par abduction dans les articulations calcanéocuboïdienne et talonaviculaire. Les conflits cutanés sont sur le bord médial du pied, à la plante du pied et peuvent également être sources de douleurs, de rougeurs, d'ulcérations cutanées et de difficultés de chaussage.

Traitement conservateur [2]

Les antispastiques et les myorelaxants représentent les médicaments de base pour lutter contre l'hypertonie musculaire.

La toxine botulique peut également être utilisée.

La correction orthopédique par botte plâtrée est parfois utile, à la condition d'être bien moulée de façon à protéger la peau.

Les attelles courtes, voire parfois des attelles fémoropédieuses pour mieux contrôler les problèmes rotationnels,

[1] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

sont utilisées à titre préventif et pour corriger les défauts modérés ou retarder la chirurgie.

La kinésithérapie avec étirement musculaire est toujours utile.

Le chaussage doit être confortable en utilisant un chaussant mou. La chaussure orthopédique classique devrait être bannie du fait de sa rigidité, de son poids, de son inconfort et de son coût.

Traitement chirurgical [2]

La chirurgie est très rarement indiquée chez l'enfant ou chez le jeune adulte polyhandicapé, mais elle est parfois indispensable devant des déformations très importantes, douloureuses et rendant impossible le chaussage simple. L'attitude traditionnelle a longtemps été de corriger une grosse déformation par une arthrodèse triple sous-talienne, talonaviculaire, calcanéocuboïdienne : c'est une chirurgie majeure qui ne résout pas toujours tous les problèmes, il vaut mieux avoir recours à une chirurgie plus adaptée aux déformations.

Interventions déconseillées

La tendance est de ne plus faire d'arthrodèse triple. Quant à l'allongement du calcaneus dans les pieds planovalgus abductus, il représente une chirurgie un peu trop sophistiquée, longue, avec nécessité de prise de greffons, et on a tendance à l'abandonner.

Naviculectomie [3]

Cette opération est réalisée par une voie d'abord médiale, ce qui permet d'ouvrir l'articulation talonaviculaire, de visualiser l'os naviculaire sur ses faces dorsale, médiale et plantaire et d'en réaliser facilement l'exérèse. Une voie latérale peut devenir nécessaire si un geste doit être associé sur la colonne latérale.

Dans le pied varus équin avec luxation plantaire médiotarsienne et saillie dorsale de la tête du naviculaire et de la grande apophyse du calcaneus, la chirurgie de raccourcissement des deux colonnes est indispensable pour réaligner le pied, et nous conseillons d'associer à la naviculectomie une résection osseuse distale dans le calcaneus à la manière de Lichtblau. Le réalignement des deux colonnes devient ainsi facile : il est maintenu par des broches longitudinales et complété par une botte plâtrée pendant 2 à 3 mois (figure 1).

Dans le pied planus valgus équin abductus (figure 2), la chirurgie de naviculectomie se déroule de la même façon que précédemment, par une voie médiale ; l'indication idéale correspond à une abduction très importante du médio-avant-pied par rapport à l'arrière-pied, car la naviculectomie entraîne un raccourcissement idéal de la colonne médiale et permet de réaligner le bord latéral du pied et de refaire passer le bloc calcanéopédieux au-dessous de l'unité talo-tibio-fibulaire. La correction est maintenue par une ou deux broches dans la colonne médiale.

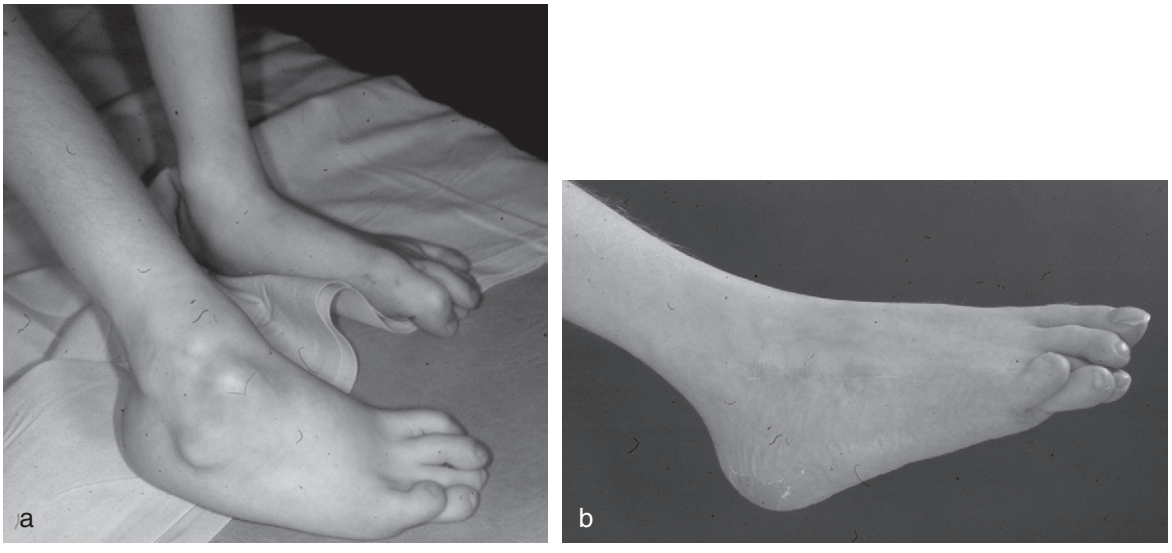


Figure 1. Résultat morphologique après naviculectomie et arthrodèse calcanéocuboïdienne de type Evans pour pied varus équin avec luxation plantaire médiotarsienne.
a. Aspect préopératoire, avec la saillie de la tête du talus et de la grande apophyse du calcaneus. b. Résultat.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 2. Pieds valgus majeurs abductus et cavus. Traitement possible par arthrodèse talonaviculaire pour fixer le bloc calcanéopédieux sous l'unité talo-tibio-fibulaire et remettre le pied à angle droit.

Arthrodèse talonaviculaire

Cette chirurgie relativement simple, faite le plus souvent par voie médiale mais parfois aussi par voie latérale en fonction du sens de la déformation, est un acte opératoire rapide, peu invasif, aux suites simples et qui va entraîner une solidarisation définitive du bloc calcanéopédieux avec l'unité talo-tibio-fibulaire en position neutre. Quand le pied est fortement abductus en fin de croissance avec un hyperallongement de la colonne médiale, il suffit de faire une résection à cheval sur le naviculaire et la tête du talus et de mettre en contact les deux surfaces avivées et maintenues soit par une agrafe, soit par une ou deux broches.

Lorsque le pied est déformé en varus prononcé, l'arthrodèse talonaviculaire peut être réalisée par voie dorsolatérale avec une résection des surfaces cartilagineuses du talus et du naviculaire : cette opération est particulièrement indiquée lorsque la déformation, quoique sévère, est pratiquement entièrement réductible.

Gestes associés

Chaque fois qu'il y a un équin irréductible, on peut associer un allongement du tendon d'Achille, le plus souvent par une technique percutanée. D'autres ténotomies peuvent être nécessaires en fonction de chaque cas : tibial postérieur dans les pieds varus, muscles fibulaires dans les pieds valgus, muscles extenseurs dans les pieds calcaneus….

Conclusion

Le traitement chirurgical du pied du polyhandicapé doit n'être envisagé qu'après essai infructueux du traitement conservateur (rééducation, attelles et traitement médical). Cependant, il ne faut pas attendre trop longtemps, car des solutions relativement simples peuvent être proposées bien avant la fin de la croissance pour réaligner correctement le pied et permettre un chaussage simplifié tout en maintenant des attelles nocturnes pour éviter la récidive des déformations.

Références

1 Zeller R, Castanedo A, Seringe R. Résultats du traitement conservateur dans le pied équin spastique. Rev Chir Orthop 1995 ; II : 169.

2 Hsu J, Jackson R. Treatment of symptomatic foot and ankle deformities in the non ambulatory neuromuscular patients. Foot Ankle 1985 ; 5 : 238-44.

3 Laudrin P, Wicart P, Seringe R. Résection de l'os naviculaire pour déformation sévère du médio-pied de l'enfant. Rev Chir Orthop 2007 ; 93 : 478-85.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied spastique de l'adulte hémiplégique

G. CURVALE[1]

Introduction

Le pied varus équin spastique, schéma moteur le plus habituel de l'hémiplégique adulte, expose aux accrochages du pied et aux chutes, aux douleurs au chaussage et à l'instabilité de l'appui, obstacle à la marche pieds nus, imposant souvent orthèses ou chaussures sur mesure. Il est de mieux en mieux contrôlé grâce aux progrès de la médecine de rééducation et de réadaptation fonctionnelle [1]. Au-delà de ces moyens non invasifs incluant rééducation, médication de la spasticité, orthèses et chaussures sur mesure, le choix d'un apport thérapeutique complémentaire dépend du bilan [2-4]. La spasticité peut être atténuée médicalement par injection de toxine botulique ou par neurotomie chirurgicale sélective. La correction et la stabilisation sagittale et frontale du pied peuvent bénéficier d'une chirurgie d'arthrodèse ou de divers gestes tendineux.

La marche de l'hémiplégique

• *Les troubles de la marche* liés au pied varus équin spastique sont essentiellement dus à la spasticité souvent associée à la rétraction du muscle triceps sural, et à une cocontraction des muscles varisants et abaisseurs, en l'absence habituelle de contraction des muscles fibulaires [5].

• *Dans la phase oscillante du pas,* le pseudo-steppage hypertonique par flexion syncinétique de la hanche et du genou compense difficilement l'allongement dû au varus équin spastique, source d'accrochage de la pointe du pied. Quand il est compromis par une spasticité du quadriceps ou par un schème en extension du genou, la difficulté du passage du pas augmente.

• *Lors de l'attaque du pied au sol,* l'intensité du varus équin conditionne la stabilité de la phase d'appui. Celui-ci peut être totalement impossible si le varus équin instable est majeur (figure 1).



Figure 1. Un varus équin important peut rendre l'appui pied nu impossible.

• *Pendant la phase d'appui,* le varus et l'instabilité peuvent persister, de même que l'équin. Celui-ci accentue en charge la spasticité du triceps, qui peut déclencher un recurvatum du genou, parfois brutal et déstabilisant. Celui-ci peut être lié à une spasticité du quadriceps ou à un déficit du contrôle postural du genou (quelquefois, le recurvatum est le seul moyen de verrouillage statique du genou en charge). La précarité de la stabilité réduit la durée de l'appui et précipite la phase oscillante controlatérale. Cette précipitation, associée à une habituelle incapacité à gérer la rotation médiale de la hanche en charge, peut déterminer une rotation latérale passive du membre hémiplégique dans son pas postérieur qui peut déstabiliser violemment le varus de l'arrière-pied.

• *L'analyse précise* de tous ces éléments et des autres facteurs conditionnant la qualité de la marche (stabilité de la hanche et du genou, équilibre global) est essentielle pour mieux comprendre la marche de l'hémiplégique [6] et pour le choix des indications thérapeutiques.

[1] Service de chirurgie orthopédique et traumatologie, hôpital de la Conception, 145, boulevard Baille, 13385 Marseille cedex.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

À cet égard, les données de la littérature sont souvent imprécises et les séries souvent inhomogènes.

Examen clinique

• *Cet examen est nécessairement pluridisciplinaire,* pour une réflexion globale, médicale, trophique, neurologique, orthopédique et fonctionnelle. Il est certes possible mais peu réaliste qu'une seule personne puisse réunir tant de compétences. L'idéal est donc que ces patients soient évalués en consultation associant rééducateur, chirurgien orthopédiste et si possible neurochirurgien, ou au minimum dans un réseau où l'information circule de façon parfaite entre des acteurs qui communiquent, échangent et confrontent leurs opinions.

• *Le temps d'écoute est capital* pour apprécier :
– les doléances réelles, souvent différentes de celles suggérées par l'examen ou l'entourage ;
– les troubles intellectuels, cognitifs et mnésiques et donc l'importance de la participation du patient au projet thérapeutique ;
– le mode de vie et le contexte familial, social et professionnel ;
– enfin, l'état général et une partie des facteurs de risques médicaux.

• *L'observation du patient* notera :
– les aptitudes à la station debout bipodale et monopodale, à la marche chaussé et pieds nus (stabilité, équilibre, vitesse, autonomie), au chaussage-déchaussage, déshabillage et transferts ;
– toute déformation, attitude, compensation ou troubles du tonus ou lésion cutanée, avec une attention particulière aux chaussures, orthèses cannes et autres appareillages.

• *L'examen et le bilan neurologiques* sont menés en parallèle, avec les spécificités de cet examen en pathologie centrale. Alors qu'en pathologie périphérique, le bilan musculaire standardisé et l'électromyogramme sont essentiels, ici, l'examen moteur apprécie la part de motricité volontaire rarement analytique, habituellement syncinétique, éventuellement déclenchée par des manœuvres de facilitation (triple retrait contre résistance en position couchée : manœuvre de Strumpell) [figure 2] et surtout observée lors des différents temps de la marche. Il évalue l'hypertonie et la spasticité grâce au score d'Ashworth. Le bilan sensitif note certes les troubles de la sensibilité épicritique, mais également proprioceptive et kinesthésique, par un bilan analytique mais aussi plus global du contrôle postural.

• *L'examen et le bilan orthopédiques* permettent d'apprécier :



Figure 2. Manœuvre de Strumpell : triple retrait contre résistance en position couchée cherchant à recruter la contraction du tibial antérieur.

– l'alignement statique et dynamique dans les trois plans de l'espace, du pied, de la cheville et de tout le membre inférieur ;
– les amplitudes articulaires avec la recherche de la cause des raideurs (ossifications ou rétractions) ;
– les appuis plantaires (hyperkératoses, podoscopie).
Cet examen est complété par des radiographies des articulations concernées.

• *Le bilan trophique et vasculaire* est essentiel en chirurgie du pied, notamment sur terrains vasculaires et fragilisés : bilan artériel, veineux, et lymphatique ; recherche de diabète, de neuroarthropathie et de troubles trophiques.

• *Le bilan fonctionnel* est primordial pour orienter les choix thérapeutiques. Certes, le but n'est pas de guérir *une lésion* neurologique. Il n'est pas de pallier aveuglement *une déficience*. Il est de surmonter *un handicap*. Il est donc capital d'étudier précisément, par exemple, la gêne aux différents temps de la marche et ses répercutions dans les différentes activités du quotidien : autonomie d'intérieur (marche, transferts, toilette, habillage, escalier) et d'extérieur (sorties, trottoirs, traversée de rue, montée en véhicule, terrains irréguliers, loisirs).

• *Définir les buts du traitement est essentiel.* Avec le patient et son entourage, il faut préciser les troubles à corriger et les objectifs fonctionnels que l'on espère atteindre, par exemple la suppression du chaussage orthopédique ou la récupération d'une marche pieds nus ou en terrain irrégulier. Dans le doute, cette réflexion peut passer par des tests à la Xylocaïne®, et par l'utilisation de toxines botuliques intramusculaires, le but étant d'analyser la part respective des différents muscles dans la spasticité [7] et d'obtenir une atténuation passagère de la spasticité pour évaluer l'intérêt d'une prise en charge ultérieure plus durable. Cette démarche éclaire particulièrement la nécessité d'un contexte pluridisciplinaire.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Moyens

Neurotomie sélective du nerf tibial

Elle vise les branches du nerf tibial destinées aux muscles dont la spasticité est considérée comme néfaste à l'analyse clinique, habituellement celles du gastrocnémien et du soléaire, du tibial postérieur et éventuellement des fléchisseurs des orteils, quoique la variation de ses pédicules conduise plus fréquemment à des ténotomies associées [8]. Les nerfs sont partiellement sectionnés sous microscope opératoire et stimulation électrique, jusqu'à ce que l'atténuation de la réponse motrice corresponde au projet préopératoire. À l'inverse des autres techniques chirurgicales, la neurotomie ne nécessite pas d'immobilisation ou de suspension de l'appui et autorise une rééducation immédiate. Il faut avoir auparavant vérifié la réductibilité des déformations apparentes, si besoin par test d'anesthésie locorégionale à la Xylocaïne® ou injections de toxine botulique, ce qui confère alors à celles-ci un rôle de test thérapeutique. La place des neurotomies dans la chronologie des différents moyens chirurgicaux est discutée. Ne serait-ce que par souci de gradation du risque et des implications d'immobilisation postopératoire, lorsque les deux types de geste sont envisagés, il peut paraître préférable de les réaliser en plusieurs temps séparés, en commençant par la neurotomie et en réservant l'indication de gestes plus lourds aux résultats d'une réévaluation ultérieure. Certains auteurs pratiquent cependant des gestes mixtes de façon régulière (neurotomie et ténotomies des fléchisseurs ou associée à un transfert tendineux). La sélectivité du geste, sa faible morbidité, la simplicité des suites, la qualité des résultats publiés [9] et le caractère durable de son efficacité, quoique parfois mis en doute [10], méritent d'être soulignés.

Chirurgie tendineuse

Allongement du tendon d'Achille et ténotomie des fléchisseurs d'orteils

L'allongement du tendon d'Achille vise à corriger la rétraction du triceps. Il peut être réalisé en percutané ou à ciel ouvert. Certains lui préfèrent un allongement de l'aponévrose du gastrocnémien ou sa désinsertion haute à partir des coques condyliennes du genou, considérant que sa rétraction est plus fréquente que celle du soleus, et que sa spasticité est souvent dominante, ce qui est discuté. Il est à cet égard indispensable de différencier l'examen clinique du triceps sural genou fléchi et genou tendu. L'allongement d'Achille dévoile ou aggrave la brièveté des muscles fléchisseurs des orteils et impose leur ténotomie distale percutanée [11].

Techniques de latéralisation de l'action du tibial antérieur

L'action du muscle tibial antérieur peut être valgisée de plusieurs façons. La bifurcation de son tendon, sa moitié latérale étant réinsérée sur le cuboïde, semble la technique la plus courante [12,13]. D'autres préfèrent la transposition latérale du tendon terminal du tibial antérieur sur le cunéiforme latéral. Pour nous, le transfert rétrograde du tendon distal du court fibulaire sur le tendon intact du tibial antérieur a l'avantage de la logique neurophysiologique : il n'affaiblit pas le tibial antérieur, ni ne l'interrompt, ni ne modifie son insertion. La fixation distale du transplant est naturelle et il n'y a pas d'inversion d'une action musculaire. Nous l'utilisons en association avec d'autres gestes tendineux (technique de A. Bardot, exposée au paragraphe suivant). Nous sommes très réservés vis-à-vis du transfert du tendon du tibial postérieur en pathologie neurologique centrale et spastique, qu'il soit réinséré au dos du pied à travers la membrane interosseuse, dédoublé ou non, ou suturé sur l'extrémité distale du court fibulaire en contournant latéralement la fibula d'arrière en avant [14-17]. L'activité du tibial postérieur est en effet faible ou nulle sur les électromyogrammes préopératoires pendant la phase oscillante du pas ; son effet est fréquemment celui d'une ténodèse et sa désinsertion expose à une hypercorrection [18,19]. Il nous paraît illogique de transférer la moitié d'un tendon pour réanimer la flexion dorsale et l'éversion quand l'autre moitié reste inverseur et fléchisseur plantaire. Cette remarque peut également s'appliquer au transfert rétrograde du tendon distal du court fibulaire sur le tendon calcanéen [20].

Technique de Bardot

Elle consiste à rééquilibrer et réanimer la flexion dorsale de cheville dans la phase oscillante du pas en latéralisant l'action du tibial antérieur, lui créant une deuxième insertion latérale, en y fixant le bout proximal du tendon distal du court fibulaire dont l'insertion métatarsienne est respectée (figure 3). Pour que cette latéralisation de l'effet du tibial antérieur puisse s'exprimer, il faut dans le même temps vaincre toute rétraction et spasticité du triceps, très habituellement par allongement de son tendon distal. Cette correction de l'équin dévoile toujours une certaine brièveté des fléchisseurs des orteils nécessitant habituellement une ténotomie des fléchisseurs des

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

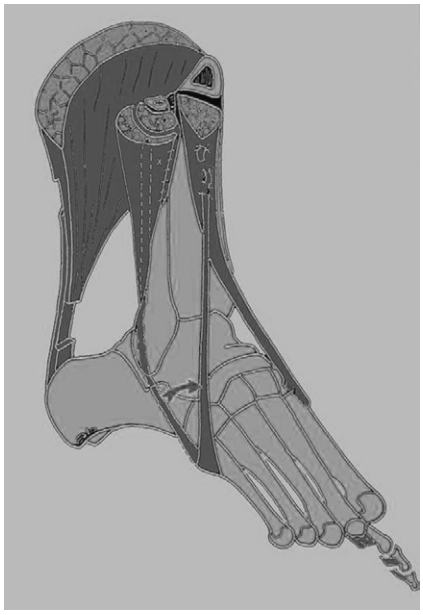


Figure 3. Schéma de la technique de Bardot.

cinq orteils. Après 3 semaines de plâtre, la remise en charge progressive est autorisée. La rééducation se fait au mieux en centre spécialisé.

Il en résulte habituellement une disparition du varus équin spastique dans la phase oscillante, une flexion dorsale syncinétique équilibrée de cheville pendant le passage du pas (figure 4), et une attaque par le talon ou pied à plat, sans varus instable en phase d'appui. Cela offre au patient la possibilité de retrouver la marche pieds nus, et l'espoir de supprimer ou limiter l'usage du chaussage orthopédique et de toute orthèse. Lors de la révision de notre série [11], aucun patient ne présentait un varus instable en charge, 93 % avaient pu supprimer leur orthèse et tous étaient capables de marcher pieds nus, ce qui est pour nous le principal élément révélateur de la qualité du résultat. Malgré cela, seuls 80 % des patients étaient satisfaits, les autres attendaient plus… C'est dire l'importance d'évaluer les conditions neuropsychologiques de ces patients et d'insister sur la modestie des buts recherchés par rapport au handicap global que vit l'hémiplégique. Si la réanimation de la flexion dorsale de la cheville et de l'éversion du pied peut apporter quelques progrès, elle n'efface pas l'hémiplégie. Il faut le répéter souvent aux patients qui ne doivent pas fonder sur l'intervention un espoir de guérison qui ne pourrait être que déçu.

Arthrodèses

Les arthrodèses de l'arrière-pied, particulièrement la triple arthrodèse (sous-talienne, calcanéocuboïdienne et



Figure 4. Rééquilibration du pied dans la phase oscillante après chirurgie tendineuse de type Bardot.

talonaviculaire), sont reconnues comme les meilleures interventions pour obtenir un arrière-pied stable et axé dans ce contexte neurologique. Ainsi, certains auteurs y ont recours dans la majorité des cas. La plupart préfèrent privilégier une chirurgie tendineuse et n'ont recours à l'arthrodèse que dans des indications particulières. En effet, les délais d'immobilisation sont nécessairement plus longs, ce qui n'est pas sans conséquence chez des patients incapables de déambuler en monopodal et dont les acquis de la rééducation sont fragiles. L'intérêt de la triple arthrodèse est d'assurer une stabilisation tant transversale que sagittale du pied.

- Dans le plan sagittal : l'arthrodèse ne laissant persister que l'axe transversal de la cheville, il n'est habituellement pas nécessaire dans notre expérience de valgiser l'action du tibial antérieur pour réanimer la flexion dorsale. L'essentiel est de libérer son action en traitant la rétraction et la spasticité du triceps sural. Si les releveurs du pied sont trop faibles, l'artifice de Lambrinudi (consistant à aménager la résection des surfaces articulaires de façon à positionner le bloc calcanéopédieux en flexion dorsale sous le talus) permet de limiter la chute de l'avant-pied (figure 5). Même s'il ne corrige pas toujours totalement le pied tombant, il en facilite l'appareillage, permettant par exemple de passer d'une orthèse dynamique type releveur à une chaussure à tige montante. L'arthrodèse talocrurale doit être évitée. En effet, la mobilité de la cheville permettant, pendant la phase d'appui du pas, de conserver un appui plantaire plus stable doit être préservée chez ces patients à l'équilibre et à la sensibilité profonde précaires.
- Dans le plan frontal, le triceps étant le principal inverseur, son allongement ou le traitement de la spasticité suffit à diminuer les contraintes varisantes, tibial antérieur et postérieur étant rarement spastiques. À

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

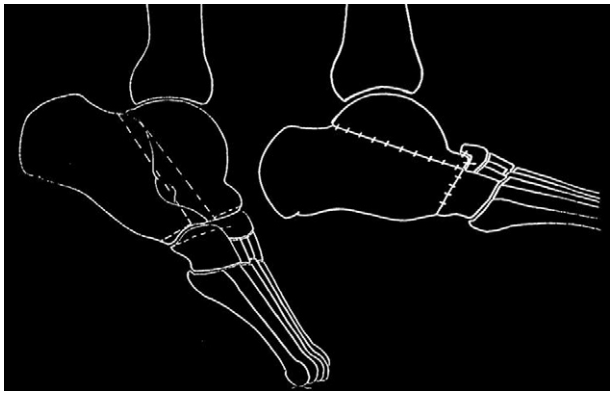


Figure 5. Triple arthrodèse avec artifice de Lambrinudi.

l'inverse, si la spasticité des inverseurs est importante, l'arthrodèse contraint la cheville en varus. Denormandie signale l'apparition tardive d'une arthrose varisante de cheville et insiste sur la nécessité d'un rééquilibrage musculaire transversal [21]. Dans cet esprit, Asencio [18] propose comme technique habituelle l'association d'une arthrodèse talonaviculaire, d'un transfert du tibial antérieur, d'un allongement d'Achille et d'une ténotomie des fléchisseurs. Après désinsertion distale du tibial antérieur, l'interligne talonaviculaire est totalement avivé jusqu'en os saignant. La mise du pied en position de correction fait apparaître une perte de substance dans l'interligne avivé, comblée par un apport corticospongieux prélevé sur la crête iliaque afin d'éviter une attitude en varus adductus résiduelle. L'arthrodèse talonaviculaire est fixée par deux agrafes. Le tibial antérieur est ensuite transposé dans un tunnel transosseux à travers le cunéiforme latéral en position sagittale et fixé par une agrafe, la cheville en position de flexion dorsale de 10°. Le dernier temps comporte une ténotomie des fléchisseurs plantaires à la face plantaire des orteils. L'immobilisation par une botte plâtrée est maintenue 2,5 mois, jusqu'à consolidation.

Indications

L'échec ou l'insuffisance de la rééducation prolongée ou des médications de la spasticité conduit à envisager des gestes invasifs. La décision est prise au mieux au cours d'une évaluation pluridisciplinaire en consultation commune. Il est bien sûr souhaitable d'obtenir l'adhésion exprimée du patient au choix thérapeutique, et qu'il exprime sa volonté de progrès.

Toxine et neurotomies

Quand prédominent l'hypertonie et la spasticité des muscles inverseurs sans rétraction, nous faisons une large place aux injections de toxine botulique, alors que les neurotomies sélectives sont moins utilisées actuellement du fait de la fréquence de récidive secondaire de la spasticité [10]. Les injections de toxine, si elles sont efficaces, sont éventuellement renouvelées. Si les résultats de ces injections sont insuffisants ou régressifs, une neurotomie fasciculaire sélective peut être réalisée, éventuellement précédée d'un test à la Xylocaïne®. Elle porte sur les nerfs moteurs de ces mêmes muscles choisis en fonction du bilan [4] (gastrocnémien, soléaire, tibial postérieur). Elle peut également être faite d'emblée, en particulier si l'hypertonie est majeure, ancienne dans un tableau clinique non évolutif, ou si des ténotomies associées sont nécessaires.

Allongement d'Achille

La constatation d'une rétraction du tendon calcanéen fait envisager un allongement tendineux. Si la rétraction est importante, l'allongement suffit habituellement à faire céder la spasticité. Si elle est modérée, les autres moyens (toxine ou neurotomie) sont nécessaires. L'allongement achilléen ne doit pas être excessif. Il faut veiller à faire la suture sous légère tension, cheville à 90°. Nous avons cependant observé plusieurs cas de flexion dorsale excessive dans les premiers mois postopératoires, responsables d'une démarche talonnante qui s'est progressivement corrigée… remplacée par un pied creux postérieur toléré. C'est ce risque d'excès qui nous incite à ne faire que rarement des ténotomies achilléennes percutanées, par essence non réglables. Rarement, si la composante varisante est minime, un allongement du tendon calcanéen peut suffire, surtout s'il persiste un recrutement des extenseurs des orteils dans la phase oscillante. Habituellement, un geste tendineux ou ostéoarticulaire associé est nécessaire.

Rééquilibration de la flexion dorsale de cheville

Le geste tendineux consiste à valgiser l'action du muscle tibial antérieur quand il est utilisable, ce que nous réalisons par le transfert rétrograde du court fibulaire chez le sujet âgé et chez le jeune si les conditions sont idéales, comme nous l'avons vu plus haut. Comme pour les autres techniques visant à latéraliser l'action du tibial antérieur (transfert total ou partiel), hanche et genou doivent être libres. Nous avons observé que les patients qui n'avaient pas de flexion du genou dans la phase oscillante ont eu une correction incomplète de leur pseudo-steppage. Ceci confirme l'opinion d'Asencio selon laquelle l'existence d'un schème de

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

marche en extension représente un élément limitatif du résultat [18]. Ces patients seront certes améliorés du fait de la diminution de l'équin et du varus, mais l'éversion ne sera pas restaurée. En effet, la flexion du genou au cours du triple retrait dans la phase oscillante du pas est nécessaire au recrutement syncinétique suffisant du tibial antérieur. Le préalable indispensable est donc non seulement de vérifier que la manœuvre de Strumpell (décrite plus haut) s'accompagne d'une contraction puissante du tibial antérieur (figure 2) [comparable à une force au moins égale à 4 au testing musculaire], mais aussi que celui-ci se contracte effectivement à la phase oscillante de la marche. Il faut également un varus réductible, et la libération associée de l'équin. De plus, il faut évaluer avec précision la puissance du quadriceps dont la faiblesse, exceptionnelle, pourrait conduire à une instabilité du genou du fait de la correction de l'équin. L'examen clinique doit par ailleurs être vigilant vis-à-vis des troubles de la sensibilité (en particulier superficielle, qui impose une grande prudence dans la réalisation de la contention postopératoire) et des déficits circulatoires et trophiques locaux, s'agissant fréquemment de malades âgés vasculaires, voire diabétiques. La latéralisation du tibial antérieur n'est pas nécessaire dans les rares cas où il existe une contraction des fibulaires dans la phase oscillante (la libération de la contraction excessive des inverseurs par toxine botulique, allongement d'Achille ou neurotomie suffit alors habituellement). La technique de Bardot a l'avantage de la bénignité de l'agression opératoire et surtout de la brièveté de l'immobilisation et de la mise en décharge (3 semaines au lieu de 2,5 à 3 mois après triple arthrodèse). Quand les conditions neuro-orthopédiques déjà énoncées l'autorisent et la justifient, elle est donc pour nous la technique de choix dans l'hémiplégie consécutive à un accident vasculaire chez des sujets souvent fragiles et âgés, pour qui une immobilisation prolongée ou un geste plus agressif doivent être évités. Initialement, nous préférions réaliser chez les sujets jeunes une triple arthrodèse, jugée plus stable fonctionnellement et à l'épreuve du temps [22]. Depuis plusieurs années, nous avons élargi nos indications de chirurgie tendineuse telle que décrite plus haut aux sujets jeunes présentant une puissante contraction du tibial antérieur et une franche flexion du genou dans la phase oscillante. En effet, dans ce contexte, la qualité du résultat fonctionnel (disparition constante du varus instable et possibilité retrouvée de marcher pieds nus) justifie notre choix de n'avoir pas recours d'emblée à une arthrodèse. Une chirurgie tendineuse conservatrice des articulations par définition ne compromet en rien les possibilités ultérieures d'arthrodèse. Les risques arthrogènes pour les articulations voisines d'une arthrodèse sont certes modérés chez des patients à mobilité réduite, mais relativement préoccupants pour leur avenir quand ils sont jeunes.

Triple arthrodèse

La triple arthrodèse est la solution la plus sûre pour stabiliser et réaxer le pied (par rapport aux gestes tendineux), limiter le risque de pseudarthrose (par rapport à l'arthrodèse isolée talonaviculaire) et espérer un résultat durable. Il n'est pas nécessaire d'y associer la valgisation de l'action du tibial antérieur pour réanimer la flexion dorsale, à condition que la spasticité des muscles varisants soit modérée ou contrôlée. Si les muscles releveurs du pied sont trop faibles, l'artifice de Lambrinudi [22] permet de limiter la chute de l'avant-pied, mais sans la faire disparaître totalement.

Elle est indiquée de façon indiscutable quand les rétractions articulaires ont abouti à un varus irréductible, ce qui est rare chez l'hémiplégique.

Sur un arrière-pied réductible, elle se discute quand les conditions d'une chirurgie tendineuse ne sont pas favorables : défaut de flexion du genou dans la phase oscillante, trouble de la sensibilité profonde compromettant notamment le contrôle postural du genou fléchi en charge, ou contraintes dynamiques varisantes trop violentes par rotation latérale de hanche dans le temps postérieur de la phase d'appui.

On peut également la proposer chez l'hémiplégique jeune, éventuellement réinséré dans la vie professionnelle, surtout s'il est demandeur et apte à la marche en terrain irrégulier, même si le varus de l'arrière-pied est réductible. En effet, du fait des troubles de la sensibilité profonde et de contrôle postural de l'arrière-pied, l'arthrodèse apporte une sensation de sécurité et d'équilibre que des gestes tendineux sont incapables de restaurer.

Ténotomie des fléchisseurs d'orteils

Que la rééquilibration transversale et la réanimation de la flexion dorsale soient réalisées par des gestes tendineux ou par arthrodèse, le traitement des griffes des orteils est nécessaire, habituellement par ténotomie percutanée distale des fléchisseurs des orteils. L'expérience nous a montré que chaque fois que ce geste n'avait pas été fait du fait de l'absence de griffe en préopératoire, celle-ci est apparue par la suite [19,23]. En effet, l'allongement du tendon achilléen démasque la brièveté des fléchisseurs et déclenche l'apparition d'une griffe tonique des orteils.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Conclusion

La stabilisation et la rééquilibration de la flexion dorsale du pied hémiplégique méritent d'être discutées chaque fois que le pied varus équin spastique est une limite franche à la qualité de vie. Il convient de tenir compte des conditions neuropsychologiques souvent mauvaises chez l'hémiplégique, et d'insister sur la modestie des buts recherchés par rapport au handicap global que vit l'hémiplégique. La rééquilibration du pied peut apporter quelques progrès, mais n'efface pas l'hémiplégie. Il faut le répéter souvent aux patients qui ne doivent pas fonder sur l'intervention un espoir de guérison qui ne pourrait être que déçu. C'est dire aussi l'importance du bilan fonctionnel détaillé, nécessaire avant toute décision chirurgicale. Il faut prendre le temps d'un examen clinique spécialisé soigneux. Il faut faire préciser en détails les différentes incapacités rencontrées dans la vie quotidienne. L'idéal est de voir ces patients en consultation pluridisciplinaire associant un chirurgien orthopédiste, un neurochirurgien et un neurorééducateur.

Références

1 Yelnik A. Évolution des concepts en rééducation du patient hémiplégique. Ann Readapt Méd Phys 2005 ; 48 : 270-7.
2 Bardot A, Delarque A, Curvale G. Spasticité et chirurgie orthopédique. In : Neuro-orthopédie des membres inférieurs chez l'adulte. Paris : Masson ; 1989. p. 15-20.
3 Bardot A, Peragut JC, Curvale G, Allovon E, Delarque A. Traitement chirurgical du pied spastique. In : Le pied. Actualités en médecine, chirurgie, et rééducation. Paris : Masson ; 1991. p. 129-33.
4 Bardot A, Delarque A, Curvale G, Peragut JC. Orthopedic surgical corrections of spastic disorders. In : Sindou M, Abott R, Keravel Y, éds. Neurosurgery for spasticity. New York : Springer-Verlag ; 1991. p. 201-8.
5 Demortière E, Gonzales JF, De Belenet H, Rochwerger A, Curvale G. Les muscles fibulaires dans le pied neurologique. Méd Chir Pied 2005 ; 21 : 102-6.
6 Bensoussan L, Mesure S, Viton JM, Curvale G, Delarque A. Asymétries chronométriques, cinétiques et cinématiques de l'initiation de la marche chez un sujet hémiplégique. Ann Readapt Méd Phys 2004 ; 47 : 611-20.
7 Buffenoir K, Rigoard P, Lefaucheur JP, Filipetti P, Decq P. Lidocaine hyperselective motor blocks of the triceps surae nerves : role of the soleus versus gastrocnemius on triceps spasticity and predictive value of the soleus motor block on the result of selective tibial neurotomy. Am J Phys Med Rehabil 2008 ; 87 : 292-304.
8 Mertens P, Sindou M. Selective peripheral neurotomies for the treatement of spasticity. In : Sindou M, Abott R, Keravel Y, éds. Neurosurgery for spasticity. New York : Springer-Verlag ; 1991. p. 119-32.
9 Buffenoir K, Roujeau T, Lapierre F, Menei P, Menegalli-Boggelli D, Mertens P, et al. Spastic equinus foot : multicenter study of the long-term results of tibial neurotomy. Neurosurgery 2004 ; 55 : 1130-7.
10 Collado H, Bensoussan L, Viton JM, Milhe De Bovis V, Delarque A. Does fascicular neurotomy have long-lasting effects ? J Rehabil Med 2006 ; 38 : 212-7.
11 Curvale G, Rochwerger A, de Belenet H, Groulier P. Traitement du pied varus équin spastique de l'adulte hémiplégique par amarrage rétrograde du tendon du court fibulaire sur le tibial antérieur : à propos d'une série de 41 cas. Rev Chir Orthop 1999 ; 85 : 286-92.
12 Martin JC, Vogt JC, Lecocq J, Vautravers P. Traitement chirurgical du pied varus équin spastique de l'adulte et de l'adolescent. In : Neuro-orthopédie des membres inférieurs chez l'adulte. Paris : Masson ; 1989. p. 110-6.
13 Vogt JC. Traitement chirurgical du pied varus équin spastique par transfert et allongement tendineux. In : Le pied neurologique de l'adulte. Paris : Masson ; 1996. p. 227-31.
14 Bisla RS, Louis HJ, Albano P. Transfer of tibialis posterior tendon in cerebral palsy. J Bone Joint Surg 1976 ; 58A : 497-500.
15 Green NE, Griffin PP, Shiavi R. Split posterior tibial tendon transfer in spastic cerebral palsy. J Bone Joint Surg (Am) 1983 ; 65 : 748-54.
16 Joanny H, Puget J, Tricoire JL, Clamens J, Utheza G. Utilisation du transfert du jambier postérieur à travers la membrane interosseuse sur le bord externe du pied dans les atteintes neurologiques du membre inférieur : spastique versus paralytique. In : Le pied neurologique de l'adulte. Paris : Masson ; 1996. p. 231-8.
17 Mullier T, Moens P, Molenaers G, Spaepen D, Dereymaeker G, Fabry G. Split posterior tibial tendon transfer through the interosseus membrane in spastic equinovarus deformity. Foot Ankle Int 1995 ; 16 : 754-9.
18 Asencio G, Pelissier J, Privat JM, Bertin R, Megy B, Leonardi C. La chirurgie du pied équin chez l'adulte hémiplégique. Rev Chir Orthop 1993 ; 79 : 41-8.
19 Bardot A, Viton JM, Pellas F, Curvale G, Delarque A. La place de la chirurgie orthopédique dans le traitement de la spasticité. Ann Réadapt Méd Phys 1993 ; 36 : 373-6.
20 Lord G, Moati JC. Traitement du pied varus équin spastique de l'adulte par allongement du tendon d'Achille associé à la transplantation du bout distal du court péronier latéral. Rev Chir Orthop 1979 ; 65 : 297-9.
21 Denormandie C, Kiefer L, Mailhan A, Even-Schneider A, Sorriaux G, Martin JN, et al. Traitement orthopédique des conséquences de la spasticité des membres inférieurs. Rev Neurochir 2003 ; 49 : 339-52.
22 Bardot A, Delarque A, Costes O, Curvale G, Groulier P. La chirurgie palliative du pied hémiplégique de l'adulte. In : Neuro-orthopédie des membres inférieurs chez l'adulte. Paris : Masson ; 1989. p. 86-90.
23 Bardot A, Delarque A, Curvale G, Groulier P. Orteils en griffe de cause neurologique. In : Neuro-orthopédie des membres inférieurs chez l'adulte. Paris : Masson ; 1989. p. 221-8.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied du spina bifida

R. SERINGE[1], P. DENORMANDIE[2]

Parmi toutes les causes de paralysie qui peuvent toucher le pied, la myéloméningocèle est certainement celle qui engendre les déformations les plus complexes, les plus variées et souvent les plus difficiles à traiter [1,2]. On en rapprochera les dysraphismes spinaux occultes, dont les conséquences sur les pieds sont similaires.

La paralysie du spina bifida ne ressemble, en effet, à aucune autre paralysie et on peut lui reconnaître quatre caractères propres :

- c'est une paralysie congénitale. Il n'y a jamais eu de fonction normale précédant la paralysie, d'où l'importance des déformations ostéoarticulaires. Celles-ci peuvent être aggravées du fait des contraintes intra-utérines ;
- le déséquilibre musculaire est difficile à apprécier et on peut le qualifier de « déséquilibre à pièges ». Les muscles inactifs peuvent être soit rétractés, soit distendus, exposant au pied ballant. Les muscles qui fonctionnent peuvent être de trois types différents : soit actif volontaire et de force variable, soit actif involontaire (par automatisme médullaire sous-jacent à la malformation), soit enfin spastique volontaire (c'est le rare spina chez un enfant infirme moteur cérébral) ;
- le syndrome neurologique n'est pas toujours stable, comme on l'a cru autrefois, et une évolutivité est toujours possible, notamment dans la période pubertaire, avec une aggravation des déficits et des possibilités fonctionnelles ;
- enfin, les troubles sensitifs et trophiques associés rendent beaucoup plus difficile l'adaptation fonctionnelle aux paralysies.

Pour toutes ces raisons, on ne peut pas comparer le pied du spina aux autres pieds paralytiques, et en particulier au pied de la poliomyélite. L'appréciation du déficit dans le pied spina ne saurait se résumer à la cotation chiffrée de chaque muscle de 0 à 5. En outre, quelle que soit l'atteinte déficitaire sus-jacente, l'utilisation fonctionnelle du pied chez un spina n'est pas la même que chez un polio. À testing musculaire égal, le handicap fonctionnel est beaucoup plus lourd dans la myéloméningocèle.

Classification métamérique de Sharrard

Pour les raisons qui viennent d'être mentionnées, les déformations des pieds du spina sont d'une très grande variété et il est difficile de trouver deux pieds réellement identiques, même chez le même patient. Classer les déformations devient alors malaisé. C'est pourquoi la classification de Sharrard [1], basée sur le niveau métamérique de l'atteinte médullaire, ne nous a pas paru satisfaisante. En effet, il n'y a pas toujours de parallélisme entre le type de déséquilibre musculaire et la déformation observée. Cela est illustré par notre étude de 124 pieds chez 62 enfants spina (dans un travail réalisé à Saint-Vincent-de-Paul mais non publié) :

- pour 56 pieds, l'atteinte métamérique se situait au-dessus ou au niveau de L4 (pieds totalement paralysés) ; nous avons retrouvé toutes sortes de déformation : 11 équins, 18 varus équins, 2 varus, 4 calcaneus, 11 calcanéovalgus, 3 valgus et 7 pieds d'aspect normal ;
- pour 21 pieds de niveau L5, c'est-à-dire animés par un seul muscle, le tibial antérieur, nous avons constaté que seulement 10 pieds étaient en calcanéovarus, comme le voudrait la classification métamérique, et 11 pieds présentaient des déformations variées : 2 varus équins, 3 calcaneus, 4 calcanéo-valgus, et 2 valgus ;
- pour 18 pieds de niveau S1, la déformation était assez stéréotypée, puisque 9 pieds étaient en calcaneus direct, 7 en calcanéovalgus et 2 en creux ;
- pour les spina bas, 25 pieds de niveau S2 et S3, nous avons trouvé 11 pieds creux, 14 déformations variées : 3 varus équins, 2 calcaneus, 3 calcanéovalgus, 3 valgus et 3 pieds d'aspect normal.

Ainsi, la classification métamérique de Sharrard reste valable pour situer de façon globale le déficit moteur de l'enfant atteint de spina bifida, mais est insuffisante pour classer les déformations des pieds ou leur opposer un traitement adapté. Nos constatations sont en accord avec les publications de Menelaus [3,4].

[1] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.
[2] Service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, boulevard Raymond-Poincaré, 92380 Garches.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Analyse des déformations du pied

C'est le préalable à toute classification à visée thérapeutique. L'étude de 124 pieds montre qu'en dehors des pieds non déformés, des pieds creux médiaux, il existe huit catégories possibles de déformation selon une analyse tridimensionnelle (figure 1). Il nous semble important de ne rien négliger dans cette étude et de ne plus croire que tout peut se résumer à trois ou quatre catégories seulement. Une vision trop schématique et trop simpliste des déformations serait source de déboires thérapeutiques. Cette analyse est d'abord clinique par l'examen du pied, au repos, debout, en charge et à la marche, puis radiographique. Des photographies sont indispensables.

Le pied équin direct

Son étude est simple. Il s'agit d'un équin de l'arrière-pied siégeant dans l'articulation talocrurale. Les parties molles rétractées qui pérennisent cette déformation sont représentées par le tendon d'Achille, la capsule tibiotalienne postérieure et le nœud fibreux postérolatéral, comme dans l'équinisme d'un pied bot varus équin congénital. Cependant, dans certains cas, l'équinisme n'est pas congénital mais s'est installé progressivement pendant le développement de l'enfant après la naissance, et les rétractions des parties molles sont alors essentiellement représentées par la rétraction du triceps.



Figure 1. Pied bot varus équin congénital paralytique lié à un spina avec lipome (dysraphisme spinal).
Radiographie à l'âge de 3 ans 5 mois montrant la déformation en varus équin associée à une ostéite du 5e métatarsien, complication d'une ulcération trophique du bord latéral du pied. La correction chirurgicale par libération des parties molles a permis la cicatrisation des lésions infectieuses. Cependant, la patiente a été revue à l'âge de 26 ans après une longue histoire de maux perforants plantaires récidivants.

Le pied varus équin

C'est la même déformation que celle du pied bot varus équin congénital idiopathique, avec trois attitudes vicieuses élémentaires : l'équinisme déjà analysé, l'adduction et la supination (voir le chapitre « Pied bot varus équin congénital », page 93) [figure 1].

Cependant, là encore, en cas de déformation acquise pendant la croissance, les rétractions sont beaucoup moins importantes que dans les déformations congénitales, ce qui implique des gestes thérapeutiques beaucoup moins extensifs pour éviter une hypercorrection.

Le pied varus

C'est une entité très particulière au spina, apparemment rare mais dont la fréquence est probablement sous-estimée. C'est un pied qui comporte une adduction nette de l'articulation transverse du tarse et du bloc calcanéopédieux avec une composante modérée de supination. L'élément original est que ce type de pied tend à capoter en varus important lors de la marche. L'impression clinique est celle d'un varus équin mais, passivement, la dorsiflexion du pied est possible. Il n'y a pas de rétraction des parties molles postérieures ni du tendon d'Achille. L'explication est qu'il s'agit d'une déformation isolée en adduction sur un pied dont les releveurs sont faibles ou absents. Ainsi, à la phase oscillante du pas, le pied est tombant avec une supination importante du fait de l'adduction réelle du pied et l'appui se fait exclusivement sur le bord latéral. C'est la fausse supination déjà bien expliquée pour les pieds bots varus équins congénitaux. Si ce type de déformation est négligé, l'évolution va se faire progressivement vers l'apparition d'un équinisme irréductible qui accompagne l'adduction et la supination.

Pied calcanéovarus (anciennement « pied talus varus »)

Du fait de la paralysie du triceps, lorsque le pied est en charge, il se met en position calcaneus avec perte de l'appui sur l'avant-pied. Du fait de la prédominance des muscles varisants, et surtout du muscle tibial antérieur, il s'installe progressivement une supination assez importante du médio-avant-pied et, simultanément, une forte adduction médiotarsienne et du bloc calcanéopédieux.

Pied calcaneus direct (anciennement « pied talus direct »)

Il s'agit d'une hyperflexion dorsale du talus dans la mortaise tibiofibulaire associée à une déformation du

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

calcaneus dont la tubérosité postérieure se verticalise vers le bas du fait de la paralysie du triceps (figure 2). Il peut s'y associer une hyperflexion dorsale dans l'articulation médiotarsienne. L'évolution de ce pied calcaneus direct peut se faire vers le pied calcanéocavus s'il existe des muscles courts plantaires actifs, ce qui est assez rare dans ce contexte étiologique.

Pied calcanéovalgus

Il s'agit toujours d'un pied présentant une paralysie du triceps et donc une verticalité descendante du calcaneus ; la composante de valgus correspond à une bascule du bloc calcanéopédieux en abduction et en dorsiflexion au-dessous et à côté du talus. Dans certains cas, il existe un valgus associé de l'épiphyse tibiale distale, entraînant une orientation oblique de la mortaise tibiofibulaire avec ascension de la malléole fibulaire. Il faut toujours étudier cette composante du valgus, qui est parfois nettement prépondérante par rapport au valgus talocalcanéen.

Pied valgus

La déformation peut être similaire à celle d'un pied plat valgus banal avec la composante sous-talienne et des déformations ostéoarticulaires variables de la colonne médiale du pied.

Pied valgus équin et pied convexe

Le pied convexe avec verticalisation irréductible du talus et luxation dorsale du naviculaire également irréductible est une entité assez rare chez le spina, au contraire du pied valgus équin, qui représente une situation intermédiaire entre le vrai pied convexe et le gros pied plat valgus. Il y a, effectivement, des pieds avec une flexion plantaire importante du talus et un certain degré de subluxation dorsale de l'os naviculaire.

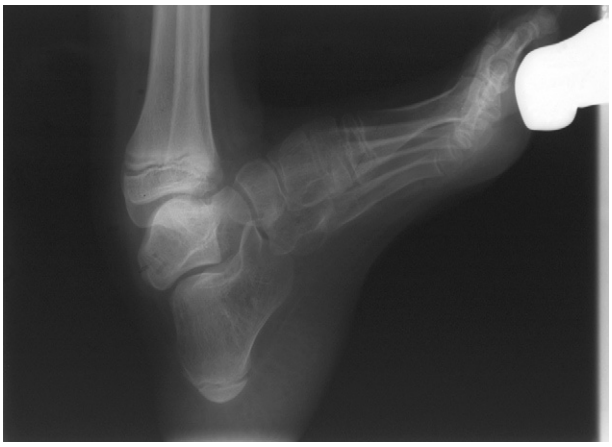


Figure 2. Pied calcaneus : radiographie de profil en flexion dorsale maxima avec angles tibiotalien et tibiocalcanéen fermés à angle aigu.

Pied creux

La plupart des pieds creux du spina ne diffèrent que très peu du pied cavovarus idiopathique ou neurogénique. Il s'agit d'une déformation en hélice avec pronation devenant rapidement irréductible de l'avant-pied et supination longtemps réductible de l'arrière-pied. Il s'y associe de façon quasi constante une griffe des orteils, une adduction médiotarsienne avec bord latéral du pied qui devient convexe et une adduction du bloc calcanéopédieux proportionnelle au degré de rotation latérale de la jambe lors de la mise en charge.

Indications thérapeutiques chez l'enfant et l'adolescent

Elles sont difficiles à codifier, car elles dépendent de nombreux facteurs : de l'âge de l'enfant, de l'ensemble du tableau neuro-orthopédique et des capacités fonctionnelles de l'enfant, du type exact de déformation du pied, des raideurs ou au contraire de l'hyperlaxité des articulations du pied, du testing musculaire précis et enfin de l'existence éventuelle de troubles trophiques.

Pieds totalement paralysés

Lorsque le testing musculaire de la jambe et du pied est à zéro, le pied peut être un peu enraidi en position neutre et ne nécessiter alors aucun traitement particulier ; cependant, il faut préserver cette bonne position du pied la nuit par des attelles à angle droit.

Il y a, en fait, deux situations fréquentes et un peu opposées qui justifient une thérapeutique appropriée.

Pieds déformés et enraidis en équin ou en varus équin [5,6]

La méthode thérapeutique va dépendre essentiellement de l'âge de l'enfant :

- chez le nouveau-né et le nourrisson, on peut utiliser les procédés orthopédiques doux et progressifs : kinésithérapie pour étirer les structures musculaires et capsuloligamentaires rétractées, immobilisation sur des plaquettes et sparadrap ou plâtres correcteurs en prenant soin de protéger la peau pour éviter les escarres. La chirurgie de libération des parties molles doit être repoussée jusqu'à l'âge de la marche. Cependant,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

des gestes chirurgicaux mineurs comme de simples ténotomies du tendon d'Achille ou du tendon du tibial postérieur peuvent être des adjuvants au traitement orthopédique ;
• à l'âge de la marche et jusque vers l'âge de 10 ans, les déformations requièrent une chirurgie de libération des parties molles. Il s'agit d'une chirurgie difficile qui ne donne pas que de bons résultats. On oscille entre deux complications : l'hypercorrection avec passage du pied en calcanéovalgus, et l'hypocorrection, source de récidive conduisant à une chirurgie itérative de plus en plus difficile. Il ne semble pas que la talectomie, opération d'ailleurs illogique, puisse apporter un bénéfice quelconque malgré des publications favorables [7,8]. En revanche, une chirurgie de libération des parties molles comme dans le pied bot varus équin congénital est susceptible d'aboutir à des résultats relativement stables dans le temps (voir le chapitre « Pied bot varus équin congénital », page 93). Pour proposer cette chirurgie, il faut être certain que la déformation était bien congénitale, c'est-à-dire présente à la naissance. En effet, si la déformation s'est installée progressivement pendant les premières années, il faut faire une chirurgie extrêmement limitée pour éviter l'hypercorrection ;
• à partir de l'âge de 10 à 12 ans, on peut encore proposer des interventions de libération des parties molles adaptées aux déformations, mais il faut bien souvent y ajouter des ostéotomies pour corriger les défauts ostéoarticulaires, qui sont prépondérants. Une place à part est réservée à l'ostéotomie supramalléolaire si l'on veut corriger simplement un équinisme résiduel, un varus résiduel ou un varus équin sur un pied déjà bien enraidi et multiopéré. La désorientation de l'articulation tibiotarsienne que crée cette opération est sans grand inconvénient étant donné les faibles capacités fonctionnelles de ce pied entièrement paralysé ou très enraidi. Cette ostéotomie supramalléolaire est préférable à une arthrodèse talocrurale qui priverait le pied de quelques degrés de mobilité passive cependant bien utile à l'amortissement.

Pieds ballants s'effondrant en valgus ou en calcanéovalgus

Ces pieds apparaissent peu ou pas déformés chez l'enfant couché mais, lors de la mise en charge, ils s'effondrent en valgus ou en calcanéovalgus. Pendant longtemps, l'intervention d'arthrodèse sous-talienne de Grice associée ou non à une vis talocalcanéenne pour obtenir une meilleure stabilisation a été l'intervention de choix pour ce type de déformation. Dans notre expérience, les résultats à moyen terme sont assez décevants, car on observe souvent une récidive du valgus non pas dans l'articulation sous-talienne mais dans la région épiphysaire tibiale, avec obliquité progressive de l'interligne tibiotarsien. Il semble donc préférable de faire une chirurgie qui associe des ostéotomies et des libérations partielles des parties molles pour préserver les mobilités articulaires sous-taliennes. Si la colonne latérale est plus courte que la colonne médiale, c'est l'indication d'un allongement du calcaneus selon Evans. Le valgus résiduel peut également être traité par une ostéotomie de médialisation de la tubérosité postérieure du calcaneus [9]. Si le valgus siège à la cheville, avec amincissement cunéiforme de l'épiphyse tibiale et ascension de la malléole fibulaire, c'est l'indication d'une épiphysiodèse temporaire de la partie médiale du cartilage de croissance distal du tibia par vissage malléolaire ou d'une ostéotomie supramalléolaire en fin de croissance [10,11]. En fin de croissance, on peut toujours avoir recours à l'arthrodèse triple (sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne) pour stabiliser au mieux le pied.

Pieds avec muscles actifs

Nous envisageons deux situations selon qu'il y a ou non un parallélisme entre le type de déformation et le déséquilibre musculaire.

Déformations typiques avec un déséquilibre musculaire en rapport

En dehors du pied creux, ces déformations méritent une correction chirurgicale avec rééquilibration musculaire de façon précoce dès l'âge de la marche.
• Pied calcanéovarus animé par le muscle tibial antérieur : son traitement doit comporter une libération des parties molles visant à corriger l'adduction et la supination par libération médiale sélective sans ouvrir l'articulation talocalcanéenne. La rééquilibration musculaire est impossible, puisqu'il n'existe qu'un seul muscle actif : il faut supprimer son action supinatrice et soit le transférer en arrière sur le calcaneus pour lutter contre la tendance au pied calcaneus, soit plutôt le transférer plus en dehors, sur le dos du pied, pour en faire un fléchisseur dorsal direct (ce qui corrige bien le varus mais pas le calcaneus). En effet, le transfert postérieur du tendon du tibial antérieur dans le pied calcanéovarus a donné dans plusieurs cas des évolutions en varus équin, sources d'une chirurgie itérative.
• Pied varus animé par les deux muscles tibial antérieur et tibial postérieur : le pied est bien équilibré dans le plan antéropostérieur. Cependant, en charge, il a tendance à basculer en varus équin et la composante d'équinisme peut secondairement se fixer. Il est

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

conseillé de réaliser une libération médiale sélective associée si nécessaire à une résection osseuse dans la colonne latérale. La rééquilibration musculaire est assurée en allongeant le tendon du tibial postérieur, ce qui diminue son action, et en transférant le tendon du tibial antérieur plus en dehors, ou en transférant la moitié du tendon du tibial antérieur sur le cuboïde.

• Pied calcaneus direct avec releveurs actifs chez le jeune enfant : il est exceptionnel que la déformation soit passivement irréductible et justifie une libération des parties molles antérieures de l'articulation talocrurale. Dans la majorité des cas, il existe au moins 20° de flexion plantaire, ce qui est suffisant, et il faut seulement envisager un geste de rééquilibration musculaire. Notre préférence va au transfert du tibial antérieur en arrière sur le calcaneus au travers de la membrane interosseuse [12-15]. Une surveillance orthopédique est nécessaire, car cette intervention crée un nouveau déséquilibre entre les muscles varisants et les muscles valgisants au profit de ces derniers. Le risque est d'aboutir à un pied valgus qui pourrait faire discuter un transfert de l'extenseur commun ou du troisième fibulaire plus en dedans (figure 3).

• Pied creux médial par paralysie des muscles intrinsèques : son traitement est le même que celui des autres pieds creux internes neurologiques (voir le chapitre « Pied de la maladie de Charcot-Marie-Tooth », page 187).

Déformations atypiques sans relation évidente avec le déséquilibre musculaire

De nombreuses éventualités peuvent s'offrir au clinicien. Il faut donc faire une étude très attentive des différentes composantes de la déformation et proposer des gestes thérapeutiques adaptés (libération sélective, ostéotomie particulière, éventuel transfert musculaire…).



Figure 3. Pieds calcaneus (spina S1).
Seul le pied droit a été opéré, à l'âge de 9 ans, par transferts du tibial antérieur et du court fibulaire sur le triceps, puis à 10 ans et demi par opération de Grice + vissage talocalcanéen à cause d'une majoration du valgus. Le pied gauche (non opéré) s'est aggravé en calcanéocavus.
a. Podoscope à 9 ans. **b.** Podoscope à 18 ans : amélioration nette du côté droit. **c.** Radio profil à 18 ans à gauche. **d.** Radio profil à 18 ans à droite (côté opéré).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Troubles trophiques

Il s'agit d'ulcérations cutanées torpides conduisant à de véritables maux perforants, plantaires le plus souvent.

La plupart surviennent en zone d'appui et sont le fait de déformations négligées soit en varus équin avec ulcération sur le bord latéral du pied en regard du cuboïde ou de la tubérosité du 5e métatarsien, soit en calcaneus (anciennement talus) avec ulcération talonnière (figure 4). Il n'est pas rare d'observer une ostéite sous-jacente ayant conduit, parfois, à des gestes itératifs de curetage, d'excision suivis de cicatrisation puis de récidive lors de la reprise de l'appui. Si le cas du varus équin peut être facilement résolu par la correction chirurgicale du pied qui redonne des appuis normaux, il n'en est pas de même avec le pied calcaneus ; en effet, il est bien difficile d'éviter la prédominance de l'appui talonnier et la récidive du mal perforant est fréquente, ce qui a pu conduire à des amputations basses de jambe (figure 4).

L'ulcération en regard d'une tête métatarsienne peut bénéficier d'une ostéotomie adaptée du métatarsien correspondant (par exemple, une ostéotomie de relèvement percutanée distale).

D'autres ulcérations semblent survenir en dehors d'une zone d'appui, en particulier celles qui touchent les orteils. Elles prennent volontiers l'aspect d'une gangrène lentement extensive et exposent à une chirurgie itérative et mutilante. La survenue de ces troubles trophiques est imprévisible, sans rapport avec le niveau métamérique mais peut-être plus volontiers observée dans les spina sacrés.



Figure 4. Pied calcaneus.
Ulcération trophique du talon à l'âge de 10 ans ayant nécessité plusieurs interventions chirurgicales. L'aggravation des troubles trophiques à l'âge adulte a conduit à une amputation de jambe.

Troubles articulaires neurotrophiques (arthropathie de Charcot)

C'est un processus qui aboutit à la destruction progressive d'une articulation avec des aspects inflammatoires dans les parties molles voisines (œdème, chaleur, rougeur) et une fragmentation du tissu osseux périarticulaire. Cette complication est spécifique des atteintes de la sensibilité profonde et s'observe dans 1,5 % des cas de spina bifida. Son traitement est très difficile et consiste surtout en une immobilisation par plâtre et attelle [16] (voir le chapitre « Pied de Charcot diabétique », page 263).

Particularités chez l'adulte

Contexte

Les adultes qui présentent des séquelles d'un spina bifida ont eu pour la quasi-totalité un suivi neuro-orthopédique dans l'enfance avec la prise en charge des déformations et des conséquences des déséquilibres musculaires comme indiqué ci-dessus. La situation fonctionnelle est, en général, stable. Ils n'ont plus de suivi orthopédique.

À l'âge adulte, les problèmes orthopédiques passent au second plan par rapport aux problèmes urinaires.

Les patients consultent surtout pour des troubles trophiques, parfois une aggravation de l'instabilité, ou encore pour une déformation résiduelle après triple arthrodèse.

Il y a quelques rares cas de patients qui n'ont pas été suivis. Il s'agit en général d'adultes récemment intégrés en France (figure 5). Le schéma thérapeutique est alors le même que celui des grands enfants : à la fois assurer un rééquilibrage musculaire et stabiliser les articulations.

Principaux tableaux cliniques et conduite à tenir

Troubles trophiques

Ils s'expliquent par les troubles sensitifs associés aux contraintes dues aux déformations et aux zones d'appui excessives.

Comme chez les enfants et adolescents, on retrouve les lésions sur le bord latéral du pied, en particulier au niveau du cuboïde et à la base du 5e métatarsien (figure 1).

Les lésions les plus fréquentes sont des lésions des orteils. Elles s'expliquent par l'aggravation souvent

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 5. Pied calcanéosupinatus avec des griffes d'orteils (enroulement en flexion des métatarsophalangiennes et des interphalangiennes des 5 orteils).



Figure 6. Pied plat valgus avec rétraction du tendon d'Achille et avec hallux valgus.

progressive de la déformation des orteils entraînant des conflits dans les chaussures et lors du passage du pas. On distingue :

- les lésions distales pulpaires, qu'on peut retrouver sur l'ensemble des orteils, dues au flessum global des articulations interphalangiennes proximales et distales avec « enroulement » global des orteils ;
- les lésions pulpaires et du bord latéral du 5e orteil, en raison de l'importance de la déviation en adductovarus ;
- les lésions de l'hallux, très fréquentes (figure 6) :
  – du bord médial de l'orteil, secondaires à la déformation progressive en hallux valgus dans le cadre de pied plat valgus, souvent aggravées par une rétraction des muscles fléchisseurs (plutôt le court fléchisseur) avec des lésions en regard de l'articulation interphalangienne ;
  – de la face dorsale de la métatarsophalangienne, secondaires à une horizontalisation du premier métatarsien par prévalence du muscle tibial antérieur et rétraction du muscle court fléchisseur *(« dorsal bunion »)*.

Les patients consultent souvent avec des tableaux évolués associant des orteils volumineux, inflammatoires, déformés avec des ostéoarthrites. Les patients retardent fréquemment un éventuel avis médical et l'évolution des lésions est volontiers torpide. Malheureusement, dans ces situations, seule une chirurgie itérative mutilante avec amputation permet de traiter les problèmes septiques. Il doit y être associé un geste de correction des autres déformations : l'amputation d'un orteil peut faire apparaître ensuite des contraintes sur les autres orteils et entraîner d'autres lésions cutanées.

La prévention repose sur la prise en charge des lésions au stade précoce : par orthoplastie et chaussures adaptées, l'éducation des patients sur la surveillance des lésions cutanées, et la correction chirurgicale des déformations des orteils :

- griffe globale isolée : ténotomie à la base de la première phalange des fléchisseurs s'il n'y a pas d'extenseurs ;
- si la griffe est majorée par un effet ténodèse dans le cadre d'un pied calcaneus et qu'il y a une commande sur les longs fléchisseurs, il faut associer un transfert de ces muscles sur le triceps ;
- inclinaison latérale des orteils : déformation difficile à traiter. Il faut accepter un geste simple sur les parties molles, qui corrige rarement la déformation en totalité mais diminue suffisamment les contraintes d'appui (ténotomie distale du muscle abducteur du 5e orteil associée au besoin à une arthrolyse) ;
- flessum de la métatarsophalangienne par horizontalisation du 1er métatarsien : ostéotomie de flexion du 1er métatarsien avec transfert du muscle tibial antérieur (soit sur le triceps si calcaneus majeur et existence d'extenseur des orteils, soit rééquilibrage par transfert sur le cunéiforme latéral ou transfert de la moitié du tibial antérieur sur la partie distale du tendon du muscle court fibulaire) et transfert partiel du long fléchisseur de l'hallux sur la tête du métatarsien.

Les arthrodèses des articulations métatarsophalangiennes (de l'hallux plus que des rayons latéraux) sont exceptionnellement indiquées, car la raideur est source de contraintes d'appui et il est très difficile chez ces patients de déterminer quelle est la meilleure position de l'arthrodèse, qui peut être différente en chaîne ouverte et fermée.

Instabilités

Il convient de distinguer :

- les lésions d'instabilité soit en varus, soit associées à un pied plat valgus majeur avec une

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

dislocation progressive des articulations du médio-pied (Chopart) et de la sous-talienne malgré, souvent, les gestes de rééquilibrage qui ont été effectués dans l'enfance. Dans ce cas, seul un geste de stabilisation par arthrodèse triple permet de redonner un appui stable. Le réglage de la triple arthrodèse doit prendre en compte les déformations, notamment proximales, du genou pour assurer un pied le plus à plat en charge et éviter toute asymétrie au niveau des zones d'appui qui prédisposerait à l'apparition de durillons ;

• les instabilités dans la tibiotarsienne, souvent associées à des lésions arthrosiques avec une usure asymétrique qui aggrave l'instabilité. L'existence d'une analgésie explique que les patients consultent tardivement. Elles se rencontrent surtout chez des patients qui ont eu des arthrodèses triples dans l'enfance et qui gardent un déséquilibre musculaire. Dans ces cas, il convient :

– d'assurer un rééquilibrage musculaire : un transfert de la totalité ou de la moitié du muscle tibial en cas de prévalence ;

– de réaliser un geste ostéoarticulaire. Suivant l'état de l'articulation, on privilégie l'ostéotomie supramalléolaire pour conserver au maximum les mobilités de la tibiotarsienne. Cependant, dans un certain nombre de cas, les lésions sont telles qu'on est obligé de réaliser une arthrodèse tibiotarsienne en conservant éventuellement un léger équin pour assurer un verrouillage mécanique du genou si le quadriceps est partiellement déficitaire. Cette arthrodèse talocrurale doit être retardée le plus possible si une arthrodèse triple a déjà été réalisée.

Déformations résiduelles après triple arthrodèse

Elles s'expliquent de deux façons différentes :

• soit l'arthrodèse faite en fin de croissance n'avait pas permis de faire une correction complète : les défauts résiduels ont été tolérés pendant plusieurs années et la gêne fonctionnelle ou les troubles trophiques n'apparaissent qu'à l'âge adulte ;

• soit l'arthrodèse a été faite chez un sujet trop jeune, c'est-à-dire une à plusieurs années avant la fin de la croissance du pied. Il faut rappeler ici que la soudure des cartilages de croissance se fait à 14 ans chez la fille et 16 ans chez le garçon. Or, dans beaucoup de traités d'orthopédie, l'arthrodèse du pied est conseillée dès l'âge de 12 ans (quel que soit le sexe de l'enfant). Il n'est donc pas rare d'observer une évolutivité des déformations après l'âge de 12 ans.

Quelle que soit la cause des défauts résiduels, une reprise de triple arthrodèse sera nécessaire à partir d'ostéotomies plus ou moins complexes en fonction des déformations.

Conclusion

La prise en charge du pied « spina » est très difficile à cause des nombreux paramètres dont il faut tenir compte : niveau lésionnel, déséquilibre paralytique, spasticité de certains muscles, troubles sensitifs, troubles trophiques, déformations atypiques du pied de localisations diverses, sans oublier les problèmes orthopédiques sus-jacents de l'ensemble des membres inférieurs. Le but final est d'obtenir un pied plantigrade et stable assurant au patient un certain degré d'autonomie.

Références

1 Sharrard WJ, Grosfield L. The management of deformity and paralysis of the foot in myelomeningocele. J Bone Joint Surg Br 1968 ; 50 : 456-65.

2 Frischhut B, Stockl B, Landauer F, Krismer M, Menardi G. Foot deformity in adolescents and young adults with spina bifida. J Pediatr Orthop B 2000 ; 9 : 161-9.

3 Broughton NS, Graham G, Menelaus MB. The high incidence of foot deformity in patients with high-level spina bifida. J Bone Joint Surg Br 1994 ; 76 : 548-50.

4 Frawley PA, Broughton NS, Menelaus MB. Incidence and type of hindfoot deformities in patients with low-level spina bifida. J Pediatr Orthop 1998 ; 18 : 312-3.

5 De Carvalho Neto J, Dias L, Gabrieli A. Congenital talipes equinovarus in spina bifida : treatment and results. J Pediatr Orthop 1996 ; 16 : 782-5.

6 Flynn JM, Herrera-Soto JA, Ramirez NF, Fernandez-Feliberti R, Vilella F, Guzman J. Clubfoot release in myelodysplasia. J Pediatr Orthop B 2004 ; 13 : 259-62.

7 Sherk H, Ames M. Talectomy in the treatment of myelomeningocèle patient. Clin Orthop 1975 ; 110 : 218-22.

8 Padovani JP, Rigault P, Pouliquen JC, Guyonvarch G, Durand Y. L'astragalectomie chez l'enfant. Rev Chir Orthop 1976 ; 62 : 475-85.

9 Torosian C, Dias L. Surgical treatment of severe hindfoot valgus by medial displacement osteotomy of the os calcis in children with myolomeningocele. J Pediatr Orthop 2000 ; 20 : 226-9.

10 Sharrard W, Webb J. Supramalleolar wedge osteotomy of the tibia in children with myelomeningocele. J Bone Joint Surg 1974 ; 56B : 458-61.

11 Abraham E, Lubicky J, Songer M, Millar E. Supramalleolar osteotomy for ankle valgus in myelomeningocele. J Pediatr Orthop 1996 ; 16 : 774-81.

12 Bliss D, Menelaus M. The results of transfer of the tibialis anterior to the heel in patients who have a myelomeningocele. J Bone Joint Surg (Am) 1986 ; 68 : 1258-64.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

13 Rodriguez R, Dias L. Calcaneus deformity in spina bifida : results of anterolateral release. J Pediatr Orthop 1992 ; 12 : 461-4.
14 Fraser RK, Hoffman EB. Calcaneus deformity in the ambulant patient with myelomeningocele. J Bone Joint Surg Br 1991 ; 73 : 994-7.
15 Park K, Park H, Joo S, Kim H. Surgical treatment of calcaneus deformity in a select group of patients with myelomeningocele. J Bone Joint Surg Am 2008 ; 90 : 2149-59.
16 Yalcin S, Kocaoglu B, Berker N, Erol B. Conservative treatment of Charcot arthropathy in a series of spina bifida patients. J Pediatr Orthop B 2007 ; 16 : 373-9.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Déformations du pied dans les myopathies

P. DENORMANDIE[1], T. JUDET[1], R. SERINGE[2]

Les myopathies, par les déficits moteurs qu'elles provoquent, ont un retentissement fonctionnel important avec une déformation possible des pieds. Chez l'enfant comme chez l'adulte, la rééducation, les orthèses nocturnes et/ou de marche et parfois le recours à la chirurgie sont nécessaires. Le traitement doit prendre en compte le caractère évolutif de la pathologie tant pour corriger la ou les déformations que pour suppléer des muscles éventuellement déficitaires, mais aussi évaluer le déficit proximal des membres inférieurs, le déficit des membres supérieurs et les atteintes associées cardiaques et pulmonaires, dans le cadre d'une prise en charge globale du patient.

Classification simplifiée des myopathies

Actuellement, plus d'une centaine de maladies du muscle d'origine génétique ont été identifiées par la biologie moléculaire, et de nouvelles entités sont décrites régulièrement. Il n'est pas question de les envisager toutes, mais nous décrirons une classification à but pratique et simplifiée [1]. Cinq groupes peuvent être analysés.

Dystrophies musculaires progressives

La plus fréquente et la plus connue est la dystrophie musculaire de Duchenne, de transmission récessive liée à l'X [2]. Elle débute dans la petite enfance, dès l'âge de 3 ans, comporte un affaiblissement des muscles de la ceinture pelvienne, une démarche dandinante avec le torse rejeté en arrière (figure 1). Elle est suivie d'une difficulté à monter les escaliers, on observe une augmentation du volume des mollets. L'aggravation est inéluctable avec, progressivement, une perte de la marche vers l'âge de 10 à 12 ans. Les pieds se déforment habituellement en équin, souvent avec une composante de varus. L'atteinte cardiaque conditionne la gravité de la maladie, de même que les difficultés respiratoires.

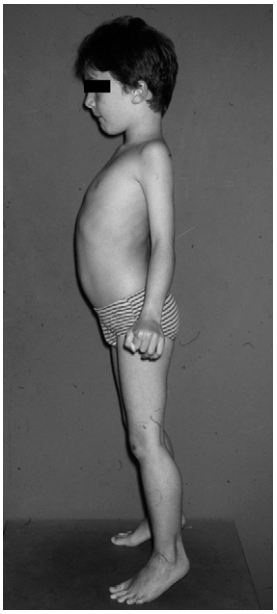


Figure 1. Dystrophie musculaire de Duchenne.
Enfant de 8 ans et demi avec la silhouette caractéristique associant une marche en équin, des gros mollets et une hyperlordose lombaire.

Les autres dystrophinopathies sont plus rares (dystrophie de Becker, dont l'espérance de vie est normale ou semi-normale malgré des symptômes similaires à ceux de la dystrophie de Duchenne).

Le deuxième sous-groupe de ces dystrophies musculaires progressives est représenté par les dystrophies musculaires des ceintures (groupe hétérogène d'au moins 12 maladies génétiques bien identifiées), souvent appelées LGMD (*limb girdle muscular dystrophy*). On y trouve des formes sévères évoluant vers la perte de la marche, mais aussi beaucoup de formes modérées caractérisées par la persistance d'une fatigabilité

[1] Service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, boulevard Raymond-Poincaré, 92380 Garches.
[2] Université Paris-Descartes, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

importante. Dans ce groupe, on peut mettre à part la dystrophie musculaire d'Emery-Dreyfus, récessive liée à l'X, avec des rétractions musculotendineuses précoces mais une marche habituellement conservée jusque vers la quatrième ou cinquième décennie [1].

Le dernier sous-groupe de ces dystrophies est représenté par la myopathie facio-scapulo-humérale (FSH), de transmission dominante autosomique, avec un déficit volontiers asymétrique des muscles glutei et des muscles releveurs des pieds entraînant des difficultés à se redresser de la position assise et une démarche instable avec steppage [3]. L'évolution est très lente, avec une espérance de vie non modifiée malgré une incapacité fonctionnelle qui peut parfois devenir sévère. Cette myopathie peut s'accompagner de troubles de l'audition et de la vision.

Dystrophies musculaires congénitales (figure 2)

Il s'agit d'un groupe, en général de génétique récessive autosomique, à début précoce, souvent néo-natal, avec ou non une atteinte intellectuelle. Chez le bébé, il s'agit essentiellement d'une hypotonie qui contraste avec des rétractions musculaires déjà présentes. Il peut y avoir un retard ou une absence de l'acquisition de la marche. Dans certains cas, il y a des atteintes cardiaques et dans d'autres, il y a une atteinte centrale avec un retard mental.

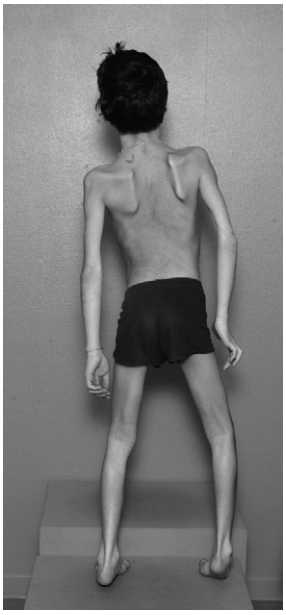


Figure 2. Dystrophie musculaire congénitale dominante (sur quatre générations).
Garçon de 13 ans, acquisition de la marche à 15 mois mais marche maladroite, amyotrophie, difficulté pour s'asseoir et se relever ; l'équin des pieds a été traité par kinésithérapie, orthèse nocturne puis allongement percutané du tendon d'Achille à l'âge de 10 ans, suivi d'appareillage nocturne, mais récidive de la déformation à droite avec une composante de varus.

Groupe des dystrophies myotoniques de Steinert et autres myotonies [4,5]

La myotonie se définit comme une lenteur à la décontraction musculaire lorsqu'on demande de serrer la main et de la relâcher brusquement. La percussion des muscles, en particulier de l'éminence thénar, entraîne une contraction lente et progressive du muscle. Enfin, l'électromyogramme permet un diagnostic de certitude par les décharges myocloniques évidentes.

La dystrophie de Steinert, transmise par la mère, peut se révéler en période néo-natale avec des pieds bots particuliers car à tendance très nette en équin associé à un creux de l'avant-pied (figure 3). L'atteinte des muscles de la face est assez caractéristique dans l'enfance ou à l'âge adulte avec une bouche entrouverte, un ptôsis, une voie monocorde parfois nasonnée. L'atteinte cardiaque fait toute la gravité de la maladie (troubles de conduction, troubles du rythme et risque de mort subite). Dans les formes qui débutent à l'adolescence ou même chez l'adulte jeune, les releveurs des pieds sont souvent faibles, expliquant le steppage. L'atteinte peut être très faible chez l'adulte, puisque le diagnostic n'est parfois fait qu'au moment de la naissance d'un enfant porteur d'une forme congénitale.

Myopathies congénitales [6-8]

Elles forment un groupe très précis d'enfants dont le début est habituellement néo-natal ou dans la première enfance avec amyotrophie, atteinte musculaire diffuse. Il s'agit de bébés hypotoniques avec parfois très peu de rétractions et, dans d'autres cas, déjà des rétractions musculaires nettes. L'acquisition de la marche peut être retardée. Le diagnostic est confirmé par les biopsies musculaires, en particulier avec la microscopie électronique qui permet de classer toutes ces formes de myopathies congénitales, les plus fréquentes étant la *central core disease*, la myopathie à bâtonnets ou némaline myopathie et la myopathie centronucléaire. Certaines de ces myopathies sont autosomiques dominantes, comme la myopathie à *central core* ; en outre, celle-ci peut s'accompagner de la présence du gène de l'hyperthermie maligne, d'où l'intérêt du dosage systématique des CPK, examen très utile en particulier lorsqu'une anesthésie générale est nécessaire.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

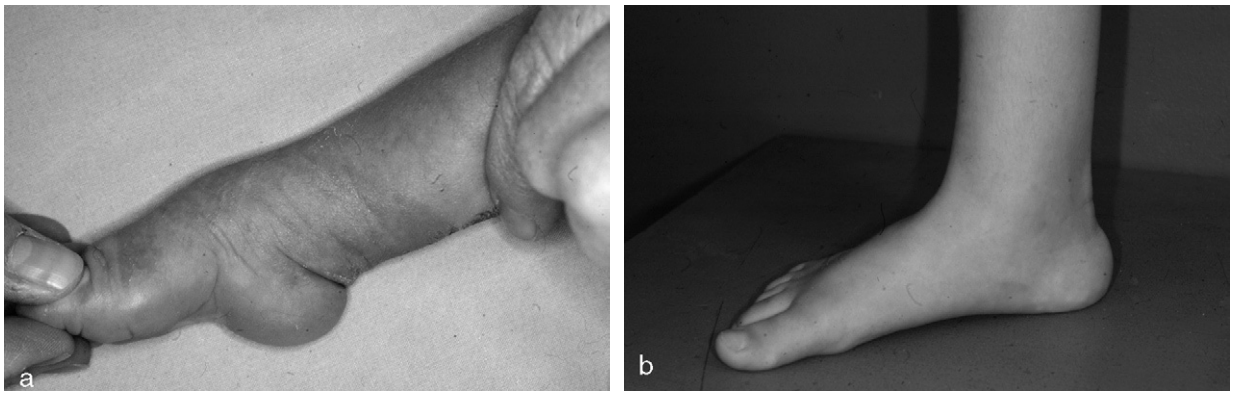


Figure 3. Myotonie congénitale de Steinert.
(a) Photographie d'un pied à la naissance avec équinisme et creux direct caractéristique de la faiblesse des releveurs du pied. Traitement orthopédique par kinésithérapie, plaquette, sparadrap, attelle et excellent redressement du pied dans sa composante d'équin et de creux.
(b) Aspect photographique à l'âge de 5 ans.

Autres myopathies

Il y a plusieurs autres groupes de myopathies comme les myopathies distales (qui touchent donc les pieds), les myopathies mitochondriales, les myopathies myofibrillaires, les maladies inflammatoires du muscle (polymyosite, dermatomyosite, myosite à inclusions), les myasthénies et même les paralysies périodiques qui sont liées à des anomalies des canaux ioniques membranaires musculaires modifiant l'excitabilité de la cellule musculaire.

L'intérêt de bien connaître cette classification est de toujours faire identifier la maladie par un neurologue spécialisé dans les maladies neuromusculaires de façon à connaître le patient dans sa globalité pour toutes les atteintes associées qui ne concernent pas forcément le pied seulement.

Évaluation clinique

Chez le petit enfant

Le bilan articulaire passif et actif (lorsqu'il est possible) permet d'évaluer l'importance et la réductibilité des raideurs articulaires, des rétractions musculotendineuses, des attitudes vicieuses et autres déformations.

L'examen est parfois douloureux et la cause des douleurs doit être identifiée : ostéopénie d'immobilisation, fracture. L'anxiété peut majorer les douleurs. L'analyse précise des douleurs permet d'adapter la conduite de l'examen et la prise en charge.

Il y a parfois des troubles trophiques avec des lésions cutanées, un pied froid, douloureux, des téguments indurés ou encore des troubles vasomoteurs propres à la pathologie causale.

Le bilan musculaire précise la topographie des déficits et évalue l'intensité sur une échelle de 0 à 3 chez le petit enfant (puisque les cotations de 4 et 5 requièrent la participation active du patient). Chez l'enfant marchant, l'évaluation globale par le test accroupi-relevé, position assise puis relevée, monter ou descendre les escaliers permet de situer la gravité de l'atteinte globale de la force musculaire.

Chez l'adolescent et l'adulte

Comme dans toute pathologie, il est essentiel de définir de façon précise quel contrat pourra être proposé au patient. Ce contrat répondra à la prise en charge d'une gêne immédiate tout en intégrant l'avenir chez ces patients.

Les plaintes du patient sont souvent multiples. Elles peuvent être cumulatives, en raison du déficit proximal souvent associé, mais en général, une plainte est au-devant de la scène. La composante psychologique est à considérer, du déni de la myopathie et d'une attente excessive d'une éventuelle chirurgie à la crainte que tout geste pourrait aggraver la situation…

Il peut s'agir de la sensation d'instabilité du pied, soit en position statique verticale, qui orientera sur une composante déficitaire tricipitale, soit lors de l'attaque du pas avec le pied en varus, plus rarement en valgus, soit encore lors du passage du pas par accrochage du pied, ou uniquement du gros orteil, qui peut favoriser le capotage du pied.

Ailleurs, il s'agit de chutes dont les circonstances peuvent orienter vers la responsabilité isolée du pied ou associée à un déficit proximal (par exemple, chute en terrain descendant par la difficulté de verrouillage du genou). Parfois, il s'agit de douleurs aux points

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

d'appui ou par souffrance articulaire (peu présentes en raison du périmètre de marche souvent limité). Enfin, souvent, il s'agit de difficultés de chaussage et/ou d'intolérance de l'aide technique en raison du poids des chaussures orthopédiques qui, chez certain patients, aggravent la fatigabilité à la marche lors de déficits globaux importants, ou encore de leur laideur (souhait du patient de porter des chaussures du commerce et des habits permettant d'exposer ses jambes).

L'examen clinique s'attache particulièrement au testing de tous les muscles du pied mais aussi aux muscles proximaux, en particulier à l'évaluation du quadriceps et des fléchisseurs et extenseurs de hanche. L'étude des mobilités articulaires du pied recherche une raideur proximale, surtout un flessum de genou ou de hanche qui limite le verrouillage mécanique de ces articulations.

Examens complémentaires

Examen radiologique

Il n'a pas de particularité, hormis l'importance d'évaluer la composante de laxité articulaire qui aggrave l'instabilité par déficit de la sous-talienne et surtout de la tibiotarsienne.

Électromyographie

Outre le diagnostic neurologique, il est indispensable pour mieux préciser le statut neurologique des muscles, notamment si on envisage de faire des transferts musculotendineux.

Analyses sur plateau de marche associées à l'étude des empreintes

Ces examens sont inutiles à la compréhension d'instabilités plurifactorielles. En effet, dans un certain nombre de cas, il est difficile de faire la part, dans la sensation d'instabilité, de ce qui relève des déformations et du déficit moteur du pied.

Analyse quantifiée de marche

Elle permet de mieux préciser, dans la gêne, la répartition entre les causes proximales et distales. C'est particulièrement vrai dans l'accrochage du pied avec difficulté de passage du pas qui peut être secondaire au déficit des releveurs, à l'équin, mais aussi au déficit des fléchisseurs de hanche et des muscles glutei.

Au total, ces analyses instrumentales complètent, le cas échéant, l'examen clinique et précisent quelles sont les différentes composantes intervenant dans la plainte :

- celles dues au pied proprement dit : déformation en équin et/ou pied creux varus et/ou steppage, déformation en valgus, griffe d'orteils proximale ou distale…
- mais aussi les déficits au niveau du membre inférieur, du muscle quadriceps (avec difficulté de verrouillage du genou et sensation de dérobement) et des muscles fléchisseurs de hanche, ainsi que les déficits associés au niveau du membre supérieur limitant la possibilité d'utiliser une aide technique.

L'identification des différentes causes dans la plainte détermine le contrat que l'on peut proposer au patient. Il faut être attentif à ne pas rendre responsable, trop rapidement, le pied.

Principes du traitement orthopédique

La kinésithérapie et l'appareillage ont plusieurs objectifs : prévenir ou corriger les déformations orthopédiques (en sachant qu'il est plus facile de maintenir une bonne position que de corriger une déformation) ; préserver, faciliter ou suppléer une fonction ; assurer un meilleur confort. Le traitement doit être adapté à chaque cas particulier et utilisé de préférence avant que la déformation n'apparaisse.

Kinésithérapie

Elle est importante chez l'enfant dès le diagnostic posé, même s'il n'existe pas de déformation nette. Elle consiste à mobiliser toutes les articulations du pied, y compris la cheville et les orteils, pour garder leurs amplitudes maximales. Des postures dans le sens inverse d'une déformation peuvent être utiles.

Appareillage

Orthèses de nuit

Elles sont utilisées en complément des séances de kinésithérapie et ne doivent pas nuire à la qualité du sommeil. Elles sont réalisées dans la position la plus proche possible de la position de référence qui est, pour le pied, la position à angle droit par rapport à la jambe sans varus ni valgus. Elles peuvent être fabriquées en plâtre ou en matière thermoformable, ou encore en cuir et aluminium comme l'orthèse de Perlstein. Il s'agit d'appareillage court jambopédieux, mais il est parfois nécessaire d'utiliser des appareils fémoropédieux si l'on veut mieux contrôler la position du genou en cas de flessum ou si l'on veut mieux contrôler la rotation

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

sous-talienne du pied en cas d'adduction ou d'abduction. D'autres types d'orthèses nocturnes peuvent être nécessaires en fonction des atteintes associées des hanches et du rachis ou des membres supérieurs.

Orthèses de jour

Leur but est de prolonger les possibilités de marche et de permettre la verticalisation. Elles contribuent à la prévention des déformations en complétant l'action de la kinésithérapie, des postures et de l'appareillage nocturne.

L'orthèse mollet-plante, qui permet de suppléer le déficit des releveurs du pied, est proposée en cas de steppage ou de malposition active du pied en varus lors de la marche.

Les orthèses fémoropédieuses avec verrouillage du genou ont pour objectif la poursuite de la verticalisation, la prolongation de la déambulation et la prévention des déformations.

Principes du traitement chirurgical

L'objectif est double : rééquilibrer la balance musculaire et assurer une mobilité articulaire.

Rééquilibrage de la balance musculaire

Il comporte, de façon complémentaire ou non :

• la correction des rétractions musculaires par un geste d'allongement musculotendineux en intramusculaire ou en Z avec suture ;

• le rééquilibrage de l'action d'un muscle : dans certains cas, l'effet du muscle est utile dans un plan mais délétère dans l'autre plan (exemple : prévalence du muscle tibial antérieur qui provoque une bascule sur le bord latéral du pied tout en assurant une flexion dorsale de cheville). Le geste consistera en une dissociation en deux du muscle et le transfert d'un hémitendon en latéral pour assurer un rééquilibrage de l'action musculaire ;

• la compensation d'un muscle déficitaire par un transfert tendineux actif : il convient d'employer les mêmes règles que pour l'ensemble des transferts. Cependant, chez les myopathes, il faut insister sur deux points :

– apprécier le caractère éventuellement pathologique du muscle et le risque d'avoir un transfert tendineux peu efficace par aggravation du déficit au niveau du muscle transféré : il est toujours très difficile de pouvoir prédire l'évolutivité et il faut donc être prudent dans le contrat que l'on passe avec le patient ;

– apprécier la meilleure utilité du ou des muscles potentiellement transférables : l'exemple classique est la discussion du transfert du muscle tibial postérieur soit en avant, pour renforcer la loge antérieure, soit en arrière. Dans un certain nombre de cas, le déficit antérieur apparaît plus tôt que le déficit postérieur. On pourrait privilégier le transfert du muscle tibial postérieur en avant. Cependant, à distance, le déficit des muscles de la loge postérieure pourrait être compensé par un transfert du muscle tibial postérieur sur le triceps, d'autant que ce déficit est plus difficilement appareillable. D'une façon générale, il convient de privilégier dans les transferts la loge postérieure à la loge antérieure.

• la compensation d'un muscle déficitaire par un transfert tendineux inactif ou ténodèse : lorsqu'il n'y a aucun muscle transférable, en particulier pour éviter un pied tombant, la solution peut être une ténodèse du muscle tibial antérieur et des extenseurs des orteils si les patients supportent mal les orthèses, en particulier en raison du poids, toute indication étant une alternative aux possibilités d'arthrodèse.

Assurer une stabilité et une mobilité articulaire

Les objectifs sont différents en fonction des articulations de la cheville et du pied. La mobilité des articulations dans le plan sagittal doit être, si possible, préservée, car elle facilite le déroulement du pas. La stabilité articulaire est essentielle dans le plan frontal. Elle peut être réalisée par une arthrodèse triple.

Dans tous les cas, il est essentiel de retenir que la correction d'une déformation uniquement au niveau articulaire ou osseux est insuffisante. En effet, la déformation est due à un déséquilibre musculotendineux en raison d'un déficit au niveau des muscles antagonistes à la déformation et d'une prévalence et/ou une rétraction des muscles agonistes. Un geste ostéoarticulaire ne modifiera pas le déséquilibre musculotendineux. Le risque est de répercuter la déformation dans l'articulation sus- ou sous-jacente à l'arthrodèse. Il est donc impératif d'associer à un geste ostéoarticulaire un rééquilibrage musculotendineux. De nombreux échecs, avec récidive de déformation, s'expliquent par l'absence de rééquilibrage.

Principaux tableaux et indications

Les tableaux suivants peuvent être associés les uns aux autres. Nous décrivons les plus fréquents et précisons à chaque fois leurs particularités.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Équin associé ou non à un pied creux

L'équin est souvent un équin d'arrière-pied par rétraction du triceps. Il s'agit plutôt d'une rétraction mixte soléaire et gastrocnémiens plutôt que d'une rétraction isolée des gastrocnémiens.

Chez l'enfant, il faut éviter d'allonger le tendon d'Achille pour ne pas affaiblir davantage le triceps, et on peut fort bien traiter non seulement l'équin, mais le creux du jeune enfant par des plâtres correcteurs suivis d'attelles nocturnes prolongées. Dans la dystrophie musculaire de Duchenne, l'indication chirurgicale est remise en question [9].

Chez l'adolescent et l'adulte, un geste d'allongement percutané du tendon d'Achille permet la correction (figure 4). Cependant, il faut être très prudent pour deux raisons :

- prendre en compte la composante déficitaire ou non quadricipitale : si le quadriceps est déficitaire, même uniquement à 4, avec un risque d'aggravation, il faut impérativement garder un minimum d'équin pour assurer un verrouillage mécanique du genou ; une flexion dorsale de cheville risquant d'entraîner une instabilité mécanique à la marche ;
- faire attention à ne pas compenser une composante d'équin d'avant-pied par un allongement excessif du triceps, entraînant alors une verticalisation du calcaneus avec éventuellement des douleurs sur la grosse tubérosité.

En cas de pied creux réductible, on pratique un geste isolé sur les parties molles, en particulier sur les muscles intrinsèques, par une désinsertion proximale associée ou non à un allongement en Z des longs fléchisseurs des orteils, s'il apparaît un effet ténodèse.

En cas de creux irréductible, un geste ostéoarticulaire plutôt qu'un geste articulaire dans l'arrière-pied permet de corriger la composante de pied creux et en même temps d'assurer la stabilité latérale de l'arrière-pied.



Figure 4. Myopathie congénitale sévère chez un adulte avec des pieds équins et creux du fait d'un déficit de la loge antérieure des jambes.

Pied tombant

La chute du pied est responsable du steppage avec accrochage du pied et difficulté de passer le pas. Elle peut être associée à un équin fixé.

Chez l'enfant, le traitement est conservateur par des orthèses de nuit et des orthèses de jour. Chez l'adolescent et l'adulte, si le traitement par orthèse ne convient pas, se pose la question du transfert réalisable pour réanimer la flexion dorsale de la cheville : en priorité, le muscle tibial postérieur, puis les muscles fléchisseurs des orteils.

Cependant, un transfert isolé du tendon tibial postérieur ne peut être réalisé que s'il existe un morphotype de pied creux. En effet, l'absence de muscle tibial postérieur sera progressivement responsable d'une déformation du pied en pied plat malgré le port de semelle. Si le patient présente un morphotype normoaxé ou une tendance au pied plat, le transfert du muscle ou tendon tibial postérieur doit être associé à une arthrodèse au moins talonaviculaire ou à une triple arthrodèse si une correction du varus y est associée.

Si le muscle tibial postérieur n'est pas utilisable et s'il existe des muscles longs fléchisseurs des orteils, leurs tendons peuvent être transférés également sur le dos du pied, soit les deux, soit au moins le tendon long fléchisseur propre de l'hallux, et suturés en les passant sous la base du 3e métatarsien (la longueur le permet).

Déformation en varus dynamique et réductible

La déformation en varus est purement dynamique, isolée et réductible. Elle survient surtout en situation fonctionnelle. Cela s'explique par le déséquilibre dû à un déficit des muscles valgisants (muscles court ou long fibulaire et/ou extenseur commun des orteils), alors que le muscle tibial postérieur garde une force normale.

Le traitement consiste en un transfert tendineux : soit transfert d'un hémi-tendon tibial postérieur, où la moitié est transférée en dehors sur le court fibulaire, soit transfert global du tendon tibial postérieur en avant et sur le bord latéral du dos du pied s'il persiste un muscle tibial antérieur, ou de façon plus médiane si le tibial antérieur est absent [10].

Déformation en varus irréductible

Le traitement dépend du niveau de la déformation, du déficit associé et de l'âge du patient.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

En cas de varus sous-talien, on peut réaliser une libération des parties molles chez l'enfant et une correction articulaire avec arthrodèse chez l'adulte (arthrodèse isolée de la sous-talienne si le varus est isolé, triple arthrodèse si le varus est associé à un creux).

En cas de varus tibiotalien observé essentiellement chez l'adulte, expliqué par l'usure de la partie médiale de l'articulation tibiotarsienne secondaire au déséquilibre musculaire (souvent chez des patients qui, de nombreuses années auparavant, ont eu une triple arthrodèse sans rééquilibrage musculaire), le geste dépendra de l'état articulaire (figure 5). En cas d'arthrose tibiotarsienne localisée avec persistance d'un interligne articulaire latéral, l'ostéotomie supramalléolaire de soustraction d'un coin latéral est conseillée (figure 6). Si, au contraire, l'arthrose tibiotarsienne est globale, c'est l'indication d'une arthrodèse tibiotarsienne. La position du pied doit être en très léger équin (si le quadriceps est déficitaire).

Pied plat valgus

Il est beaucoup plus rare chez les patients neuromusculaires, mais il est très fréquent dans la myopathie à *central core*. Il est rarement gênant fonctionnellement, sauf dans les très grandes déformations entraînant un durillon d'appui en dedans. Il est souvent dû à une composante déficitaire sur le tibial postérieur associée à une rétraction du triceps.

S'il a un retentissement important, la seule solution est d'envisager de faire chez l'enfant un allongement du calcaneus et, chez l'adulte, une arthrodèse associée éventuellement à un geste sur le tendon d'Achille. Aucun geste de rééquilibrage musculotendineux ne permet de corriger cette déformation.

Déformation en griffe des orteils

Ce sont les déformations les plus compliquées qui sont responsables de gêne en raison de durillons qu'ils provoquent dans les chaussures au niveau des zones d'appui : face dorsale des articulations interphalangiennes proximales ou distales. Elles feront l'objet d'un traitement spécifique.

Particularités de la prise en charge

Conséquences de l'immobilisation prolongée

De nombreux patients myopathes craignent de voir apparaître une perte de leur capacité fonctionnelle due à l'immobilisation en raison de l'amyotrophie. Celle-ci n'a pas été évaluée. Cependant, il est indispensable que durant toute la période de l'immobilisation, il y ait un entretien de la musculature proximale et que, d'autre part, soient assurées des contractions isométriques des muscles sous plâtre, en particulier des muscles transférés. Enfin, afin d'éviter le déconditionnement à l'effort, il est important d'installer rapidement le patient sur table de verticalisation.



Figure 5. Varus tibiotarsien 15 ans après une triple arthrodèse sans rééquilibrage musculaire.



Figure 6. Ostéotomie supramalléolaire pour correction d'un varus tibiotarsien.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Stratégie chirurgicale en cas de déformation bilatérale

Faut-il ou pas corriger en un temps ? Cela dépend des conséquences fonctionnelles pour le patient. L'avantage d'une chirurgie bilatérale en un temps est d'éviter une rupture sociale prolongée. L'inconvénient est la perte d'autonomie sur plusieurs mois. Cette chirurgie en un temps paraît alors plutôt réservée aux patients qui, en raison de leurs lésions bilatérales importantes et/ou leur déficit de membre supérieur, devront être en fauteuil roulant même si un pied est opéré. Dans ce cas, il paraît préférable de proposer une chirurgie, soit en un temps opératoire, soit à 15 j d'intervalle.

Conclusion

La chirurgie des manifestations neuro-orthopédiques des myopathies est bien codifiée. Elle impose une évaluation pluridisciplinaire globale intégrant l'ensemble des composantes du patient et de sa maladie (caractère évolutif en particulier). Dans tous les cas, elle impose la définition d'un objectif précis permettant un contrat clair avec le patient, dans le but de lui assurer la stabilité du pied à plat chaussé, avec ou sans orthèse, voire pied nu. La chirurgie ne se conçoit que dans cette prise en charge médicochirurgicale. Adaptée à chaque patient dans une approche fonctionnelle, elle donne alors de bons résultats.

Références

1 Dubousset JF. Étude anatomoclinique générale et physiopathologie de base. In : Les maladies neuromusculaires de l'enfant, monographie du GEOP. Montpellier ; Sauramps Médical : 1999. p. 15-8.

2 Scher D, Mubarak S. Surgical prevention of foot deformity in patient with Duchenne muscular dystrophy. J Pediatr Orthop 2002 ; 22 : 384-91.

3 Chabrol B, Carrelet P. Myopathie facio-scapulo-humérale. In : Maladies neuromusculaires. Paris : Doin ; 1998. p. 145-53.

4 Roig M, Balliu P, Navarro C, Brugera R, Losada M. Presentation, clinical course, and outcome of the congenital form of myotonic dystrophy. Pediatr Neurol 1994 ; 11 : 208-13.

5 Heron D. Dystrophie myotonique de Steinert. In : Maladies neuromusculaires. Paris : Doin ; 1998. p. 155-62.

6 Gamble J, Rinsky L, Lee J. Orthopaedic aspects of central core disease. J Bone Joint Surg (Am) 1988 ; 70 : 1061-6.

7 Fardeau M. Myopathies congénitales. In : Maladies neuromusculaires. Paris : Doin ; 1998. p. 19.

8 Watanabe H, Machida J. Surgery for foot deformity in patients with congenital myopathy. J Pediatr Orthop Part B 2009 ; 18 : 179-84.

9 Leitch K, Raza N, Biggar D, Stephen D, Wright J, Alman B. Should foot surgery be performed for children with Duchenne muscular dystrophy ? J Pediatr Orthop 2005 ; 25 : 95-7.

10 Miller G, Hsu J, Hoffer M, Rentfro R. Posterior tibial tendon transfer : a review of the literature and analysis of 74 procedures. J Pedriatr Orthop 1982 ; 4 : 363-70.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied équin du traumatisé crânien

P. DENORMANDIE[1], E. PANSARD[1]

Les déformations des pieds, séquellaires de lésions cérébrales, sont fréquentes. Le type de déformation ainsi que les possibilités thérapeutiques dépendent étroitement de la situation neurologique du patient : récupération complète ou partielle tant sur le plan cognitif que moteur. Nous distinguons quatre situations.

Récupération neurologique complète

Il s'agit en général de déformations plutôt dues à un alitement prolongé dans le cadre de la réanimation qu'à un déficit transitoire neurologique.

Le tableau clinique le plus fréquent est le pied équin avec griffe d'orteils associé ou non à une composante varisante. L'équin est en général mixte, à la fois un équin d'arrière-pied (secondaire à une rétraction des muscles gastrocnémiens et du soleus) et un équin d'avant-pied avec une fermeture de l'arche médiale et rétraction de l'aponévrose plantaire aggravée par la griffe d'orteils souvent associée (figure 1).

Les griffes d'orteils sont le plus souvent mixtes, à la fois extrinsèques par rétraction des muscles longs fléchisseurs de l'hallux et des orteils et intrinsèques avec une composante de rétraction sur les muscles courts fléchisseurs.

Le varus est principalement dû à l'équin et rarement à une rétraction associée du muscle tibial postérieur.

Le traitement classique associe une ténotomie percutanée d'Achille [1], puisqu'il n'y a pas de risque d'hypercorrection (le patient n'ayant pas d'hypertonie), un allongement des muscles longs fléchisseurs et une libération plantaire.

La rétraction en général importante des muscles longs fléchisseurs, qui s'aggrave par l'effet ténodèse après correction de l'équin, nécessite de faire un allongement des longs fléchisseurs à la plante ainsi qu'une désinsertion proximale du court fléchisseur ou une ténotomie intramusculaire, une désinsertion du carré plantaire, un allongement en Z du long fléchisseur de l'hallux et du long fléchisseur des orteils [2].



Figure 1. Pied équin creux avec une rétraction des muscles intrinsèques et courts fléchisseurs responsable du pied creux et de la flexion des articulations métatarsophalangiennes. La correction peut être réalisée par des allongements du tendon d'Achille et du long fléchisseur des orteils, une désinsertion du court fléchisseur et du carré plantaire ainsi qu'une aponévrotomie plantaire.

Dans le cas où il y a une composante de varus, il convient d'évaluer la réduction du varus après la correction de l'équin. S'il persiste, il peut être nécessaire de faire un allongement du tendon tibial postérieur, mais il faut être prudent pour éviter, lors de la mise en charge, un pied plat par effondrement de l'arche médiale. Si le varus persiste dans l'articulation sous-talienne malgré l'allongement, une triple arthrodèse est indiquée.

Hémiplégie spastique

Ce sont les déformations qui rejoignent les séquelles d'hémiplégie secondaire à un accident vasculaire cérébral. Le tableau le plus fréquent est le pied varus équin

[1] Service d'orthopédie du professeur Judet, hôpital Raymond-Poincaré, 104, avenue Raymond-Poincaré, 92280 Garches.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

spastique plus ou moins fixé [1-4]. La prise en charge de plus en plus précoce des patients par injection de toxine botulique ou par phénolisation [4] conduit à différentes déformations des pieds :

- un équin qui est soit purement spastique (s'il est pris précocement), soit mixte à la fois spastique sur le soléaire et rétracté sur les gastrocnémiens ; en effet, les gastrocnémiens ont une tendance à se rétracter plus tôt que le soléaire. Quand les muscles sont spastiques et que la toxine a montré ses limites thérapeutiques, on pratiquera une neurotomie sélective du nerf supérieur du soléaire et du nerf des deux gastrocnémiens. Si les gastrocnémiens sont rétractés, on associera à la neurotomie du nerf supérieur du soléaire un allongement de la lame des gastrocnémiens [5] ;
- un varus en général dynamique, plus souvent dû au muscle tibial antérieur qu'au muscle tibial postérieur, pour lequel il est nécessaire de faire un rééquilibrage par un transfert de la moitié du tendon tibial antérieur éventuellement associé à une triple arthrodèse (sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne) s'il n'existe aucun muscle valgisant pour assurer une stabilisation de la cheville [2] ;
- une griffe d'orteils qui peut être mixte, spastique ou rétractée : la griffe nécessite une prise en charge prudente qui dépend du caractère dystonique ou non des extenseurs. S'il n'existe pas d'extenseurs, on fera une ténotomie à la base des fléchisseurs. S'il existe un extenseur, en particulier de l'hallux, il faut soit faire une neurotomie, soit faire un allongement tendineux avec suture. L'arthrodèse de l'interphalangienne est éventuellement associée s'il existe une raideur de l'interphalangienne non réductible par le simple geste tendineux ;
- les cas particuliers du pied plat valgus séquellaire des anciens traumatismes crâniens : en général, les pieds plats valgus sont rarement dus à des dystonies ou des hypertonies des muscles valgisants, comme on peut en rencontrer chez les insuffisants moteurs cérébraux. Il s'agit le plus souvent de patients qui présentent un pied plat valgus sur un « Achille court », qu'il soit spastique ou rétracté, avec dislocation progressive du médio-pied. Le traitement consiste à corriger la cause soit par un allongement du tendon d'Achille, soit par le traitement de la spasticité du triceps si celui-ci est purement hypertonique. Quant à la déformation en valgus, si celle-ci a une répercussion importante et ne pourrait être correctement compensée après détente du triceps, il est nécessaire de réaliser une triple arthrodèse [6].

Dystonie secondaire

Il s'agit de patients présentant des déformations avec des tableaux extrêmement variés, souvent changeants, entrant dans le cadre de dystonie majeure souvent post-anoxie. Par exemple, le pied se positionne en varus en chaîne fermée (à la marche) mais en valgus en chaîne ouverte (en position assise). Pendant l'examen, il y a des modifications dans les différents plans – position du pied variant de l'équin au pied calcaneus, du varus au valgus, de la griffe d'orteil à l'hyperextension de l'orteil [2,3].

Ces patients nécessitent des prises en charge très prudentes. Les principes reposent sur les deux points suivants.

Évaluation du risque d'hypercorrection

Il faut apprécier si on peut diminuer la puissance d'un muscle sans risquer l'hypercorrection en raison de la dystonie de l'antagoniste. Il est donc important de faire des tests thérapeutiques par bloc anesthésique sélectif à la Xylocaïne® ou test à la toxine botulique. La limite de l'examen est la rétraction fixée de la déformation, qui ne permet pas d'évaluer l'antagoniste et qui peut donc se révéler en postopératoire par une hypercorrection.

Dans le cadre d'équins purement dystoniques, il convient de s'assurer qu'il n'y a pas une loge antérieure très dystonique qui peut favoriser une hypercorrection. Les ténotomies percutanées d'Achille sont contre-indiquées. Il faut faire des allongements-sutures en acceptant, en postopératoire, de faire éventuellement des injections de toxine dans les muscles de la loge antérieure pour éviter tout risque d'hypercorrection [6].

Par ailleurs, ces équins sont parfois purement positionnels, rentrant dans des tableaux dystoniques proximaux (comme la marche avec l'attitude en cigogne) pour lesquels existe un risque majeur de récidive ou, en tout cas, l'absence d'amélioration fonctionnelle.

Importance de la stabilisation articulaire par arthrodèse

En effet, dans un certain nombre de cas, il est impossible d'envisager uniquement une stabilisation par un rééquilibrage musculaire en raison de la variation de la déformation. Dans ce cas, la seule solution est d'envisager de faire une arthrodèse [7]. Celle-ci est essentiellement indiquée quand il y a une instabilité en varus ou en valgus (parfois inconstante et changeante) pour laquelle on réalise des triples arthrodèses.

État végétatif ou paucirelationnel

Chez ces patients, les déformations se font habituellement en équin, associé ou non à un varus ou à une

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 2. Souffrance cutanée par conflit avec la saillie de la tête du talus, secondaire à un pied varus équin majeur.

griffe d'orteils (figure 2). Dans ce cas, la question essentielle est l'objectif de la chirurgie et l'objectif de la correction de la déformation.

S'il y a un objectif de verticalisation et surtout d'installation au fauteuil gênée par un équin qui empêche la stabilisation au fauteuil, favorisant le glissement des membres inférieurs hors des palettes du fauteuil, en général, un simple geste sur les parties molles suffit. Il faut souvent associer un geste sur les tendons de l'arrière-pied (allongement du tendon d'Achille, du tibial postérieur, des fléchisseurs des orteils) et une libération plantaire avec désinsertion des muscles intrinsèques du pied (à cause de la composante d'avant-pied). Si la correction par un geste sur les parties molles est insuffisante, il faut dans ce cas réaliser un geste osseux [6] : triple arthrodèse (sous-talienne, talonaviculaire et calcanéocuboïdienne) ou double arthrodèse (sous-talienne et talonaviculaire). En cas de pied creux par verticalisation (notamment du premier métatarsien), il faut réaliser une ostéotomie d'horizontalisation.

Dans le cas où les patients restent essentiellement alités, ce qui est fréquent, il n'y a pas d'intérêt à corriger l'équin. En effet, la position en décubitus est une position qui favorise naturellement l'équin. De plus, le pied à angle droit est conflictuel avec les draps. Il faut, dans ce cas, accepter de respecter la déformation en équin.

Peut se poser dans quelques cas la question de la correction isolée des griffes d'orteils qui gênent la mise en place de chaussure. Le chaussage peut être utile pour les patients qui peuvent être installés dans des sièges coquilles [2,3].

Conclusion

À côté de ces situations cliniques typiques, des séquelles peuvent être associées : un patient paucirelationnel peut être hémiplégique spastique et dystonique. Une collaboration étroite avec les médecins de médecine physique et de réadaptation et les neurologues permet de réaliser une évaluation rigoureuse, de fixer une stratégie thérapeutique adaptée et de formuler un contrat avec le patient ou ses représentants. Enfin, les évolutions positives de l'état neurologique, parfois imprévisibles et très à distance de l'accident, doivent nous inciter à pratiquer des gestes les plus conservateurs possibles.

Références

1 Piriou P, Tremoulet J, Garreau de Loubresse C, Judet T. Subcutaneous tenotomy of Achille's tendon in adults for ankle stiffness. A review of 80 cases. Rev Chir Orthop Réparatrice Appar Mot 2000 ; 86 : 38-45.

2 Denormandie P, Trincat S, Lautridou C, Genet F, Schnitzler A, Thévenin-Lemoine C, et al. Traitement chirurgical du pied spastique chez l'adulte. Pathologie du pied et de la cheville. Paris : Masson ; 2009. p. 552-64.

3 Denormandie P, Kiefer C, Mailhan L, Even-Schneider A, Sorriaux G, Martin JN, et al. Surgical treatment of orthopedic deformities due to spasticity in the lower limb. Neurochirurgie 2003 ; 49 : 339-52.

4 Denormandie P, Decq P, et al. Traitement chirurgical du pied spastique chez l'adulte : point de vue du neurochirurgien et du chirurgien orthopédiste. Actes des 9es Entretiens de l'institut Garches ; 1996, 79-93.

5 Craig JJ, van Vuren J. The importance of gastrocnemius recession in the correction of equinus deformity in cerebral palsy. J Bone Joint Surg (Br) 1976 ; 58 : 84-7.

6 Banks HH, Green WT. The correction of equinus deformity in cerebral palsy. J Bone Joint Surg Am 1958 ; 40A : 1359-79.

7 Provelengios S, Papavasiliou KA, Kyrkos MJ, Kirkos JM, Kapetanos GA. The role of pantalar arthrodesis in the treatment of paralytic foot deformities. A long-term follow-up study. J Bone Joint Surg (Am) 2009 ; 91 : 575-83.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied de Charcot diabétique

J.-L. BESSE[1], T. LEEMRIJSE[2]

Introduction

L'incidence du diabète, en particulier de type 2, est en augmentation dans tous les pays industrialisés ; ses complications en font un véritable défi de santé publique. Actuellement, on estime que plus de 120 millions de personnes dans le monde sont diabétiques, dont 16 millions aux États-Unis et 3 millions en France ; 2 à 5 % de la population seraient atteints, mais avec de très grandes disparités géographiques, pouvant aller jusqu'à 25 % dans certains pays ou certaines régions. On estime que d'ici 2025, la population diabétique atteindra 333 millions de personnes dans le monde. Hormis les complications métaboliques aiguës, le diabète entraîne des complications chroniques, liées à l'atteinte vasculaire et à la neuropathie secondaire, qui concernent surtout trois localisations : les yeux, les reins et les pieds. La prise en charge des lésions du pied diabétique a été très longtemps négligée. Ces atteintes du pied sont dominées par les ulcères, associés ou non à une ostéite pouvant imposer des amputations, les lésions de type pied de Charcot étant beaucoup plus rares [1].

Les neuroarthropathies du pied représentent une complication très grave de la neuropathie diabétique conduisant à des destructions architecturales du pied. C'est J-.M. Charcot [2] qui a décrit en 1868 la neuroarthropathie du pied comme complication du tabès dans la syphilis. Son association à la neuropathie diabétique a été décrite pour la première fois par Jordan en 1936. De nos jours, le diabète est la cause principale de cette pathologie, même s'il existe d'autres étiologies comme le spina bifida, la syringomyélie, l'éthylisme chronique.

L'étiologie exacte n'est toujours pas établie et les différentes théories (neurotraumatique ou neurovasculaire) étaient déjà formulées au XIX^e^ siècle. Les théories actuelles réunissent les deux précédentes. La neuropathie périphérique et végétative est responsable d'une fragilisation osseuse par des microfractures passant inaperçues. En réponse à la destruction osseuse, l'hypervascularisation s'accroît, fragilisant encore plus la structure osseuse avec une réponse vasomotrice analogue à celle de l'algodystrophie [3].

Sa prévalence est mal connue et probablement sous-estimée. Elle serait de 0,2 à 0,5 % dans la population diabétique, mais atteindrait jusqu'à 16 % dans des services spécialisés. L'âge moyen lors du diagnostic avoisine les 57 ans. Le diabète de type 2 non diagnostiqué, évoluant généralement depuis plus de 15 ans, s'inaugure non exceptionnellement par le pied de Charcot. De 20 à 40 % des cas présentent une atteinte bilatérale en quelques années.

Malgré cet accroissement continu, ce problème est méconnu et le diagnostic est le plus souvent absent. Cette méconnaissance entraîne une absence de traitement ou celui-ci est inadéquat, avec un taux élevé de complications et d'amputations.

Évolution

Cliniquement, le pied de Charcot se présente comme un pied gonflé, rouge et chaud qui survient brutalement et est le plus souvent indolore. Eichenholtz [4] a décrit trois stades cliniques et radiologiques dans le développement du pied de Charcot. Il a même été ajouté un stade 0 qualifié de « patient à risque ». Il s'agit de la survenue d'une fracture, en particulier de la cheville et de l'arrière-pied, chez un patient diabétique avec une neuropathie mais une vascularisation conservée. Que le traitement soit conservateur ou chirurgical, ce patient présente un haut risque de développer un pied de Charcot, il devra être surveillé et immobilisé deux à trois fois plus longtemps qu'un patient sans neuropathie.

Stade 1 ou de fragmentation

C'est la phase aiguë de développement de la neuro-ostéoarthropathie diabétique (NOAD). Il existe une inflammation aiguë avec chaleur, érythème, épanchement articulaire et, radiologiquement, des destructions osseuses et des luxations.

[1] Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, centre hospitalier Lyon Sud, 69495 Pierre-Bénite cedex.
[2] Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, cliniques universitaires Saint-Luc, 10, avenue Hippocrate, 1200 Bruxelles, Belgique.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Stade 2 ou de coalescence

C'est la forme chronique de la NOAD, avec progressivement une diminution de l'œdème des tissus mous et de la chaleur locale. Radiologiquement, débutent des processus de réparation avec résorption osseuse des séquestres, des néoformations osseuses périarticulaires avec des ostéophytes exubérants, la fusion débutante des structures osseuses fracturées ou disloquées précédemment.

Stade 3 ou de consolidation-reconstruction

Le pied est « froid », sans épanchement, laissant des déformations articulaires et osseuses résiduelles responsables d'hyperappuis favorisant l'apparition des ulcérations. C'est la phase de remodelage des structures ostéoarticulaires avec consolidation osseuse et fixation des déformations.

Classification

Plusieurs classifications existent, toutes basées sur le siège anatomique des déformations. Sanders [5] a établi une classification en cinq types (tableau 1), pratique et simple à utiliser. Toutes les articulations du pied et de la cheville peuvent être touchées mais l'articulation du Lisfranc (type II) est le site le plus fréquent, l'avant-pied étant relativement épargné. Si le médio-pied est affecté (type III), l'arche longitudinale s'effondre, présentant une subluxation plantaire du naviculaire, des cunéiformes et du cuboïde, et entraîne la classique déformation en *« rocker-bottom »* ou pied en « tampon buvard ». L'atteinte de la cheville (type IV) est souvent secondaire à une fracture de cheville, indépendamment du traitement chirurgical ou conservateur initial. Au stade séquellaire, elle entraîne souvent une instabilité sévère de la néoarticulation de cheville. Le type V est confondu avec une fracture-arrachement du tendon d'Achille (figure 1).

Diagnostic

Clinique

Au stade aigu, un pied de Charcot présente un pied chaud, rouge et gonflé, le plus souvent indolore, de début relativement soudain. Il existe des signes de neuropathie. Les pouls périphériques sont le plus souvent présents, car le pied de Charcot est habituellement bien vascularisé. À l'aide d'un thermomètre infrarouge [6], on peut mesurer un différentiel d'au moins 2 °C par rapport au pied controlatéral. Le diagnostic est fréquemment ignoré ; le plus souvent, on porte celui de cellulite ou d'érysipèle. Au stade chronique, les déformations du pied sont caractéristiques, mais on peut observer des réactivations aiguës d'un pied de Charcot ancien ou stabilisé [7].

En cas d'ulcération associée (récente ou cicatrisée), le diagnostic différentiel avec une ostéite est difficile. Cliniquement, l'existence d'une fièvre, de trajets lymphangitiques, d'adénopathies inguinales plaide pour une infection. L'élévation du membre inférieur (manœuvre de Brodsky) pendant plusieurs heures permettrait de faire la différence avec une diminution de l'œdème en cas de NOAD et absence d'effet en cas d'infection.

Diagnostic différentiel et examens paracliniques

Aucun des signes cliniques précoces du pied de Charcot n'est spécifique ; d'autres pathologies doivent être exclues : infectieuses, crise de goutte, thrombose veineuse… À côté de l'examen clinique, différents examens paracliniques sont demandés pour étayer le diagnostic différentiel.

Tableau 1
Classification de Sanders

Localisation		Fréquence
Sanders I	Métatarsophalangienne (avant-pied)	18 %
Sanders II	Lisfranc	50 %
Sanders III	Chopart	20 %
Sanders IV	Cheville	10 %
Sanders V	Calcaneus postérieur (tubérosité du calcaneus, avulsion du tendon d'Achille)	2 %

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 1. Exemples de la classification de Sanders.
Sanders II : atteinte du Lisfranc (Eichenholtz stade 1).
Sanders III : atteinte du Chopart (Eichenholtz stade 3).
Sanders IV : atteinte de la cheville (Eichenholtz stade 3).
Sanders V : arrachement de l'insertion du tendon d'Achille (Eichenholtz stade 1).

• Examens biologiques : numération formule sanguine, vitesse de sédimentation, protéine C réactive, acide urique.
• Écho-doppler veineux des membres inférieurs.
• Les radiographies standard restent l'examen radiographique de base pour dépister, évaluer et suivre un pied de Charcot. Au stade initial, il existe seulement un œdème des parties molles et des épanchements articulaires. L'échographie complémentaire peut être une aide à ce stade. Elles doivent être répétées et comparées, à la recherche de radiotransparence sous-chondrale, de subluxations débutantes et de petites fractures.
• La double scintigraphie (scintigraphie osseuse au technétium couplée à une scintigraphie aux polynucléaires marqués) est l'examen de choix pour faire le diagnostic différentiel d'ostéite [8], ou d'ostéite associée à un pied de Charcot chronique avec ulcération.
• En cas de pied aigu de Charcot, l'imagerie par résonance magnétique ne distingue pas de façon formelle un processus infectieux d'un processus inflammatoire [9,10].
• Le scanner est un examen de deuxième intention contribuant à évaluer les déplacements osseux ainsi que la qualité osseuse résiduelle, et permettant de planifier une éventuelle chirurgie.

Traitement

Le traitement d'un pied de Charcot doit être instauré dès le diagnostic posé, ou même dès que le diagnostic est suspecté. Les principes du traitement sont :
• de contenir la déformation du pied afin d'amener le pied au stade 3 de la guérison osseuse avec le moins de déformations possible ;
• d'éviter au maximum les problèmes cutanés et les ulcérations responsables d'ostéite et d'un risque très élevé d'amputation ;
• de conserver une bonne mobilité du patient pour éviter l'aggravation de l'ostéoporose.

L'évolution est longue, allant de 12 à 24 mois.

Le traitement conservateur

Le traitement conservateur reste la règle et se divise en trois phases.

Au stade initial inflammatoire (stade 1)

Le traitement associe des périodes de repos et de décharge avec des immobilisations plâtrées pour réduire l'œdème et limiter les déformations. Le traitement recommandé est le plâtre type « total contact »

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 2. Exemple de chirurgie du pied de Charcot, au stade aigu.
a. Atteinte en 2003 du pied gauche (type II) : aggravation rapide. b. Atteinte en 2006 du pied droit (type II) : même attitude chirurgicale (du côté gauche, il existe une pseudarthrodèse indolore et sans récidive de la déformation).

et la décharge à l'aide de deux cannes béquilles. Durant ce premier stade, qui peut durer plusieurs mois, tout geste chirurgical doit être évité, en particulier sur des lésions de dislocation du médio-pied ou du Lisfranc d'allure pseudo-traumatiques. L'agression chirurgicale est un facteur d'aggravation des lésions, avec un taux élevé de complications cutanées et infectieuses. Les plâtres sont renouvelés au début chaque semaine, puis toutes les 2 à 3 semaines. Cette période d'immobilisation totale dure de 4 à 6 mois avec une reprise progressive d'un appui partiel. Des traitements par les biphosphonates (pamidronate) ont été proposés pour réduire la durée de cette période aiguë [11].

La deuxième phase

Elle correspond au stade 2 ; l'objectif est de combler la période entre une immobilisation rigide et la stabilisation de la forme du pied. Cette période dure également de 4 à 6 mois. Le patient peut porter des orthèses préfabriquées (type CROW : Charcot Restraining Orthotic Walker), des orthèses ou des chaussures temporaires faites sur mesure par un podo-orthésiste [3]. En cas d'ostéoarthropathie neurogène évolutive (stade 1 et 2) associée à des ulcères liés aux déformations, l'équipe de consultation de chirurgie orthopédique peut contribuer à la réalisation d'appareillages plâtrés à la carte, bien capitonnés, éventuellement fenêtrés et/ou amovibles.

La troisième phase

Après stabilisation structurale du pied, les déformations séquellaires de l'arrière-pied et du médio-pied imposent souvent des chaussures orthopédiques sur mesure. Un chaussage très adapté avec des orthèses plantaires est en général suffisant pour les déformations de l'avant-pied. L'instabilité séquellaire de la cheville peut nécessiter des orthèses et/ou des chaussures orthopédiques à tige montante.

Le traitement chirurgical

Au stade initial inflammatoire (stade 1)

Le traitement chirurgical a été proposé dans le stade 1 aigu, en cas d'échec du traitement conservateur et

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

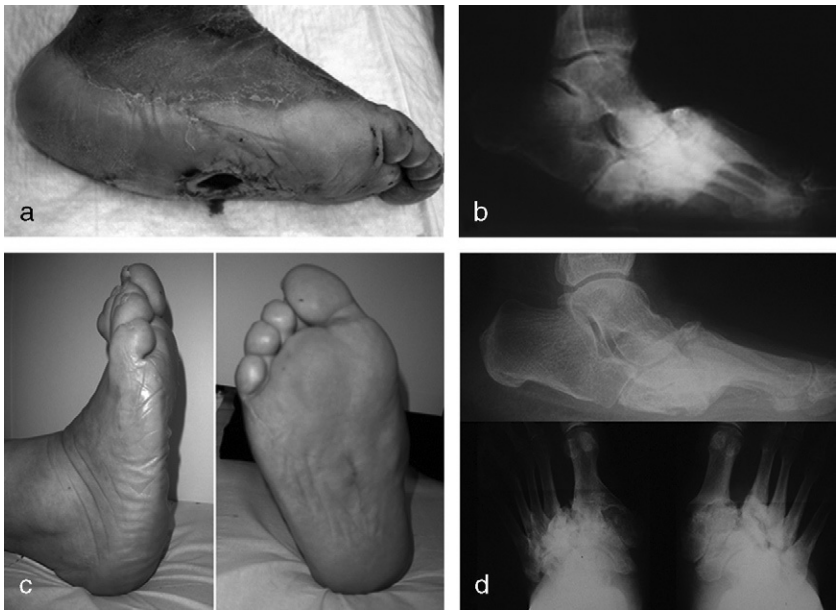


Figure 3. Traitement chirurgical par exostosectomie (Charcot type III).
a,b. Ulcère avec ostéite du cuboïde (aspect clinique et radiographique). c. Aspect clinique à 16 mois. d. Radiographie de profil en charge du pied droit à 16 mois et radiographie de face des deux pieds : l'atteinte était bilatérale (Eichenholtz stade 3).

de progression très rapide des déformations et dislocations. Il s'adresse en particulier au type II de Sanders [12,13]. La chirurgie associe une arthrodèse après réduction des dislocations puis une immobilisation prolongée. Le but est d'éviter l'apparition secondaire en « *rocker-bottom* », source fréquente d'ulcérations itératives. Il s'agit d'une chirurgie extrêmement difficile du fait des rétractions très importantes des tissus mous, à haut risque de complications précoces et qui ne garantit pas la stabilité du résultat en raison du potentiel évolutif de la NOAD. Elle ne peut être réalisée que par des équipes très spécialisées en chirurgie du pied et dans le traitement de cette pathologie (figure 2).

Au stade séquellaire (phase 3)

Au stade séquellaire de reconstruction osseuse (stade 3), la chirurgie orthopédique est indiquée lorsque les déformations sont incompatibles avec le chaussage et sont responsables d'ulcérations à répétition. Ainsi un pied en « tampon buvard », secondaire à une atteinte du Lisfranc ou du médio-pied, peut parfois justifier soit une exostosectomie (« *exostectomy* », « *bumpectomy* », allant d'une résection simple du conflit osseux plantaire à une ablation complète du cuboïde), soit même une arthrodèse complexe par voie plantaire [14,15]. L'ostectomie est volontiers indiquée dans les ulcérations associées à une ostéite (figure 3). Par une incision latérale, médiale ou directement centrée sur l'ulcère, l'os proéminent est réséqué ; il peut s'agir d'une cuboïdectomie complète. Ce geste permet de guérir l'ostéite même si les retards de cicatrisation sont fréquents. Une cheville disloquée et instable malgré les orthèses de maintien peut bénéficier d'une arthrodèse de l'arrière-pied par un clou rétrograde transplantaire [16] (figure 4).

Cette chirurgie, en dépit d'un taux élevé de complications, est cependant parfois l'unique alternative à l'amputation de jambe [17]. Les arthrodèses nécessitent des moyens d'ostéosynthèse très rigides pour limiter les « démontages » et surtout des temps d'immobilisation plâtrée doublés ou triplés par rapport aux délais classiques de ces interventions chez le sujet non neuropathique. La consolidation des arthrodèses n'est obtenue que dans 70 % des cas, les pseudarthroses ou retard de consolidation avec rupture d'implants sont fréquents mais souvent bien tolérés et permettent un chaussage orthopédique.

Conclusion

Le diabète devient une véritable pandémie. Les lésions du pied diabétique représentent un problème de santé publique qui sera de plus en plus important. Leur prise en charge ne peut se faire que dans un cadre pluridisciplinaire. Chaque pays devra se doter de structures adaptées et en particulier de centres spécialisés avec tout le plateau technique utile pour la prise en charge des lésions les plus graves : ulcérations profondes et infectées, artériopathies sévères, pieds de Charcot.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 4. Deux exemples de reposition-arthrodèse.
a. Dislocation de la cheville (impossible à appareiller) séquellaire d'un pied de Charcot type IV compliquée d'une ostéoarthrite. b. Traitement par une panarthrodèse de la cheville et arrière-pied ostéosynthésé par un enclouage rétrograde. Résultat à 3 ans. c. Charcot de type III compliqué d'ulcère médial (antécédent d'amputation de cuisse du côté controlatéral). d. Traitement par une reposition-arthrodèse (radiographies postopératoires).

Références

1 Besse JL, Leemrijse T. Le pied diabétique : place de la chirurgie diabétique. Cahier d'enseignement de la SOFCOT n° 98. Paris : Elsevier Masson ; 2009. p. 111-46.
2 Charcot JM. Sur quelques arthropathies qui paraissent dépendre d'une lésion du cerveau ou de la moelle épiniére. Arch Physiol Norm Pathol 1868 ; 1 : 161-8.
3 Pinzur MS. Current concepts review : Charcot arthropathy of the foot and ankle. Foot Ankle Int 2007 ; 28 : 952-9.
4 Eichenholtz SN. Charcot joints. Springfield : Charles C. Thomas ; 1996.
5 Sanders LJ, Frykberg RG. Diabetic neuropathic osteoarthropathy : the Charcot foot. In : Frykberg RG, éd. The high risk foot in diabetes mellitus. New York : Churchill Livingstone ; 1991. p. 297-338.
6 Armstrong DG, Lavery LA. Monitoring healing of acute Charcot's arthropathy with infrared dermal thermometry. J Rehabil Res Dev 1997 ; 34 : 317-21.
7 Armstrong DG, Todd EF, Lavery LA, Herkless LB, Bushman TR. The natural history of acute Charcot's arthropathy in a diabetic foot specialty clinic. Diabetic Medecine 1997 ; 14 : 357-63.
8 Poirier JY, Garin E, Derrien C, Devillers A, Moisan A, Bourguet P, et al. Diagnosis of osteomyelitis in the diabetic foot with a 99mTc-HMPAO leucocyte scintigraphy combined with a 99mTc-MDP bone scintigraphy. Diabetes Metab 2002 ; 28 : 485-90.
9 Schweitzer ME, Morrison WB. MR imaging of the diabetic foot. Radiol Clin North Am 2004 ; 42 : 61-71.
10 Van Acker K, Vandeleene B, Vermassen F, Leemrijse. Prise en charge du pied diabétique dans un centre spécialisé. Anvers : Albe De Coker ; 2008.
11 Jude EB, Selby PL, Burgess J, Lilleystone P, Mawer EB, Page SR, et al. Biphosphonates in the treatment of Charcot neuroarthropathy : a double-blind randomised controlled trial. Diabetologia 2001 ; 44 : 2032-7.
12 Assal M, Stern R. Realignment and extended fusion with use of a medial column screw for midfoot deformities secondary to diabetic neuropathy. J Bone Joint Surg Am 2009 ; 91 : 812-20.
13 Simon SR, Tejwani SG, Wilson DL, Santner TJ, Denniston NL. Arthrodesis as an early alternative to nonoperative management of Charcot arthropathy of the diabetic foot. J Bone Joint Surg (Am) 2000 ; 82 : 939-50.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

14 Broadsky JM, Rouse AM. Exostosectomy for symptomatic bony prominences in diabetic Charcot feet. Clin Orthop 1993 ; 296 : 21-6.
15 Early JS, Hansen ST. Surgical reconstruction of the diabetic foot : a salvage approach for midfoot collapse. Foot Ankle Int 1996 ; 17 : 325-30.
16 Johnson JE. Operative treatment of neuropathic arthropathy of the foot and ankle (Instructional Course Lectures, AAOS). J Bone Joint Surg (Am) 1998 ; 80 : 1700-9.
17 Pinzur MS, Kelikian A. Charcot ankle fusion with a retrograde locked intramedullary nail. Foot Ankle Int 1997 ; 18 : 699-704.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Séquelles des traumatismes du pied

Z. PEJIN[1], T. JUDET[2]

Les traumatismes du pied sont fréquents chez l'enfant et chez l'adulte. La complexité anatomique et fonctionnelle de la cheville et de l'arrière-pied explique les difficultés d'analyse et de traitement initial, et de ce fait la fréquence des séquelles.

Chez l'enfant, la prise en charge initiale doit tenir compte du potentiel de croissance et des capacités de remodelage du squelette cartilagineux. Certaines fractures sont spécifiques de l'enfant et peuvent être à l'origine d'une perturbation de la croissance, responsable de déviation axiale de la cheville et du pied plus ou moins associée à une inégalité de longueur des membres inférieurs. D'autres, en particulier articulaires, répondent au même traitement que chez l'adulte avec la nécessité d'une réduction anatomique.

Chez l'adulte, la prise en charge de ces séquelles peut se poser dans deux contextes différents en fonction du délai post-traumatique. En phase précoce, dans les premiers mois, il faut faire la part entre des suites douloureuses précoces banales, et une authentique perturbation anatomique persistante justifiant un geste de reprise. Plus tardivement, le problème est à l'analyse de ce qui est encore possible à corriger pour rétablir anatomie et fonction, ce qui est justifiable d'un geste seulement palliatif.

Dans tous les cas, il faut savoir rechercher une cause mécanique dans les suites douloureuses d'un traumatisme de la cheville et de l'arrière-pied.

Chez l'enfant

Séquelles des fractures de la cheville

Les fractures de la cheville sont fréquentes et leur évolution généralement favorable. Les séquelles de ces fractures sont secondaires au traumatisme du cartilage de croissance tibial et/ou fibulaire distal et aux fractures articulaires. Un risque d'épiphysiodèse existe pour toutes les fractures décollements épiphysaires, d'autant plus qu'il existe un traumatisme en compression et de haute énergie. Ce risque est augmenté pour les fractures de type Salter 3 et 4 (fracture de Mac Farland), responsables d'une épiphysiodèse asymétrique, surtout en cas de déplacement initial important témoignant de la violence du traumatisme (figure 1). L'épiphysiodèse est alors responsable d'une désaxation de la cheville avec une déformation de l'interligne articulaire, plus ou moins associée à une inégalité de longueur des membres inférieurs, dont la sévérité est fonction de l'âge de l'enfant. Les options thérapeutiques envisageables dans ce cas sont la désépiphysiodèse ou l'ostéotomie supramalléolaire afin d'horizontaliser l'interligne articulaire. Le choix entre ces deux techniques dépendra de la surface de l'épiphysiodèse et du potentiel de croissance de l'enfant.



Figure 1. Fractures de type Salter 3 et 4 (fracture de Mac Farland) a. Fracture de Mac Farland, traitée orthopédiquement chez un enfant de 6 ans avec défaut de réduction initiale. b. Résultat à 1 an avec cal vicieux articulaire et épiphysiodèse asymétrique responsable d'une interligne oblique et d'une désaxation en varus de la cheville.

[1]Service de chirurgie orthopédique infantile, hôpital Necker, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris.
[2]Service de chirurgie orthopédique, hôpital Raymond-Poincaré, 104, avenue Raymond-Poincaré, 92280 Garches.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

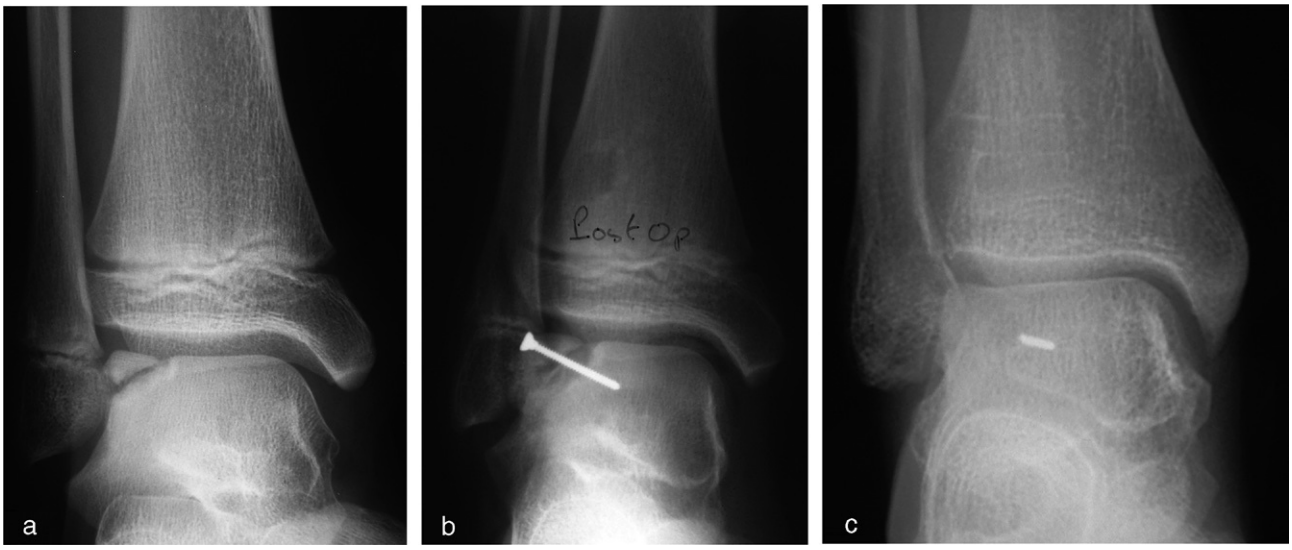


Figure 2. Fracture de dôme de talus chez un enfant de 11 ans (a), ostéosynthèse par vis (b), douleurs à l'effort à l'âge de 22 ans (c).

Les défauts de réduction initiale des fractures articulaires de type Salter 3 et 4 sont responsables d'un cal vicieux intra-articulaire. Celui-ci ne se remodèle pas avec la croissance et peut être à l'origine d'une arthrose tibiotalienne précoce.

Séquelles des fractures du talus

Les fractures du talus sont exceptionnelles chez l'enfant. Leur fréquence est estimée à 0,08 % des fractures. L'analyse des traits de fracture permet de différencier les fractures du col et du corps du talus, les fractures ostéochondrales et les fractures périphériques des processus latéral et médial. Le traitement des fractures déplacées du talus chez l'enfant est le plus souvent chirurgical, avec une technique identique à celle des adultes [1,2].

Les séquelles des fractures du talus sont principalement liées à leur grand potentiel de nécrose en rapport avec la précarité de sa vascularisation. Toute fracture du corps ou du col du talus présente un risque de nécrose directement corrélé à son degré de déplacement, comme indiqué dans la classification des fractures du corps du talus de Hawkins [3]. La nécrose est fréquente en cas de fracture totale, et ce quel que soit l'âge de l'enfant. Il s'agit essentiellement des fractures déplacées secondaires à un traumatisme à haute énergie et responsables de lésions vasculaires majorées par l'abord chirurgical indispensable dans ces cas. Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre le risque de nécrose avant ou après l'âge de 6 ans [4]. La prise en charge de la nécrose post-traumatique du talus ne peut être standardisée. Elle est déterminée par l'évolution clinique en raison de la grande capacité d'adaptation de l'enfant. En l'absence de gêne fonctionnelle, ce qui est souvent le cas dans la petite enfance, une simple surveillance radioclinique au cours de la croissance sera envisagée. En cas de symptomatologie importante, une arthrodèse peut être proposée et dans cette indication, elle donne généralement de bons résultats à long terme.

Les fractures parcellaires du talus sont une entité particulière dont le mécanisme lésionnel correspond à un traumatisme de la cheville en varus forcé (figure 2). Elles présentent un risque d'ostéonécrose et surtout de corps étranger intra-articulaire, d'où l'importance d'un diagnostic précoce qui permet d'améliorer les résultats grâce à un traitement approprié [5,6].

L'arthrose est moins fréquente que la nécrose. Elle est retrouvée le plus souvent lorsque la fracture est survenue après 6 ans et est généralement le résultat d'un traitement conservateur et d'une réduction incomplète (figure 3). Il s'agit d'une arthrose de l'articulation tibiotalienne ou sous-talienne. Le problème n'est pas uniquement lié à l'incongruence articulaire, mais aussi à l'accourcissement de la colonne médiale du pied qui induit un varus de l'arrière-pied, une adduction et supination de l'avant-pied responsable d'un déséquilibre entre les muscles fibulaires et fléchisseurs. Par conséquent, les fractures stables avec un déplacement inférieur ou égal à 2 mm peuvent être traitées orthopédiquement ; au-delà, une réduction chirurgicale s'impose du fait des faibles capacités de remodelage du talus lors de la croissance.

Malgré le pronostic sombre de certaines fractures du talus, l'arthrodèse et la talectomie (figure 4) n'ont pas d'indication en urgence [7,8].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

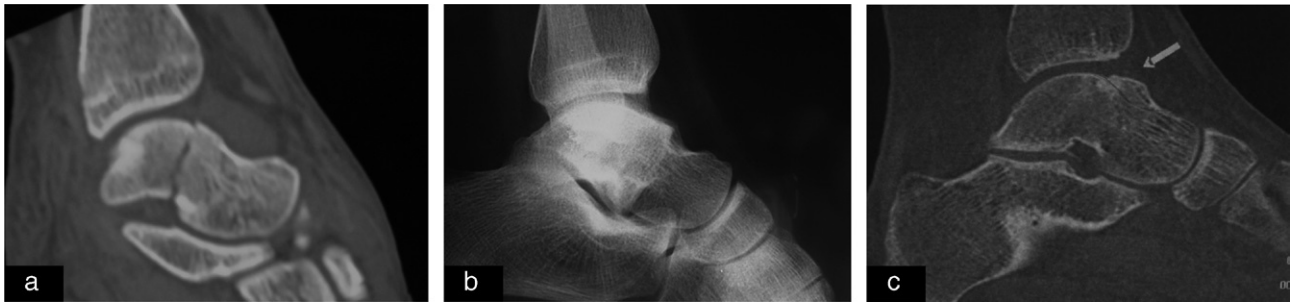


Figure 3. Réduction incomplète de fracture.
a. Fracture de talus chez une enfant de 12 ans avec déplacement inférieur à 2 mm, traitée orthopédiquement. b,c. Gêne fonctionnelle à l'âge de 18 ans.

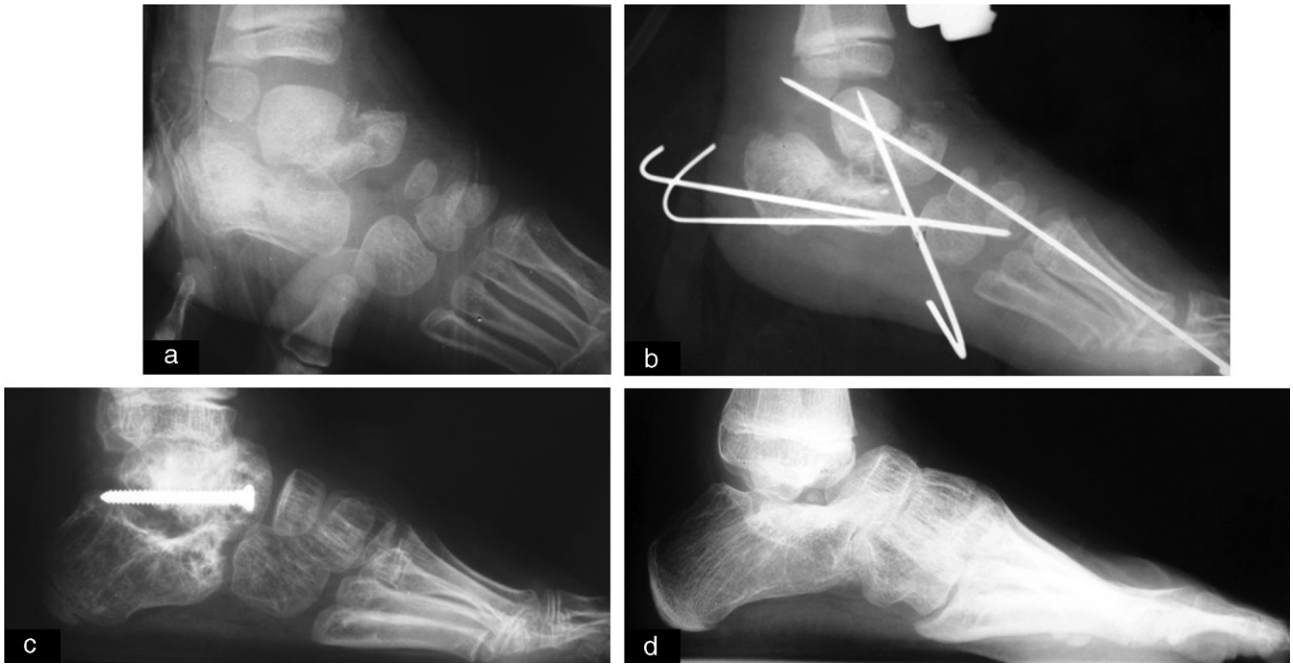


Figure 4. Fille de 4 ans, traumatisme à haute énergie.
a. Fracture comminutive de talus et du calcaneus. b. Ostéosynthèse par broches. c. Reprise d'ostéosynthèse par vis en compression 4 mois plus tard avec nécrose du talus. d. Talectomie 4 ans plus tard, radiographie à 12 ans mais mauvais résultat clinique à l'âge adulte (à 26 ans, douleurs permanentes).

Séquelles des fractures du calcaneus

Les fractures du calcaneus sont rares chez l'enfant et représentent 0,005 % à 0,15 % des fractures avant l'âge de 15 ans. C'est l'os le plus vulnérable et le plus fracturé des os du tarse chez l'enfant.

Le traitement orthopédique est conseillé pour la plupart des types de fracture du calcaneus chez l'enfant (déplacement de moins de 2 mm de la surface articulaire, déplacement de moins de 1 cm dans les fractures de la tubérosité calcanéenne ou si l'état de la peau est très compromis). Le taux d'arthrose de l'articulation sous-talienne est faible et les résultats fonctionnels à long terme sont bons (figure 5). La chirurgie garde sa place pour les fractures articulaires très déplacées, les fractures enfoncements thalamiques, l'avulsion de la tubérosité calcanéenne ou les fractures ouvertes surtout chez les enfants âgés, au-delà de 10 ans, et les adolescents [9,10].

Le calcaneus a un pouvoir de remodelage jusqu'à l'âge de 10 ans en raison de la croissance du talus cartilagineux dans la dépression liée à l'enfoncement thalamique. Le résultat est une articulation harmonieuse avec une fonction proche de la normale.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

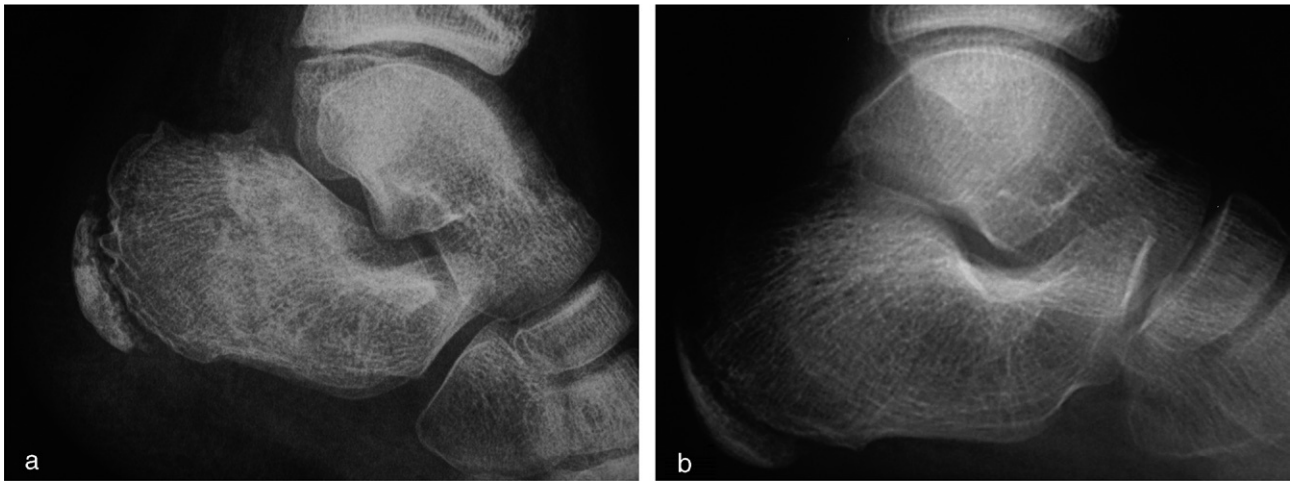


Figure 5. Fracture-tassement du calcaneus chez un enfant de 5 ans, traitée orthopédiquement (a) avec remodelage et bon résultat clinique à 12 ans (b).



Figure 6. Arthrose de l'articulation sous-talienne isolée.
a. Fracture articulaire du calcaneus chez un enfant de 11 ans. b. et c. Arthrose douloureuse calcanéocuboïdienne ayant conduit à une arthrodèse calcanéocuboïdienne à 14 ans.

La séquelle la plus redoutée des fractures du calcaneus est l'arthrose de l'articulation sous-talienne isolée ou associée à une arthrose de l'articulation calcanéocuboïdienne (figure 6). En cas de symptômes cliniques, de gêne fonctionnelle importante et après confirmation par le scanner, la prise en charge se fait par une arthrodèse [11,12]. L'autre complication est le conflit généré par le cal vicieux entre le calcaneus et la malléole latérale ou les tendons fibulaires [13]. Le diagnostic est posé à l'examen clinique et confirmé par le scanner. Le traitement consiste en une résection du mur latéral pour supprimer le conflit. La prise en charge de ces complications est la même que chez l'adulte.

Séquelles de traumatisme des autres os du tarse

Les fractures isolées de l'os naviculaire, du cuboïde et des os cunéiformes sont exceptionnelles chez l'enfant en raison de leur structure cartilagineuse [14,15]. Généralement, on observe des fractures ou des fractures luxations multiples lors d'un traumatisme direct par écrasement, responsable de lésions associées importantes des parties molles du pied (figure 7).

Les séquelles rencontrées dans ces fractures sont des douleurs lors de la marche, une raideur articulaire,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 7. Écrasement du pied par un bus chez un enfant de 11 ans.
a. Luxation sous-talienne, avec fracture-luxation ouverte du Lisfranc, du Chopart et fractures des métatarsiens. b,c. Ostéosynthèse par broches. d. Très bon résultat clinique à 17 ans (joueur de ping-pong en compétition).

des déformations du pied (pied plat, pied creux), des troubles de croissance à l'origine d'une différence de la taille de pied.

Le traitement est souvent chirurgical. Il consiste en une correction de la déformation et une arthrodèse.

Chez l'adulte

Présentation clinique

Signes fonctionnels

La douleur domine le tableau clinique : son évolution, son siège précis et ses circonstances de survenue doivent être précisés. L'enraidissement est plus souvent ressenti dans les séquelles tardives et doit être corrélé aux suites imposées par la pathologie initiale (immobilisation prolongée et/ou en mauvaise position). La déformation peut être responsable de défaut d'appui, de gêne au chaussage ou d'impression d'instabilité.

Examen

Il comporte systématiquement l'examen de la marche pieds nus et l'examen de la station debout en appui mono- et bipodal comparatif (figure 8) qui permet de

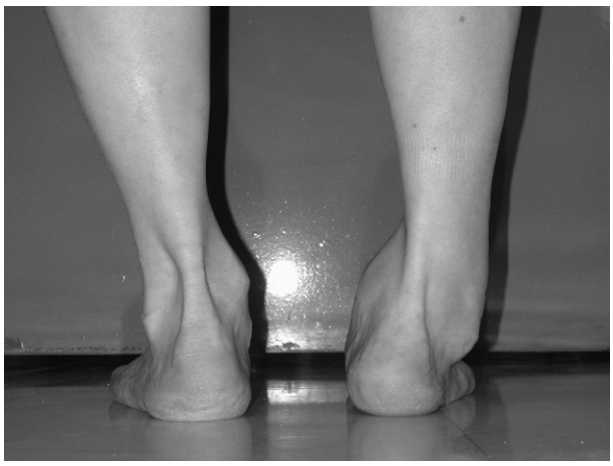


Figure 8. L'examen clinique comparatif est primordial.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

préciser les axes et les défauts d'appui, aidé en cela par l'examen podoscopique. L'état trophique et cicatriciel doit être analysé. L'analyse des mobilités doit tester de façon bilatérale et comparative les amplitudes talocrurale, sous-talienne, médio-tarsienne et de l'avant-pied. Cet examen est idéalement mené sur un patient assis sur une table d'examen surélevée, genoux fléchis pour détendre les gastrocnémiens, puis genoux étendus. Les points douloureux spontanés et à l'examen doivent être précisés : ils ont une grande valeur d'orientation.

Examens complémentaires

Ils sont dominés par l'imagerie.

La radiographie est systématique et de principe effectuée en charge. Pour la cheville et l'arrière-pied, trois incidences sont nécessaires : la face cerclée Méary, la face en rotation interne pour analyser l'interligne talofibulaire, et le profil strict. Le médio-pied et le Lisfranc sont analysés par des clichés de face et des obliques latérale et médiale.

La tomodensitométrie est le complément le plus fréquemment nécessaire à la radiographie [16]. Ses conditions de réalisation sont strictes : si possible position de charge simulée plante du pied à plat. De principe, les coupes axiales doivent être effectuées parallèles à la plante, les coupes coronales reconstituées dans le plan bimalléolaire, les coupes sagittales dans le plan perpendiculaire à ce deuxième plan (figure 9). L'atteinte du Lisfranc ou des métatarsiens justifie une reconstruction rayon par rayon ou une reconstruction tridimensionnelle.

La scintigraphie est rarement utile car peu spécifique dans les séquelles de traumatisme, elle risque surtout d'égarer faussement le diagnostic vers une hypothèse d'algodystrophie. Les techniques récentes de Spect-CT (scintigraphie couplé à un scanner) ont redonné de l'intérêt à cet examen, en permettant de localiser de façon précise la ou les souffrances articulaires.

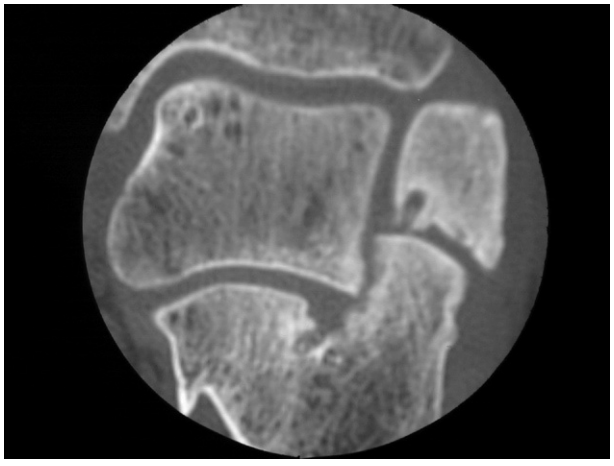


Figure 9. Le scanner est l'outil d'analyse le plus précis.

La résonance magnétique nucléaire est comme l'échographie de peu d'intérêt, sauf parfois pour évaluer la vitalité de la trame osseuse ou confirmer une lésion des parties molles, en règle lourdement suspectée par la clinique.

Les infiltrations tests radioguidées sous contrôle arthrographique méritent une place à part, et sont un complément utile pour confirmer la responsabilité de lésions anatomiques diagnostiquées sur les radiographies standard et le scanner. Le temps arthrographique peut éventuellement être complété par un arthroscanner pour évaluer l'état du cartilage.

Lésions rencontrées

Malléoles

Les lésions les plus fréquemment rencontrées sont les cals vicieux en raccourcissement, rotation latérale valgus et rétroposition de la malléole latérale, séquelles possibles de traitements orthopédiques ou de synthèses insuffisantes de fractures uni- ou bimalléolaires (figure 10). Une correction chirurgicale s'impose [17].

Il en est de même des diastasis persistants élargissant la pince malléolaire qui doivent faire l'objet d'une reposition, voire d'une arthrodèse tibiofibulaire.

Pilon tibial

Les difficultés ou les insuffisances du traitement initial peuvent mener à des situations séquellaires. En cas de désorientation supramalléolaire avec morphologie articulaire conservée (confirmation par arthroscanner), une correction par ostéotomie supramalléolaire (figure 11) guidée par les mesures de l'incidence de Méary peut être nécessaire [18].

En cas de fracture intra-articulaire, il s'agit souvent de troisième fragment marginal associé à une bimalléolaire et dont le volume ou le déplacement ont été négligés ou sous-estimés. Quand les lésions cartilagineuses sont limitées (contrôle arthroscanner) et le trait simple (fractures séparations), une ostéotomie intra-articulaire de correction doit être envisagée [19].

Dans les cas d'arthrose post-traumatique évoluée et de tolérance fonctionnelle mauvaise, le stade d'une chirurgie conservatrice est malheureusement souvent dépassé.

Talus

Les fractures du talus sont potentiellement génératrices de séquelles articulaires sus- et sous-taliennes.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

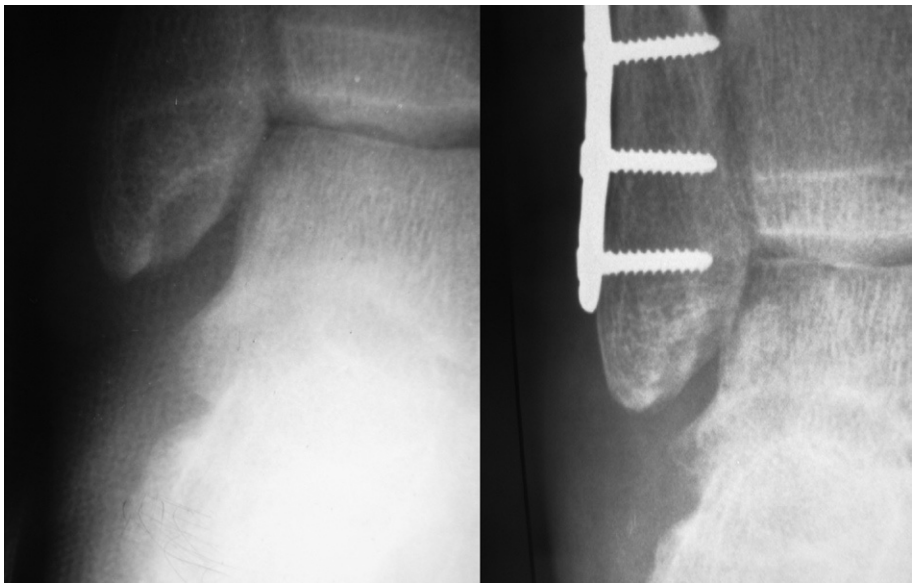


Figure 10. Ostéotomie de correction d'un cal vicieux malléolaire fibulaire.



Figure 11. Ostéotomie de correction supramalléolaire.

Fractures parcellaires

Il s'agit essentiellement des fractures du tubercule latéral responsables d'un conflit talofibulaire et, en cas de volume important, d'une souffrance sous-talienne. Au stade séquellaire se discute soit l'ablation simple du fragment, soit une arthrodèse sous-talienne associée.

Fractures totales du corps ou plus souvent du col

Elles font courir un triple risque de souffrance articulaire sus- et sous-talienne et de nécrose du corps du talus. Cette éventualité évolutive peut être précisée soit par l'IRM, soit par une scintigraphie avec temps vasculaire précoce.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

En dehors de cette situation de nécrose qui peut imposer une arthrodèse tibio-talo-calcanéenne avec greffe osseuse, l'important est de préciser par la tomodensitométrie à la fois la consolidation des traits (pseudarthrose non exceptionnelle des fractures du col) et l'état articulaire en particulier de la sous-talienne (cal vicieux, subluxation, voire luxation persistante). La prise en charge impose de principe une correction de ces déplacements articulaires [20], le plus souvent complétée par une arthrodèse sous-talienne.

Calcaneus

Il s'agit d'une fracture fréquente, et l'absence ou l'insuffisance de réduction des formes déplacées mènent au cal vicieux dont tous les éléments doivent être analysés. Le cal vicieux articulaire thalamique est responsable d'enraidissement et de douleurs. Le cal vicieux du corps du calcaneus (associant raccourcissement, élargissement et déviation frontale) perturbe les appuis, entraîne un conflit sous-malléolaire latéral et rend difficile le chaussage.

La prise en charge repose sur l'analyse de ces lésions, cliniquement, par les radiographies de mesure d'axe (Méary) et par l'analyse tomodensitométrique. La correction doit tenir compte de tous ces éléments : rarement par une ostéotomie conservant la mobilité sous-talienne, le plus souvent par une arthrodèse sous-talienne rétablissant au moins une partie de la hauteur du calcaneus et, dans de nombreux cas, ostéotomie du calcaneus lui-même pour redonner à la tubérosité son épaisseur et son orientation. Le cal vicieux de la calcanéocuboïdienne peut nécessiter un geste propre.

Médio-pied

Les séquelles traumatiques sont dominées par les lésions du naviculaire, à ne pas confondre avec une malformation congénitale, qui sont responsables d'une pathologie douloureuse et déformante de la colonne médiale aux étages talonaviculaire et naviculocunéens. En cas de fracture à trait simple (fracture séparation pure) peut être envisagée une cure de pseudarthrose. Dans la plupart des cas, la restauration fonctionnelle passe par une arthrodèse talo-naviculo-cunéenne avec greffe osseuse pour rétablir longueur et morphologie de cette arche médiale.

Lisfranc

Là encore, la difficulté d'analyse radiologique des lésions initiales est facteur de méconnaissance ou de sous-évaluation d'une instabilité potentielle. Cette difficulté peut mener à une insuffisance thérapeutique avec évolution spontanée péjorative des lésions, qu'elles soient parcellaires ou totales columnospatulaires. La symptomatologie est dominée par la déformation douloureuse du pied le plus souvent en abduction métatarsienne. Le bilan lésionnel exact repose sur le scanner avec reconstruction bi- et tridimensionnelle. La prise en charge sous-entend une reposition de l'ensemble du Lisfranc, complétée par une arthrodèse des rayons médians respectant, quand ils ne sont pas trop altérés, la mobilité des deux rayons latéraux [21]. Les difficultés sont à la correction exacte et à l'obtention de la consolidation.

Conclusion

Chez l'adulte, une prise en charge initiale des traumatismes de la cheville et du pied est évidemment préférable et de meilleur pronostic. Au stade des séquelles, une analyse rigoureuse, une prise en charge reposant sur la restauration anatomique quand elle est possible et, dans les autres cas, sur les sacrifices articulaires restaurant de bons alignements et de bons appuis peut apporter de bons résultats. Il faut insister sur le risque qu'il y a à parler de douleurs inexpliquées « séquellaires » ou de syndrome algodystrophique, rare au niveau de la cheville ou de l'arrière-pied : la prise en charge purement symptomatique risque de faire perdre du temps, et des chances de restauration d'une fonction correcte.

Chez l'enfant, la même rigueur doit présider à la prise en charge des lésions traumatiques, en sachant que si le potentiel de remodelage par la croissance peut avoir des effets bénéfiques, il peut aussi être responsable de déformations évolutives par stérilisation des cartilages de croissance.

Références

1 Canale ST, Kelly FB Jr. Fractures of the neck of the talus. Long-term evaluation of seventy-one cases. J Bone Joint Surg Am 1978 ; 60 : 143-56.

2 Schulze W, Richter J, Russe O, Ingelfinger P, Muhr G. Surgical treatment of talus fractures : a retrospective study of 80 cases followed for 1–15 years. Acta Orthop Scand 2002 ; 73 : 344-51.

3 Hawkins LG. Fractures of the neck of the talus. J Bone Joint Surg Am 1970 ; 52 : 991-1002.

4 Rammelt S, Zwipp H, Gavlik JM. Avascular necrosis after minimally displaced talus fracture in a child. Foot Ankle Int 2000 ; 21 : 1030-6.

5 Jensen I, Wester JU, Rasmussen F, Lindequist S, Schantz K. Prognosis of fracture of the talus in children. 21 (7–34)-

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

year follow-up of 14 cases. Acta Orthop Scand 1994 ; 65 : 398-400.
6 Anderson IF, Crichton KJ, Grattan-Smith T, Cooper RA, Brazier D. Osteochondral fractures of the dome of the talus. J Bone Joint Surg Am 1989 ; 71 : 1143-52.
7 Curvale G. Pathologie traumatique du talus (astragale). Conférence d'enseignement de la SOFCOT 1999, n° 70. Paris : Elsevier ; 2000. p. 87-101.
8 Mazel C, Rigault P, Padovani JP, Finidori G, Touzet P. Fractures of the talus in children. A propos of 23 cases. Rev Chir Orthop Réparatrice Appar Mot 1986 ; 72 : 183-95.
9 Rigault P, Padovani JP, Kliszowski H. Les fractures du calcaneum chez l'enfant : à propos de 26 cas. Ann Chir Infant 1973 ; 14 : 115-34.
10 Pickle A, Benaroch TE, Guy P, Hervey EJ. Clinical outcome of pediatric calcaneal fractures treated with open reduction and internal fixation. J Pediatr Orthop 2004 ; 24 : 178-80.
11 Brunet JA. Calcaneal fractures in children. Long-term results of treatment. J Bone Joint Surg Br 2000 ; 82 : 211-6.
12 Schmidt TL, Weiner DS. Calcaneal fractures in children. An evaluation of the nature of the injury in 56 children. Clin Orthop Relat Res 1982 ; 171 : 150-5.
13 Wiley JJ, Profitt A. Fractures of the os calcis in children. Clin Orthop Relat Res 1984 ; 188 : 131-8.
14 Ceroni D, De Rosa V, De Coulon G, Kaelin A. Cuboid nutcracker fracture due to horse back riding in children. Case series and revue of the literature. J Pediatr Orthop 2007 ; 27 : 557-61.
15 Sangeorsin BJ, Benirschke SK, Mosca V. Displaced intra articular fractures of the tarsal navicular. J Bone Joint Surg Am 1989 ; 71 : 1505-10.
16 Haapamaki VV, Kiuru MJ, Koskinen SK. Ankle and foot injuries : analysis of MDCT findings. Am J Roentgenol 2004 ; 183 : 615-22.
17 Roberts C, Sherman O, Bauer D, Lusskin R. Ankle reconstruction for malunion by fibular osteotomy and lengthening with direct control of the distal fragment : a report of three cases and review of the literature. Foot Ankle 1992 ; 13 : 7-13.
18 Becker AS, Myerson MS. The indications and technique of supramalleolar osteotomy. Foot Ankle Clin 2009 ; 14 : 549-61.
19 Weber M, Ganz R. Malunion following trimalleolar fracture with posterolateral subluxation of the talus reconstruction including the posterior malleolus. Foot Ankle Int 2003 ; 24 : 338-44.
20 Rammelt S, Winkler J, Heineck J, Zwipp H. Anatomical reconstruction of malunited talus fractures : a prospective study of 10 patients followed for 4 years. Acta Orthop 2005 ; 76 : 588-96.
21 Rammelt S, Schneiders W, Schikore H, Holch M, Heineck J, Zwipp H. Primary open reduction and fixation compared with delayed corrective arthrodesis in the treatment of tarsometatarsal (Lisfranc) fracture dislocation. Bone Joint Surg Br 2008 ; 90 : 1499-506.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied inflammatoire

T. LEEMRIJSE[1], T. ODENT[2]

Introduction

Un certain nombre de situations inflammatoires sont à l'origine d'une pathologie articulaire susceptible d'en altérer la fonction, voire de nécessiter une solution chirurgicale. Les atteintes du pied et de la cheville sont fréquentes [1]. À chaque étiologie et quel que soit l'âge, l'arrière-pied et la cheville peuvent être touchés. C'est bien sûr la polyarthrite rhumatoïde qui est le plus souvent rencontrée chez l'adulte ; chez l'enfant, c'est l'arthrite juvénile idiopathique qui regroupe des affections dont la présentation clinique et l'évolution sont très diverses.

Les grands syndromes

Arthrite juvénile idiopathique

Les atteintes inflammatoires rhumatismales survenant chez les enfants âgés de moins de 16 ans sont dénommées arthrites juvéniles idiopathiques, ou *juvenile idiopathic arthritis* (JIA) dans la littérature internationale [2]. Cette dénomination regroupe des pathologies hétérogènes dans leurs manifestations articulaires et les symptômes généraux qui peuvent être associés (JIA à forme systémique). La prévalence de cette pathologie varie de 0,07 à 4,01 pour 1000 enfants en fonction de l'origine géographique [3]. Ces pathologies sont plus fréquentes chez les jeunes filles avec un pic d'incidence entre 1 et 3 ans. Différentes formes sont décrites : les formes mono-, oligo- et polyarticulaires et les formes systémiques, en fonction du nombre d'articulations atteintes et du tableau clinique. Ces pathologies sont fréquemment compliquées d'une atteinte oculaire avec une uvéite qu'il faut rechercher systématiquement.

La prise en charge de ces affections a été beaucoup modifiée ces dernières années avec l'utilisation de traitements immunosuppresseurs et le recours aux infiltrations locales de sels de corticoïdes. Il est encore trop tôt pour apprécier l'effet de ces nouveaux traitements, mais on peut penser qu'un meilleur contrôle de l'inflammation synoviale donnera moins de déformation et de destruction articulaire à long terme.

Polyarthrite rhumatoïde

Ce rhumatisme inflammatoire, qui est classiquement symétrique chez l'adulte, touche très fréquemment le membre supérieur aux poignets et aux mains, et s'accompagne d'une raideur matinale. Les déformations articulaires sont absentes au début de la maladie puis s'observent suite aux érosions articulaires. L'atteinte du pied est particulièrement fréquente, qu'il s'agisse de formes précoces révélatrices (30 %) ou d'atteinte au cours de l'évolution de la maladie. Soixante-dix pour cent des patients présentent des invalidités douloureuses liées à la localisation au pied de leur maladie [4,5]. Elle est grave sur le plan fonctionnel et un tiers des patients atteignent une invalidité suffisante pour justifier un geste chirurgical.

Biologiquement, on recherche la présence de facteurs rhumatoïdes (70 % des cas) qui a une valeur pronostique. La présence d'anticorps anticitrulline est très spécifique de la maladie mais n'est positive que dans 50 à 60 % des cas.

Comme pour le lupus érythémateux, qui sera évoqué plus bas, le diagnostic repose sur des critères cliniques et biologiques validés ; cependant il n'est pas rare qu'il soit impossible au début des symptômes de porter le diagnostic avec certitude.

Actuellement, la prise en charge médicale par les immunothérapies, entre autres, modifie fortement le tableau clinique de la polyarthrite rhumatoïde qui se trouve de moins en moins stéréotypé. La prise en charge chirurgicale s'en voit certainement elle aussi modifiée.

Lupus érythémateux disséminé

Le lupus à début pédiatrique est considéré comme une maladie rare, mais 10 à 17 % des cas sont diagnostiqués avant l'âge de 16 ans. Dans cette forme, il est sévère [6]. L'atteinte de l'appareil locomoteur est fréquente et se manifeste par une atteinte polyarticulaire non érosive. Ces arthrites sont rarement destructrices.

[1]Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, cliniques universitaires Saint-Luc, 10, avenue Hippocrate, 1200 Bruxelles, Belgique.
[2]Service de chirurgie orthopédique pédiatrique, hôpital Necker Enfants malades, 149, rue de Sèvres, 75020 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Dans sa forme adulte, il présente en général des manifestations polyarticulaires. Il est moins destructeur sur le plan articulaire que la polyarthrite rhumatoïde. L'interrogatoire doit rechercher d'autres signes fréquemment associés comme des anomalies cutanées, un syndrome de Raynaud, une photosensibilisation, une synovite, une atteinte rénale ou hématologique. Le lupus est caractérisé par la mise en évidence d'anticorps antinucléaires (anti-DNA).

Syndrome de Sjögren

L'inflammation est souvent modérée avec fréquemment de simples arthralgies cependant rebelles aux antalgiques simples et aux anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS). Chez l'enfant, il s'agit essentiellement d'arthralgies ou de polyarthrites non déformantes, volontiers asymétriques, touchant les petites articulations. Les symptômes principaux sont un syndrome sec, buccal et oculaire. Les caractéristiques biologiques sont la présence d'anticorps antinucléaires. Rappelons qu'un syndrome de Sjögren peut accompagner un lupus ou une polyarthrite rhumatoïde.

Spondylarthropathies

Les spondylarthropathies représentent environ 15 à 20 % de l'ensemble des JIA. Les antécédents familiaux sont retrouvés dans 30 % des cas. La présentation initiale de l'atteinte articulaire n'a pas de particularité notable. Dans les formes sévères, après plusieurs années d'évolution, une atteinte ankylosante peut survenir, réalisant l'image de tarsite fusionnante (figure 1).

La spondylarthrite ankylosante est caractérisée par une sacro-iléite précoce suivie par une inflammation rachidienne. L'antigène HLA B27 est positif. La radiographie des sacro-iliaques présente un intérêt certain en cas de suspicion de spondylarthrite ankylosante, mais elle peut être normale au début. La talalgie et l'entésopathie du tendon calcanéen doivent faire évoquer ce diagnostic. Le plus souvent oligoarticulaires et asymétriques, les spondylarthropathies incluent la spondylarthrite ankylosante, le rhumatisme psoriasique, les arthrites réactionnelles et les rhumatismes inflammatoires associés aux maladies digestives.

Pour le rhumatisme psoriasique, on retrouve des lésions cutanées (zone de flexion, cuir chevelu, nombril), actuelles ou dans les antécédents personnels ou



Figure 1. Tarsite fusionnante associée à une spondylarthrite ankylosante de l'enfant.
a. Radiographie du pied de profil. **b.** Évaluation de face. Déformation et fusion. **c.** Aspect IRM montrant la fusion sous-talienne et la déformation de l'arrière-pied. Réaction inflammatoire des enthèses.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

familiaux du patient. Ces signes cutanés peuvent apparaître secondairement (rhumatisme psoriasique sans psoriasis). Les atteintes articulaires sont caractérisées par l'érosion hyperostosante, la périostite, l'ankylose des petites articulations du pied. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) permet de visualiser l'œdème des enthèses et la prise du contraste. Le cartilage est moins atteint que dans la polyarthrite [7].

Le syndrome de Reiter est caractérisé par la triade conjonctivite, oligoarthrite et urèthrite stérile survenant quelques semaines après une infection qui n'est souvent pas identifiée. Les manifestations moins classiques incluent une balanite circinée, un iritis. Certains patients n'ont que des manifestations articulaires, on parle alors d'arthrite réactionnelle. Il s'agit typiquement d'un rhumatisme affectant les hommes jeunes et qui débute exceptionnellement chez le sujet âgé.

Vascularites

Elles sont définies par l'inflammation des vaisseaux sanguins et classifiées selon le calibre des vaisseaux atteints. Dans ces pathologies, l'atteinte articulaire est rarement au premier plan chez l'enfant. La maladie de Horton peut être classiquement associée à une pseudopolyarthrite rhizomélique (PPR). La maladie de Henoch-Schönlein est une vascularite dont une des caractéristiques est l'arthralgie. La cheville et le genou peuvent être touchés.

Arthrites métaboliques

Les arthropathies microcristallines sont principalement représentées par la goutte et la chondrocalcinose (dépôts de pyrophosphate de calcium). L'hyperlipidémie (xanthome intratendineux) [figure 2], l'hémochromatose et d'autres maladies héréditaires d'accumulation peuvent générer des pathologies de l'arrière-pied.

Goutte

Elle est exceptionnelle chez l'enfant mais peut se retrouver dans le syndrome de Lesch-Nyhan qui y associe un retard mental, en cas de déficit enzymatique ou lors d'une chimiothérapie [8]. La goutte est évidente dans sa forme typique ; cependant, la présentation de l'arthrite goutteuse semble changer particulièrement chez les sujets âgés. On rapporte de plus en plus des formes polyarticulaires chroniques qui peuvent ne pas avoir été précédées d'épisode aigu, peut-être parce que ces derniers ont été masqués par l'usage très répandu des AINS. Cette arthropathie microcristalline est caractérisée par des dépôts intra-articulaires ou périarticulaires de cristaux d'urate de sodium. C'est le rhumatisme inflammatoire le plus fréquent dans nos pays industrialisés (prévalence > 1 %), en particulier chez l'homme adulte.



Figure 2. Xanthome du tendon calcanéen, IRM, T1 TSE Sag FS, dissociation des fibres.

La goutte est souvent associée à une hyperuricémie chronique supérieure à 7 mg/dl (80 %), mais son absence n'exclut pas le diagnostic. De plus, l'hyperuricémie en soi n'est pas diagnostique. Par exemple, 36 % des pseudogouttes (accès aigu à pyrophosphate de calcium) peuvent avoir une hyperuricémie associée. Le diagnostic est confirmé par l'analyse du liquide synovial au microscope polarisant (cristaux d'urate monosodique biréfringents). Les facteurs de risque de l'hyperuricémie sont l'âge avancé, l'altération progressive de la fonction rénale favorisée par l'utilisation de diurétiques, une prise de poids, une déshydratation, l'ingestion d'alcool et une histoire familiale de goutte.

Les accès goutteux débutent habituellement au membre inférieur, en particulier au pied (articulation métatarsophalangienne du gros orteil, cheville, puis genou). Les caractéristiques des accès sont : leur début brutal, une inflammation et des douleurs intenses, la localisation à l'hallux et leur sensibilité rapide à la colchicine. Ces accès inflammatoires peuvent s'accompagner de fièvre, voire de frissons et d'une élévation de la protéine C réactive (CRP) avec hyperleucocytose. Au stade d'accès aigus, les articulations (et leur imagerie) sont normales entre les crises.

La goutte chronique se définit par la présence de tophus, par l'atteinte rénale et articulaire. Les arthropathies chroniques uratiques montrent à la radiographie : des géodes à l'emporte-pièce, un pincement de l'interligne articulaire,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 3. Radiographie du pied, arthropathie déformante sur hyperuricémie chronique.

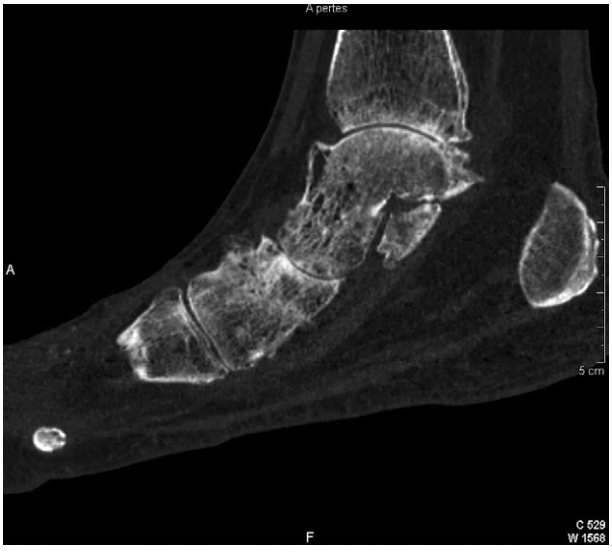


Figure 4. CT scanner de la cheville et du pied, arthropathie urique.
Fusion-ankylose naviculocunéenne.

une condensation sous-chondrale, des érosions (tophus) et des ostéophytes (figures 3 et 4). Au niveau du pied en particulier, on retrouve à la radiographie un aspect hérissé dû aux ostéophytes. Le traitement est avant tout médical, la chirurgie s'adresse aux destructions articulaires sévères et douloureuses.

Chondrocalcinose

C'est une pathologie typiquement adulte qui affecte plutôt les femmes, et la forme polyarticulaire touche principalement les genoux ou les poignets. La chondrocalcinose peut être associée à des anomalies métaboliques ou endocrinologiques incluant l'hypothyroïdisme, l'hyperparathyroïdisme, l'hémochromatose. La présentation clinique peut être polymorphe, simulant une crise de goutte, une polyarthrite rhumatoïde ou une monoarthrite infectieuse. La chondrocalcinose peut accompagner d'autres maladies inflammatoires rhumatismales, peut-être parce que l'inflammation favorise le dépôt des cristaux; de même, la présence de calcifications des fibrocartilages (ménisque, ligament triangulaire du poignet) peut être rencontrée fréquemment chez des sujets âgés asymptomatiques.

Dans ces deux affections, le meilleur test diagnostique est une ponction articulaire avec un examen rapide en microscopie polarisée afin de mettre en évidence la présence de microcristaux.

Hémochromatose

L'atteinte articulaire de cette maladie génétique caractérisée par des dépôts de fer est retrouvée au niveau de la cheville où le processus peut être destructif. Son traitement de base reste la saignée, mais influence peu l'évolution de cette arthropathie [9].

Sclérodermies

Elles sont définies comme une affection du tissu conjonctif, des artérioles et des microvaisseaux, avec fibrose et oblitération vasculaire, pouvant toucher la peau mais aussi les viscères. Dans la forme cutanée localisée, en bande ou morphée, l'atteinte cutanée et du tissu conjonctif sous-jacent peut entraîner des déformations des articulations et du squelette osseux lors de la croissance.

Évaluation clinique et paraclinique

Aspect clinique

Chez l'enfant et dans la polyarthrite juvénile, les déformations sont associées à l'atteinte synoviale des articulations de l'arrière-pied. L'évolution se fait progressivement vers l'ankylose articulaire et la fusion osseuse. Les déformations de l'arrière-pied sont le plus souvent rencontrées en cas d'atteinte systémique (80 % des patients, pour 40 % des patients dans les autres formes) [10]. Mavidrou et al. ont montré que les déformations de l'arrière-pied étaient plus fréquentes

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 5. Forme systémique d'arthrite juvénile idiopathique chez une patiente de 15 ans.
Forme systémique de JIA. Atteinte de l'arrière-pied gauche avec déformation en varus et raccourcissement.



Figure 6. Instabilité du ligament collatéral médial sur triple arthrodèse.

que celles de l'avant-pied [11]. Rauflaub et al. ont rapporté une série de 100 patients ayant une JIA avec une atteinte de l'arrière-pied ; 38 % des patients présentaient une déformation en varus (figure 5) et 62 % des patients en valgus [12].

Chez l'adulte, la polyarthrite reste de loin la présentation inflammatoire la plus fréquente et nous la prendrons comme guide. L'examen en station debout visualise au mieux la déformation éventuelle de l'arrière-pied, l'évolution vers le pied plat valgus étant de loin la plus fréquente. Bien qu'elle soit plus longtemps mieux tolérée, la déformation de l'arrière-pied ne doit pas pour autant être négligée. La désaxation en valgus a toujours tendance à s'aggraver sous la loi de la pesanteur et est responsable, entre autres, d'une hyperpression du 1er rayon [13]. Par ailleurs, la désaxation de l'arrière-pied peut être responsable d'une évolution péjorative au niveau de la cheville, par surcharge de contrainte mécanique sur un de ses versants articulaires, avec ou non faillite progressive du ligament collatéral médial [14] (figure 6). Une bonne compréhension biomécanique peut aider à la prise en charge thérapeutique [15].

L'atteinte de la cheville est plus rare, sauf dans les polyarthrites juvéniles, où elle est présente dans plus de la moitié des cas [16]. La mobilité est souvent conservée et les douleurs peuvent être responsables d'une invalidité importante.

La maladie lupique a la caractéristique de mimer une déformation « *rhumatoid like* » sans pour autant évoluer a priori vers une atteinte érosive et destructrice. Cette relative hyperlaxité rend l'approche thérapeutique délicate et spécifique.

Les arthropathies microcristallines sont bruyantes et parfois très destructrices, comme dans certaines gouttes.

Aspect paraclinique

L'évaluation clinique est complétée par un bilan radiographique comparatif des deux pieds et chevilles en charge avec incidences de face et de profil. Les atteintes radiologiques des articulations de l'arrière-pied sont notées avec une localisation fréquente au niveau de l'articulation talonaviculaire, puis de la sous-talienne qui est presque systématiquement associée. On s'attachera à décrire l'atteinte articulaire et abarticulaire, l'aspect érosif et sa situation, les déformations, les ankyloses, les dépôts éventuels.

Le scanner présente une utilité majeure pour caractériser l'image articulaire (figure 7). L'IRM et l'échographie, principalement chez l'enfant, permettent d'évaluer la composante synoviale et d'apprécier la réponse thérapeutique médicale [17] (figure 8). L'imagerie par radiographie, scanner ou échographie permet également la réalisation de gestes thérapeutiques ciblés comme les infiltrations sélectives de dérivés cortisonés (figure 9).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

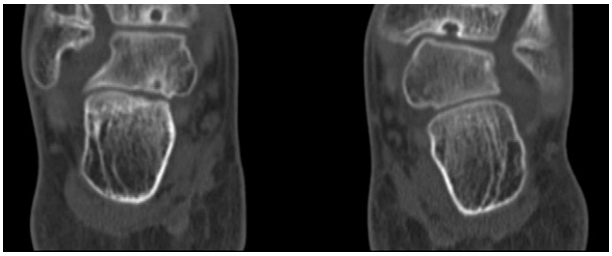


Figure 7. Analyse fine au CT scanner des atteintes talocrurale et sous-talienne (JIA).

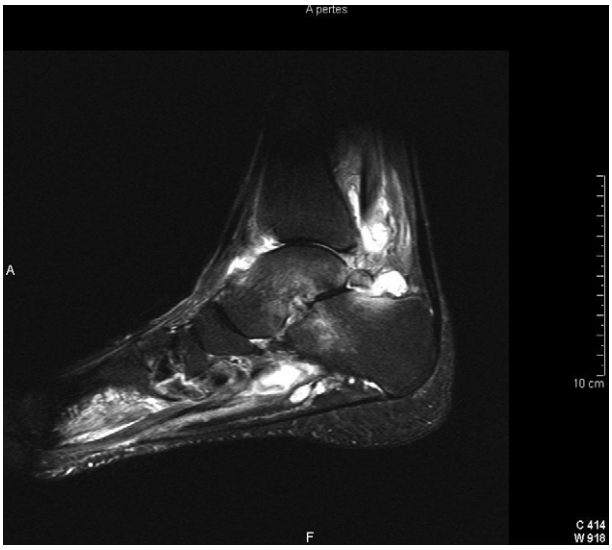


Figure 8. Exploration IRM de la cheville dans une JIA, remarquables épanchements articulaires et œdème inflammatoire intraosseux.



Figure 9. Avantage des infiltrations sélectives radioguidées chez l'enfant.

Prise en charge médicale

La prise en charge médicamenteuse a pour but d'obtenir un contrôle complet de la maladie. Elle repose sur des anti-inflammatoires stéroïdiens en première intention dans la plupart des cas. Le méthotrexate est l'agent de choix de seconde ligne. En troisième ligne, on utilise l'Embrel® (molécule capable de se fixer sur le récepteur du TNFα). La prescription de ces traitements doit se faire en étroite collaboration entre rhumatologue pédiatre et chirurgien. Il faut également mentionner les modalités évolutives de ces maladies chez l'enfant : une seule poussée qui peut durer quelques mois, une évolution récurrente faites de poussées entrecoupées de rémission ou une évolution permanente, sans répit dans les formes les plus sévères. Lors du début de l'affection et lors de « poussées inflammatoires », il faut insister sur la nécessité de faire des immobilisations en position de fonction afin de prévenir les déformations articulaires et d'y associer de la rééducation pour éviter les rétractions musculotendineuses.

Chez l'enfant et principalement dans la JIA, il existe des atteintes articulaires avec une synovite importante et des formes « sèches ». Il est classique de dire que les formes sèches entraînent plus régulièrement des destructions articulaires importantes. Les troubles de croissance associés aux manifestations inflammatoires sont fréquents [3]. Les troubles de croissances peuvent également être causés par les traitements associés (cortisone, immunosuppresseurs) et l'ostéoporose dont l'origine est multifactorielle (immobilisation, traitements…). Toutes les déformations sont possibles.

Le traitement de l'adulte est également basé sur une collaboration médicochirurgicale. Au stade initial, en présence d'une inflammation globale du pied, la prise en charge repose sur le traitement de fond de la pathologie inflammatoire :

- anti-inflammatoires, corticothérapie générale, immunosuppresseurs et anti-TNF plus récemment ;
- au niveau du pied, la possibilité d'infiltrations locales de corticoïdes, les synoviorthèses en présence d'une atteinte articulaire localisée.

Il existe exceptionnellement des indications de synovectomie, car les lésions réagissent régulièrement au traitement médical. La kinésithérapie ne doit pas être négligée ; entreprise de façon précoce, elle lutte contre les raideurs articulaires et retarde l'apparition des déformations fixées. De même, les orthèses sont un appoint thérapeutique important : orthèses nocturnes de repos ou de correction dont l'action est limitée mais réelle ; orthèses de protection (orthoplasties) évitant l'apparition d'ulcérations et diminuant le conflit douloureux pied-chaussure, semelles orthopédiques soulageant les déformations de l'arrière-pied ou de la cheville. Le chaussage sur mesure est également un appoint utile. Lorsque les déformations deviennent trop importantes,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

les traitements médicaux sont insuffisants et il faut recourir au traitement chirurgical, mais le traitement médical reste un prérequis indispensable [18].

Des complications peuvent survenir chez ces patients de par leur maladie systémique ; l'utilisation de certains médicaments induit des problèmes spécifiques comme les troubles de cicatrisation, le retard de consolidation ou les infections. De plus, ces patients exigent de multiples chirurgies. Malgré ces difficultés, les résultats restent fréquemment favorables. La plupart des complications peuvent être traitées avec succès et l'échec global des opérations retenues est finalement faible. Cependant, la reconstruction chirurgicale des déformations des pieds et chevilles chez les patients atteints de polyarthrite rhumatoïde doit être méticuleusement planifiée et techniquement parfaitement réalisée [19].

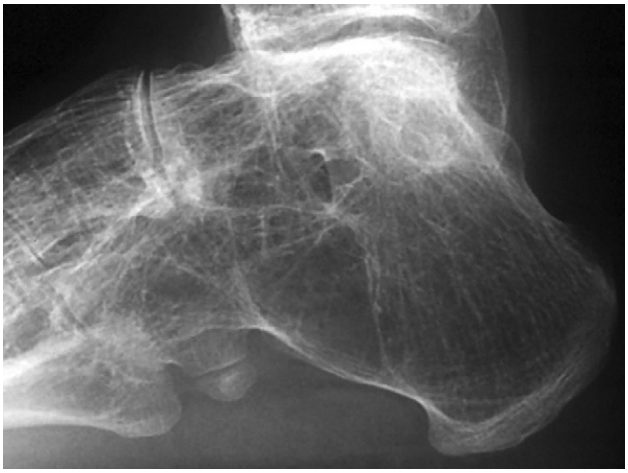


Figure 10. Radiographie de profil. Atteinte sous-talienne et calcanéocuboïdienne avec fusion osseuse et de l'articulation talonaviculaire avec ankylose articulaire.

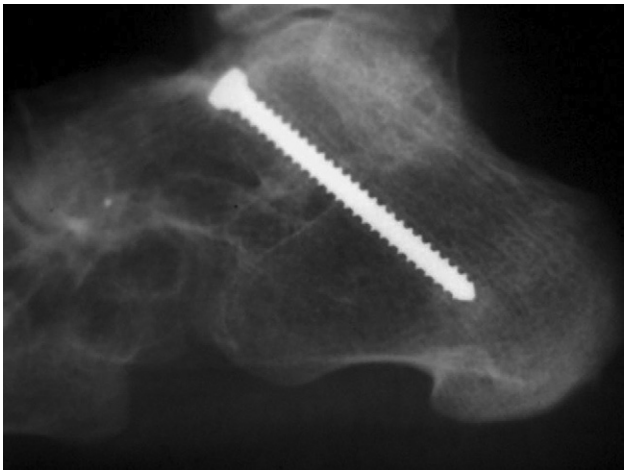


Figure 11. Ostéotomie de réaxation réalisée par fermeture latérale réalisée dans l'articulation sous-talienne fusionnée et complément d'arthrodèse talonaviculaire.

Approche chirurgicale de l'arrière-pied

Chirurgie chez l'enfant

Chez l'enfant, les déformations sont en règle générale bien tolérées jusqu'à l'adolescence et nécessitent simplement quelques adaptations du chaussage. Le port régulier d'attelles, notamment la nuit, permet de limiter les attitudes vicieuses associées. La chirurgie est réalisée à maturité osseuse qui elle-même est souvent retardée de quelques années. Le bilan préopératoire doit évaluer ces différents aspects : traitement en cours, épuisement des différentes lignes thérapeutiques, ostéoporose, immunosuppression, retard de croissance… Tous ces paramètres sont à évaluer avec le rhumatologue pédiatre.

Le contrôle de l'inflammation synoviale repose sur le traitement médical de fond et local. Les synovectomies chirurgicales ont des indications exceptionnelles avec un risque d'enraidissement articulaire important. Compte tenu de l'atteinte articulaire primitive, pour le traitement des désaxations, il y a peu de place pour les chirurgies extra-articulaires type ostéotomie de Dwyer du calcaneus. Les épiphysiodèses asymétriques de la malléole médiale pour corriger le valgus n'ont pas été rapportées dans ces pathologies. Compte tenu du retard de croissance et de l'effet des traitements sur la physe (corticoïdes), leur prévision nous semble hasardeuse. Lorsque l'on s'approche de la fin de croissance, s'il existe des destructions articulaires plus ou moins associées à des troubles de la statique de l'arrière-pied, des corrections par des ostéotomies de réaxation associées à des arthrodèses sont indiquées (figures 10 et 11). Le but est de redonner un bon alignement dans les plans sagittal et frontal en prenant en compte les éventuelles atteintes associées des articulations sus- et sous-jacentes et des déformations d'origine osseuse. Les techniques ne diffèrent pas de celles utilisées chez l'adulte.

Chirurgie chez l'adulte

Introduction

Dans le cadre de la polyarthrite rhumatoïde, les poussées inflammatoires sont responsables d'une destruction progressive des articulations talonaviculaire et sous-taliennes postérieure et antérieure. L'étiopathogénie de cette déformation trouve également son explication dans la

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 12. Fracture de fatigue de la malléole fibulaire sur désaxation de l'arrière-pied en valgus.

perte fonctionnelle du tendon du tibial postérieur, lui aussi soumis aux agressions répétitives des synovites péritendineuses qui aboutissent à sa dysfonction puis à sa rupture. Secondairement aux distensions progressives des capsules articulaires et aux contraintes exercées par la pesanteur, le pied se déforme. Si le valgus est important, un retentissement fonctionnel et mécanique au niveau du bord latéral de l'articulation talocrurale parfois associé à une arthropathie latérale de cette articulation est observé. La fracture de fatigue de la malléole fibulaire associée à l'incompétence du ligament collatéral médial est un facteur de très mauvais pronostic sur la stabilité de la cheville et imposera presque obligatoirement une chirurgie d'arthrodèse (figure 12). Il est donc impératif de stabiliser ces lésions lorsque le pied plat valgus apparaît d'une part, et de prendre un soin maximal pour corriger la désaxation d'autre part. La triple arthrodèse est donc la procédure spécifique de correction chirurgicale, car elle seule est capable de garantir une bonne fusion des différents interlignes et de corriger la déformation tridimensionnelle que présentent ces patients [20].

D'un point de vue clinique, différents stades peuvent être décrits :

- destructions articulaires sans désaxation majeure ;
- destructions articulaires associées à une désaxation importante mais relativement réductible ;
- formations évoluées non réductibles, voire subluxation quasi totale de l'articulation talonaviculaire avec un appui de la tête talienne au sol.

À côté du traitement médical qui reste de mise dans toute prise en charge de pathologie inflammatoire, la prescription d'orthèse de confort ou stabilisatrice de l'arrière-pied *(University Californy Berkeley Laboratory [UCBL] orthosis, Ankle foot orthosis [AFO] brace…)* et le port de chaussures orthopédiques peuvent être une solution de soulagement de la symptomatologie douloureuse. Leur refus, leur intolérance ou la persistance de la symptomatologie douloureuse font évoluer vers une solution chirurgicale.

Chirurgie des tissus mous

La pathologie inflammatoire peut être responsable de synovite incontrôlée par le traitement de fond et les infiltrations de dérivé cortisoné ainsi que de lésion tendineuse, principalement le tendon du tibial postérieur. Les bursites, par exemple rétrocalcanéennes, également rebelles, peuvent justifier d'une résection chirurgicale. Les nodules rhumatoïdes sont des masses mobiles parfois responsables d'irritation de structure cutanée ou tendineuse comme celle du tendon calcanéen, leur résection peut dès lors s'avérer utile.

Les synovites sont retrouvées principalement au niveau des gaines tendineuses fibulaires, tibiales antérieure ou postérieure. On les observe également autour des tendons fléchisseurs et elles sont parfois la cause d'une compression du nerf tibial au niveau de son tunnel tarsien. Le traitement résiduel par tendinoscopie permet de soulager les symptômes par un débridement au *shaver*. La voie chirurgicale reste une option rarement utile.

La dysfonction du tendon tibial postérieur suite aux poussées inflammatoires peut parfois faire discuter des procédures de reconstruction et de renfort par un tendon long fléchisseur de l'hallux ou des orteils à condition que la déformation soit souple, les articulations saines et la maladie médicalement contrôlée. C'est principalement dans le cadre de la maladie lupique, peu érosive, que ce cas de figure peut être observé. C'est alors une alternative aux arthrodèses.

Il ne faut pas négliger l'importance de l'évaluation de la rétraction du tendon calcanéen qui peut décompenser une métatarsalgie ou pérenniser une désaxation en valgus. L'allongement de la lame des gastrocnémiens par une voie postérieure ou médiale (Strayer) permet très souvent une amélioration de cette symptomatologie. C'est également un geste d'appoint essentiel dans les reconstructions du tendon tibial postérieur. Quoi qu'il en soit, si la maladie n'est pas stabilisée, les déformations récidivent, ce qui fait poser les limites de ces différentes stratégies thérapeutiques.

Pour les rhumatismes abarticulaires, comme dans les gouttes, la résection de tophus goutteux peut éviter l'évolution d'ulcérations cutanées à l'origine d'éventuelle surinfection articulaire.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

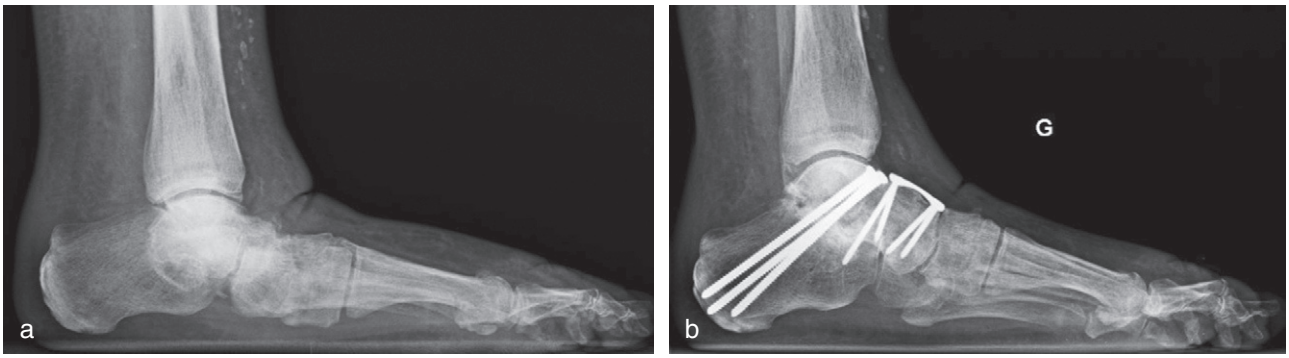


Figure 13. Pied plat valgus sévère, dislocation péritalienne.
a. Radiographie préopératoire de profil. b. Correction postopératoire, fusion sous-talienne et talonaviculaire sans raccourcissement calcanéocuboïdien.

Chirurgie ostéoarticulaire

Les ostéotomies de réaxation du calcaneus sont rarement proposées dans le cadre de la polyarthrite rhumatoïde, sauf en association au geste de reconstruction du tendon tibial postérieur dans le cadre du pied plat valgus avec les limitations déjà précisées. Notre faible expérience dans le cadre des lupus nous fait penser que ces corrections extra-articulaires peuvent être utiles.

L'arthrodèse des interlignes des articulations incriminées est la seule procédure actuellement validée dans la reconstruction de l'arrière-pied rhumatoïde. Aucune prothèse n'est actuellement disponible dans le remplacement des articulations sous-taliennes ou de l'interligne de Chopart.

Notre option thérapeutique de choix dans les atteintes de l'arrière-pied est une fusion systématique des articulations talonaviculaire et sous-talienne. Fréquemment, comme d'autres auteurs [21,22], nous conservons la calcanéocuboïdienne afin de ne pas réduire la longueur du pied calcanéen, son atteinte inflammatoire étant par ailleurs peu fréquente (figure 13). La fusion talonaviculaire isolée, bien qu'elle stabilise parfaitement les articulations sous-talienne et calcanéocuboïdienne, n'a pas notre faveur. Sa fusion est souvent difficile à obtenir sans aviver la sous-talienne. Son exposition et sa compression restent difficiles, obligeant parfois à la mise en place d'un greffon; la correction tridimensionnelle de ces pieds désaxés est impossible par la correction de ce seul interligne. Lorsqu'il existe une désaxation sévère, l'ensemble des interlignes est avivé et réorienté (triple arthrodèse). De même, toute arthropathie destructrice (goutte, hémochromatose…) avec ou sans désaxation peut bénéficier de cette solution antalgique.

Chirurgie de l'articulation talocrurale

L'atteinte de la cheville est relativement spécifique de la polyarthrite rhumatoïde et particulièrement de la polyarthrite juvénile, et se voit souvent traitée chez le jeune adulte. Actuellement, différentes procédures chirurgicales permettent de prendre en charge les lésions talocrurales et sont parfois complémentaires : l'arthroscopie-lavage est proposée au stade débutant; la synovectomie complète une thérapeutique médicamenteuse sur une articulation rebelle; l'ostéotomie supramalléolaire permet parfois un sauvetage articulaire transitoire. Il se discute ensuite les indications d'arthrodèse ou de prothèse totale de cheville.

Lavage-arthroscopie

La voie arthroscopique permet un lavage aisé de l'articulation talocrurale. Son efficacité est bien reconnue dans les arthrites septiques (diagnostique et thérapeutique) elle est également efficace dans les mono- ou oligoarthrites de diagnostic incertain, ou pour son effet antalgique dans certaines arthropathies microcristallines.

Synovectomie

Anciennement proposée à ciel ouvert, la synovectomie de la chambre antérieure est aisée et peut être complétée d'une arthroscopie par voie postérieure afin de nettoyer la chambre postérieure de la cheville.

Ses indications sont les synovites rebelles au traitement médical dans le cadre d'une polyarthrite rhumatoïde

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

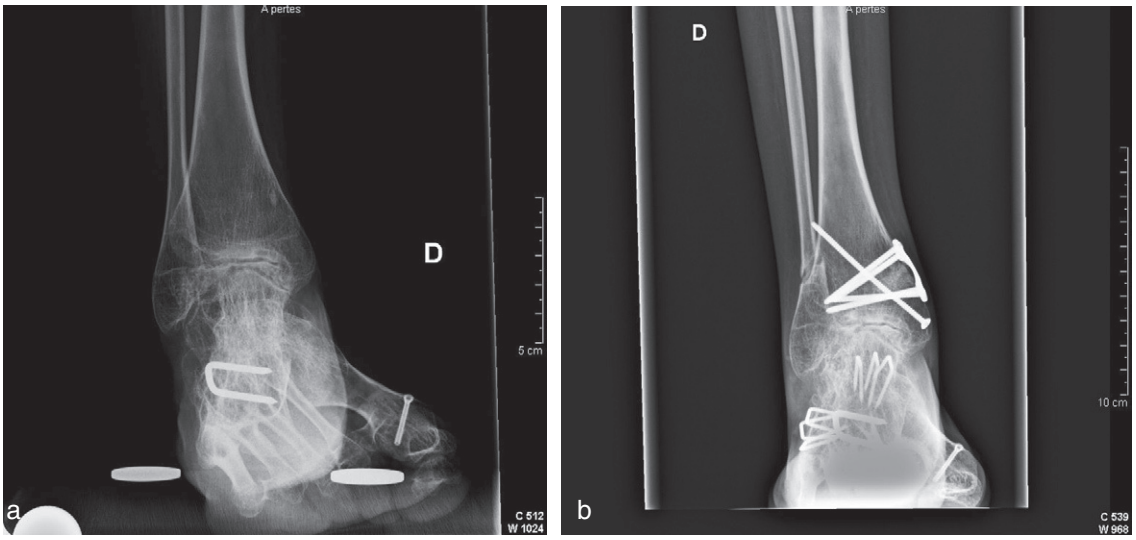


Figure 14. Désaxation supramalléolaire, séquelle de polyarthrite juvénile.
a. Supination globale, tarsite fusionnante, varus de l'arrière-pied, évaluation préopératoire de face. b. Ostéotomie supramalléolaire d'addition en respectant l'interligne talocrural, qui est réhorizontalisé.

ou à visée diagnostique sur des monoarthrites non étiquetées. L'arthroscopie permet la biopsie, le lavage et la résection synoviale. Ses limites antalgiques sont bien sûr l'atteinte articulaire évoluée.

Ostéotomie supramalléolaire

Les ostéotomies supramalléolaires peuvent parfois améliorer des situations d'ankylose avec désaxation, principalement chez les patients jeunes, où le recours à une chirurgie prothétique semble plus aléatoire, ou dans certaines situations d'ankylose diffuse, où il existe un défaut d'appui global du pied [23] (figure 14). Ces interventions permettent d'obtenir un pied plus plantigrade, souvent moins douloureux car mieux équilibré. Le spectre de ces indications reste cependant très étroit, mais utile à reconnaître.

Arthrodèse talocrurale

L'arthrodèse reste une excellente procédure en cas de dislocation ou d'atteinte articulaire isolée. Il est cependant important de rappeler certains principes thérapeutiques spécifiques à la polyarthrite rhumatoïde. L'association fréquente d'une atteinte de la cheville et d'un arrière-pied peut poser des problèmes spécifiques.

Certains facteurs comme l'ostéoporose, la prise de médicaments, l'état vasculaire et cutané doivent être parfaitement analysés. Ces données peuvent parfois orienter vers une chirurgie arthroscopique. Le mode de fixation influence peu le taux de fusion [24].

Lorsqu'il existe une atteinte pluriétagée, nous proposons la réalisation d'une arthrodèse de l'arrière-pied associée à la mise en place d'une prothèse totale de cheville. Différents cas de figure peuvent se présenter en fonction des désaxations et des atteintes articulaires.

Prothèse totale de cheville

L'atteinte de la cheville est prédominante et la désaxation peu importante, bien qu'il existe des lésions dégénératives débutantes de l'articulation sous-talienne. Notre proposition est alors la réalisation première de la prothèse totale de cheville et de surveiller l'évolution naturelle de l'articulation sous-talienne [25].

Comme déjà précisé, il est impératif de n'envisager la mise en place d'une prothèse totale de cheville que sur un membre et sur un arrière-pied axés, sous peine d'une faillite rapide de l'intervention. Il est donc impératif de réaxer parfaitement l'appui talonnier dans le cadre de la triple arthrodèse, de même qu'il est souhaitable de réaxer le tibia avant la mise en place d'une prothèse totale de cheville dans les grandes désaxations épiphysaires. En cas de désaxation de l'arrière-pied, celui-ci est corrigé dans le même temps opératoire [26] (figure 15).

La prothèse peut également être mise en place de nombreuses années après la réalisation d'une triple arthrodèse ou d'une arthrodèse sous-talienne isolée. S'il existe une désaxation importante, un geste de réaxation-arthrodèse de l'arrière-pied doit être proposé suivi, à la 6e semaine environ, de la mise en place

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

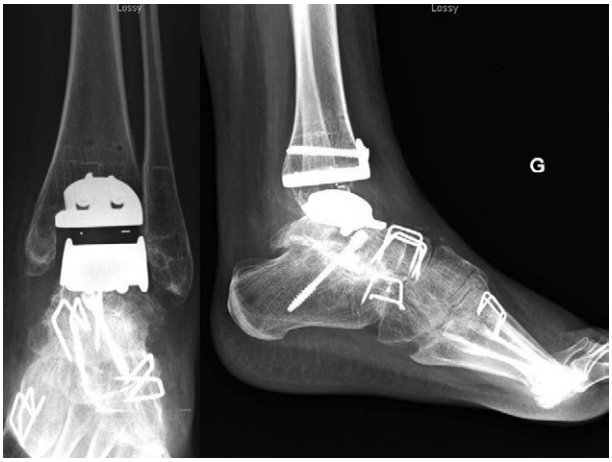


Figure 15. Radiographie d'une triple arthrodèse suivie d'une prothèse totale de cheville (Hintegra™, Newdeal) à 6 semaines.

d'une prothèse totale de cheville. Le patient débute dès lors sa rééducation vers le 2e mois. La prothèse totale de cheville ayant été posée 2 semaines auparavant, le repos a permis une bonne cicatrisation des tissus mous et particulièrement de la peau et des rétinacula. La réalisation d'une arthrodèse sous-talienne associée à la mise en place rapide d'une prothèse totale de cheville nécessite des précautions particulières, en respectant scrupuleusement la vascularisation osseuse au niveau du sinus du tarse et de l'articulation talonaviculaire.

Un geste d'arthrolyse médiale est banni, car il risque de dévasculariser fortement le talus et d'être responsable vers le 6e mois postopératoire d'une nécrose avec un effondrement complet de l'implant.

Ces procédures multiples imposent un bilan vasculaire précis et peuvent toujours se compliquer de problème de cicatrisation dont les répercussions peuvent être catastrophiques (révisions multiples, amputation, décès).

Panarthrodèse

Dans les grandes destructions ou suite à la faillite d'une prothèse totale de la cheville, la seule solution est la réalisation d'une arthrodèse tibio-talo-calcanéenne, parfois étendue au niveau du Chopart. La panarthrodèse est donc une solution de sauvetage d'un résultat fonctionnel souvent médiocre qui doit parfois être réalisée en un temps. Elle ne pose pas de problèmes thérapeutiques spécifiques et la stabilisation par clou centromédullaire associée à une ostéosynthèse du Chopart a notre préférence.

Conclusion

De par leur prise en charge pluridisciplinaire, les atteintes inflammatoires de la cheville et de l'arrière-pied se doivent d'être de moins en moins fréquentes. Certains patients cependant échappent aux traitements médicamenteux modernes et seront probablement des candidats à une chirurgie plus précoce. Elle doit cependant rester l'exception, principalement chez l'enfant et l'adolescent.

Plus tard, les années d'évolution laisseront parfois des déformations de l'arrière-pied dont le traitement d'alignement et de stabilisation par arthrodèse sera le plus fréquemment proposé. On retiendra que si la maladie est parfaitement contrôlée, il existe de multiples procédures de sauvetage conservatrices qui pourront être proposées et la seule articulation pouvant bénéficier d'une prothèse est la cheville. Elle ne pourra être envisagée que sur un arrière-pied axé et stable.

Références

1 Grondal L, Tengstrand B, Nordmark B, Wretenberg P, Stark A. The foot : still the most important reason for walking incapacity in rheumatoid arthritis : distribution of symptomatic joints in 1,000 RA patients. Acta Orthop 2008 ; 79 : 257-61.

2 (Eular) ELAR. Bulletin 3. The care of the rheumatic children nomenclature and classification of arthritis in children. Basle National Zeitung AG Munthe 1977 ; 47-50.

3 Manners PJ, Bower C. Worldwide prevalence of juvenile arthritis why does it vary so much ? J Rheumatol 2002 ; 29 : 1520-30.

4 Lipscomb PR. Surgery of the rheumatoid foot : preferable procedures. Rev Chir Orthop Réparatrice Appar Mot 1981 ; 67 : 375-82.

5 Michelson J, Easley M, Wigley FM, Hellmann D. Foot and ankle problems in rheumatoid arthritis. Foot Ankle Int 1994 ; 15 : 608-13.

6 Bader-Meunier B, Quartier P, Deschenes G, Cochat P, Haddad E. Kone-Paut I, et al. Childhood-onset systemic lupus erythematosus. Arch Pédiatr 2003 ; 10 : 147-57.

7 Tan AL, Grainger AJ, Tanner SF, Emery P, McGonagle D. A high-resolution magnetic resonance imaging study of distal interphalangeal joint arthropathy in psoriatic arthritis and osteoarthritis : are they the same ? Arthritis Rheum 2006 ; 54 : 1328-33.

8 Srivastava T, O'Neill JP, Dasouki M, Simckes AM. Childhood hyperuricemia and acute renal failure resulting from a missense mutation in the HPRT gene. Am J Med Genet 2002 ; 108 : 219-22.

9 Bailey EJ, Gardner AB. Hemochromatosis of the foot and ankle. Report of three cases and review of the literature. Clin Orthop Relat Res 1998 ; 349 : 108-15.

10 Ferrari F. A review of the foot deformities seen in juvenile chronic arthritis. The Foot 1998 ; 8 : 193-6.

11 Mavidrou A, Klenerman L, Swann M, Hall M, Ansell BM. Conservative management of the hindfoot in juvenile chronic arthritis. The Foot 1991 ; 1 : 139-43.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

12 Rauflaub B, Ansell BM. Foot deformities in JIA. Abstract 46. In : Huber HA, éd. 9th European Congress of Rheumatology Abstract book. Gottigen : Hogrefe & Huber ; 1979.
13 Stockley I, Betts RP, Rowley DI, Getty CJ, Duckworth T. The importance of the valgus hindfoot in forefoot surgery in rheumatoid arthritis. J Bone Joint Surg Br 1990 ; 72 : 705-8.
14 Schmiegel A, Vieth V, Gaubitz M, Rosenbaum D. Pedography and radiographic imaging for the detection of foot deformities in rheumatoid arthritis. Clin Biomech (Bristol, Avon) 2008 ; 23 : 648-52.
15 Woodburn J, Nelson KM, Siegel KL, Kepple TM, Gerber LH. Multisegment foot motion during gait : proof of concept in rheumatoid arthritis. J Rheumatol 2004 ; 31 : 1918-27.
16 Fleming A, Crown JM, Corbett M. Early rheumatoid disease. I. Onset. Ann Rheum Dis 1976 ; 35 : 357-60.
17 Wakefield RJ, Freeston JE, O'Connor P, Reay N, Budgen A, Hensor EM, et al. The optimal assessment of the rheumatoid arthritis hindfoot : a comparative study of clinical examination, ultrasound and high field MRI. Ann Rheum Dis 2008 ; 67 : 1678-82.
18 Simon L, Claustre J, Allieu Y. Le pied rhumatoïde : genèse des déformations. Rev Rhum Mal Ostéoartic 1980 ; 47 : 117-22.
19 Nassar J, Cracchiolo A III. Complications in surgery of the foot and ankle in patients with rheumatoid arthritis. Clin Orthop Relat Res 2001 ; 391 : 140-52.
20 Sammarco VJ. Ankle arthrodesis in rheumatoid arthritis : techniques, results, and complications. Foot Ankle Clin 2007 ; 12 : 475-95, vii.
21 Knupp M, Skoog A, Tornkvist H, Ponzer S. Triple arthrodesis in rheumatoid arthritis. Foot Ankle Int 2008 ; 29 : 293-7.
22 Sammarco VJ, Magur EG, Sammarco GJ, Bagwe MR. Arthrodesis of the subtalar and talonavicular joints for correction of symptomatic hindfoot malalignment. Foot Ankle Int 2006 ; 27 : 661-6.
23 Heywood AW. Supramalleolar osteotomy in the management of the rheumatoid hindfoot. Clin Orthop Relat Res 1983 ; 177 : 76-81.
24 Cracchiolo A III, Cimino WR, Lian G. Arthrodesis of the ankle in patients who have rheumatoid arthritis. J Bone Joint Surg Am 1992 ; 74 : 903-9.
25 Leemrijse T, Valtin B. Chirurgie du pied et de la cheville rhumatoïdes. In : Leemrijse T, Valtin B, éds. Pathologie du pied et de la cheville. Paris : Elsevier Masson ; 2009. p. 607-34.
26 Wood PL, Crawford LA, Suneja R, Kenyon A. Total ankle replacement for rheumatoid ankle arthritis. Foot Ankle Clin 2007 ; 12 : 497-508, vii.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Pied vasculaire diabétique

F. BECK[1]

Introduction et épidémiologie

Le pied vasculaire diabétique pose des problèmes de prise en charge commune avec le chirurgien orthopédiste du fait des atteintes ostéoarticulaires éventuellement associées.

Le risque pour un diabétique d'être amputé est 15 fois supérieur à celui d'une personne non diabétique [1]. Chez le diabétique, 80 % des amputations sont précédées d'un ulcère du pied ; 4 fois sur 5, la plaie est latérale, unique et évitable [2]. Parmi les patients diabétiques, 15 % auront un jour une plaie du pied et parmi eux, 15 % seront amputés. Les résultats d'une étude anglaise d'un centre de référence du pied diabétique montrent qu'en cas de plaie chronique, l'artériopathie est isolée dans 10 % des cas, alors que 90 % des patients présentent une neuropathie isolée (50 %) ou associée à une artériopathie (40 %) avec un trouble trophique indolore.

Genèse des plaies du pied diabétique

La plupart du temps, la plaie est d'origine mécanique : traumatisme par chaussage, découpe d'ongle, escarre de décubitus, mal perforant plantaire. Au début, la plaie passe inaperçue du fait de la présence de la neuropathie (90 %), qui fait disparaître le signe d'alerte qu'est la douleur. La plaie non soignée va se surinfecter. Même si l'ischémie artérielle est rarement responsable par elle-même de la survenue spontanée du trouble trophique, la moindre effraction cutanée sur ce terrain avec une peau fine et des tissus ischémiques va prendre rapidement un aspect nécrotique. La nécrose peut entretenir l'infection qui, en se propageant (aspect de collerette érythémateuse), étend la zone ischémique à l'origine d'un véritable cercle vicieux.

Particularité de l'artériopathie diabétique

Des calcifications extensives et principalement localisées dans la média des artères de jambe sont très fréquentes chez les patients diabétiques [3].

Les segments aorto-iliaques et fémoraux proximaux sont le plus souvent libres d'atteinte occlusive. Néanmoins, 15 % des malades diabétiques sont porteurs de lésions occlusives aorto-iliaques, surtout en cas de facteurs de risque cardiovasculaire associés (hypertension artérielle, hyperlipidémie, tabagisme) [4]. La collatéralité fémorale profonde est le plus souvent peu développée. L'incidence de l'atteinte des artères de jambe est très importante alors que, paradoxalement, les artères du pied sont le plus souvent épargnées [5].

Symptomatologie clinique

Le dépistage de l'artériopathie est basé sur l'interrogatoire, l'inspection du pied, la palpation des pouls, la recherche de souffle vasculaire. En raison principalement de la neuropathie associée, l'existence d'une claudication intermittente préalable est inconstante et le risque relatif de douleurs de décubitus est diminué de 50 %, par rapport au patient non diabétique [6]. Le patient se présente d'emblée avec un trouble trophique souvent négligé, parfois une gangrène digitale surinfectée qui s'aggrave rapidement en quelques jours.

Quatre principes de base doivent être appliqués dès la première consultation pour une plaie du pied diabétique compliquant une artériopathie du membre inférieur :

- mise en décharge stricte et immédiate de la plaie ;
- lutte contre une éventuelle infection : diagnostic clinique d'infection, prélèvements bactériologiques et antibiothérapie uniquement en cas de signes cliniques d'infection, recherche d'une atteinte osseuse (ostéite) ;
- rétablissement d'un équilibre glycémique satisfaisant ;
- évaluation de l'ischémie du pied et discussion de restauration d'un apport artériel.

[1] Clinique du Tonkin, 18, rue du Tonkin, 69100 Villeurbanne.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Bilan complémentaire vasculaire

Mesure de la $TcPO_2$

L'importance de l'ischémie doit être quantifiée par la mesure transcutanée de la pression d'oxygène ($TcPO_2$) au niveau du pied, jambes pendantes. Sa valeur normale mesurée sur le dos du pied, le plus souvent au niveau du premier espace intermétatarsien, est d'environ 50 mmHg. Au-dessus de 30 mmHg, la cicatrisation est possible dans plus de 90 % des cas, grâce à des soins locaux et à une mise en décharge du pied. En dessous de 30 mmHg, il s'agit d'une ischémie sévère qui nécessite un bilan complémentaire vasculaire et doit faire discuter l'indication d'une revascularisation. Les possibilités de revascularisation doivent être discutées avant tout geste d'exérèse chirurgicale.

Mesure de l'index de pression systolique

L'index de pression systolique (IPS) doit être systématiquement étudié chez tous les diabétiques. Il correspond au rapport entre la pression systolique mesurée en doppler à la cheville et celle relevée au niveau huméral. Les valeurs normales sont comprises entre 0,90 et 1,30. Un IPS inférieur à 0,9 permet d'affirmer le diagnostic d'artériopathie oblitérante des membres inférieurs. L'IPS peut être faussement rassurant chez le diabétique du fait de la médiacalcose rendant les artères peu ou pas compressibles. Un IPS supérieur à 1,30 est le témoin d'une incompressibilité artérielle.

Échographie Doppler

Chez les patients diabétiques comme chez les athéroscléreux non diabétiques, l'écho-Doppler assure un bilan lésionnel précis de l'aorte abdominale ainsi que des axes iliofémoraux. L'échographie détecte les sténoses et les occlusions et, couplée au doppler, permet d'en apprécier le caractère hémodynamique, significatif ou non, en notant l'amortissement du flux d'aval. L'exploration des artères de jambe chez le diabétique nécessite un matériel performant et un opérateur entraîné : les lésions artérielles sont souvent diffuses, le degré de sténose est difficile à apprécier du fait de l'importance des calcifications, qui ne laissent pas passer les ultrasons. Certaines localisations sont difficiles à explorer, comme le tronc tibiofibulaire. Enfin, la durée d'un bon examen écho-Doppler est longue : elle peut varier de 30 à 150 min chez un patient diabétique. Un examen écho-Doppler de qualité peut suffire dans un certain nombre de cas dans le bilan lésionnel préopératoire [7]. Avant traitement endovasculaire ou chirurgical, il est important d'apprécier la réinjection des artères du pied (artères dorsale du pied, tibiale postérieure rétromalléolaire et plantaires).

Angioscanner

L'angioscanner est un examen morphologique intéressant pour le bilan vasculaire de lésions proximales sténosantes ou anévrismales. Sa place est très limitée dans l'exploration des artères de jambe, car l'interprétation des reconstructions est souvent gênée par les calcifications artérielles majeures et diffuses du diabétique. D'autre part, il nécessite l'injection de doses importantes de produits iodés avec un risque important d'insuffisance rénale, chez des patients souvent déjà insuffisants rénaux chroniques, susceptibles de recevoir à nouveau de l'iode lors du geste de revascularisation.

Angiographie par résonance magnétique nucléaire

L'angiographie par résonance magnétique nucléaire (ARM) est préférable à l'angioscanner chez le sujet diabétique. L'analyse ARM des artères de jambe d'un patient diabétique est opérateur- et machine-dépendante. En effet, l'utilisation d'antennes adaptées et des séquences spéciales (Tricks) sont nécessaires pour obtenir des images interprétables, en s'affranchissant par exemple des retours veineux précoces. Le degré de sténose peut être majoré dans les lésions calcifiées.

La présence d'un pacemaker est une contre-indication absolue à l'ARM. Fréquemment, l'existence d'une claustrophobie rend l'examen impossible. Enfin, l'ARM ne nécessite pas d'injection iodée, mais plusieurs cas graves de fibrose systémique néphrogénique après injection de gadolinium ont été rapportés dans la littérature, particulièrement avec certains produits (Omniscan®), avec des doses importantes et chez des patients porteurs d'une insuffisance rénale chronique sévère (clairance de la créatinine inférieure à 30 ml/min).

Examen artériographique

L'artériographie reste le gold standard chaque fois qu'une solution de revascularisation est envisagée, du fait du risque élevé d'amputation en cas de troubles trophiques du pied chez le diabétique.

Cet examen a bénéficié d'avancées technologiques importantes depuis 20 ans. La numérisation des images au cours d'une artériographie fémorale donne une

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

visualisation satisfaisante des territoires les plus distaux (arcades plantaires), la perméabilité des artères du pied étant un facteur essentiel du bon pronostic des revascularisations des artères de jambe dans leur portion terminale. De la même façon, une injection sélective dans l'artère fémorale superficielle ou poplitée permet d'obtenir une meilleure opacification des artères de jambe et du pied, en cas d'ischémie critique. Plus récemment, l'utilisation de tables d'artériographie avec plateau flottant et de techniques de « suivi de bolus » permet de diminuer de façon importante les doses de produit de contraste utilisées. En 2010, l'artériographie à visée diagnostique est devenue préthérapeutique. Il s'agit du premier temps de la prise en charge endovasculaire, qui est devenu, pour la plupart des auteurs, le traitement de première intention de l'artériopathie diabétique [8].

En cas d'insuffisance rénale chronique, l'artériographie n'est le plus souvent pas contre-indiquée. L'indication dépendra de la clairance de la créatinine et du contexte. Une bonne hydratation (avec, pour certains, alcalinisation avec bicarbonates) est une précaution indispensable pour diminuer la toxicité des produits de contraste. Par ailleurs, l'administration, la veille et le jour de l'examen, de N-acétylcystéine (Mucomyst®) permet de limiter le risque d'aggravation de l'insuffisance rénale, notamment en cas d'insuffisance rénale modérée [9]. Enfin, l'injection iodée sera minimale, avec un examen guidé par les données de l'écho-Doppler.

Techniques de revascularisation

Techniques endovasculaires

La technique de référence est l'angioplastie transluminale. Elle doit être considérée comme le traitement de premier choix du malade diabétique en ischémie critique avec des lésions distales [10].

La procédure peut être réalisée sous anesthésie locale chez des patients fragiles.

Pour beaucoup d'équipes chirurgicales, une anesthésie générale est préférable : les temps d'une procédure endovasculaire peuvent être importants pour traiter des lésions diffuses de plus en plus complexes. Malgré la neuropathie, l'injection intra-artérielle de produits de contraste est souvent très douloureuse chez des patients en ischémie critique, à l'origine de mouvements involontaires gênants sous anesthésie locale. D'autre part, l'anesthésie locorégionale ou générale permet la réalisation de gestes associés : mise à plat d'un trouble trophique surinfecté, amputation distale d'orteil ou de l'avant-pied.

Le plus souvent, du fait de l'absence de lésions proximales iliofémorales chez les patients diabétiques, une ponction artérielle fémorale commune ou superficielle, dans le sens antérograde, est privilégiée pour traiter les lésions des artères jambières. En cas de lésions sténosantes iliaque ou fémorale superficielle proximale, une ponction rétrograde controlatérale avec technique de *« cross-over »* est préférée, à condition de disposer de matériel d'angioplastie (ballons et stents) de grande longueur (plus de 120 cm de long).

La ponction fémorale est souvent facilitée par l'existence de calcifications (médiacalcose) au niveau de l'artère fémorale superficielle. Les techniques de « roadmapping » peuvent être utiles en cas de ponction de l'artère fémorale profonde ou si l'artère fémorale superficielle est de petit calibre.

Après cathétérisme de l'artère fémorale superficielle avec un guide le plus souvent hydrophile de 0,035 pouces (Térumo®), il est intéressant de mettre en place dans l'artère poplitée un introducteur long (45 ou 55 cm ; 5 ou 6 French) qui permet de diminuer le volume des injections iodées avec une excellente qualité d'imagerie. D'autre part, ce matériel constitue une aide pour la recanalisation d'artères de jambe thrombosées, souvent massivement calcifiées.

Une imagerie optimale est nécessaire pour apprécier l'ensemble des lésions (sténose et thrombose) des artères de jambe. Elle doit particulièrement étudier la réinjection des artères du pied.

Le traitement endovasculaire fait appel à de multiples guides hydrophiles ou non, de rigidités différentes (*stiff, half-stiff*…), de diamètres différents (0,035, 0,018 et 0,014 pouces), qui permettent de franchir les lésions sténosantes des artères jambières. Il y a quelques années, les ballons et les stents utilisés dans les artères de jambe provenaient directement de la technologie d'angioplastie coronaire. Aujourd'hui, un matériel spécifique s'est développé avec des ballons et des stents de petit diamètre (2 à 3 mm) et de grande longueur (jusqu'à 10 cm), pour traiter les lésions longues des artères de jambe.

Décrite pour la première fois en 1990 par Bolia [11], la technique de recanalisation sous-intimale a permis d'augmenter le taux de succès technique primaire des recanalisations de thrombose étendue des artères de jambe, dans lesquelles les résultats de l'angioplastie endoluminale par ballonnet étaient mauvais [12]. Cette technique consiste à créer une dissection volontaire dans la paroi artérielle au niveau d'une artère thrombosée avec création d'un faux chenal et réentrée du guide, au niveau de la zone artérielle réinjectée. Dans la technique originale, une angioplastie simple étagée par ballonnet est réalisée (figure 1).

La mise en place d'un stent est rare (uniquement en cas de mauvaise hémodynamique persistante).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

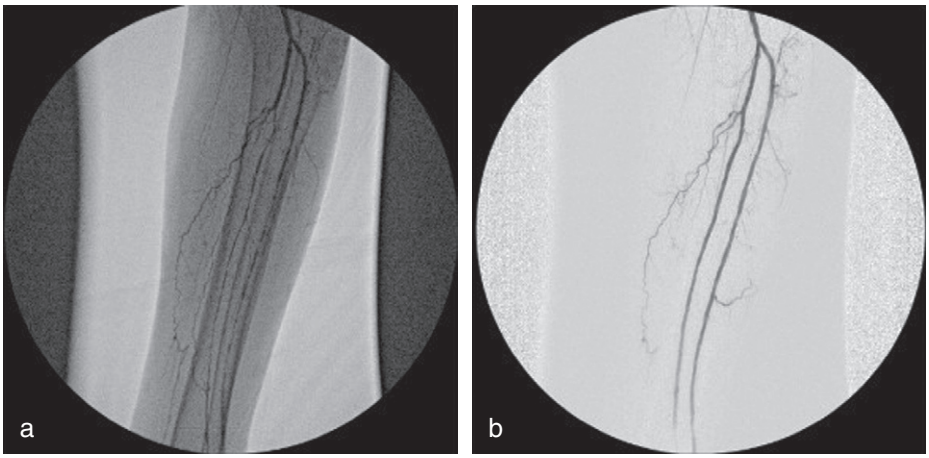


Figure 1. Recanalisation sous-intimale des artères fibulaire et tibiale antérieure.
a. avant. b. après.

Traitement chirurgical

Il fait appel aux mêmes techniques que chez les non-diabétiques, en s'adaptant à la topographie des lésions plus distales chez les diabétiques avec des résultats identiques en termes de perméabilité et de sauvetage de membre [13].

Étant donné la perméabilité fréquente de l'artère fémorale superficielle chez le diabétique, les pontages courts à partir de l'artère poplitée sont aussi fréquents que les pontages longs implantés au niveau du trépied fémoral [14].

La veine grande saphène constitue le matériau de choix pour les revascularisations artérielles sous-gonales. En cas d'indisponibilité, la veine petite saphène, les veines superficielles des membres supérieurs, des allogreffe artérielles ou veineuses permettent d'obtenir de meilleurs résultats que les pontages prothétiques.

Des pontages très distaux au niveau de la cheville ou des artères du pied sont réalisés plus tôt et plus souvent chez les patients diabétiques. La confection de l'anastomose distale sur une artère de petit calibre, calcifiée et souvent inclampable, nécessite quelques précautions techniques : utilisation de lunettes grossissantes (magnification de 2,5 à 4,5), clampage atraumatique par bande d'Esmarch et contrôle angiographique systématique.

Association du traitement chirurgical et endovasculaire

Le cas d'une sténose focalisée de l'artère fémorale superficielle associée à des lésions des artères de jambe peut bénéficier de la combinaison d'un traitement endovasculaire de la lésion proximale avec un pontage distal court [15].

La surveillance écho-Doppler de la perméabilité des pontages distaux est indispensable. Elle permet la détection de sténose au niveau du greffon veineux ou au niveau du lit d'aval. Un traitement endovasculaire complémentaire permet d'éviter une thrombose aiguë du pontage (figure 2).

Autres traitements

La sympathectomie lombaire est inefficace du fait de la sympatholyse neuropathique spontanée et n'a donc aucune indication dans le pied diabétique. Quand aucun geste de revascularisation n'est possible, différents traitements médicaux on été proposés mais sans efficacité démontrée pour les anticoagulants, les vasodilatateurs mêmes injectables, l'hémodilution. Les prostaglandines (Iloprost®) ont une certaine efficacité, mais il s'agit d'un traitement quotidien par voie parentérale, pendant au moins 3 semaines, avec souvent des problèmes de tolérance cardiovasculaire, chez des patients fragiles. Quelques études sont en faveur de l'oxygénothérapie hyperbare comme traitement adjuvant pour la cicatrisation d'une plaie de pied diabétique, mais ce traitement reste peu utilisé en dehors de quelques centres, en particulier pour des raisons de disponibilité.

Conclusion

En 2010, l'angioplastie des artères de jambe est devenue la technique de première intention pour traiter une ischémie critique du pied, chez un patient diabétique. La perméabilité primaire reste inférieure à

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

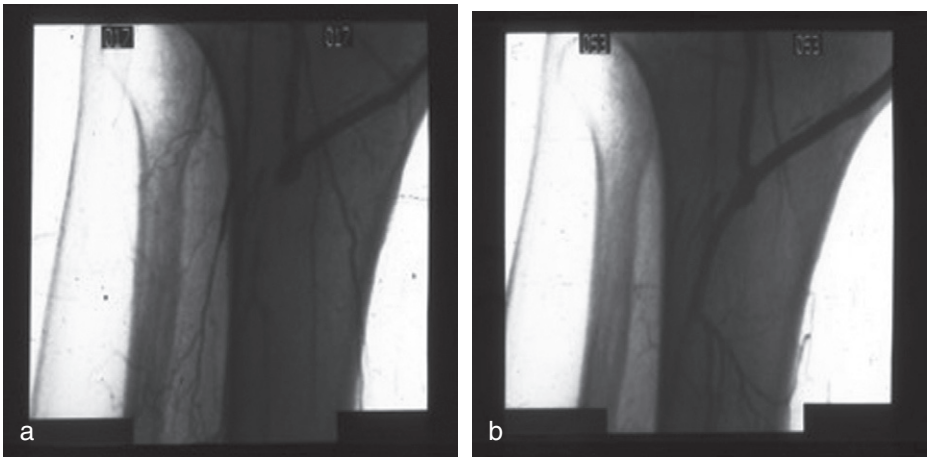


Figure 2. Recanalisation du tronc tibiofibulaire en aval d'un pontage veineux fémoropoplité.
a. avant. b. après.

celle du traitement chirurgical par pontage distal ; la possibilité de répéter une procédure endovasculaire augmente le taux de succès clinique, sans exclure une éventuelle option chirurgicale. Dans la littérature, ces deux techniques complémentaires (traitement endovasculaire et pontages distaux) permettent d'obtenir un taux de sauvetage de membre de 80 % à 3 ans. Une amputation du pied peut s'imposer devant des lésions ischémiques dépassées ou infectieuses évoluées. Elle vise à garder un appui, au moins talonnier. En cas de contexte infectieux, les moignons d'amputation d'orteil ou de l'avant-pied sont généralement laissés ouverts, avec cicatrisation dirigée de seconde intention.

Références

1 Fosse S, Jacqueminet SA, Duplan H, Hatremann-Heurtier A, Ha Van G, Grimaldi A, et al. Incidence et caractéristique des amputations de membre inférieur chez les personnes diabétiques en France métropolitaine, 2003. Bull Épidemiol Hebdo 2006 ; 10 : 71-3.

2 International Working Group on the Diabetic Foot. International consensus on the diabetic foot. www.iwgdf.com, 2003.

3 Misare BD, Pomposelli Jr FB, Gibbons GW, Campbell DR, Freeman DV, LoGerfo FW. Infrapopliteal bypasses to severely calcified, unclampable outflow arteries. J Vasc Surg 1996 ; 24 : 6-16.

4 Treiman GS, Treiman RL, Foran RF, Cossman DV, Cohen JL, Levin PM, et al. The influence of diabetes mellitus on the risk of abdominal aortic surgery. Am Surg 1994 ; 60 : 436-40.

5 Karacagil S, Almgren B, Bowald S, Eriksson I. Arterial lesions of the foot vessels in diabetic and non-diabetic patients undergoing lower limb revascularisation. Eur J Vasc Surg 1989 ; 3 : 239-44.

6 Panneton JM, Gloviczki P, Bower TC, Rhodes JM, Canton LG, Toomey BJ. Pontages sur les artères du pied pour sauvetage de membre : influence du diabète sur les résultats tardifs. Ann Chir Vasc 2000 ; 14 : 640-7.

7 Ascher E, Hingorani A, Markevich N, Costa T, Kallakuri S, Khanimoy Y. Revascularisation des membres inférieurs sans artériographie préopératoire : expérience de l'échographie-doppler dans 485 cas. Ann Chir Vasc 2002 ; 16 : 108-14.

8 Nasr MK, McCarthy RJ, Hardman J, Chalmers A, Horrocks M. The increasing role of percutaneous transluminal angioplasty in the primary management of critical limb ischaemia. Eur J Vasc Endovasc Surg 2002 ; 23 : 398-403.

9 Kay J, Chow WH, Chan TM, Lo SK, Kwok OH, Yip A, et al. Acetylcystein for prevention of acute deterioration of renal function following elective angiography and intervention : a randomized controlled trial. JAMA 2003 ; 289 : 553-8.

10 Faglia E, Mantero M, Caminiti M, Caravaggi C, De Giglio R, Pritelli C, et al. Extensive use of peripheral angioplasty, particularly infrapopliteal in the treatment of ischaemic diabetic foot ulcers : clinical results of a multicentric study of 221 consecutive diabetic subjects. J Int Med 2002 ; 252 : 225-32.

11 Bolia A, Miles KA, Brennan J, Bell PRF. Percutaneous transluminal angioplasty of occlusion of the femoral and popliteal arteries by subintimal dissection. Cardiovasc Intervent Radiol 1990 ; 13 : 357-63.

12 Nydahl S, London NJM, Bolia A. Technical report : recanalisation of all three infrapopliteal arteries by subintimal angioplasty. Clin Radiol 1996 ; 51 : 366-7.

13 Rutherford RB, Jones DN, Bergentz SE, Bergqvist D, Comerota AJ, Dardik H, et al. Factors affecting the patency of infrainguinal bypass. J Vasc Surg 1988 ; 8 : 236-46.

14 Pomposelli FB Jr, Marcaccio EJ, Gibbons GW, Campbell DR, Freeman DV, Burgess AM, et al. Dorsalis pedis arterial bypass : durable limb salvage for foot ischemia in patients with diabetes mellitus. J Vasc Surg 1995 ; 21 : 375-84.

15 Schneider PA, Caps MT, Ogawa DY, Hayman ES. Intraoperative superficial femoral arteryballoon angioplasty and popliteal to distal bypass graft : an option for combined open and endovascular treatment of diabetic gangrene. J Vasc Surg 2001 ; 33 : 955-62.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Séquelles de brûlures du pied de l'enfant

E. CONTI[1], N. KHOURI[2]

La brûlure est une lésion du revêtement cutané provoquée par le contact d'un agent brûlant. Elle représente la cause la plus fréquente d'accident domestique en âge pédiatrique, en particulier chez les petits enfants de 0 à 3 ans [1]. Les brûlures des pieds chez l'enfant, isolées ou associées à d'autres localisations, sont à l'origine de brides cicatricielles et de déformations variées concernant initialement uniquement la peau.

À la phase aiguë, la complication la plus fréquente est l'infection et la cellulite. À la phase séquellaire, on observe l'apparition de brides avec des rétractions plus ou moins importantes des orteils, une désorganisation architecturale source d'ulcérations chroniques et des troubles de la déambulation [2]. Il est donc important de limiter l'apparition des rétractions de façon préventive pour préserver une harmonie de la croissance cutanée et ostéoarticulaire.

Étude clinique et thérapeutique

À la phase aiguë

En cas de brûlure étendue et/ou profonde du pied, une hospitalisation est proposée dans un centre spécialisé pour éviter les complications immédiates comme l'infection, voire une ostéite ou une ostéoarthrite en cas d'exposition osseuse ou articulaire. Dans les cas de carbonisation, des amputations d'orteils ou du pied peuvent être nécessaires.

À la phase des séquelles

Les séquelles les plus fréquentes sont cutanées. Elles sont caractérisées par des troubles trophiques : sécheresse de la peau, prurit, hyperkératose et parfois ulcération [3]. Au niveau de l'avant-pied, les défauts cutanés sont représentés par des brides, des rétractions au niveau des orteils, des syndactylies, des dystrophies cutanées et unguéales, des cicatrices hypertrophiques voire chéloïdes (figure 1). Lorsque les rétractions intéressent les plis de flexion, elles limitent les amplitudes articulaires, entraînant des défauts de développement des segments osseux et un arrêt de la croissance osseuse. Après une brûlure profonde ou une carbonisation, le pied peut ressembler à un pied équin, se déformer en varus, en adductus ou en abductus, être creux ou plat et présenter des déformations commissurales ou des rayons amputés.

Traitement

Le traitement chirurgical des séquelles est un problème difficile, en particulier lorsqu'elles sont étendues et responsables d'un déficit fonctionnel. Dans ces cas, les résultats répondent difficilement aux expectatives de l'enfant et de ses parents, qui sont souvent persuadés que la chirurgie plastique de reconstruction pourra effacer les cicatrices en peu de temps. Le parcours est long avec plusieurs interventions, qui apporteront une nette amélioration fonctionnelle sans effacer les défauts esthétiques.



Figure 1. Séquelles d'une brûlure profonde des deux avant-pieds chez une enfant de 5 ans, avec amputation d'orteils et rétractions commissurales multiples.

[1] Centre de traitement des brûlures, unité de chirurgie des brûlés, hôpital d'enfants Armand-Trousseau-La-Roche-Guyon.
[2] Service de chirurgie orthopédique, hôpital d'enfants Armand-Trousseau, 26, avenue du Dr-Arnold-Netter, 75571 Paris cedex 12.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

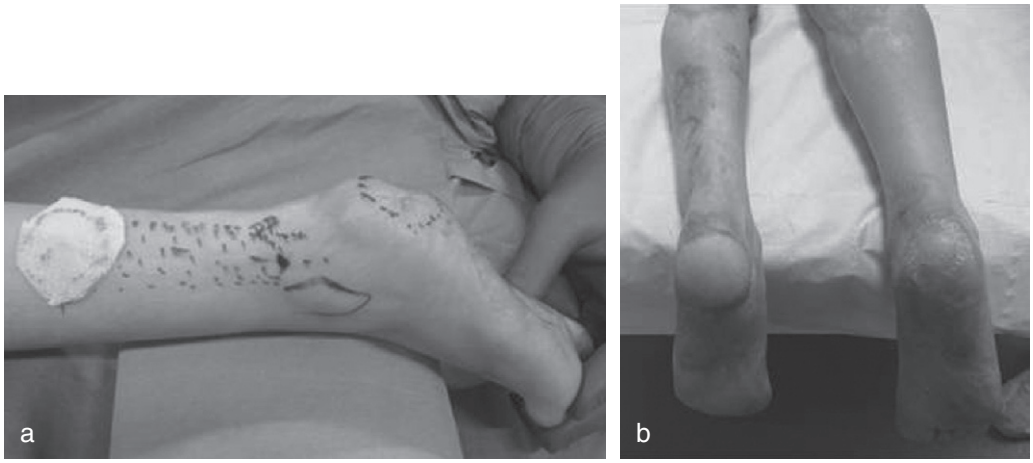


Figure 2. Enfant brûlé par flamme sur 55 % de la surface corporelle totale à l'âge de 4 ans, avec atteinte des deux pieds traités par excision-greffe de peau mince.
À l'âge de 5 ans, ulcérations du talon et reconstruction de la coque talonnière par un lambeau sural homolatéral. a. Photo préopératoire. Dessin du lambeau sural. b. Résultats à 6 mois postopératoires. La couverture du talon, de bonne qualité, a permis une reprise de la marche et de la croissance osseuse.

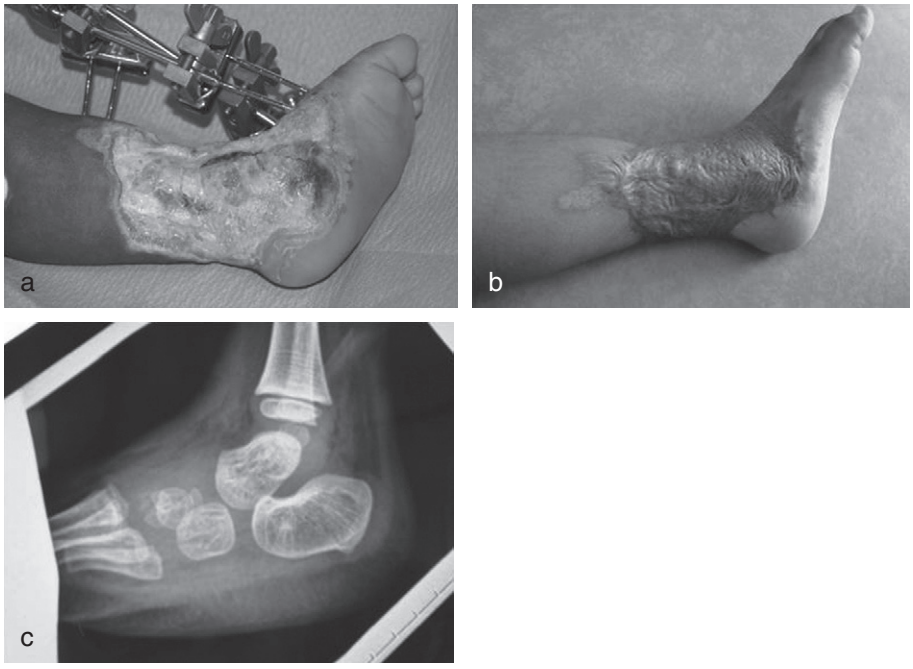


Figure 3. Enfant de 2 ans victime d'une brûlure chimique du dos du pied et de la cheville, avec atteinte des structures tendineuses nécessitant un maintien de la cheville par un fixateur externe (a).
Résultat après traitement par pressothérapie négative puis greffe de peau mince (b).
La raideur de la cheville a nécessité un allongement du tendon d'Achille et une capsulotomie tibiotalienne pour obtenir un pied plantigrade sans trouble trophique (c).

Les déficits cutanés doivent être corrigés rapidement afin de prévenir les défauts architecturaux ostéoarticulaires difficiles à traiter, voire irréversibles, qui s'installeraient avec la croissance [3].

Le traitement des séquelles fonctionnelles graves fait appel à l'ensemble de l'arsenal thérapeutique à notre disposition afin de choisir le protocole de soins le plus adapté, car il s'agit le plus souvent de déformations anarchiques. La correction reste essentiellement cutanée : plastie en Z, en Y et W, lambeaux pédiculés ou libres, utilisation de substituts cutanés, ou expandeurs [4].

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Rarement, il est nécessaire de corriger les séquelles ostéoarticulaires qui s'installent généralement en cas de lésions invétérées : capsulotomies, ostéotomies, arthrodèses ou épiphysiodèses. Parfois, des régularisations de moignons doivent être envisagées à cause de la croissance osseuse, ou des réajustements de moignon afin de mieux adapter une prothèse en cas d'amputation de pied ou d'une partie de celui-ci.

Dans les brûlures de la coque talonnière, une simple couverture cutanée par greffe n'est pas toujours suffisante, car l'étoffe du talon doit être rétablie. Lors de l'appui, l'adhérence de la peau à l'os est responsable de lésions cutanées, voire d'escarres [5]. Le problème est difficile à résoudre et la correction s'effectue parfois au stade de séquelles par lambeau (figure 2).

Les brûlures profondes de la face dorsale du pied exposent les structures nobles : tendons, nerfs et vaisseaux. Dans ces cas, à la greffe de peau mince il faut préférer une greffe de peau totale ou des lambeaux si la situation locale le permet, ou encore s'orienter vers l'utilisation d'un substitut cutané (Integra®) recouvert d'une greffe de peau mince (figure 3).

Discussion et conduite à tenir

Dans les pays à niveau socioéconomique défavorisé, les brûlures sont traitées par cicatrisation dirigée ou par des guérisseurs, et les séquelles retrouvées lors des missions humanitaires sont des infirmités et des grands handicaps. Dans notre quotidien, il est rare de retrouver des séquelles catastrophiques avec des difficultés au chaussage, des défauts d'appui et de la marche.

Le principal concept de guérison d'une brûlure du pied chez l'enfant doit reposer sur l'absence ou presque de séquelles fonctionnelles et esthétiques.

Cela s'obtient dans la phase aiguë en suivant un protocole qui aide à la cicatrisation spontanée dans les temps physiologiques et en respectant le capital cutané en cas de brûlure superficielle.

En cas de brûlure profonde, il ne faut pas hésiter à effectuer des greffes de peau dans les 10 j qui suivent la brûlure, ne pas autoriser l'appui jusqu'à cicatrisation et suivre la maturation de la cicatrice, jusqu'à sa stabilisation (de 1 à 3 ans), ce qui permettra d'intervenir rapidement en cas de déficit fonctionnel lors de la croissance de l'enfant.

Les brûlures des pieds présentent une morbidité élevée compliquée dans la phase aiguë par les infections, en raison des macérations au niveau des commissures des orteils et d'œdème des membres inférieurs [6]. Dans la phase subaiguë, après le traitement chirurgical, pour les mêmes raisons, les complications peuvent être une lyse des greffes cutanées.

Après cicatrisation des greffes cutanées et des zones brûlées, le traitement se poursuit par des séances de rééducation, le port de vêtements compressifs, des massages pluriquotidiens et des soins de podologie. Ces soins ont pour but de limiter les séquelles fonctionnelles et esthétiques afin de minimiser le nombre et la difficulté des reconstructions chirurgicales secondaires.

Conclusion

Le retard de prise en charge d'une brûlure en milieu hospitalier semble être un facteur important à prendre en compte dans l'apparition de complications. Une brûlure surinfectée et la présence d'un œdème local sont des facteurs qui favorisent le retard de cicatrisation et la qualité du résultat final, en termes fonctionnels et esthétiques.

La principale séquelle de brûlure est un déficit cutané dont la prise en charge chirurgicale doit être précoce afin d'éviter des reconstructions difficiles et incomplètes, car l'atteinte peut devenir ostéoarticulaire.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Références

1 Hemington-Gorse S, Pellard S, Wilson-Jones N, Potokar T. Foot burns : epidemiology and management. Burns 2007 ; 33 : 1041-5.

2 Juan A, Constantino JA, Rodriguez-Yuste JA, Quiles M. Severe post-burn hyperextension of metatarsophalangeal joints in a child with bilateral foot contracture. J Foot Ankle Surg 2007 ; 46 : 48-51.

3 Shakirov BM, Tursunov BS. Treatment of severe foot burns in children. Burns 2005 ; 31 : 901-5.

4 Waymack JP, Fidier J, Warden GD. Surgical correction of burn scar contractures of the foot in children. Burns 1988 ; 14 : 156-60.

5 Barret JP, Herndon DN. Plantar burns in children : epidemiology and sequelae. Ann Plastic Surg 2004 ; 53 : 462-4.

6 Heimburger RA, Marten E, Larson DL, Abston S, Lewis SR. Burned feet in children. Am J Surg 1973 ; 125 : 575-9.

Pieds syndromiques

V. TOPOUCHIAN[1], P. WICART[2]

Introduction

Les déformations des pieds, le plus souvent isolées, peuvent être associées à une pathologie d'ordre neuromusculaire ou bien dans le cadre d'un syndrome bien défini. La possibilité de pouvoir déterminer la pathologie sous-jacente permet d'évaluer le pronostic fonctionnel global et des pieds en particulier, et de ce fait d'orienter la prise en charge thérapeutique.

Maladie de Marfan

La maladie de Marfan se caractérise par un désordre d'origine génétique du tissu conjonctif avec un tableau clinique hétérogène. L'atteinte squelettique est caractérisée par une arachnodactylie, une déformation du thorax en entonnoir et une scoliose ; l'atteinte cardiovasculaire, par une insuffisance aortique, une dilatation aortique, un prolapsus de la valve mitrale ; l'atteinte ophtalmologique par une myopie et une luxation du cristallin.

Il existe peu d'études concernant les problèmes des pieds dans le syndrome de Marfan. Le pied de Marfan est généralement décrit comme un pied plat valgus secondaire à une importante laxité ligamentaire (figure 1a). Les pieds ont un aspect caractéristique avec une grande taille, mais posent peu de problèmes fonctionnels [1]. L'arche plantaire interne est conservée dans 75 % des cas malgré cette hyperlaxité ligamentaire. Les problèmes fonctionnels des pieds sont rares dans la population de Marfan, aussi les indications de traitement chirurgical sont-elles peu fréquentes.

Les traitements proposés peuvent être une simple mise en place d'orthèses plantaires à type de semelles ou bien de coques talonnières [2,3]. Il faut savoir adapter le chaussage, avoir recours aux semelles voire aux coques moulées afin de le rendre confortable. Dans les cas symptomatiques, malgré le traitement orthopédique, le traitement chirurgical des pieds plats valgus avec déformation sévère a pour but de restituer une anatomie normale (figures 1b et 1c). Il a été noté, en l'absence de correction dans les formes sévères de pieds plats valgus, un retentissement sur la cheville pouvant dans certains cas conduire à une arthrodèse tibiotalienne (figure 2).

Trisomie 21 (Down syndrome)

Dans la trisomie 21, la dysmorphie faciale est assez caractéristique. Il existe un pli palmaire unique avec une clinodactylie du 5e doigt. Il y a souvent un retard d'acquisition de la marche jusqu'à l'âge de 2 à 3 ans [4]. Ces patients sont de petite taille avec une taille moyenne à l'âge adulte de 155 cm chez les garçons et 145 cm chez les filles.

Les déformations squelettiques les plus typiques sont l'aspect caractéristique du bassin avec des ailes iliaques larges et une dysplasie acétabulaire. Il faut rappeler les anomalies rachidiennes, en particulier cervicales, à type d'instabilité cervico-occipitale, une instabilité C1-C2, une dysplasie de l'odontoïde, une anomalie de fermeture des arcs postérieurs de C1, plus rarement un spondylolisthésis [5].

L'aspect caractéristique des pieds des trisomiques 21 correspond à un pied plat valgus souple avec un élargissement de l'espace entre le 1er et le 2e orteil. Chez certains patients, en particulier à l'adolescence et à l'âge adulte, nous pouvons remarquer l'apparition d'un hallux valgus [6]. Ces déformations de l'avant-pied nécessitent une prise en charge orthopédique ou chirurgicale en cas de gêne fonctionnelle, en particulier pour le chaussage.

La déformation de l'arrière-pied en valgus associée à la torsion externe du squelette jambier pourrait être source de conflit du bord médial du pied avec le chaussage. Ces déformations de l'avant-pied ainsi que de l'arrière-pied peuvent nécessiter une correction simultanée par ostéotomie et/ou arthrodèse. Il faut signaler la possibilité de déformation, beaucoup plus rarement, en pied bot varus équin congénital chez le patient trisomique 21.

[1] Service de chirurgie orthopédique, hôpital Necker Enfants malades, 149, rue de Sèvres, 75020 Paris.
[2] Université Paris-Descartes, service de chirurgie orthopédique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

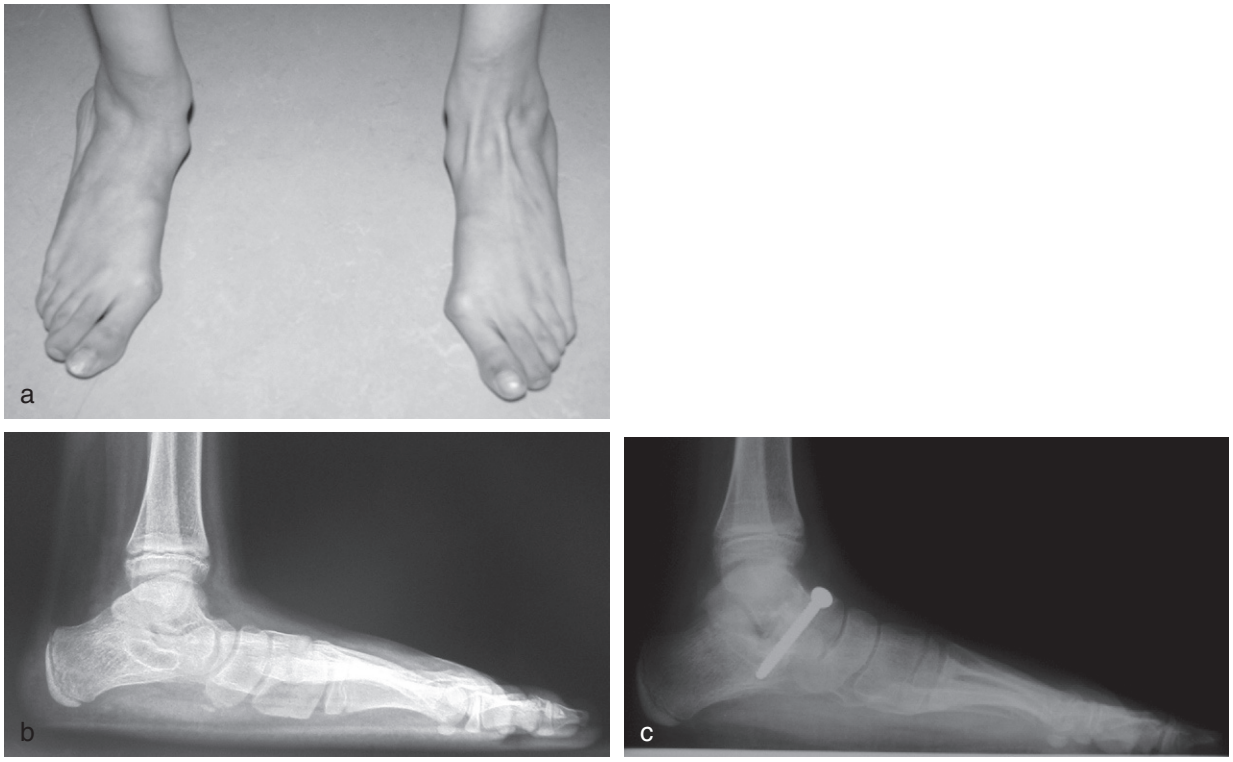


Figure 1. Pieds plats sévères chez un garçon de 5 ans présentant une maladie de Marfan.
a. Aspect clinique préopératoire. b. Radiographie. c. Aspect postopératoire après intervention du cavalier.

Neurofibromatose

C'est dans la neurofibromatose de type 1 dite de Von Recklinghausen que les manifestations orthopédiques sont les plus fréquemment retrouvées. Ces manifestations cliniques peuvent être variables et évolutives dans le temps.

Les patients peuvent être complètement et entièrement asymptomatiques à la naissance, le diagnostic pouvant être posé au cours de la croissance avec l'apparition de manifestations cliniques à type de taches café au lait qui peuvent être variables en nombre et en taille, de neurofibromes qui sont le plus souvent localisés en sous-cutané et qui peuvent être regroupés sous forme de neurofibromes plexiformes et infiltrer les tissus sains [7,8] En cas de localisation au membre inférieur et en particulier au pied, on parle d'un aspect de gigantisme du pied (figure 3). Les autres manifestations squelettiques peuvent comprendre une scoliose, une pseudarthrose congénitale.

Tous les neurofibromes ne nécessitent pas une exérèse chirurgicale ; seuls les neurofibromes symptomatiques sont retirés. Les neurofibromes plexiformes devenus symptomatiques sont difficiles à retirer en raison de la vascularisation importante et de l'aspect infiltrant. Une exérèse carcinologique n'est possible qu'au prix d'un sacrifice important des tissus adjacents. Le risque de dégénérescence maligne dans la neurofibromatose varie entre 1 et 20 %. La surveillance est surtout clinique, avec une augmentation de la taille des tumeurs ou bien l'apparition de manifestations douloureuses qui conduisent à la réalisation d'une imagerie par résonance magnétique suivie de l'exérèse chirurgicale. Cette prise en charge chirurgicale est encore plus complexe s'il existe une incurvation de la jambe (souvent associée à une pseudarthrose congénitale), avec comme séquelles possibles une déformation résiduelle de la jambe, un enraidissement et/ou une désaxation de la cheville ou bien un défaut de consolidation.

La méconnaissance d'une pseudarthrose atrophique distale de la fibula expose au développement d'un valgus sévère de la cheville. Un raccourcissement important de la jambe, excluant une égalisation chirurgicale des membres inférieurs sur un os très dystrophique, avec un pied raide et gênant dans l'appareillage, peut conduire à une amputation de type Boyd avec arthrodèse tibiocalcanéenne et prothèse de contact [9].

Syndrome d'Ehlers-Danlos

Ce syndrome est caractérisé par une hyperlaxité cutanée et ligamentaire, une fragilité tissulaire et osseuse,

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

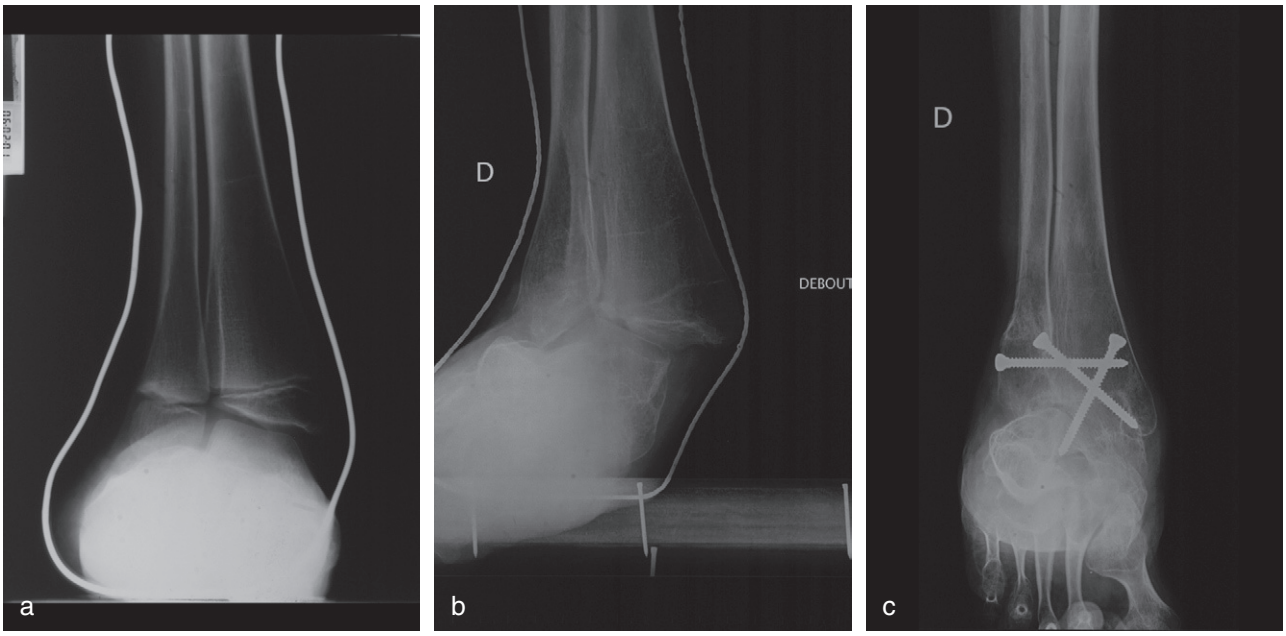


Figure 2. Maladie de Marfan : pieds plats valgus sévères.
a. À l'âge de 8 ans, valgus épiphysaire tibial et interligne talocrural oblique. **b.** À l'âge de 16 ans, aggravation bilatérale du valgus avec détérioration arthrosique de la cheville droite conduisant à une arthrodèse tibiotarsienne. **c.** À l'âge de 17 ans, résultat au recul de 1 an.

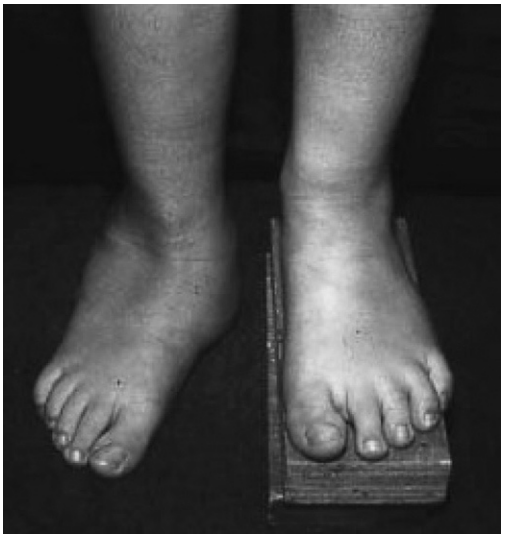


Figure 3. Pied plat valgus secondaire à une infiltration par un neurofibrome plexiforme avec gigantisme chez un enfant de 7 ans présentant une neurofibromatose.

des calcifications des tissus mous et une ostéopénie plus ou moins importante.

Dans le cadre de ce syndrome, il est regroupé une famille de troubles du métabolisme du collagène. Les manifestations orthopédiques dans le syndrome d'Ehlers-Danlos varient selon le type de la maladie [10].

L'orthopédiste pédiatre peut être consulté de première intention, d'où l'importance de suspecter cette pathologie afin d'orienter le patient vers les consultations pluridisciplinaires en collaboration avec les généticiens et les dermatologues permettant de poser le diagnostic [11].

Les manifestations cliniques peuvent regrouper une hyperlaxité ligamentaire, une instabilité articulaire, des arthralgies et une scoliose. La déformation du pied en plat valgus rejoint celle de la maladie de Marfan [12]. La prise en charge est identique. Une déformation en pied bot varus équin peut être constatée de façon exceptionnelle dans le syndrome d'Ehlers-Danlos.

Syndromes arthrogryposiques

L'arthrogrypose congénitale présente un tableau caractéristique associant des raideurs articulaires présentes dès la naissance.

La forme clinique la plus grave est l'arthrogrypose multiple congénitale [13]. Il s'agit d'une atteinte des quatre membres prédominant aux extrémités et souvent de façon symétrique. Elle est caractérisée par une raideur articulaire, une force musculaire diminuée sans trouble de la sensibilité. Ces patients ont une intelligence normale, ils ne présentent pas d'anomalie viscérale ni d'antécédent familial. Les plis de flexion

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

articulaire sont absents. La peau est tendue. Les pieds sont en général déformés en varus équin. L'aspect est celui d'un pied bot varus équin idiopathique mais très raide. Il peut parfois s'agir d'un pied convexe ou d'un pied équin direct.

Dans l'arthrogrypose distale, les déformations des pieds sont identiques à la forme classique. Le pronostic est cependant meilleur, car les articulations proximales sont habituellement épargnées et la force musculaire est normale.

On classe sous le terme de syndrome arthrogryposique une multitude d'affections dont le point commun est la présence de raideurs articulaires associées à des anomalies viscérales et/ou des anomalies du système nerveux. Nous pouvons énumérer le syndrome de Freeman-Sheldon, le syndrome des ptérygia, le syndrome de Beals ainsi que d'autres syndromes en cours d'identification.

La prise en charge des déformations au niveau des pieds consiste en la mobilisation passive par la rééducation, mobilisation associée à des étirements doux afin d'éviter les fractures et les déformations osseuses. En dehors des séances de rééducation, les articulations sont maintenues dans la position de correction maximale par des attelles en matériaux thermoformables qui sont modifiées selon les progrès obtenus et/ou par des plâtres successifs.

La chirurgie est nécessaire en cas d'absence d'amélioration des mobilités ; elle peut consister en une libération des parties molles, des ténotomies et des capsulotomies. Les ostéotomies de réaxation sont parfois utiles, la récidive est cependant fréquente et nécessite de répéter ces corrections au cours de la croissance. La talectomie a été prônée par Menelaus [14] en cas de récidive de la déformation en varus équin, avec des résultats initialement bons. Cependant, avec un recul de 20 ans, le taux de récidive est de 67 % (série de 21 pieds chez 13 patients arthrogryposiques) [15]. En outre, l'évolution vers la fusion tibiocalcanéenne, spontanée ou après reprise chirurgicale avec arthrodèse tibiocalcanéenne risque d'entraîner secondairement une arthrose du genou et du médio-pied [16]. C'est dire que la talectomie ne doit être envisagée qu'en dernier recours, car ses résultats à long terme ont déçu.

Conclusion

Il est nécessaire d'insister sur le fait que toute malformation du pied, des orteils demande un examen complet à la recherche d'un syndrome malformatif plus complexe. Cet examen est indispensable pour orienter le diagnostic, le traitement et donner un conseil génétique éclairé.

Références

1 Lindsey JM, Michelson JD, MacWilliams BA, Sponseller PD, Miller NH. The foot in Marfan syndrome : clinical findings and weight-distribution patterns. J Pediatr Orthop 1998 ; 18 : 755-9.
2 Pejin Z, Pannier S, Topouchian V, Glorion C. Hip and foot problems in Marfan syndrome. Arch Pediatr 2008 ; 15 : 579-81.
3 Tareco JM, Miller NH, MacWilliams BA, Michelson JD. Defining flatfoot. Foot Ankle Int 1999 ; 20 : 456-60.
4 Pueschel SM. Clinical aspects of Down syndrome from infancy to adulthood. Am J Med Genet Suppl 1990 ; 7 : 52-6.
5 Pueschel SM, Scola FH, Tupper TB, Pezzullo JC. Skeletal anomalies of the upper cervical spine in children with Down syndrome. J Pediatr Orthop 1990 ; 10 : 607-11.
6 Mik G, Gholve PA, Scher DM, Widmann RF, Green DW. Down syndrome : orthopedic issues. Curr Opin Pediatr 2008 ; 20 : 30-6.
7 Pu LL, Vasconez HC. Large recurrent plexiform neurofibroma of the foot and ankle. Microsurgery 2004 ; 24 : 67-71.
8 Blitz NM, Hutchinson B, Grabowski MV. Pedal plexiform neurofibroma : review of the literature and case report. J Foot Ankle Surg 2002 ; 41 : 117-24.
9 Khiami F, Rampal V, Seringe R, Wicart P. Pseudarthrose congénitale du tibia : à propos d'une localisation exceptionnelle, proximale, à l'âge de 33 ans. Rev Chir Orthop 2010 ; 96 : 83-7.
10 Burgeson RE, Nimni ME. Collagen types. Molecular structure and tissue distribution. Clin Orthop Relat Res 1992 ; 282 : 250-72.
11 Agnew P. Evaluation of the child with ligamentous laxity. Clin Podiatr Med Surg 1997 ; 14 : 117-30.
12 Hamada S, Hiroshima K, Shibata T, Shimizu N, Ono K, Ohshita S. Ehlers-Danlos syndrome : clinico-pathology and orthopedic treatment. Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi 1986 ; 60 : 1099-108.
13 Fassier A, Wicart P, Dubousset J, Seringe R. Arthrogryposis multiplex congenita. Long-term follow-up from birth until skeletal maturity. J Child Orthop 2009 ; 3 : 383-90.
14 Menelaus M. Talectomy for equinovarus deformity in arthrogryposis and spina bifida. J Bone Joint Surg 1971 ; 53B : 468-73.
15 Legaspi J, Li Y, Chow W, Leong J. Talectomy in patients with recurrent deformity in clubfoot. A long-term follow-up study. J Bone Joint Surg 2001 ; 83B : 384-7.
16 Nicomedez F, Li Y, Leong J. Tibiocalcaneal fusion after talectomy in arthrogrypotic patients. J Pediatr Orthop 2003 ; 23 : 654-7.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Séquelles du pied tumoral

E. MASCARD[1]

Introduction

Les tumeurs malignes de la cheville et du pied, sarcomes des tissus mous ou du squelette, sont particulièrement rares et la littérature est assez pauvre à ce sujet [1,2]. Le principe du traitement de ces tumeurs est le même que pour le reste de l'appareil locomoteur. La première étape est diagnostique. Les symptômes de ces tumeurs sont trompeurs au pied ; il s'agit souvent d'une douleur qui est mise sur le compte d'une cause mécanique, plus tardivement d'une tuméfaction. En cas de lésion plantaire, on peut penser à une lésion réactionnelle voire à une fibromatose. En cas de lésion dorsale, un kyste synovial est habituellement évoqué de prime abord.

Un premier geste chirurgical sans diagnostic histologique préalable ni imagerie a souvent déjà été réalisé quand le patient est référé au spécialiste en pathologie tumorale. Avant tout geste chirurgical, une imagerie comprenant au moins des radiographies standard et une imagerie par résonance magnétique (IRM) est indispensable. Le diagnostic de toute lésion atypique repose sur l'anatomopathologie, soit par ponction éventuellement guidée par l'échographie, soit par biopsie chirurgicale. Ce n'est qu'une fois ce diagnostic établi avec certitude, le bilan d'extension à distance effectué (dépendant de l'histologie : scanner thoracique ou scanner thoraco-lombo-abdominal, tomographie par émission de positrons, échographie des chaînes ganglionnaires, scintigraphie osseuse) et l'ensemble du dossier discuté en réunion de concertation pluridisciplinaire, que le traitement sera envisagé.

Une chimiothérapie néoadjuvante est systématiquement instituée dans les ostéosarcomes et les tumeurs d'Ewing et dans certaines tumeurs des tissus mous. Dans d'autres cas – tumeurs de bas grade, chondrosarcomes et petites tumeurs des tissus mous – le traitement est chirurgical d'emblée, mais doit répondre aux règles de la chirurgie oncologique. La résection doit emporter toute la tumeur sans l'ouvrir, avec une marge de tissus sains en périphérie. On parle alors de résection large, la seule adaptée au traitement des tumeurs malignes de l'appareil locomoteur. Cette résection large est difficile à réaliser au pied dont les compartiments sont de taille limitée, car il existe de nombreuses espaces de glissement. On peut compléter le traitement local des sarcomes des tissus mous et des tumeurs d'Ewing par une irradiation postopératoire. Cette radiothérapie est difficile au pied, laissant des troubles trophiques mal tolérés souvent pires que les séquelles d'une chirurgie large. Du fait de ces difficultés et des résultats fonctionnels aléatoires de certains traitements conservateurs, le traitement classiquement préconisé est l'amputation transtibiale. Les résultats fonctionnels en sont excellents à condition que l'appareillage soit adapté. Dans certains cas de tumeurs de l'avant-pied ou du médio-pied, les amputations conservant l'arrière-pied sont également classiques. Les amputations de type Pirogoff, Boyd ou Camillieri [3], qui consistent en une amputation de Chopart avec ablation du talus et fixation du calcaneus au pilon tibial avec résection des deux malléoles, permettent la conservation de la peau calcanéenne. Cette amputation a l'avantage de donner un moignon à la peau résistante et sensible, avec un appui stable et indolore. Son appareillage est plus difficile que pour l'amputation de jambe. L'amputation de Syme classique, qui coupe le tibia distal avec conservation de la peau calcanéenne, a l'inconvénient de donner un moignon à la peau instable. L'amputation de Chopart aboutit souvent à une déformation progressive du moignon en équin avec appui de la partie antérieure du calcaneus au sol responsable de conflits douloureux.

Dans certains cas, le traitement conservateur des tumeurs du pied ne fait pas courir de risque carcinologique et permet d'espérer une marche sans appareillage ou avec des orthèses de confort. On peut donc privilégier ce traitement conservateur dans certains cas de tumeurs de l'arrière-pied ou du médio-pied. Les publications à ce sujet sont rares et sont le plus souvent des

[1] Service d'orthopédie pédiatrique, hôpital Saint-Vincent-de-Paul, 82, avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris ; clinique Arago, 95, boulevard Arago, 75014 Paris.

Les déformations du pied de l'enfant et de l'adulte
© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

case reports ou de très courtes séries [4]. Des travaux récents montrent bien qu'actuellement, la qualité de vie des patients amputés est inférieure à celle de ceux ayant eu un traitement conservateur [5].

Tibia distal

C'est une localisation non exceptionnelle d'ostéosarcome et plus rarement de tumeur d'Ewing. Ces tumeurs malignes du tibia distal peuvent envahir l'interligne talocrural. Les structures anatomiques tendineuses et neurovasculaires sont proches de l'os et le revêtement cutané est fragile. Dès que les tumeurs sont développées dans les parties molles, il est donc souvent préférable de recourir à l'amputation haute de jambe plutôt que de prendre des risques carcinologiques. Il est néanmoins possible, en cas d'extension limitée de la tumeur et de bonne réponse apparente à la chimiothérapie néoadjuvante, de réaliser des traitements conservateurs. Si le pilon tibial n'est pas envahi, la situation est celle d'une résection diaphysaire et ne présente pas de particularité.

En cas d'envahissement du pilon tibial ou de l'interligne talocrural, la reconstruction peut faire appel à une prothèse massive de cheville, dont nous n'avons pas l'expérience [6]. La technique la plus souvent utilisée est l'arthrodèse tibiotalienne. Notre technique habituelle consistait en un enclouage tibiotalien antérograde, associé à un vissage de la malléole fibulaire au talus après avivement et un comblement par des greffons corticospongieux iliaques et des baguettes corticales prélevées sur le tibia homo- ou controlatéral [7]. De nombreux cas d'infection, dus à la précarité de la couverture cutanée et au risque de contamination de l'ensemble du tibia représenté par l'enclouage (en cas de récidive locale), nous ont amenés à proposer une reconstruction avec un transfert de fibula vascularisée à l'aide d'un lambeau fasciocutané de couverture et une ostéosynthèse par plaque à vis verrouillées de type *locking compression plate* (LCP). Les résultats fonctionnels sont souvent excellents, comparables à ceux d'une arthrodèse de cheville [8]. Chez le sujet jeune, nous avons constaté le développement d'une hypermobilité compensatrice dans les articulations du médio-pied qui permet la marche sur les talons et sur les pointes. Quelques patients dont l'arthrodèse n'était pas parfaitement axée ont été repris par ostéotomie supramalléolaire. Notre plus long recul est de 25 ans sans détérioration arthrosique des interlignes restants, l'avenir à très long terme restant néanmoins inconnu.

Fibula distale

C'est une localisation où, dans notre expérience, on rencontre plus de tumeurs d'Ewing que d'ostéosarcomes. Les autres tumeurs malignes sont à ce niveau exceptionnelles. Comme dans les autres tumeurs du pied et de la cheville, une amputation est parfois préférable en cas de grosse lésion ou de mauvaise réponse à la chimiothérapie d'induction. Dans les autres cas, le traitement consiste en la résection de la partie distale de la fibula, sacrifiant également les trois faisceaux du ligament collatéral latéral de la cheville. La reconstruction peut faire appel à une ténodèse du tendon court fibulaire pour stabiliser la cheville. Certains auteurs se sont évertués à faire une reconstruction osseuse, qui nous paraît inutile [9]. De façon surprenante, chez l'enfant, grâce à une contention prolongée par botte de marche, nous n'avons jamais observé d'instabilité symptomatique de cheville chez nos patients [10]. Par ailleurs et contrairement à ce qui est observé, chez l'enfant après prélèvement d'un greffon de fibula vascularisé, nous n'avons jamais observé de déviation en valgus du tibia distal chez les patients ayant eu une résection de la fibula distale pour tumeur [11-13].

Talus

Généralités

Dans notre expérience (3 sur 4 tumeurs du talus) et dans la littérature, le talus est plutôt le siège de rares tumeurs d'Ewing que d'autres tumeurs malignes, même si des cas d'ostéosarcome ou de chondrosarcome sont ponctuellement décrits [14-17].

Des cas isolés de traitement conservateur sont publiés, souvent traités par talectomie et arthrodèse tibiocalcanéenne [18]. Comme Reiland, nous rapportons un cas où la reconstruction a consisté en une arthrodèse tibiocalcanéenne et du Chopart avec des greffons tibiaux redonnant sa hauteur à l'arrière-pied [19].

Cas clinique (figure 1)

Ce patient de 8 ans est traité en 1992 pour une tumeur d'Ewing du talus métastatique aux poumons (figure 1a). Il reçoit une chimiothérapie conventionnelle néoadjuvante, puis une chimiothérapie à haute dose avec greffe de moelle osseuse. Il est opéré par résection du talus et reconstruction par greffons tibiaux réalisant une arthrodèse tibio-fibulo-calcanéenne et médiotarsienne avec ostéosynthèse par clou, broches et vis (figures 1b et 1c). Du fait d'une inégalité de longueur secondaire, il bénéficie en 1998 d'un allongement tibial et d'une épiphysiodèse du tibia et du fémur controlatéraux. En 2005, le résultat fonctionnel est excellent, permettant la pratique des sports sans douleurs. Il persiste une inégalité de 6 cm (figures 1d et 1e).

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 1. Tumeur d'Ewing du talus à l'âge de 8 ans.
a. IRM. **b.** Radiographie de cheville postopératoire de face. **c.** Radiographie de cheville postopératoire de profil. **d.** Radiographie de face à 13 ans de recul. **e.** Radiographie de profil du pied à 13 ans de recul.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Calcaneus

Généralités

Dans notre expérience, sur 11 tumeurs malignes du calcaneus, il y avait 5 chondrosarcomes, 4 Ewing et 3 ostéosarcomes. Cette localisation est l'indication très classique d'une amputation pour beaucoup d'auteurs, qui partent du principe que le calcaneus est l'os le plus important du pied [20,21]. Dans notre expérience sur 11 tumeurs du calcaneus, 4 ont été amputées.

Hormis l'amputation, quand la tumeur a un développement limité, un traitement conservateur reste possible. Le premier est la calcanéectomie sans reconstruction. C'est une procédure utilisée dans le traitement de l'ostéomyélite chronique du pied diabétique ou du pied du spina, avec de meilleurs résultats qu'une amputation [22]. Ces résultats sont confirmés par notre expérience personnelle à propos de 2 cas. La marche est possible sans calcaneus, souvent avec l'aide d'une orthèse plantaire. La reconstruction n'est donc pas toujours indiquée.

L'autre option est la résection du calcaneus avec reconstruction. Le risque d'infection n'est pas mis en avant dans la littérature, mais doit être pris en compte car 2 de nos patients pour lesquels une reconstruction avait été réalisée ont été repris par calcanéectomie sans reconstruction pour infection secondaire. Divers procédés de reconstruction ont été proposés. Musculo et Mankin proposent d'utiliser une allogreffe de calcaneus [23,24]. Plusieurs auteurs proposent des greffons de côtes associés à un lambeau [25-27]. Un greffon de crête iliaque vascularisé est aussi utilisable [28]. Une des difficultés est la fixation de la peau de la coque calcanéenne à l'os et la sensibilité de celle-ci en cas de lésion de la branche calcanéenne du nerf tibial.

Cas clinique (figure 2)

Ce patient de 49 ans qui pratique la course de fond de façon régulière consulte pour des douleurs du pied droit qui font porter le diagnostic d'aponévrosite plantaire. Ce patient a des pieds creux directs, sans étiologie neurologique (figure 2a). L'IRM montre une tumeur du calcaneus dont la biopsie établit le diagnostic de chondrosarcome (figure 2b).

Du fait d'un envahissement modéré des parties molles, un traitement conservateur est proposé, consistant en une calcanéectomie avec reconstruction en deux temps selon la technique de la membrane induite de Masquelet. En cas de résection aux marges contaminées, une amputation de jambe sera nécessaire.

La résection de la tumeur est complète, confirmée histologiquement, mais s'accompagne d'une anesthésie de la coque talonnière par atteinte de la branche calcanéenne sensitive du nerf tibial. Le premier temps de reconstruction est effectué par un bloc de ciment et l'avivement de l'interligne talonaviculaire avec fixation par vis en vue d'une arthrodèse (figure 2c). Il est prévu de réaliser secondairement une reconstruction définitive par greffe dans la fibrose induite par le ciment.

Quatre mois après la résection, alors que le patient a repris la marche en appui complet, une nécrose cutanée par hyperappui plantaire est traitée par soins locaux sans suppression d'appui et se complète en mal perforant plantaire avec collection profonde suppurée autour de la reconstruction. Le patient est alors revu par son chirurgien qui procède à l'ablation du ciment, des vis, puis curette les tissus infectés. L'ensemble réalise une calcanéectomie (figure 2d). Ce traitement chirurgical et une antibiothérapie permettent la guérison de l'infection.

Un an plus tard, le patient marche avec une semelle orthopédique, des chaussures normales, et parfois une canne pour sortir. Le pied n'est pas douloureux. Une certaine sensibilité de la coque calcanéenne commence à apparaître. Malgré les complications, le patient préfère avoir conservé son pied que d'avoir été amputé (figure 2e).

Médio-pied

Généralités

Le médio-pied est rarement le siège de tumeurs osseuses primitives, mais plus de lésions des parties molles avec atteinte osseuse comme des angiosarcomes [20] ou des synovialosarcomes [29-30]. Quelques très rares cas d'Ewing du cuboïde ou d'un autre os du tarse sont rapportés [14,16,18]. Des cas isolés d'ostéosarcomes d'histologie particulière sont aussi rapportés [31]. Dans les cas où l'envahissement local est limité, le traitement consiste en une résection emportant l'os atteint et habituellement les surfaces articulaires des os voisins. La reconstruction est réalisée par arthrodèse des interlignes réséqués. Dans les autres cas, quand un traitement conservateur est jugé impossible ou en cas de récidive, une amputation conservant l'arrière-pied et la coque calcanéenne donne le meilleur compromis entre sécurité carcinologique, fonction sans appareillage et possibilité d'appareillage. Comme nous l'avons dit dans l'introduction, les amputations de jambe sont plus faciles à appareiller mais obligent le patient à utiliser une prothèse.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 2. Chondrosarcome du calcaneus chez un patient ayant un pied creux idiopathique.
a. Radiographie de pied de profil. **b.** IRM du calcaneus. **c.** Radiographie de pied postopératoire montrant la reconstruction provisoire par ciment. **d.** Radiographie de profil 1 an après calcanéectomie. **e.** Aspect clinique après calcanéectomie.

Cas clinique (figure 3)

Cette patiente de 12 ans est vue en 1995 pour une tumeur du médio-pied (figures 3a et 3b) dont la biopsie fait porter le diagnostic de synovialosarcome. Après chimiothérapie néoadjuvante, une résection emportant une partie du talus, du cuboïde, du calcaneus et du naviculaire est réalisée. La résection est histologiquement complète et la réponse à la chimiothérapie est bonne. La reconstruction consiste en une arthrodèse sous-talienne et médio-tarsienne avec des greffons autogènes iliaques (figure 3c). La consolidation de l'arthrodèse est acquise au prix d'une perte de la longueur des greffons. Une désaxation du pied est corrigée chirurgicalement en juillet 2007 par ostéotomie supramalléolaire. Un bon résultat fonctionnel est acquis pendant plusieurs années, mais se détériore avec apparition de douleurs de cheville. L'imagerie montre une arthrose tibiotalienne évoluée, qui résiste au traitement médical et aux injections d'acide hyaluronique (figures 3d et 3e). La patiente, actuellement âgée de 24 ans, travaille comme aide-soignante. L'implantation d'une prothèse de cheville est préconisée plutôt qu'une arthrodèse tibiotalienne pour éviter la panarthrodèse du pied.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés



Figure 3. Synovialosarcome du sinus du tarse.
a. IRM en coupe coronale montrant l'envahissement des os de voisinage. **b.** Scanner en reconstruction sagittale. **c.** Radiographie de pied postopératoire montrant la reconstruction par greffons tibiaux et broches. **d.** Radiographie de profil à 15 ans de recul. **e.** Radiographie de face au dernier recul montrant une arthrose tibiotarsienne évoluée.

Conclusion

Les tumeurs malignes du pied sont rares et le diagnostic n'en est souvent pas fait immédiatement, conduisant parfois à des interventions inadaptées mettant en jeu le pronostic fonctionnel, voire vital. Comme toutes les tumeurs malignes de l'appareil locomoteur, leur prise en charge doit être d'emblée faite par une équipe spécialisée en pathologie tumorale. De nos jours, les progrès de l'imagerie et des traitements médicaux permettent d'envisager dans certains cas des traitements conservateurs avec de bons résultats, sans recourir comme par le passé à l'amputation systématique.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

Références

1 Casadei R, Ferraro A, Ferruzzi A, Biagini R, Ruggieri P. Bone tumors of the foot : epidemiology and diagnosis. Chir Organi Mov 1991 ; 76 : 47-62.
2 Choong PF, Qureshi AA, Sim FH, Unni KK. Osteosarcoma of the foot : a review of 52 patients at the Mayo Clinic. Acta Orthop Scand 1999 ; 70 : 361-4.
3 Camilleri A, Anract P, Missenard G, Larivière JY, Ménager D. Amputation et désarticulations des membres : membre inférieur. Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris), Techniques chirurgicales, Orthopédie Traumatologie, 44-109, 2000 ; p. 6.
4 San-Julian M, Duart J, de Rada PD, Sierrasesumaga L. Limb salvage in Ewing's sarcoma of the distal lower extremity. Foot Ankle Int 2008 ; 29 : 22-8.
5 Aksnes LH, Bauer HC, Jebsen NL, Follerås G, Allert C, Haugen GS, et al. Limb-sparing surgery preserves more function than amputation : a Scandinavian sarcoma group study of 118 patients. J Bone Joint Surg Br 2008 ; 9 : 786-94.
6 Shekkeris AS, Hanna SA, Sewell MD, Spiegelberg BG, Aston WJ, Blunn GW, et al. Endoprosthetic reconstruction of the distal tibia and ankle joint after resection of primary bone tumours. J Bone Joint Surg Br 2009 ; 91 : 1378-82.
7 Scharicky S, Mascard E, Wicart P, Dubousset JF, Seringe R. Resection arthrodesis of the ankle for aggressive tumors of the distal tibia in children. J Pediatr Orthop 2009 ; 29 : 811-6.
8 Campanacci DA, Scoccianti G, Beltrami G, Mugnaini M, Capanna R. Ankle arthrodesis with bone graft after distal tibia resection for bone tumors. Foot Ankle Int 2008 ; 29 : 1031-7.
9 Leibner ED, Ad-El D, Liebergall M, Ofiram E, London E, Peyser A. Lateral malleolar reconstruction after distal fibular resection. A case report. J Bone Joint Surg Am 2005 ; 87 : 878-82.
10 Norman-Taylor FH, Sweetnam DI, Fixsen JA. Distal fibulectomy for Ewing's sarcoma. J Bone Joint Surg Br 1994 ; 76 : 559-62.
11 Fragnière B, Wicart P, Mascard E, Dubousset J. Prevention of ankle valgus after vascularized fibular grafts in children. Clin Orthop Relat Res 2003 ; 408 : 245-51.
12 González-Herranz P, del Río A, Burgos J, López-Mondejar JA, Rapariz JM. Valgus deformity after fibular resection in children. J Pediatr Orthop 2003 ; 23 : 55-9.
13 Nathan SS, Athanasian E, Boland PJ, Healey JH. Valgus ankle deformity after vascularized fibular reconstruction for oncologic disease. Ann Surg Oncol 2009 ; 16 : 1938-45.
14 Rammal H, Ghanem I, Torbey PH, Dagher F, Kharrat K. Multifocal Ewing sarcoma of the foot. J Pediatr Hematol Oncol 2008 ; 30 : 298-300.
15 Adkins CD, Kitaoka HB, Seidl RK, Pritchard DJ. Ewing's sarcoma of the foot. Clin Orthop Relat Res 1997 ; 343 : 173-82.
16 Pachter MR, Alpert MJ. Chondrosarcoma of the foot skeleton. Bone Joint Surg Am 1964 ; 46 : 601-7.
17 Goldsmith JR, Lee TH. High-grade intramedullary osteosarcoma of the talus : case report. J Foot Ankle Surg 2007 ; 46 : 480-3.
18 Casadei R, Magnani M, Biagini R, Mercuri M. Prognostic factors in Ewing's sarcoma of the foot. Clin Orthop Relat Res 2004 ; 420 : 230-8.
19 Reiland Y, Dumont CE, Bode-Lesniewska B, Exner GU. Extra-articular en bloc resection of the talocrural and the talo-calcaneo-navicular joints for primary malignant synovial tumour (myxoinflammatory fibroblastic sarcoma). Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg 2008 ; 42 : 211-4.
20 Casadei R, Raimondi A, Donati D, Mercuri M. Les tumeurs au niveau du pied. In : Leemrisje T, Valtin B, éds. Pathologie du pied et de la cheville. Paris : Masson ; 2009. p. 677-707.
21 Harrelson JM. Foot. In : Simon MA, Springfield D, éds. Surgery for bone and soft-tissue tumors. New York : Lippincott-Raven ; 1997. p. 421-34.
22 Geertzen JH, Jutte P, Rompen C, Salvans M. Calcanectomy, an alternative amputation ? Two case reports. Prosthet Orthot Int 2009 ; 33 : 78-81.
23 Mankin HJ, Gebhardt MC, Jennings LC, Springfield DS, Tomford WW. Long-term results of allograft replacement in the management of bone tumors. Clin Orthop 1996 ; 324 : 86-97.
24 Muscolo DL, Miguel AA, Aponte-Tinao A. Long-term results of allograft replacement after total calcanectomy. J Bone Joint Surg Am 2000 ; 82 : 109-12.
25 Brenner P, Zwipp H, Rammelt S. Vascularized double barrel ribs combined with free serratus anterior muscle transfer for homologous restoration of the hindfoot after calcanectomy. J Trauma-Injury Infect Crit Care 2000 ; 49 : 331-5.
26 Lin CH, Wei FC, Levin LS, Su JI. Free composite serratus anterior and rib flaps for tibial composite bone and soft-tissue defect. Past Reconstr Surg 1997 ; 99 : 1656-65.
27 Moscona RA, Ullmann Y, Hirshowitz B. Free composite serratus anterior muscle-rib flap for reconstruction of severely damaged foot. Ann Plast Surg 1988 ; 20 : 167-72.
28 Kurvin LA, Volkering C, Kessler SB. Calcaneus replacement after total calcanectomy via vascularized pelvis bone. Foot Ankle Surg 2008 ; 14 : 221-4.
29 Scully SP, Temple HT, Harrelson JM. Synovial sarcoma of the foot and ankle. Clin Orthop Relat Res 1999 ; 364 : 220-6.
30 Kirby EJ, Shereff MJ, Lewis MM. Soft-tissue tumors and tumor-like lesions of the foot. An analysis of eighty-three cases. J Bone Joint Surg Am 1989 ; 71 : 621-6.
31 Fox C, Husain ZS, Shah MB, Lucas DR, Saleh HA. Chondroblastic osteosarcoma of the cuboid : a literature review and report of a rare case. J Foot Ankle Surg 2009 ; 48 : 388-93.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés