



Lésions traumatiques des nerfs périphériques

De la réparation nerveuse directe
aux interventions palliatives

Coordination
J.-Y. Alnot
M. Chammas



Cahiers
d'enseignement
de la SOFCOT

Collection dirigée par J. Duparc

LÉSIONS TRAUMATIQUES DES NERFS PÉRIPHÉRIQUES

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 : recherchez 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 2007)

Président de la SOFCOT	Bernard TOMENO
Premier vice-président SOFCOT	Frantz LANGLAIS (†)
Deuxième vice-président SOFCOT	Laurent SEDEL
Ancien président	Jean-Luc LERAT
Secrétaire général	Thierry BÉGUÉ
Secrétaire général adjoint	Christian GARREAU DE LOUBRESSE
Trésorier	Jean-Marie POSTEL
Trésorier adjoint	Philippe LANDREAU
Membres	Philippe BEAUFILS, Jean-Luc CLÉMENT, Christian DELLOYE, Jean NORTH, Guy PIETU

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

Président de l'Académie	Raphaël SERINGE
Premier Vice-président de l'Académie	Denis HUTEN
Deuxième Vice-président de l'Académie	Yves CATONNÉ

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

Président du CFCOT	Jean PUGET
Secrétaire général du CFCOT	Christophe GLORION

Représentants du SNCO (Syndicat National des chirurgiens orthopédistes) :

Président du SNCO	Jacques CATON
Secrétaire Général du SNCO	Patrice PAPIN

CAHIERS D'ENSEIGNEMENT DE LA SOFCOT

Comité de rédaction

Rédacteur en chef Jacques DUPARC

Secrétaires de rédaction

Orthopédie pédiatrique Rémi KOHLER

Orthopédie de l'adulte Denis HUTEN

Secrétaire général de la Sofcot Thierry BÉGUÉ

Comité de lecture Bernard AUGEREAU, Philippe BURDIN,
Jean-Michel CLAVERT, Jean-Pierre COURPIED,
Bruno DOHIN, Joaquin FENOLLOSA,
Christophe GLORION, Cécile JEANROT,
Thierry JUDET, André KAEIN,
Frantz LANGLAIS (†), Roger LEMAIRE,
Michel MANSAT, Pierre MARY,
Emmanuel MASMEJEAN, Jean-Paul MÉTAIZEAU,
Philippe NEYRET, Jacques-Yves NORDIN,
Hervé OLIVIER, Michel POSTEL,
Raphael SERINGE, Jean-Michel THOMINE,
Bernard TOMENO, Éric VANDENBUSSCHE,
Jean-Marc VITAL

Cahiers d'enseignement de la SOFCOT

Collection dirigée par J. Duparc

95

**LÉSIONS TRAUMATIQUES
DES NERFS PÉRIPHÉRIQUES**

**DE LA RÉPARATION NERVEUSE DIRECTE
AUX INTERVENTIONS PALLIATIVES**

Sous la direction de

Jean-Yves ALNOT et Michel CHAMMAS

avec la collaboration de

J.-Y. ALNOT, F. BACOU, B. BAUER, C. BELIN, P. BELLEMÈRE, R. BLETON, C. BONNARD,
C. CAUQUIL, M. CÉSAR, F. CHAISE, M. CHAMMAS, C. CHANTELOT, B. COULET, P.-A. DAUSSIN,
S. DOMERGUE, C. FONTAINE, M.-Y. GRAUWIN, G. HERZBERG, F. LACOMBE,
C. LAZERGES, P. LIVERNEAUX, D. LUMENS, F. MARIN BRAUN, E. MASMEJEAN, A.-C. MASQUELET,
N. MASSON, J.-P. MICALLEF, F. STER, M.-N. THAURY, G. WAVREILLE



ELSEVIER
MASSON

Cahiers d'enseignement de la SOFCOT
Collection dirigée par Jacques Duparc

Lésions traumatiques des nerfs périphériques. De la réparation nerveuse directe aux interventions palliatives

Coordinateurs :

Jean-Yves Alnot

Chirurgien consultant, ancien professeur des Universités, Paris

Michel Chammas

Professeur des Universités, chirurgien des hôpitaux, Montpellier

Lésions traumatiques des nerfs périphériques. De la réparation nerveuse directe aux interventions palliatives

Responsable éditoriale : Marie-José Rouquette

Éditeurs : Nathalie Humblot, Sophie Gobert

Chef de projet : Benjamin Scias

Conception graphique et maquette de couverture : Véronique Lentaigne

© 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés
62, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex
<http://france.elsevier.com>

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 1^{er} 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
Imprimé aux Pays-Bas par Krips
Dépôt légal : Novembre 2007

ISBN : 978-2-84299-846-2

Liste des auteurs

ALNOT Jean-Yves

Ancien chef de service de chirurgie orthopédique et traumatologique, ancien professeur des universités, chirurgien consultant

BACOU Francis

Directeur de recherche
UMR 866 différenciation cellulaire et croissance
INRA Montpellier 2, place Pierre Viala,
34060 Montpellier, France

BAUER Bertrand

Chirurgien des Hôpitaux des Armées
Service de chirurgie orthopédique et traumatologique
Hôpital d'Instruction des Armées Percy,
101, avenue Henri Barbusse,
92141 Clamart, France

BELIN Cédric

Interne des hôpitaux de Bordeaux
Service de chirurgie de la main et du membre supérieur
Hôpital universitaire Lapeyronie
34295 Montpellier cedex 5, France

BELLEMÈRE Philippe

Ancien interne des hôpitaux de Paris,
ancien chef de clinique orthopédique,
ancien assistant des hôpitaux de Paris
Nantes Assistance Main
Clinique Jeanne d'Arc, 21, rue des Martyrs,
44100 Nantes, France

BLETON Rémy

Ancien chef de clinique assistant (ACCA)
Service de chirurgie orthopédique
et traumatologique
Hôpital Foch
40, rue Worth, 92150 Suresnes, France

BONNARD Chantal

Médecin associé au CHUV
Service de chirurgie plastique, reconstructive
et esthétique, chirurgie de la main FMH
Clinique de Longeraie
9, avenue de la Gare
CH 1003 Lausanne, Suisse

CAUQUIL Christiane

Kinésithérapeute
CRRF du docteur Ster
9, avenue Jean Ster, 34240 Lamalou-les-Bains,
France

CÉSAR Matthieu

Interne des hôpitaux de Montpellier
Service de chirurgie orthopédique II
et chirurgie de la main
Hôpital universitaire Lapeyronie
34295 Montpellier cedex 5, France

CHAISE Francis

Ancien interne des hôpitaux de Paris,
ancien chef de clinique orthopédique,
ancien assistant des hôpitaux de Paris
Service de chirurgie réparatrice de la main
Clinique Jeanne d'Arc, 21, rue des Martyrs,
44100 Nantes, France

CHAMMAS Michel

Professeur des universités, chirurgien des hôpitaux
Service de chirurgie orthopédique II
et chirurgie de la main
Hôpital universitaire Lapeyronie
34295 Montpellier cedex 5, France

CHANTELOT Christophe

Professeur des universités, praticien hospitalier
Département de chirurgie de la main
et du membre supérieur
Hôpital Roger Salengro, CHRU de Lille
2, avenue Oscar Lambret, 59037 Lille cedex 5,
France

COULET Bertrand

Chirurgien des hôpitaux
Service de chirurgie orthopédique II
et chirurgie de la main
Hôpital universitaire Lapeyronie
34295 Montpellier cedex 5, France

DAUSSIN Paul André

Chirurgien des hôpitaux
Centre hospitalier général de Narbonne

Boulevard du Docteur Lacroix
11100 Narbonne, France

DOMERGUE Sophie

Interne des hôpitaux de Montpellier
Service de chirurgie orthopédique II
et chirurgie de la main
Hôpital universitaire Lapeyronie
34295 Montpellier cedex 5, France

FONTAINE Christian

Professeur des universités, praticien hospitalier
Service d'orthopédie B, pôle de l'appareil locomoteur
Hôpital Roger-Salengro, CHRU de Lille
59047 Lille cedex, France

GRAUWIN Michel-Yves

Praticien hospitalier
Service d'orthopédie B
Hôpital Roger-Salengro, CHRU de Lille
59047 Lille cedex, France

HERZBERG Guillaume

Professeur des universités, praticien hospitalier
Hôpital Édouard-Herriot
Pavillon M, chirurgie orthopédique
main-membre supérieur
5, place d'Arsonval
69437 Lyon cedex 03, France

LACOMBE Fabien

Chef de clinique assistant
Service de chirurgie orthopédique II
et chirurgie de la main
Hôpital universitaire Lapeyronie
34295 Montpellier cedex 5, France

LAZERGES Cyril

Chirurgien des hôpitaux
Service de chirurgie orthopédique II
et chirurgie de la main
Hôpital universitaire Lapeyronie
34295 Montpellier cedex 5, France

LIVERNEAUX Philippe

Professeur des universités, praticien hospitalier
Centre de chirurgie orthopédique et de la main
Hôpitaux universitaires de Strasbourg
10, avenue Achille-Baumann
67403 Illkirch cedex, France

LUMENS David

Résident, université libre de Bruxelles
Service de chirurgie de la main et du membre supérieur
Hôpital universitaire Lapeyronie,
CHU de Montpellier
34295 Montpellier cedex 5, France

MARIN BRAUN François

Chirurgien coordinateur SOS Main Strasbourg
Centre de la Main
2-4, rue Sainte-Elisabeth, 67000 Strasbourg,
France

MASMEJEAN Emmanuel

Chef de l'unité de chirurgie
de la main et des nerfs périphériques
Service de chirurgie orthopédique
et traumatologique
Hôpital européen Georges Pompidou (HEGP)
20, rue Leblanc, 75015 Paris, France

MASQUELET Alain-Charles

Professeur des universités, membre de l'Académie
nationale de chirurgie
Service de chirurgie orthopédique,
traumatologique et réparatrice
Hôpital Avicenne, Université Paris XIII,
125, route de Stalingrad,
93009 Bobigny cedex, France

MASSON Nelly

Assistant chef de clinique
Hôpital Édouard-Herriot
Pavillon M, chirurgie orthopédique
main-membre supérieur
5, place d'Arsonval
69437 Lyon cedex 03, France

MICALLEF Jean-Paul

Directeur de recherche INSERM
INSERM ADR 08
Parc euromédecine, 99, rue Puech Villa,
34197 Montpellier cedex 5, France

STER François

Médecin rhumatologue
CRRF du Docteur Ster
9, avenue Jean Ster, 34240 Lamalou-les-Bains,
France

THAURY Marie-Noëlle

Médecin en rééducation fonctionnelle,
attachée des Hôpitaux
Unité de rééducation de la main et du membre supérieur
CRRF du Docteur Ster
9, avenue Jean Ster, 34240 Lamalou-les-Bains,
France

WAVREILLE Guillaume

Interne, moniteur en anatomie et organogénèse
Service d'orthopédie B,
pôle de l'appareil locomoteur
Hôpital Roger-Salengro, CHRU de Lille
59047 Lille cedex, France

Introduction

Cet ouvrage aborde le problème des lésions nerveuses périphériques post-traumatiques à l'exclusion des lésions du plexus brachial et des syndromes canalaux.

Les progrès de la microchirurgie ont constitué une étape importante dans la réparation nerveuse, qu'il s'agisse de suture primitive ou de greffe, mais nous sommes arrivés en limite de l'approche « mécanique » de la chirurgie nerveuse. Les progrès récents apportés à la prise en charge des patients sont dus aux résultats d'une approche plus « biologique » du traitement des lésions nerveuses périphériques, conduisant à la diminution de la durée de dénervation, comme en témoigne par exemple l'utilisation des techniques de transfert nerveux appliquées déjà aux lésions du plexus brachial, à l'amélioration des techniques de rééducation sensitives et motrices et à l'affinement des indications opératoires. Il ne s'agit que d'une étape intermédiaire, et nous sommes à l'aube d'une autre phase initiée par le début de l'utilisation des chambres de régénération et par les études concernant les facteurs neurotrophiques et la thérapie cellulaire.

Cette nouvelle édition fait le point des connaissances et aborde le problème sur un plan plus global que la précédente, c'est-à-dire depuis la réparation nerveuse directe (sutures et greffes nerveuses) jusqu'aux indications d'interventions palliatives (transferts musculo-tendineux, ostéotomie, arthrodèse) à considérer comme complémentaires de la chirurgie nerveuse directe quand le pronostic de régénération nerveuse est insuffisant, en soulignant la difficulté d'améliorer des séquelles sensitives. La prise en charge des névromes post-traumatiques posant parfois de difficiles problèmes thérapeutiques a été ajoutée.

Le but de cet ouvrage didactique est d'exposer les bases fondamentales, l'approche clinique, les indications, les techniques chirurgicales et la rééducation qui permettent au final d'obtenir les meilleurs résultats cliniques dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire. L'avenir sera également évoqué, plein d'espoir pour les blessés dont nous nous occupons.

Nous tenons à vivement remercier les différentes équipes ayant participé à cet ouvrage sous l'égide de la Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique.

J.-Y. Alnot et M. Chammas

Anatomie chirurgicale et microchirurgicale du nerf périphérique

Macroscopic and microscopic anatomy of peripheral nerve

N. MASSON¹, G. HERZBERG¹

RÉSUMÉ

Une bonne connaissance de l'anatomie microscopique et macroscopique du nerf périphérique est nécessaire lorsqu'on est amené à traiter une lésion traumatique nerveuse récente ou ancienne. La fibre nerveuse est l'unité élémentaire du nerf périphérique. L'unité chirurgicale identifiable sous microscope est le fascicule. Ce dernier est composé d'un regroupement de fibres nerveuses entourées d'un tissu conjonctif de soutien. La topographie intraneurale est complexe, variable non seulement d'un sujet à l'autre, mais aussi d'un membre à l'autre d'un même sujet. Ainsi, la réparation nerveuse microchirurgicale doit tenir compte de la cartographie de chaque nerf périphérique. La vascularisation du nerf périphérique doit également être préservée. Le nerf périphérique possède des propriétés mécaniques dont il faut avoir notion pour comprendre ses lésions traumatiques et leur réparation. Enfin, les voies d'abord des nerfs périphériques sont nombreuses et doivent être parfaitement connues pour que le chirurgien puisse se concentrer sur la réparation de ces structures hautement différenciées.

Mots clés : Nerf périphérique. – Anatomie. – Voies d'abord.

Intervenir chirurgicalement sur les nerfs périphériques des membres suppose une connaissance approfondie de leur anatomie normale à l'échelon macro et microscopique, ainsi que de leurs voies d'abord. Les nerfs périphériques se composent de structures nerveuses conductrices et d'un appareil mésenchymateux de soutien et de protection [3]. Ils sont la partie visible du système nerveux périphérique, interface entre le système nerveux central et le milieu extérieur [14].

Unité élémentaire du nerf périphérique : la fibre nerveuse

Une fibre nerveuse est un axone de neurone périphérique entouré d'une cellule satellite dite de Schwann.

SUMMARY

A thorough knowledge of the macroscopic and microscopic anatomy of peripheral nerves is necessary when a surgeon is faced with a traumatic nerve injury. The microscopic unit of the peripheral nerve is the nerve fiber. The surgical elementary unit is the fascicle which comprises a group of nervous fibers surrounded with connective tissue. Intraneural topography is highly variable but some aspects are known and should be considered when treating a peripheral nerve injury. The vascularization and mechanical properties of the peripheral nerve should be kept viable as well. The surgical approaches of each nerve of the upper extremity should be known so that the surgeon could concentrate on the nerve repair itself.

Key words: Peripheral nerve. – Anatomy. – Surgical approaches.

Rappelons que le neurone (figure 1) est constitué d'un corps cellulaire entouré de dendrites récepteurs de stimuli. Du corps cellulaire part l'axone, prolongement cytoplasmique très long et très fin dont le rôle est de transporter les impulsions jusqu'à une arborisation terminale. Une bonne idée des proportions de ces éléments est donnée par Ducker [in 8] : si le corps cellulaire avait la taille d'un homme, son axone aurait un diamètre d'environ 5 cm et une longueur d'environ 4 km. Malgré cette disproportion, les produits métaboliques élaborés par la cellule peuvent atteindre l'arborisation terminale et d'autres en revenir grâce à l'existence d'un flux axonal antéro et rétrograde. Cette fonction est indispensable, car la vie de l'axone, donc de la fibre nerveuse, dépend de l'intégrité du corps cellulaire avec lequel elle est en relation.

¹ Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, hôpital Édouard-Herriot, 5, place d'Arsonval, 69437 Lyon cedex 03, France

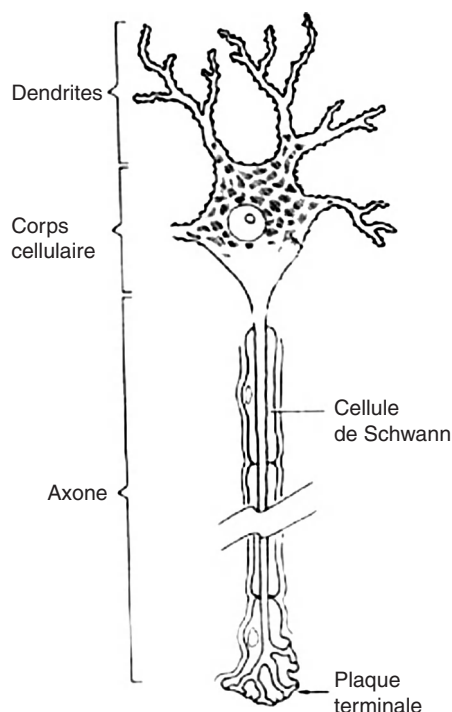


Figure 1. Structure générale du neurone périphérique (modifié d'après [16]).

Les neurones sont spécialisés. Ils sont moteurs, sensitifs ou végétatifs, et la situation de leur corps cellulaire ainsi que leur type d'arborisation terminale en dépendent. Un neurone aura son corps cellulaire situé dans la corne antérieure de la moelle s'il est moteur ou végétatif, dans le ganglion spinal de la racine dorsale du nerf périphérique s'il est sensitif (figure 2). Les neurones moteurs conduisent l'influx nerveux jusqu'à la jonction neuromusculaire afin de commander le mouvement. Les neurones sensitifs ramènent des informations depuis des récepteurs périphériques cutanés

(sensibilité tactile et thermoalgésique), articulaires et musculaires (sensibilité profonde). Les neurones végétatifs, en étroite relation avec la chaîne sympathique latérovertébrale où ils font relais, gèrent la pilomotricité, la vasomotricité et les sécrétions sudorales.

Tous les axones sont entourés de cellules satellites, appelées cellules de Schwann, d'origine neuro-épithéliale, qui leur constituent un support structural et métabolique. Le cytoplasme de l'axone bordé par une membrane ou axolemme est séparé de la cellule de Schwann par un espace périaxonal. La cellule de Schwann possède un noyau central, un cytoplasme dense et elle a un rôle de nutrition pour l'axone. En général, les axones des fibres nerveuses de petit diamètre (système nerveux autonome ou petites fibres de la douleur) sont simplement entourés par le cytoplasme de la cellule de Schwann. Dans le plan transversal, plusieurs axones sont situés au sein d'une cellule de Schwann, et la fibre nerveuse est dite amyélinique (figure 3A). L'axone garde un calibre constant sur toute sa longueur, et les cellules de Schwann successives sont en continuité les unes par rapport aux autres. Les axones des fibres nerveuses de gros diamètre sont enveloppés par un nombre variable de couches concentriques de membranes plasmiques de cellules de Schwann formant la gaine de myéline. Dans le plan transversal, la gaine de myéline s'enroule en spirale de 30 à 50 couches autour d'un seul axone. Ces types de fibres nerveuses sont dites myélinisées (figure 3B). Dans le plan longitudinal, une fibre myélinisée est en rapport avec un grand nombre de cellules de Schwann. Entre deux cellules de Schwann successives se trouve un étranglement ou nœud de Ranvier, courte portion où l'axone n'est pas recouvert d'une gaine de myéline (figure 4). L'axone lui-même augmente de calibre à proximité du nœud de Ranvier, puis diminue de 1/3 à 1/6 au niveau du nœud lui-même.

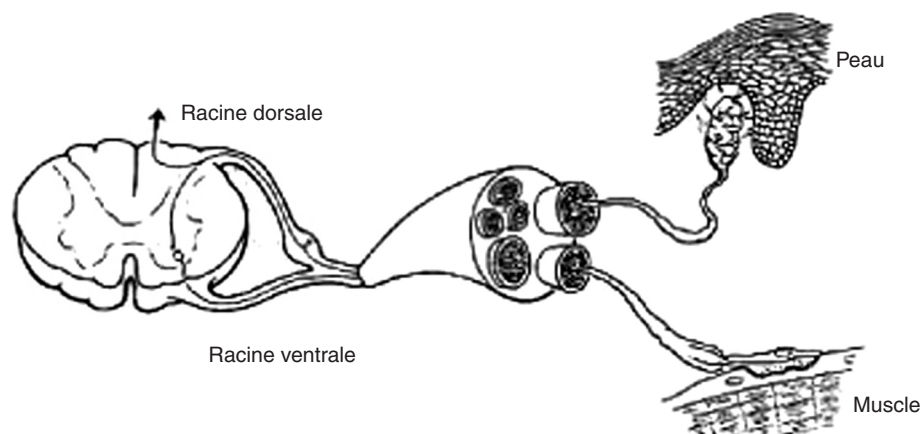


Figure 2. Connexions centrales et périphériques du nerf périphérique (modifié d'après [16]).

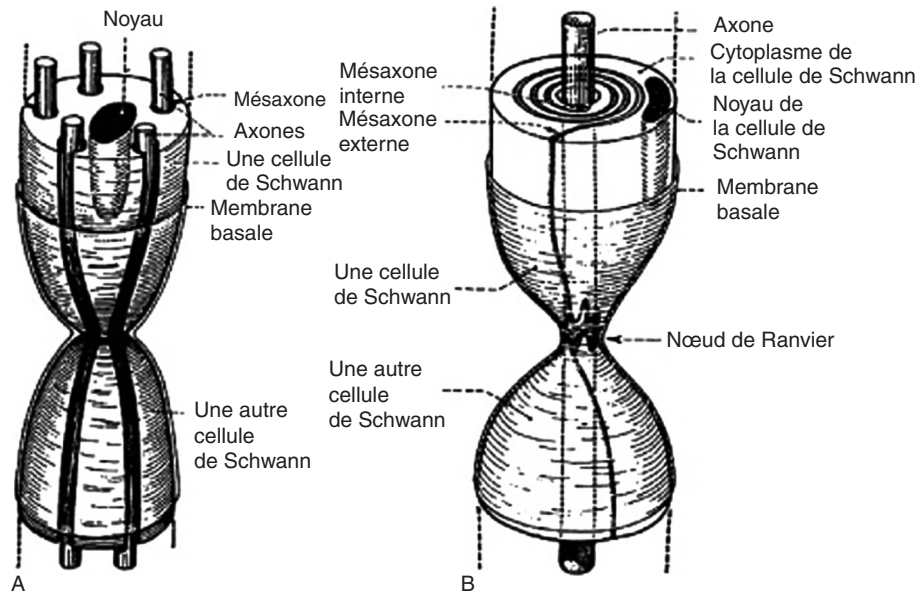


Figure 3. A : reconstitution tridimensionnelle schématisée d'une fibre amyélinique. B : reconstitution tridimensionnelle schématisée d'une fibre myélinisée (d'après [4]).

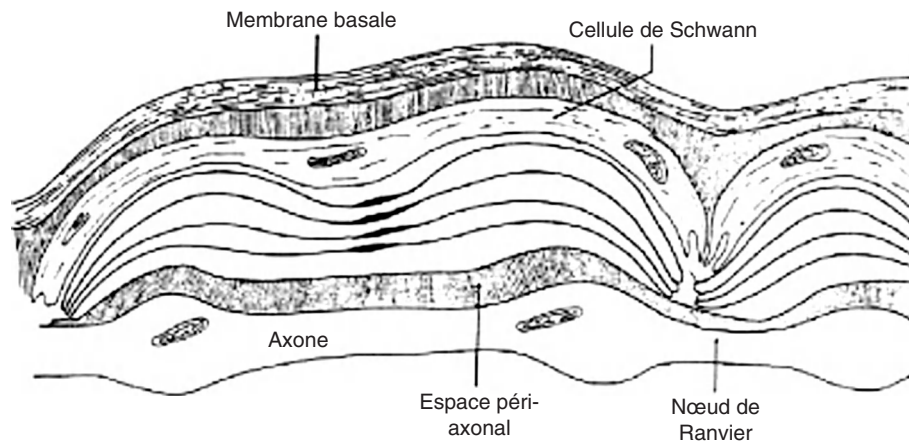


Figure 4. Aspect général des éléments périaxonaux (d'après [2]).

Dans toute fibre nerveuse, la vitesse de conduction de l'influx est proportionnelle au diamètre de l'axone. À calibre égal, la myélinisation augmente de manière significative la rapidité de conduction. La conduction nerveuse est dite saltatoire, c'est-à-dire que l'influx nerveux saute d'un nœud de Ranvier à l'autre. Le nombre de fibres nerveuses par nerf est très important : il est d'environ 30 000 pour le nerf médian par exemple [2].

Unité chirurgicale du nerf : fascicules et groupes de fascicules

Les fibres nerveuses sont groupées en fascicules, véritables unités chirurgicales identifiables sous microscope. La coupe transversale d'un fascicule montre des amas de fibres nerveuses amyéliniques et myélinisées au sein d'un tissu conjonctif appelé endonèvre (figure 5). Le fascicule est limité par le périnèvre, gaine conjonctive

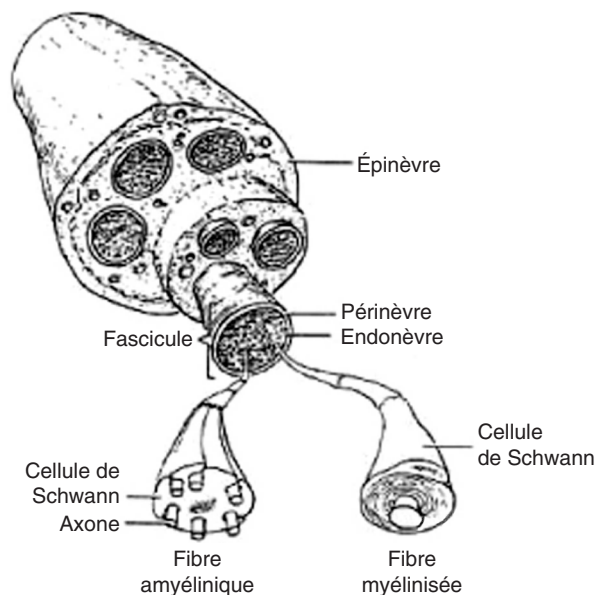


Figure 5. Architecture du nerf périphérique (d'après [11]).

fine, mais dense et résistante, qui y maintient une pression légèrement positive. Cela est très important pour comprendre les conséquences d'une section nerveuse totale ou partielle (telle qu'elle peut être réalisée dans les neurotisations du nerf du biceps par le nerf ulnaire par exemple). En effet, la réalisation d'une fenêtre périneurale est suivie de l'apparition d'une véritable « hernie » de tissu nerveux. Le périnèvre joue un rôle mécanique de protection et, sur le plan physicochimique, se comporte comme un équivalent de barrière hématoencéphalique : il sépare le milieu endoneural en communication avec les espaces sous-arachnoïdiens et le tissu conjonctif ambiant. Il résiste bien à l'infection. Le périnèvre sert d'appui aux sutures périneurales et épipérineurales. Très souvent, les fascicules se réunissent en groupes de fascicules entourés par l'épinèvre, qui peuvent être suturés en bloc sous microscope si une bonne orientation est respectée. Le nombre de fascicules varie dans une large mesure selon le nerf considéré [2] : ainsi, le nerf circonflexe comprend à son origine 7 à 10 fascicules et environ 6700 fibres nerveuses. Le nombre de fascicules du nerf radial dans sa portion brachiale varie, de haut en bas il décroît de 26 à 13 en moyenne. Dans sa portion antébrachiale, chacune de ses deux branches comprend environ 2 à 6 fascicules. Le nerf musculocutané est constitué de 6 à 8 fascicules à son origine, ce nombre se restreint dans la traversée du muscle coracobrachial. Entre le biceps et le brachial, il comprend 10 fascicules. Enfin, sa portion sensitive en compte 6. Le nerf médian, dans

sa portion brachiale, comprend 8 fascicules au tiers supérieur, 7 au tiers moyen et 8 au tiers inférieur. Dans sa portion antébrachiale, il en compte 10. Au canal carpien, la moyenne est de 20 fascicules. Au tiers supérieur du bras, le nerf médian comprend un peu plus de 30 000 fibres nerveuses, au tiers inférieur de l'avant-bras elles sont un peu moins de 20 000. Le nerf ulnaire comprend respectivement 9 fascicules dans le tiers supérieur du bras, 12 dans le tiers moyen et 4 dans le tiers inférieur. Au niveau de l'avant-bras et du canal de Guyon, le nombre de fascicules est en moyenne de 15. Dans le canal de Guyon, le nerf ulnaire comprend environ 10 000 fibres myéliniques.

L'ensemble du tissu conjonctif épineural, périneural et endoneural est important à considérer dans la mesure où il occupe plus de la moitié du tronc nerveux. Son importance augmente en regard des articulations, et sa répartition dans les différents segments est proportionnelle au nombre de fascicules. Par exemple, le nerf médian possède 63 % de tissu conjonctif pour 37 % de tissu neural. Ce fait est très important à considérer dans les greffes nerveuses : le nerf sural (saphène externe), très utilisé comme greffon, ne comporte que 29 % de tissu neural. Il est fondamental de réséquer soigneusement l'épinèvre aux extrémités, pour réaliser des fagots dont la taille peut varier, mais dont la tranche de section doit comporter le moins possible de tissu conjonctif.

Topographie intraneurale

La réunion des différents fascicules ou groupes fasciculaires, au sein d'un tissu conjonctif lâche, l'épinèvre, constitue le nerf périphérique. L'intrication des fibres motrices, sensibles et végétatives est complexe dans les nerfs périphériques des membres. Les fibres végétatives sont réparties de manière diffuse et non systématisée. Seuls les nerfs sensitifs « purs » comme le nerf cutané médial du bras (brachial cutané interne) ou un nerf collatéral digital ont une composition homogène de fibres sensibles. Il faut savoir que tout nerf ou branche nerveuse à destinée musculaire reçoit non seulement des fibres motrices, mais aussi des fibres sensibles qui rendent compte de l'état de tension de la fibre musculaire et du tendon. La plupart des nerfs périphériques des membres sont mixtes.

L'étude de l'organisation fasciculaire, dans le but de réaliser une cartographie de chaque nerf périphérique, a révélé de nombreuses variations, non seulement d'un sujet à l'autre, mais aussi d'un côté à l'autre chez le même sujet. Loy [5] a réalisé une étude sur la cartographie du nerf ulnaire au bras ; ce dernier est composé



Figure 6. Reconstruction tridimensionnelle d'un segment de 3 cm de nerf musculocutané humain (d'après [15]).

de 48 % de fibres motrices et de 52 % de fibres sensitives. Cette étude histomorphologique a permis d'objectiver que 10 % du nerf ulnaire est suffisant pour neurotiser le nerf moteur du muscle biceps. Le nerf n'a pas une structure en câble, mais une constitution plexiforme (figure 6), comme l'ont bien montré les travaux de Sunderland sur le nerf musculocutané [15]. Il ne s'agirait en réalité pas d'anastomoses nerveuses au sens histologique du terme, mais d'une modification de la répartition axonale entre les différents fascicules ou groupes fasciculaires. Sunderland notait que 15 mm était la longueur maximale au sein d'un nerf permettant de retrouver une disposition fasciculaire identique. Cela pose le problème de l'approximation de sutures nerveuses lorsque existe une perte de substance. Le seul moment où les deux extrémités de nerf coupé peuvent se correspondre est celui de la section récente. Les travaux de Jabaley [4] montrent qu'en réalité cette disposition se retrouve essentiellement dans la partie proximale du membre, alors que, dans la partie terminale de leur trajet, les nerfs voient se grouper leurs fascicules en éléments individualisables. Ainsi, la branche motrice thénarienne du nerf médian peut être disséquée sur une longueur de 70 mm. Cette fasciculation sélective distale rend indispensable la concordance fasciculaire au moment des réparations, si l'on veut espérer une bonne récupération fonctionnelle.

Vascularisation du nerf

Il existe un système artériel vasculaire extrinsèque, et un système intrinsèque, largement anastomosés (figure 7). La circulation veineuse se calque sur le modèle artériel. Toute tentative de systématisation est illusoire devant la très grande variabilité de la distribution vasculaire. Le nerf médian reçoit généralement trois ou quatre rameaux artériels au bras, mais peut aussi cheminer sur 20 centimètres avec un seul pilier vasculaire. Le système vasculaire extrinsèque, dont la distribution reste segmentaire et régionale, se compose d'artères nutritives ou directes à destinée exclusivement nerveuse et d'artères comitantes ou indirectes. Ces dernières sont des artères musculocutanées qui longent le nerf et lui abandonnent des rameaux. Les vaisseaux abordent le nerf par le mésonevre, qui relie l'épinevre au tissu conjonctif ambiant, se divisent en « T » au niveau de l'épinevre, formant de véritables arcades longitudinales anastomosées entre elles. La disposition hélicoïdale et sinueuse des *vasa nervorum* dans le mésonevre pourrait autoriser une certaine mobilisation axiale du nerf, mais les travaux de Lundborg [6] sur la vascularisation du nerf tibial de lapin montrent une grande sensibilité du nerf à l'étirement avec un arrêt du débit sanguin artériolaire pour une elongation de 15 %. Le système vasculaire intrinsèque se dispose en trois réseaux, épineural, périneural et endoneural, richement anastomosés et à disposition principalement longitudinale. Lorsqu'un nerf est situé dans la région particulièrement

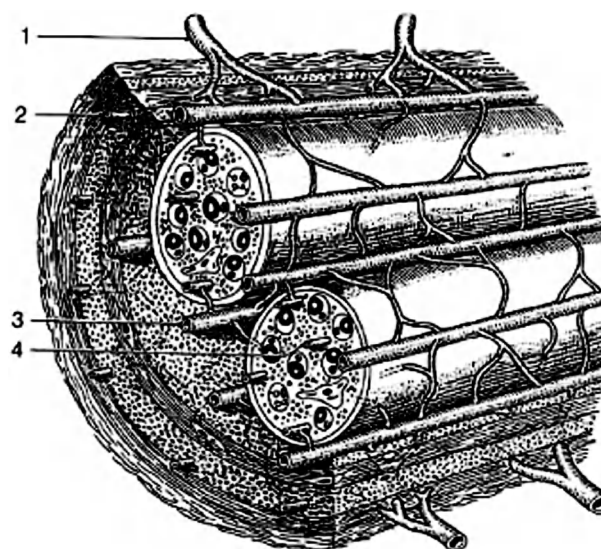


Figure 7. Microvascularisation du nerf périphérique. 1. Vaisseaux de l'artère nourricière. 2. Système épineural. 3. Système interfasciculaire. 4. Système intrafasciculaire. (D'après [1]).

vascularisée (au voisinage des articulations), les *vasa nervorum* sont plus nombreux et plus volumineux. Une suture nerveuse se doit d'être réalisée sans dissection intempestive des extrémités et dans une atmosphère richement vascularisée. Les données concernant la vascularisation des nerfs périphériques sont la base des techniques de greffes vascularisées libre ou pédiculée utilisées dans les cas où le « lit » receveur d'une greffe est particulièrement scléreux.

Propriétés mécaniques du nerf

Le nerf périphérique a une propriété de glissement lui permettant de se déplacer et de s'adapter aux différentes positions des segments de membre [9, 10]. Cette propriété est possible grâce au tissu conjonctif neural. En effet, à l'intérieur de l'endonèvre, les fibres nerveuses ont un aspect ondulé plus ou moins marqué. En augmentant cette configuration ondulée, la fibre nerveuse peut s'adapter à l'élongation et au raccourcissement. Ces mouvements sont possibles grâce aux structures endoneurales. Puis, les fascicules entre eux peuvent se mouvoir grâce à l'épinèvre interfasciculaire. Enfin, le tissu de glissement autour du nerf périphérique, le paranèvre, permet à ce dernier de se déplacer et de s'adapter aux différentes positions des segments de membre.

Bonnel [2] a soumis des nerfs de cadavres à une traction constante et lente avec enregistrement simultané de la déformation ; il obtient une courbe avec une pente de déformation élastique, suivie d'une rupture, qui peut être franche avec retour au zéro instantané en cas de gros fascicules, ou par paliers avec effilochage du nerf en cas de fascicules de diamètres intermédiaires. La limite élastique des nerfs est variable selon le nerf intéressé. Par exemple, un segment de 7 cm de nerf médian se rompt à une traction de 10 kg environ en huit paliers après un allongement de 15 mm. Une autre observation importante de ce travail, qui a comporté des analyses histologiques, est le fait qu'un nerf étiré, mais extérieurement sain, peut présenter une rupture de plusieurs fascicules, les lésions pouvant avoir des degrés différents au sein d'un même nerf.

Voies d'abord

L'anatomie descriptive et les rapports des nerfs périphériques sont remarquablement constants au niveau de l'appareil locomoteur. Cette anatomie est très importante à connaître, non seulement pour le traitement des lésions traumatiques et des tumeurs des nerfs périphériques eux-mêmes, mais aussi pour optimiser leur protection lors des interventions à visée ostéoarti-

culaire dans les régions où ils sont exposés. Nous rappellerons le trajet et la distribution des nerfs les plus « chirurgicaux » de l'appareil locomoteur, en incluant les nerfs utilisés comme greffons [7, 13, 17].

Nerfs périphériques au niveau du membre supérieur

Nerf axillaire

Il naît du faisceau postérieur (tronc secondaire postérieur) ou radio-circonflexe du plexus brachial. C'est un nerf mixte, dont les fibres proviennent de C5 et C6. Il descend d'abord dans la région axillaire devant le muscle sous-scapulaire, immédiatement en arrière du tendon conjoint du coracobrachial et court biceps (figure 8). Puis il se porte en dehors, contourne le bord inférieur du muscle sous-scapulaire et rejoint l'artère circonflexe postérieure de l'humérus pour s'engager dans l'espace axillaire latéral ou trou carré de Velpeau, entre en dehors la métaphyse humérale, en dedans dans un plan plus postérieur le long triceps, en bas les tendons unis du *teres major* (grand rond) et

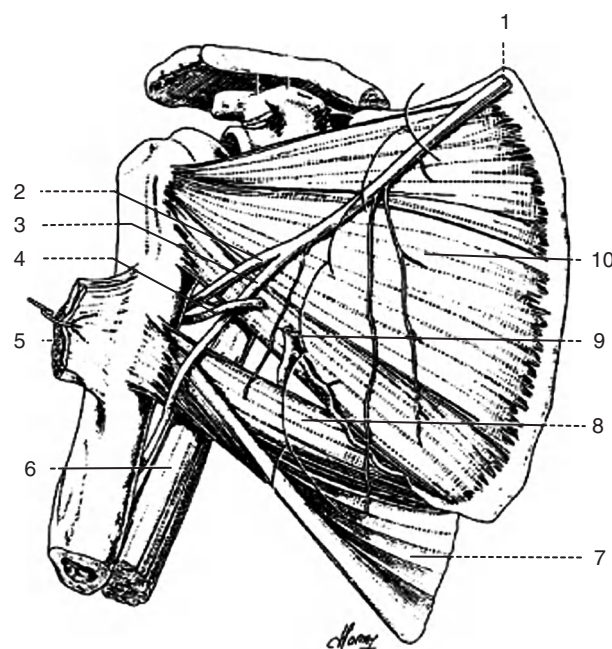


Figure 8. Origine du nerf axillaire et son entrée dans le trou carré de Velpeau. 1. Tronc secondaire postérieur ou radio-circonflexe. 2. Nerf axillaire. 3. Nerf radial. 4. Artère axillaire postérieure. 5. Tendon du grand pectoral. 6. Muscle long triceps. 7. Muscle grand dorsal. 8. Muscle grand rond. 9. Artère scapulaire inférieure. 10. Muscle sous-scapulaire. (D'après [3]).

du *latissimus dorsi* (grand dorsal), et surtout en haut le cul-de-sac capsulaire gléno-huméral qu'il innerve au passage. Accompagné des vaisseaux circonflexes postérieurs, il contourne le col chirurgical de l'humérus et gagne ainsi la face profonde du deltoïde où il se termine en se ramifiant en de nombreuses branches ascendantes pour les différents chefs du muscle (figure 9). Au cours de ce trajet, il a donné des collatérales musculaires pour les muscles sous-scapulaire (faisceau inférieur) et petit rond, une branche articulaire pour la capsule gléno-humérale, et une branche cutanée (nerf cutané latéral supérieur du bras) pour le moignon de l'épaule.

La voie deltopectorale permet l'abord de l'origine du nerf axillaire entre la face antérieure du muscle sous-scapulaire. Il est souvent nécessaire de sectionner le tendon du *pectoralis minor* (petit pectoral). Une voie postérieure permet de compléter l'exploration. L'incision suit le relief du chef postérieur du deltoïde en dehors de la longue portion du triceps. Après incision cutanée, ces deux muscles sont réclinés. On palpe le nerf au contact du col de l'humérus.

Le trajet complexe et sinueux du nerf axillaire explique qu'il peut se trouver en danger lors des interventions de mise en place de prothèses d'épaule ou de réinsertions capsulaires.

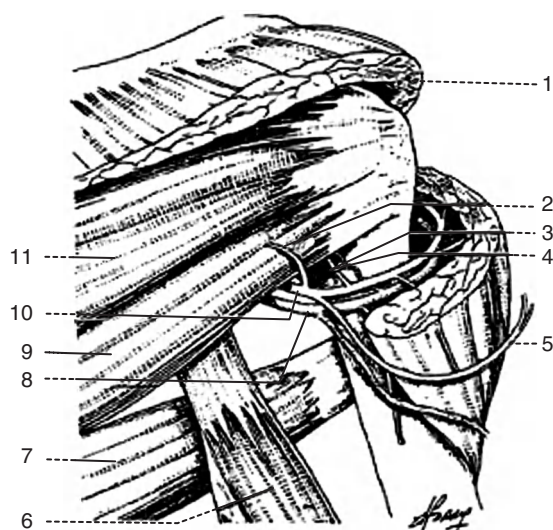


Figure 9. Terminaison du nerf axillaire. 1. Deltoïde. 2. Nerf du petit rond. 3. Rameau articulaire. 4. Artère articulaire. 5. Rameau cutané de l'épaule. 6. Triceps. 7. Grand rond. 8. Artère axillaire. 9. Petit rond. 10. Nerf axillaire. 11. Sous-épineux. (D'après [3]).

Nerf radial

C'est l'autre branche de division du faisceau postérieur du plexus brachial. C'est un nerf mixte dont les fibres proviennent de C5, C6, C7 et C8. Il descend dans le creux axillaire parallèlement et en arrière de l'artère axillaire. Il passe devant la partie interne du trou carré de Velpeau puis croise par en avant les tendons unis du *teres major* (grand rond) et du *latissimus dorsi* (grand dorsal). Ce rapport est important à considérer dans la chirurgie des transferts musculotendineux du *latissimus dorsi* (grand dorsal) avec ou sans *teres major* (grand rond) à l'épaule. Accompagné de l'artère humérale profonde, il s'engage alors dans la fente humérotroicipitale entre l'humérus en dehors, le long triceps en dedans, et le tendon du *latissimus dorsi* en haut. Il contourne en spirale la face postérieure de l'humérus, directement appliqué contre le périoste. Ces rapports osseux expliquent la compression possible du nerf sur une table d'opération ou dans une fracture diaphysaire déplacée [10].

Il est à ce niveau entièrement recouvert par le muscle triceps. Arrivé au bord externe de l'humérus, à l'union tiers moyen–tiers inférieur du bras, le nerf perfore la cloison intermusculaire externe, chemine devant elle avant de gagner la gouttière bicipitale externe.

Au niveau du coude, le nerf est profond, tout contre la capsule articulaire antérieure, recouvert par le muscle brachioradial. Il peut être en danger lors de l'établissement des portes externes arthroscopiques. C'est au niveau de l'interligne que le nerf se divise en ses deux terminales, rameau profond moteur ou nerf interosseux postérieur, et rameau superficiel ou branche antérieure sensitive (figure 10).

Au cours de ce trajet, il a donné des collatérales musculaires pour les muscles triceps, long extenseur radial du carpe, court extenseur radial du carpe, brachioradial, anconé, et cutanées, rameau cutané interne (nerf cutané postérieur du bras), rameau cutané externe (nerf cutané latéral inférieur du bras).

Le rameau profond se porte en arrière et en dehors, passe entre les deux chefs du muscle supinateur pour gagner la loge postérieure de l'avant-bras dont il innerve tous les muscles. Au-delà de la sortie du court supinateur, le nerf présente une arborescence rendant la réparation des sections traumatiques difficile. La branche postérieure, considérablement réduite après la naissance de ces branches, descend sur la face postérieure du ligament interosseux et se ramifie sur la face dorsale de la capsule du poignet. Cette partie terminale est appelée nerf interosseux postérieur. Sa résection est l'un des temps de la dénervation du poignet. Son prélèvement est possible pour l'utiliser en tant que greffon d'un nerf collatéral digital.

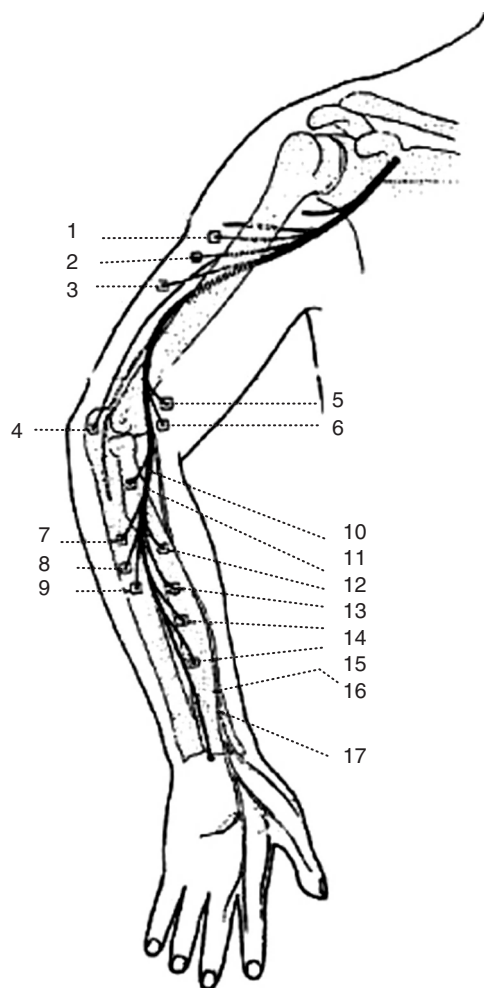


Figure 10. Distribution du nerf radial. 1. Nerf de la longue portion du triceps. 2. Nerf du vaste interne. 3. Nerf du vaste externe. 4. Nerf de l'anconé. 5. Nerf des court et long extenseurs radiaux du carpe. 6. Nerf du brachioradial. 7. Nerf de l'extenseur ulnaire du carpe. 8. Nerf de l'extenseur commun. 9. Nerf de l'extenseur du cinquième doigt. 10. Branche postérieure motrice. 11. Nerf du court supinateur. 12. Nerf du long abducteur du pouce. 13. Nerf du court extenseur du pouce. 14. Nerf du long extenseur du pouce. 15. Nerf de l'extenseur du deuxième doigt. 16. Nerf interosseux postérieur. 17. Branche antérieure sensitive. (D'après [4]).

Le rameau superficiel descend sous le muscle brachioradial qui le recouvre, en dehors de l'artère radiale. Au tiers inférieur de l'avant-bras, il devient superficiel en passant en avant du tendon du brachioradial, avant de se diviser en regard de la styloïde radiale en trois rameaux pour le dos du pouce, de la première commissure et de l'index. Les plaies du rameau superficiel du nerf radial présentent souvent une tension importante lorsqu'il s'agit de les suturer.

Leur site d'élection est le tiers inférieur de l'avant-bras. Cette branche superficielle peut être prélevée et utilisée comme greffon dans les paralysies complètes du plexus brachial lorsque aucune réinnervation du tronc secondaire n'est envisageable.

L'abord du nerf radial en proximal se fait à la face interne du bras et du creux axillaire. Le nerf radial est situé en arrière du paquet vasculonerveux, posé sur le tendon conjoint du grand rond et du grand dorsal. Du côté latéral du bras, une voie antéro-externe permet d'explorer le nerf du tiers moyen du bras jusqu'au pli du coude qui se trouve au fond de la gouttière bicipitale latérale, dans l'interstice entre le muscle brachial et le muscle brachioradial. Une voie externe permet d'aborder la branche motrice en arrière du muscle long extenseur radial du carpe (ECRL).

Même si la cartographie du nerf radial est assez désordonnée au niveau du bras, on retrouve en général les fibres nerveuses sensitives en avant des fibres motrices (figure 11).

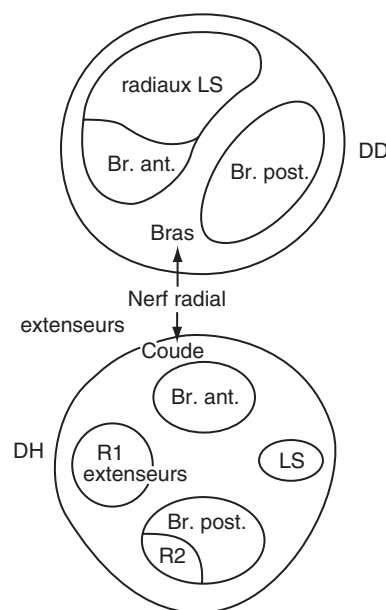


Figure 11. La cartographie du nerf radial selon Sunderland [15].

Nerf musculocutané

Il naît du tronc secondaire antéroexterne sous le petit pectoral. C'est un nerf mixte dont les fibres proviennent de C5 et C6. Placé à son origine en dehors et en avant de l'artère axillaire, il gagne le bord interne du coracobrachial puis le traverse de haut en bas et de dedans en dehors pour se placer entre biceps en avant et brachial antérieur en arrière. Ces rapports expliquent l'atteinte

possible du musculocutané dans les plaies par couteau de la face interne du bras, en association avec artère axillaire et nerf médian. Il devient superficiel au tiers inférieur du bras en passant en dehors du biceps et en dedans du brachioradial et en traversant l'aponévrose. Il se divise en regard de l'interligne du coude en deux ou trois rameaux terminaux qui peuvent être prélevés comme greffons pour réparer des nerfs collatéraux par exemple. Il est fréquent que l'un de ces rameaux terminaux descende jusqu'au côté externe du poignet.

Au cours de ce trajet, il a donné des branches pour les muscles de la loge antérieure du bras, coracobrachial, courte et longue portions du biceps, ainsi que brachial antérieur (figure 12). Les branches destinées au biceps et brachial antérieur peuvent être neurotisées

électivement dans les paralysies C5-C6 du plexus brachial. Son abord se fait par une voie brachiale interne. Le biceps est récliné en dehors, le petit pectoral vers le haut et la section du tendon du grand pectoral permet l'exploration à son origine du nerf musculocutané. Sa branche cutanée, lorsque l'on veut l'utiliser comme greffon, s'aborde au pli du coude par une ligne brisée en dehors du tendon du biceps.

Nerf médian

Il naît au bord inférieur du petit pectoral de la réunion des troncs secondaires antéro-externe et antéro-interne qui représentent ses racines externe et interne, plaquées devant l'artère axillaire. C'est un nerf mixte dont les fibres viennent de C6, C7, C8 et T1.

Il traverse la partie inférieure du creux axillaire puis le bras sans donner de branches. Il se porte en dehors à partir du coude pour devenir médian à l'avant-bras et au poignet. Il s'engage sous le ligament annulaire antérieur du carpe dans le canal carpien avant de s'épanouir en ses branches terminales dans la paume de la main. Sa première branche terminale est également la plus externe : le rameau thénarien du nerf médian se porte en dehors par un trajet légèrement récurrent et innerve court abducteur, opposant, et faisceau superficiel du court fléchisseur du pouce. Ses quatre autres branches terminales sont sensibles et fourniront les nerfs collatéraux du pouce, de l'index, du médus et de la moitié externe de l'annulaire. La pulpe de l'index est considérée comme la meilleure zone test pour le diagnostic des lésions du nerf médian.

Au cours de son trajet, le nerf médian a donné au pli du coude et à l'avant-bras des branches pour les muscles antérieurs, sauf le muscle fléchisseur ulnaire du carpe, et les faisceaux internes du fléchisseur commun profond (figure 13). Environ deux travers de doigt au-dessus du poignet, il donne un rameau cutané palmaire qui traverse l'aponévrose entre les branches de division du petit palmaire pour innerver la peau de l'éminence thénar.

Au bras, le nerf se trouve dans le canal brachial en avant de l'artère humérale qu'il croise de dehors en dedans et de haut en bas. Au coude, la voie d'abord est antéromédiale interne au niveau de la gouttière bicipitale médiale interne ; le nerf médian se trouve en dedans de l'artère. À l'avant-bras, l'incision est antérieure et médiane. L'abord du nerf se fait entre le fléchisseur radial du carpe en dehors et le long palmaire en dedans. Au poignet, l'abord classique du canal carpien, antéromédian, permet d'explorer les branches terminales du nerf après ouverture du rétinaculum des fléchisseurs.

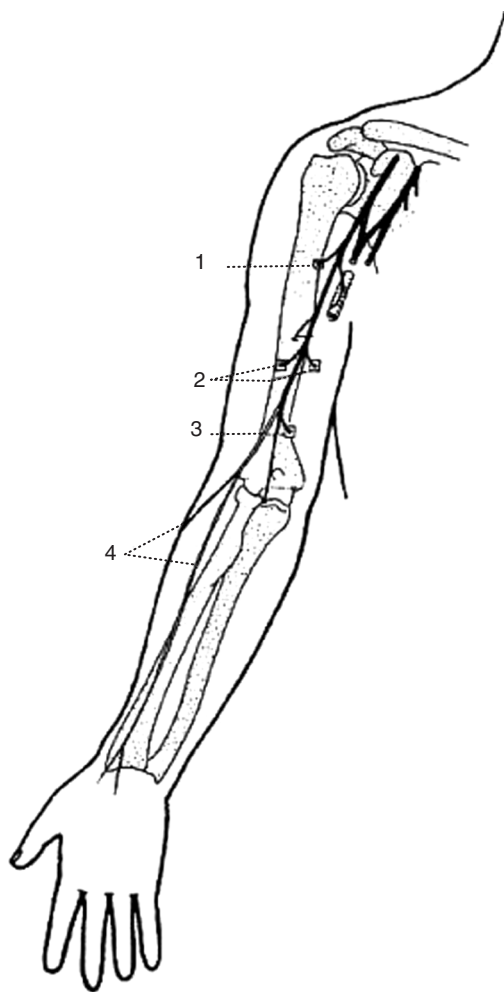


Figure 12. Distribution du nerf musculocutané. 1. Nerf du coracobrachial. 2. Nerf du biceps. 3. Nerf du brachial antérieur. 4. Rameaux sensitifs. (D'après [4]).

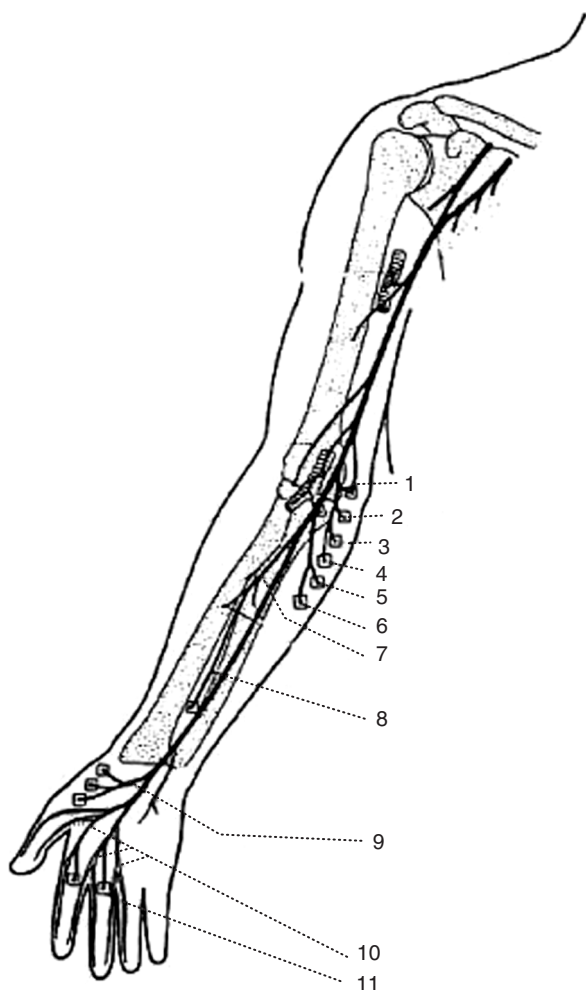


Figure 13. Distribution du nerf médian. 1. Nerf du rond pronateur. 2. Nerf du fléchisseur radial du carpe. 3. Nerf du long palmaire. 4. Nerf du fléchisseur commun superficiel. 5. Nerf du fléchisseur propre du pouce. 6. Nerf du fléchisseur commun profond (faisceau externe). 7. Nerf interosseux antérieur. 8. Nerf du carré pronateur. 9. Rameau thénarien. 10. Nerfs collatéraux digitaux. 11. Nerf des 1er et 2e lombricaux. (D'après [4]).

La cartographie du nerf médian est mieux définie au niveau du poignet. Ainsi, il faut savoir que les fibres motrices du rameau thénarien sont en position antéro-externe par rapport aux fibres sensitives (figure 14).

Nerf ulnaire

Il naît du tronc secondaire antéro-interne contre la face interne de l'artère axillaire, juste en dedans et au même niveau que le nerf médian. C'est un nerf mixte dont les fibres viennent de C7, C8 et T1.

Il émerge de l'interstice séparant artère et veine axillaires et traverse la partie basse du creux axillaire puis

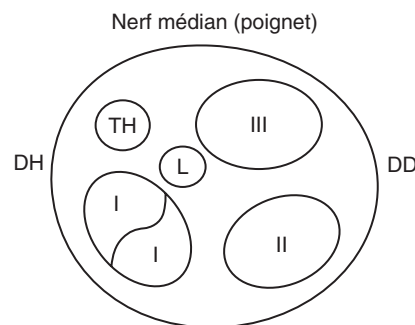


Figure 14. La cartographie du nerf médian selon Sunderland [15].

le bras en arrière de la cloison intermusculaire interne sans donner de branches. Il contourne ensuite l'épitrôchlée par en arrière dans la gouttière épitrôchléo-olécraniennne, puis s'engage sous l'arcade du fléchisseur ulnaire du carpe pour traverser, antéro-interne, l'avant-bras. Il croise le poignet avec l'artère ulnaire juste en dedans du pisiforme dans le canal de Guyon. Le nerf est en dedans de l'artère à ce niveau. À la hauteur du bord inférieur du pisiforme, le nerf ulnaire se divise en deux branches terminales. Il est fréquent que des plaies intéressent cette zone de division. L'exposition large de cette région profonde est essentielle pour réparer individuellement ces deux branches. La branche terminale superficielle innerve le muscle palmaire cutané puis fournit les nerfs collatéraux de l'auriculaire et de la face interne de l'annulaire. La pulpe de l'auriculaire est considérée comme la meilleure zone test pour le diagnostic des lésions du nerf cubital. La branche terminale profonde plonge avec l'arcade vasculaire profonde puis se dirige transversalement en dehors. Elle innerve les muscles de l'éminence hypothénar, chacun des interosseux, les deux lombricaux internes, et les muscles profonds de l'éminence thénar (adducteur du pouce et faisceau profond du court fléchisseur).

Au cours de son trajet, le nerf ulnaire émet des collatérales au coude et à l'avant-bras : il innerve le muscle cubital antérieur et les deux faisceaux internes du fléchisseur commun profond (figure 15). Au tiers inférieur de l'avant-bras, il émet le rameau cutané dorsal, qui contourne le bord interne du poignet obliquement en regard de la tête de l'ulna pour se diviser en trois rameaux pour la moitié interne de la face dorsale de la main. Cette branche doit être soigneusement respectée dans les gestes sur le poignet médial ou les arthroscopies, faute de quoi elle peut être à l'origine de névromes très douloureux.

Au bras, son abord se fait à la face interne, de la partie postérieure du creux axillaire au sommet de l'épicondyle médial. Le nerf est très superficiel en arrière des éléments vasculonerveux du canal brachial, dont

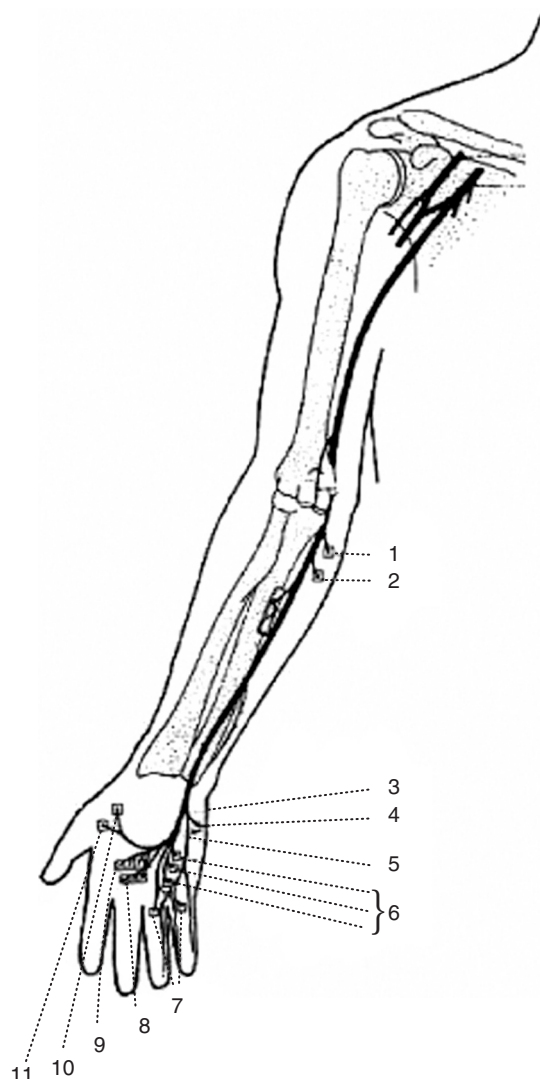


Figure 15. Distribution du nerf ulnaire. 1. Nerf du fléchisseur ulnaire du carpe. 2. Nerf du fléchisseur commun profond (face interne). 3. Branche superficielle. 4. Nerf du palmaire cutané. 5. Branche profonde. 6. Nerf des muscles hypothénariens. 7. Nerf des deux lombricaux internes. 8. Nerf des interosseux palmaires. 9. Nerf des interosseux dorsaux. 10. Nerf de l'adducteur du pouce. 11. Nerf du court fléchisseur du pouce. (D'après [4]).

il est séparé par la cloison intermusculaire médiale. Au coude, l'abord est interne. Le nerf est exploré après section de la bandelette épitrochléo-olécraniennne. À l'avant-bras, l'incision cutanée est centrée sur une ligne allant de l'épicondyle médial au pisiforme suivant le relief du fléchisseur ulnaire du carpe. Le nerf se trouve sous le muscle, accompagné de l'artère ulnaire. Au poignet, l'abord du canal de Guyon nécessite une incision longitudinale au bord latéral du pisiforme.

La cartographie du nerf ulnaire est désordonnée au niveau du bras. Au niveau de l'avant-bras, en aval de

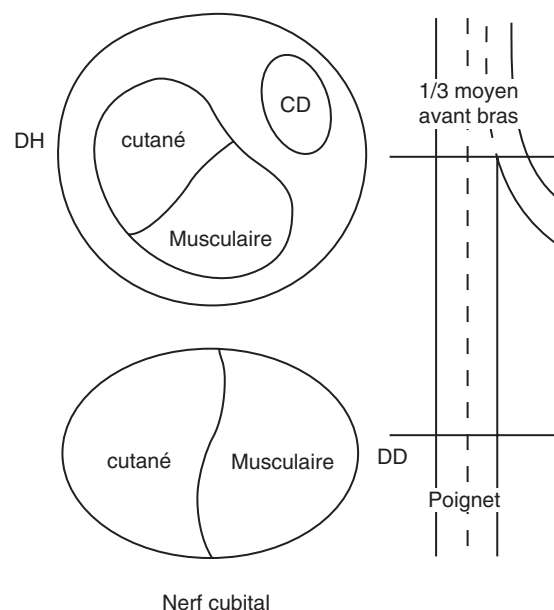


Figure 16. La cartographie du nerf ulnaire selon Sunderland [15].

l'émergence de la branche cutanée dorsale, on peut distinguer un groupe fasciculaire médial moteur et un groupe fasciculaire latéral sensitif (figure 16).

Le nerf ulnaire peut être utilisé comme greffon vascularisé libre ou le plus souvent pédiculé. Son prélèvement peut se faire à deux niveaux : soit au niveau du bras avec le pédicule huméral collatéral interne et supérieur, soit au niveau de l'avant-bras avec l'artère ulnaire.

Nerf brachial cutané interne et nerf accessoire du brachial cutané interne

Le nerf brachial cutané interne naît du tronc secondaire antéro-interne juste au-dessus de l'origine du nerf ulnaire. Ses fibres proviennent de C8 et T1. Il descend en dedans de l'artère axillaire en se portant progressivement en avant. Au bras, il est en avant de la veine basilique et traverse avec elle l'aponévrose au milieu du bras. Il se divise au dessus de l'épitrachée en deux branches terminales cutanées qui descendent jusqu'à l'avant-bras et au poignet.

Le nerf brachial cutané interne peut être utilisé comme greffon [4], mais son prélèvement doit remonter suffisamment haut vers le creux axillaire pour ne pas provoquer de névrome douloureux au niveau du moignon.

Le nerf accessoire du brachial cutané interne naît du tronc secondaire antéro-interne au-dessus du brachial cutané interne par des fibres qui proviennent de T1. Il descend en dedans de la veine axillaire, reçoit le rameau perforant latéral du deuxième nerf

intercostal, puis traverse l'aponévrose brachiale à la partie haute du bras. Il descend dans le tissu cellulaire sous-cutané jusqu'à l'épitrachée. Il s'anastomose fréquemment avec le brachial cutané interne. Il peut aussi être utilisé comme source de greffons pour un abord médial en regard de son trajet.

Nerfs périphériques au niveau du membre inférieur

Nerf ischiatique

C'est le nerf le plus volumineux et le plus long de l'organisme. Il est constitué de fibres venues de L4, L5, S1, S2, S3 et représente la branche terminale du plexus sacré.

Il sort du bassin par la grande échancrure sciatique. À ce niveau il est aplati, et son plus grand diamètre atteint 1,5 cm. Il chemine entre en haut l'os iliaque, en bas le petit ligament sacrosciatique, en dedans le grand ligament sacrosciatique. Il passe sous le muscle pyramidal et au-dessus du muscle jumeau supérieur dans le canal sous-pyramidal, avec le nerf petit sciatique (branche collatérale du plexus sacré) et l'artère ischiatique. Il traverse la région fessière entre l'ischion en dedans, le cotyle en dehors, à égale distance de ces deux reliefs. Il est en arrière des muscles pelvitrochantériens et est entièrement recouvert par le muscle grand fessier. Il traverse de haut en bas la cuisse, en arrière de la ligne âpre du fémur et du muscle grand adducteur pour se diviser au sommet du creux poplité, à quatre travers de doigt au dessus de l'interligne du genou, en ses deux branches terminales, nerf fibulaire commun et nerf tibial. La division en ces deux terminales peut se faire plus haut dans la cuisse, voire à la fesse.

Au cours de ce trajet il a donné des collatérales musculaires pour demi-tendineux, demi-membraneux, grand adducteur, long biceps crural, court biceps crural, et articulaires pour hanche et genou (figure 17).

La topographie intrafasciculaire du nerf ischiatique permet de distinguer tout le long de son trajet les fibres nerveuses du nerf tibial et celles du nerf fibulaire commun. En avant se trouvent les fascicules destinés au nerf tibial et aux muscles ischiojambiers, et en arrière les fascicules destinés au nerf fibulaire commun.

L'abord du nerf ischiatique est postérieur. À la fesse, l'incision cutanée débute de l'épine iliaque postéro-supérieure jusqu'à la face postérieure du grand trochanter. Elle se prolonge ensuite par des « S » centrés sur la face postérieure de la cuisse jusqu'à la fosse poplitée. À la fesse, le nerf repose sur les pelvitrochantériens. Afin d'exposer le nerf, le muscle grand fessier

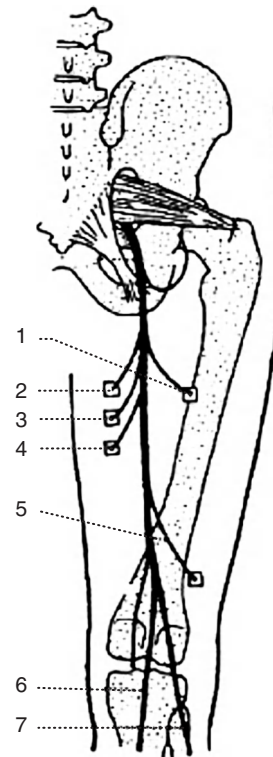


Figure 17. Distribution du nerf ischiatique à la cuisse. 1. Nerf du grand adducteur. 2. Nerf du demi-membraneux. 3. Nerf du demi-tendineux. 4. Nerf du long biceps. 5. Nerf du court biceps. 6. Nerf tibial. 7. Nerf fibulaire commun. (D'après [4]).

est récliné en dedans après l'avoir sectionné à un centimètre de son insertion fémorale. À la cuisse, la dissection du nerf se fait dans le septum séparant les muscles semi-tendineux et biceps fémoral.

Nerf fibulaire commun

Le nerf fibulaire commun suit le bord interne du tendon du biceps crural et donne le nerf saphène péronier pour les téguments de la malléole externe et nerfs supérieurs du muscle tibial antérieur. Il contourne le col de la fibula et se divise au-dessous du col en deux branches terminales. Le nerf fibulaire superficiel descend verticalement dans l'épaisseur du muscle long fibulaire, contre la face externe de la fibula. Il perfore l'aponévrose au tiers inférieur de la jambe pour se ramifier sur le dos du pied, dont il innerve les téguments. Au cours de son trajet, il innerve long et court péroniers latéraux. Le nerf fibulaire profond se dirige en avant et en bas, traverse le septum intermusculaire antérieur, puis descend verticalement contre la membrane interosseuse pour se terminer au niveau du premier espace interosseux. Au cours de son trajet, il

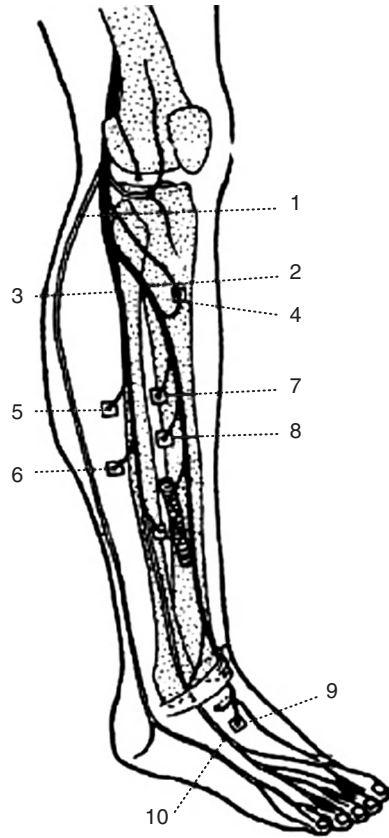


Figure 18. Distribution du nerf fibulaire commun. 1. Nerf saphène péronier. 2. Nerf fibulaire profond. 3. Nerf fibulaire superficiel. 4. Nerf du jambier antérieur. 5. Nerf du long péronier latéral. 6. Nerf du court péronier latéral. 7. Nerf de l'extenseur commun des orteils. 8. Nerf de l'extenseur propre du gros orteil. 9. Nerf du pédieux. 10. Rameau cutané dorsal. (D'après [4]).

donne des rameaux pour les muscles de la loge antérieure de la jambe et au pied pour le muscle pédieux (figure 18).

L'abord du nerf fibulaire commun au genou démarre en haut sur le relief du tendon du biceps fémoral, et contourne le col de la fibula d'arrière en avant. Après section du fascia, le nerf est repéré en arrière du tendon du biceps fémoral. Au niveau de la face postérieure de la tête de la fibula, le nerf passe sous l'insertion du muscle long fibulaire, qui doit être sectionné pour prolonger la dissection.

Nerf tibial

Le nerf tibial descend verticalement selon la grande diagonale du losange poplité en dehors et en arrière des vaisseaux poplités. Il croise l'anneau du soléaire, chemine verticalement dans la région postérieure de la jambe pour se terminer au cou-de-pied dans le

canal tarsien en donnant les nerfs plantaires interne et externe. Au cours de ce trajet, il a donné des rameaux musculaires pour les muscles gastrocnémiens latéral et médial, poplité, soléaire, et le plantaire grêle (figure 19). Il donne au milieu du creux poplité, de

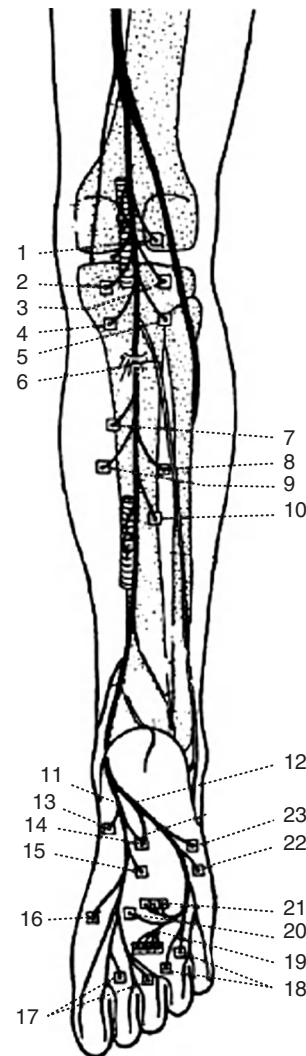


Figure 19. Distribution du nerf tibial. 1. Nerf du poplité. 2. Nerf du gastrocnémien médial. 3. Nerf du gastrocnémien latéral. 4. Nerf supérieur du soléaire. 5. Nerf du plantaire grêle. 6. Nerf saphène externe. 7. Nerf inférieur du soléaire. 8. Nerf du tibial postérieur. 9. Nerf du fléchisseur commun des orteils. 10. Nerf du fléchisseur propre du gros orteil. 11. Nerf plantaire interne. 12. Nerf plantaire externe. 13. Nerf de l'abducteur du gros orteil. 14. Nerf du long fléchisseur. 15. Nerf du court fléchisseur plantaire. 16. Nerf du court fléchisseur du gros orteil. 17. Nerf des lombricaux internes. 18. Nerf des lombricaux externes. 19. Nerf des interosseux dorsaux. 20. Nerf de l'abducteur du gros orteil. 21. Nerf des interosseux plantaires. 22. Nerf du court fléchisseur du cinquième orteil. 23. Nerf de l'abducteur du cinquième orteil. (D'après [4]).

son bord externe, le nerf saphène externe ou sural. Ce nerf est particulièrement important dans la chirurgie nerveuse périphérique, dont il représente la source principale de greffons [12]. Au creux poplité, il est d'abord profond, sous-aponévrotique. Dans la moitié supérieure de la jambe, il traverse l'aponévrose avec la veine saphène externe. Il descend vers le bord externe du tendon d'Achille, toujours satellite de la veine. Il contourne la malléole externe et se ramifie pour les téguments du bord externe du pied. C'est là qu'on le découvre pour le prélever. Il peut s'anastomoser au cours de son trajet avec le nerf saphène péronier. Son prélèvement complet se fait par de courtes incisions transversales étagées le long de la face postérieure de la jambe jusqu'à la fosse poplitée.

Le nerf plantaire médial naît en arrière de la malléole interne ou, plus bas, dans la gouttière calcanéenne. Il se porte en bas et en avant, fournit des branches

collatérales cutanées pour le talon et l'intérieur de la plante du pied, ainsi que des branches musculaires. Il se termine en deux branches qui innervent la peau du gros orteil et du premier, deuxième et troisième espace interosseux.

Le nerf plantaire latéral se dirige en avant et en dehors et se termine en deux branches à destinées musculaire et cutanée. Son territoire peut être comparé à celui du nerf ulnaire à la main, tandis que le nerf plantaire médial a une distribution comparable à celle du nerf médian.

Pour l'abord du nerf tibial, le patient est installé en décubitus ventral. L'incision est brisée au niveau du creux poplité. Le nerf se trouve entre les deux chefs du muscle gastrocnémien. À la cheville, le nerf tibial est abordé en arrière de la malléole médiale. Le rétinaculum des fléchisseurs est ouvert, le nerf se situe en arrière des tendons du canal tarsien.

RÉFÉRENCES

- Allieu Y, Bonnel F. Anatomie chirurgicale des nerfs périphériques. In : Tubiana R, éd. *Traité de chirurgie de la main*. Paris : Masson; 1986. p. 357-74.
- Bonnel F. Le nerf périphérique : généralités. In : Bonnel F, Mansat M, éd. *Nerfs périphériques. Anatomie et pathologie chirurgicale*. Paris : Masson; 1990. p. 1-19.
- Bouchet A, Cuilleret J. Anatomie topographique, descriptive, fonctionnelle. Lyon : Simep; 1983.
- Lazorthes G. Le système nerveux périphérique. 3^e éd. Paris : Masson; 1981.
- Loy S, Bhatia A, Asfazadourian H, Oberlin C. Transferts de fascicules du nerf ulnaire sur le nerf du muscle biceps dans les avulsions C5 C6 ou C5 C6 C7 du plexus brachial. À propos de 18 cas. *Ann Chir Main* 1997; 16 (4) : 275-84.
- Lundborg G, Dahlin LB. Anatomy, function and pathophysiology of peripheral nerves and nerve compression. *Hand Clin* 1996; 12 (2) : 185-93.
- Mackinnon SE, Dellon AL. Anatomy and physiology of the peripheral nerve. In : Mackinnon SE, Dellon AL, eds. *Surgery of the peripheral nerve*. New York : Thieme; 1988. p. 1-33.
- Magalon G, Sassoon D, Péliissier JF, Bardot J. Anatomie chirurgicale du nerf sural. In : Alnot JY, Narakas AO, eds. *Les paralysies du plexus brachial*. Paris : Expansion Scientifique Française; 1995. p. 23-4.
- Millesi H. The gliding apparatus of peripheral nerve and its clinical significance. *Ann Chir Main* 1990; 9 (2) : 87-97.
- Millesi H, Eberhard D. L'appareil de glissement du nerf périphérique et sa signification clinique. In : Alnot JY, éd. *Lésions traumatiques des nerfs périphériques*. Paris : Expansion Scientifique Publications; 1997. p. 12-5.
- Millesi H, Terzis JK. Problems of terminology in peripheral nerve surgery : committee report of the International Society of Reconstructive Microsurgery. *Microsurgery* 1983; 4 : 51-6.
- Narakas AO. Anatomie chirurgicale du nerf brachial cutané interne et de la branche sensitive antérieure du nerf radial. In : Alnot JY, Narakas AO, eds. *Les paralysies du plexus brachial*. Paris : Expansion Scientifique Française; 1995. p. 25-7.
- Raimbeau G. Pathologie non traumatique du nerf radial. 8^e Cahier d'Enseignement de la Société Française de Chirurgie de la Main. Paris : Expansion Scientifique Française; 1996. p. 37-51.
- Sedel L. Le nerf périphérique : pathologie et traitement chirurgical. Paris : Masson; 1988.
- Sunderland S. Nerves and nerves injuries. New York : Churchill Livingstone; 1978.
- Terzis JK, Smith KL. The peripheral nerve structure, function, and reconstruction. New York : Raven; 1990.
- Tubiana R. Innervation du membre supérieur. In : Tubiana R, Thomine JM, eds. *La main. Anatomie fonctionnelle et examen clinique*. Paris : Masson; 1990. p. 135-46.

Lésions nerveuses périphériques : classifications, étiologies et principe de prise en charge

Peripheral nerve injuries: classification, aetiologies and principles of management

M. CHAMMAS¹, B. COULET¹, M.-N. THAURY²

RÉSUMÉ

Mécanisme et classifications des lésions nerveuses périphériques post-traumatiques sont détaillés pour faciliter leur prise en charge en urgence et dans les cas plus anciens. Les principes généraux des indications chirurgicales sont donnés tenant compte du terrain du patient, du degré de récupération éventuel et de sa cohérence, de l'environnement tissulaire et du pronostic fonctionnel du membre.

Mots clés : Lésions nerveuses périphériques. – Classification. – Indications chirurgicales.

SUMMARY

Mechanism and classification of posttraumatic peripheral nerve lesion are detailed in order to facilitate the understanding and the management of these lesions in emergency and in late cases. Principles of surgical indications are proposed considering the functional consequences of the palsy, the patient's age, the status of the limb, its functional prognosis and the level and quality of motor or sensory recovery.

Key words: Nerve injury. – Classification. – Surgical management.

Classifications des lésions nerveuses périphériques

Les lésions nerveuses périphériques peuvent être classifiées différemment, selon que l'on considère les altérations structurales ou fonctionnelles.

Classification de Seddon

Seddon [5] a distingué trois types de lésions [3] (figure 1) :

– Neurapraxie : il s'agit d'un bloc de conduction sans lésion anatomique. La continuité des axones, l'excitabilité des structures nerveuses sont préservées. Selon Seddon, il y a persistance d'un certain degré de fonction sensitive et sympathique. Ceci est lié à une différence de vulnérabilité des fibres nerveuses de grand et petit diamètre. Cela correspond à une lésion de démyélinisation

segmentaire. Ce bloc de conduction persiste jusqu'à réparation de la gaine de myéline, ce qui demande en principe quelques semaines. L'amyotrophie est insignifiante. L'exemple classique est la paralysie des amoureux ou « *Saturday-night palsy* ».

– Axonotmésis : il y a rupture ou section axonale, mais la lame basale de la gaine de Schwann et les tubes endoneuraux sont intacts. Cela correspond au stade avancé des compressions nerveuses ou à certaines lésions par écrasement ou par étirement. Il y a dégénérescence wallérienne d'aval. Le temps nécessaire à la récupération fonctionnelle correspond au temps requis par la régénération axonale et à la réinnervation des effecteurs. Le pronostic est en principe bon, car les tubes endoneuraux guidant la repousse axonale sont intacts et il n'y a ni fausse route ni perte axonale. Toutefois, les altérations des effecteurs dues à la dénervation peuvent limiter cette récupération.

¹ Service de chirurgie de la main et du membre supérieur, hôpital Lapeyronie, CHU de Montpellier, 34295 Montpellier cedex 5, France

² Unité de rééducation de la main et du membre supérieur, centre Ster, 9, avenue Jean Ster, 34240 Lamalou-les-Bains, France

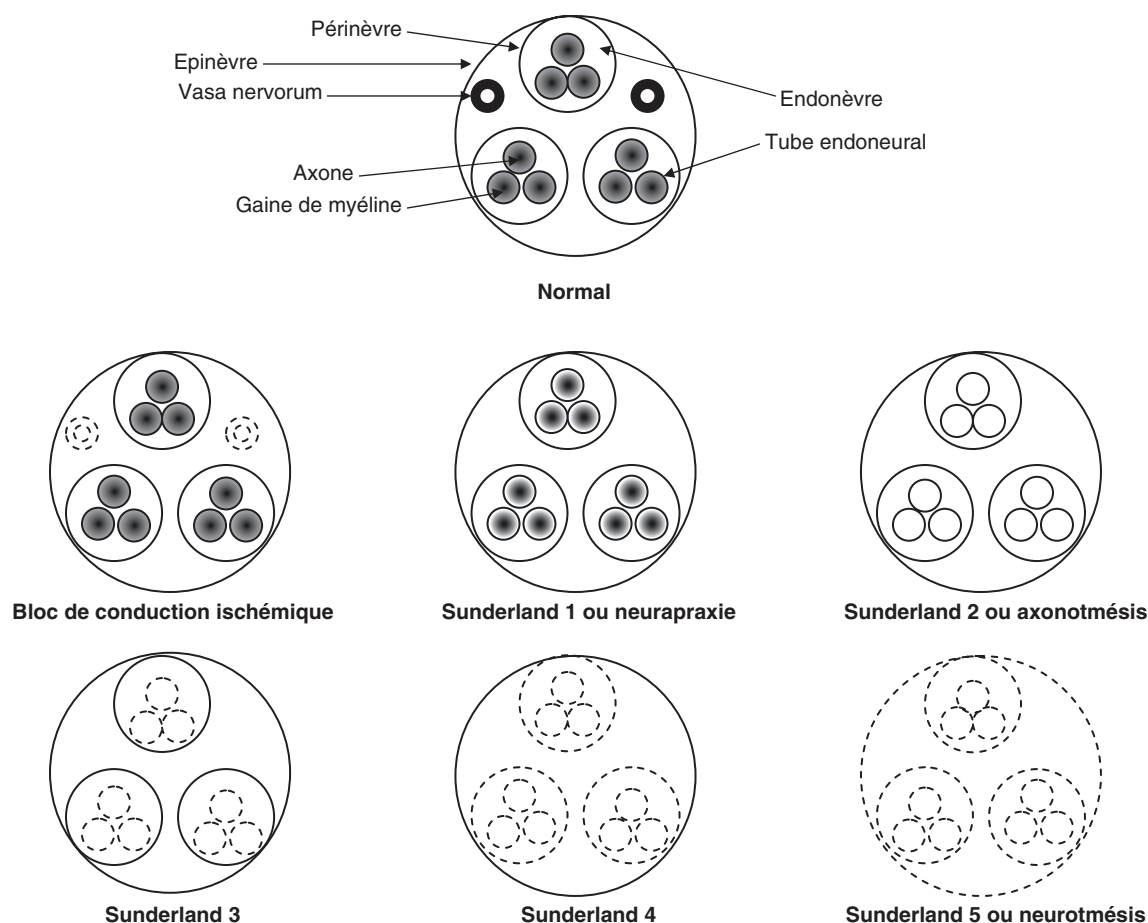


Figure 1. Classifications de Seddon et Sunderland (d'après Lundborg et Danielsén).

– Neurotmésis : il y a interruption de tous les éléments constitutifs du nerf. Aucune récupération spontanée ne peut être espérée.

Classification de Sunderland

Sunderland [7-9] a proposé une classification plus détaillée en cinq degrés basée sur l'état lésionnel des différents constituants du nerf périphérique [3] (figure 1). Toutefois, la distinction des stades intermédiaires de la classification de Sunderland nécessite une analyse histologique :

- stade I de Sunderland équivalent à la neurapraxie de Seddon ;
- stade II de Sunderland ou axonotmesis de Seddon.

Sunderland distingue trois stades dans le neurotmésis de Seddon selon l'atteinte des gaines :

- stade III rupture endoneurale ;
- stade IV rupture endo- et périneurale ;

– stade V rupture des trois gaines endo-, péri- et épineurale.

Classification de Mackinnon

Mackinnon, par la suite, décrit un sixième type de lésion nerveuse, communément observé dans les lésions en continuité [4]. Ce sixième type correspond à un type mixte dans lequel une combinaison des cinq types de Sunderland peut être observée dans divers fascicules et à des niveaux différents sur la longueur du nerf.

Classification de Lundborg

Lundborg [2] a différencié trois niveaux de bloc de conduction pour expliquer les délais de récupération variables suite à une compression nerveuse traumatique :

- bloc de conduction physiologique de type a : arrêt vasculaire circulatoire intraneural, perturbations ioniques sans lésion des fibres nerveuses. Immédiatement réversible;
- bloc de conduction physiologique de type b : œdème intraneural avec augmentation de la pression du liquide endoneural. Réversible en quelques jours à semaines;
- neurapraxie : lésion myélinique localisée prédominant sur les fibres les plus grosses. Préservation de la continuité axonale. Réversible en semaines ou mois.

Ces différents degrés ont été aussi étudiés suite aux compressions par garrot.

Classification de Birch, Thomas et Holdorff

Birch [1] puis Thomas et Holdorff [10], dans un but de simplification clinique, distinguent seulement deux grands types lésionnels, le bloc de conduction et la dégénérescence axonale :

- bloc de conduction localisé :
- transitoire :
 - ischémique,
 - autre;
- prolongé :
 - démyélinisation,
 - striction axonale;
- dégénérescence axonale avec :
 - préservation de la lame basale,
 - section partielle du nerf,
 - section complète du nerf.

Entre neurapraxie et rupture, ou section complète du nerf, de nombreux types lésionnels peuvent exister, rarement purs, souvent caractérisés par la coexistence en « mosaïque » de lésions variées, qui rendront l'appréciation du pronostic de récupération plus difficile. Il faudra essayer d'approcher de la façon la plus exacte possible le ou les différents types lésionnels pouvant coexister, pronostic des lésions et indications opératoires en dépendent.

Étiologies

L'analyse du mécanisme lésionnel est l'un des points essentiels du bilan d'une lésion nerveuse périphérique. Il s'agit d'un des facteurs pronostiques les plus importants. Chaque mécanisme induira des spécificités de prise en charge et thérapeutiques. On distingue principalement dans les lésions post-traumatiques les mécanismes suivants :

- traction;
- section;

- compression;
- traumatisme balistique;
- traumatismes thermique et chimique.

Traction

Les structures nerveuses périphériques sont caractérisées par une résistance à l'élongation due aux structures conjonctives de soutien. Le périnèvre est principalement responsable de la résistance et de l'élasticité; les fascicules nerveux et les fibres qu'il contient ont un trajet naturel ondulant. Cela assure au nerf des possibilités notables d'élongation.

Du point de vue des conséquences vasculaires, Lundborg [2] a démontré qu'un étirement de 8 % par rapport à la longueur de repos provoque une stase veineuse et à partir de 16 %, une ischémie.

Du point de vue des conséquences mécaniques pour Sunderland [9], au début, l'élongation entraîne un étirement épineural, les fibres nerveuses (ensemble axone, lame basale, gaine de Schwann) perdent leur forme ondulée à l'intérieur des fascicules et deviennent rectilignes mais s'amincissent avec augmentation de pression intrafasciculaire. Quand la tension augmente, les axones commencent à se rompre dans les tubes endoneuraux restés intacts caractérisant une lésion du 2^e degré. Par la suite, il y a de façon séquentielle une désorganisation du contenu endoneural (lésion de 3^e degré), puis rupture du périnèvre (lésion de 4^e degré) et enfin rupture épineurale (lésion de 5^e degré).

Haftek présente un point de vue différent sur la rupture des structures intraneurales. Il a soumis des nerfs tibiaux de lapin soit à des forces de traction lentes et constantes, soit à un allongement instantané. Les constatations furent les mêmes dans les deux cas. Au début, avant que ne soit atteinte la limite d'élasticité, les enveloppes conjonctives sont intactes, ainsi que la gaine de Schwann, mais les fascicules et les fibres nerveuses sont amincis. La lame basale est interrompue et la gaine de myéline est épaissie. En limite d'élasticité, l'épinèvre est la première structure à se rompre, les espaces endoneuraux sont amincis, le diamètre des fibres nerveuses est diminué et il y a des zones de rupture dans la gaine de myéline. Par la suite, le périnèvre se rompt puis les tubes endoneuraux et les fibres nerveuses. Comme l'a constaté Sunderland, des tubes endoneuraux en continuité peuvent coexister avec des axones interrompus en dégénérescence. À aucun moment il n'a constaté que les tubes endoneuraux se rompaient avant l'épinèvre et le périnèvre ou que le périnèvre se rompt avant l'épinèvre.

Sunderland et Haftek insistent sur le fait que les lésions sont rarement uniformes et sont au contraire

variables dans leur gravité, leur proportion et leur étendue le long d'un tronc nerveux étiré.

Section nerveuse

Une section nerveuse avec contusion des extrémités devra être distinguée d'une section franche. La résection des zones contuses, dont l'appréciation est parfois difficile en urgence, sera nécessaire. Une réparation différée peut occasionnellement se justifier après avoir repéré et fixé les extrémités nerveuses pour éviter toute rétraction.

Compression

Du point de vue physiopathologique, une compression nerveuse obéit à un mécanisme complexe qui sera susceptible de créer de manière séquentielle des troubles de la microcirculation sanguine intraneurale, des lésions axonales, ainsi que des altérations du tissu conjonctif de soutien [2].

Anomalies de la microcirculation intraneurale

La vascularisation des nerfs périphériques est basée sur un riche réseau anastomotique réparti dans les trois enveloppes conjonctives : l'épinèvre, l'endonevre et le périnèvre. Il a été démontré expérimentalement chez l'animal qu'une diminution de la circulation intraneurale constituait la première conséquence d'une compression nerveuse de faible amplitude (30 à 45 mmHg). Une compression plus importante va occasionner de manière considérable une ischémie neurale, mais aussi des lésions anoxiques de l'endothélium vasculaire des vaisseaux intraneuraux. Ces altérations de l'endothélium vont être à l'origine de troubles de la perméabilité capillaire notamment des vaisseaux périneuraux avec œdème interstitiel et augmentation de la pression liquidienne endoneurale. Un véritable syndrome de loge intrafasciculaire peut survenir avec auto-entretien, voire auto-aggravation de la compression des fibres nerveuses. En cas de compression prolongée, ce phénomène sera suivi par l'hypertrophie cicatricielle du conjonctif des enveloppes neurales consécutive à l'œdème interstitiel et aux dépôts protéiques.

Anomalies des fibres nerveuses

Ces anomalies peuvent siéger dans les transports axonaux, la gaine de myéline et la structure axonale. L'origine en est double, indirecte, liée aux anomalies de la microcirculation intraneurale qui sont les plus

précocement observées, et directes par compression mécanique.

Troubles des transports axonaux

Deux transports axonaux antérogrades, l'un rapide et l'autre lent, permettent l'acheminement des éléments synthésés dans le corps cellulaire, qui représente l'unité centrale principale, vers l'axone et les terminaisons nerveuses. Inversement, un transport axonal rétrograde permet le transport notamment de facteurs trophiques à partir de la périphérie vers le corps cellulaire. Expérimentalement, dès 30 mmHg, une compression neurale exercée pendant deux heures va entraîner d'importantes altérations des divers transports axonaux. Plus la compression et sa durée seront importantes, plus la réversibilité des perturbations des transports axonaux sera lente après levée de la compression. Ainsi, après une pression exercée à 200 mmHg pendant deux heures, les transports axonaux ne reviendront à la normale qu'au bout de trois jours. Les conséquences pour le fonctionnement axoplasmique et pour la jonction synaptique du fait des altérations des flux axonaux antérogrades ne sont pas les seules observées, des anomalies en amont dans le corps cellulaire s'y associent par anomalies du flux rétrograde. En effet, des modifications morphologiques de ce corps cellulaire ont été observées dans les cellules du ganglion spinal postérieur lors d'une compression sur l'axone de 30 mmHg pendant deux heures.

Altérations de la gaine de myéline

Les anomalies de la gaine de myéline (structure lamellaire générée par la cellule de Schwann), qui vont de son amincissement à la démyélinisation segmentaire au site de compression avec déplacement des nœuds de Ranvier (jonction entre deux cellules de Schwann) à l'écart de la zone de compression, seraient beaucoup plus tardives que les perturbations de la microcirculation et des transports axonaux.

Lésions axonales

L'interruption axonale au site de compression représente l'ultime et la plus grave conséquence du processus de compression nerveuse. Il s'agit d'une lésion d'axonotmésis selon Seddon, ou de type II de Sunderland, c'est-à-dire sans désorganisation des tubes endoneuraux et avec survenue d'une dégénérescence wallérienne sur le segment axonal en aval de la compression. La récupération ne pourra se faire, après levée de la compression, qu'à l'issue d'une repousse axonale (1 mm/j). Des

lésions plus graves de type neurotmésis de Seddon ou de type III ou IV de Sunderland, qui impliquent une désorganisation des enveloppes conjonctives du nerf et qui peuvent justifier une réparation nerveuse par suture ou greffe, impliquent un mécanisme de traction associé.

Traumatismes balistiques

Les lésions potentielles dépendent de la masse et de la forme du projectile, de ses effets surajoutés éventuels, de sa vitesse de pénétration et des tissus cibles. Les projectiles outre leur calibre, peuvent être classés en basse vitesse (< 370 m/s), type 22 long rifle, vitesse intermédiaire (372 à 760 m/s), type pistolet magnum et haute vitesse (plus de 760 m/s), type fusil d'assaut militaire. L'incidence des lésions nerveuses au cours des conflits armés a été de 6,6 % chez les patients hospitalisés pour traumatisme ouvert au cours de la Seconde Guerre mondiale et de 7,3 % au cours de la guerre du Vietnam. Les conséquences des lésions nerveuses peuvent être aggravées par la nécrose tissulaire, l'infection soulignant l'intérêt de l'antibiothérapie et du parage débridement initial, qui doit être d'autant plus important que le projectile est à haute énergie.

Les lésions nerveuses peuvent être dues au traumatisme direct avec rupture totale ou partielle sur le trajet du projectile et lésions étendues en amont et en aval, ainsi qu'à l'énergie libérée par son freinage à l'origine d'une zone de cavitation temporaire [2, 9]. En dehors des ruptures, des lésions très variables peuvent être observées. Un nerf en continuité peut cacher des lésions graves et irréversibles dont l'extension en longueur sur le trajet du nerf est très difficile à évaluer. Dans les lésions en continuité, le pronostic de récupération spontanée a été estimé au cours de la guerre du Vietnam à 69 %. En cas de rupture, la réparation nerveuse devra être réalisée dès que la situation clinique le permet, dans des tissus propres, après stabilisation squelettique, revascularisation et si la réparation nerveuse peut être couverte. Là aussi, le repérage en urgence avec fixation pour éviter la rétraction des extrémités, le marquage radio-opaque faciliteront la réparation différée. Des douleurs séquellaires de type causalgie peuvent s'observer, favorisées par des lésions nerveuses multiples. Les nerfs médians et sciatiques sont les plus grands pourvoyeurs de ce type de douleurs.

Traumatismes thermiques, électriques et chimiques

Lors des traumatismes thermiques, les lésions nerveuses peuvent être dues à la nécrose de coagulation due

à la chaleur, mais le plus souvent à l'ischémie et à la compression liée à une cicatrice circulaire. Seuls les nerfs les plus superficiels sont atteints directement par l'effet de la chaleur. Compression posturale ou lésion iatrogène peuvent être aussi observées.

Les nerfs périphériques constituent une voie de diffusion préférentielle du courant en cas d'électrocution expliquant la fréquence des lésions observées. Les lésions des vaisseaux qui représentent aussi une voie privilégiée de diffusion du courant péjorent les lésions nerveuses. Les électrocutions à haut voltage présentent de plus des caractéristiques similaires aux brûlures thermiques.

Les lésions par agents chimiques peuvent être dues à une action chimique directe, à l'effet du dégagement de chaleur éventuel ou à une compression secondaire liée à l'œdème tissulaire. Débridement, lavage et décompression sont là aussi importants.

Bilan clinique et paraclinique

Les objectifs sont de :

- ne pas méconnaître et caractériser une lésion nerveuse périphérique chez un patient à la phase initiale d'un traumatisme ouvert ou fermé des membres ;
- déterminer s'il y a repousse nerveuse et son pronostic après la prise en charge initiale que l'on a effectuée ou bien dans le cadre d'une prise en charge secondaire d'un patient porteur d'une lésion nerveuse fermée ou déjà opérée.

Reconnaître et caractériser une lésion nerveuse périphérique chez un patient à la phase initiale d'un traumatisme ouvert ou fermé des membres

Dans l'urgence, quatre circonstances vont faire qu'une lésion nerveuse périphérique peut être méconnue ou être placée au deuxième plan, eu égard aux mesures urgentes que nécessitent les situations suivantes :

- un traumatisme crânien grave avec coma ;
- un polytraumatisme ;
- un traumatisme balistique ;
- une rupture ou une plaie de gros vaisseaux.

Comme un bilan moteur et sensitif élémentaire en urgence est obligatoire devant tout traumatisme des membres chez un blessé conscient, il faudra aussi ne pas méconnaître une lésion ostéo-articulaire ou musculotendineuse masquée par l'insensibilité et le déficit moteur liés à la paralysie.

Bilan initial

Devant une impotence fonctionnelle faisant évoquer une paralysie au membre supérieur, il faut s'aider d'un bilan simple, rapide et global, ayant une correspondance métamérique ou nerveuse tronculaire et comportant une évaluation sensitive et motrice élémentaire. Chaque fonction testée sera cotée présente, atténuée ou absente. En cas de traumatisme ostéo-articulaire associé l'examen de la sensibilité primera. L'examen de la motricité volontaire ne pourra se faire qu'à distance de la lésion associée si les douleurs le permettent et s'il n'y a pas de conséquences sur la lésion ostéo-articulaire.

Toutefois, l'examen de la sensibilité à la main sera plus sophistiqué pour dépister des lésions partielles. C'est la sensibilité discriminative qui est étudiée et qui est explorée précisément par le test de Weber [4]. Le test de Weber, ou test de discrimination statique de deux points, étudie de manière bilatérale et comparative l'espacement minimal des deux branches d'un instrument appuyées sur la peau permettant au patient, les yeux fermés, de distinguer les deux points de contact. L'instrument peut être tout simplement un trombone de papeterie ou bien un des instruments dévolus à l'examen de ce type de sensibilité. Chaque hémipulpe digitale est testée. La pression sur la peau ne doit pas être trop excessive et ne doit entraîner qu'un début de blanchiment cutané. Un écartement ressenti de 6 mm ou plus est considéré comme anormal aux pulpes digitales.

Le classique examen de la sensibilité de protection par le test du « pique-touche » est inconfortable pour le patient. Toutefois, en cas de perturbation sévère de la sensibilité, il est utile de le faire pour savoir si la sensibilité de protection est conservée ou non.

Bilan secondaire

Au terme de ce premier bilan neurologique, on sera en mesure de dire s'il s'agit d'une paralysie affectant un ou plusieurs territoires nerveux, et si l'on est en présence d'un déficit complet sensitivo-moteur ou incomplet dissocié au niveau des territoires atteints.

Le résultat de ce bilan devra être colligé sur le dossier médical et plus particulièrement avant tout traitement d'une lésion ostéo-articulaire.

Ce bilan est certes très incomplet, mais il n'est pas possible dans le cadre de l'urgence d'effectuer un bilan analytique précis sensitivo-moteur.

Ce dernier sera réalisé dès que l'état du blessé le permettra, souvent à partir du 2^e ou du 3^e jour.

La sensibilité discriminative sera mieux appréciée.

- S0 aucune sensibilité;
- S1 récupération de la sensibilité cutanée douloureuse profonde;
- S1+ récupération de la sensibilité cutanée douloureuse superficielle;
- S2 récupération de la sensibilité cutanée douloureuse superficielle et d'une certaine sensibilité au toucher (différentiation du pique/touche, pas de discrimination des deux points). Possible hyperesthésie;
- S3 récupération de la sensibilité douloureuse et tactile, disparition de l'hyperesthésie, début de discrimination (Weber > 15 mm);
- S3+ retour d'une discrimination utile (Weber de 6 à 15 mm);
- S4 sensibilité normale.

L'examen de la motricité fera appel à la classification BRMC (British Medical Research Grading) en six grades :

- M0 pas de contraction;
- M1 contraction perceptible mais sans mouvement vrai;
- M2 ébauche de mouvement ou mouvement incomplet;
- M3 mouvement complet contre pesanteur;
- M4 mouvement complet avec force anormale;
- M5 mouvement complet avec force normale.

Ce bilan devra tenir compte :

- des variations anatomiques éventuelles qu'il faudra suspecter notamment entre nerf médian et nerf ulnaire. Les zones autonomes des nerfs sont importantes à tester du point de vue sensibilité;
- des difficultés diagnostiques en cas de lésion musculo-tendineuse associée.

Les résultats du bilan clinique sensitivo-moteur seront colligés sur des fiches d'examen prévues à cet effet dont la lecture aidera à typer le déficit neurologique et à suivre son évolution.

Les phénomènes douloureux éventuels dans le territoire nerveux seront évalués par échelle visuelle analogique.

Il n'y a pas de place pour un bilan électrophysiologique à la phase initiale.

Détermination de la régénération nerveuse et de son pronostic

Il y a plusieurs moyens de déterminer s'il y a régénération nerveuse et d'établir son pronostic après la prise en charge initiale que l'on a effectuée ou bien dans le cadre d'une prise en charge secondaire d'un patient porteur d'une lésion nerveuse fermée ou déjà opérée.

La repousse nerveuse peut être appréciée de plusieurs façons par :

- l'étude du signe de Tinel;
- l'évaluation des territoires sensitifs et moteurs en aval de la lésion nerveuse;
- le bilan électrophysiologique éventuellement répété;
- parfois, la contribution de l'imagerie.

Le signe de Tinel

Tinel l'a décrit en 1915 pour les lésions nerveuses post-traumatiques [11]. Suite à la pression et non à la percussion sur le trajet du nerf, il distinguait le « signe du fourmillement » progressant en aval de la lésion et témoignant d'une régénération axonale, de la « douleur d'irritation névritique » localisée, permanente et fixe au niveau de la lésion traduisant une interruption complète du nerf.

L'étude du signe de Tinel fait partie intégrante du suivi des lésions nerveuses périphériques. Son apparition est souvent différée le temps du début de régénération axonale. Il ne faut pas le confondre avec la douleur sur le site lésionnel d'un nerf après section partielle qui est constatée précocement. Le signe de Tinel sera toujours recherché de distal en proximal par rapport à la lésion. Pressions, ou mieux, percussions, sont utilisées. Le niveau du « Tinel » sera noté en centimètres par rapport à un repère anatomique fixe afin d'en suivre l'éventuelle progression.

- Un signe de Tinel qui progresse vers la distalité signe une régénération axonale. La régénération axonale est aux alentours de 1 mm par jour.
- La diminution progressive du Tinel au site lésionnel, dont l'intensité devient inférieure à celle du Tinel distal qui progresse, sera plutôt de bon pronostic.
- Un « Tinel » qui reste plus fort au site lésionnel qu'en distalité témoigne d'une régénération axonale faible quantitativement.
- Un « Tinel » qui ne progresse pas traduit un obstacle à la régénération axonale (rupture, compression sévère, suture non perméable, rerupture).

L'évaluation des territoires sensitifs et moteurs en aval de la lésion nerveuse

Le suivi se fera à intervalles réguliers avec évaluation sensitivomotrice colligée sur les fiches appropriées. Idéalement, ces évaluations seront faites au mieux par la même personne habituée à ce type d'examen.

En cas de paralysie, la persistance d'une sensibilité dans le territoire d'un nerf mixte est plutôt de bon pronostic et traduit l'intégrité des gaines conjonctives du nerf. Toutefois, des lésions de types différents peuvent coexister.

L'étude du territoire musculaire d'un nerf se fait de proximal en distal. Les premiers signes de régénération

sont attendus au niveau du premier muscle innervé, par exemple le brachioradialis en cas d'atteinte du nerf radial au bras. La connaissance de l'ordre d'innervation musculaire du nerf lésé est très utile.

On peut estimer le délai de réinnervation de chaque muscle en multipliant la distance entre la lésion et son niveau d'innervation par la vitesse de repousse axonale (environ 1 mm par jour) [9].

En cas de lésion fermée, une récupération proximodistale dans le territoire d'un nerf traduit une lésion de type 2 de Seddon ou Sunderland.

En cas de réparation nerveuse, la régénération nerveuse peut ne pas se faire de façon cohérente proximodistale et un muscle ou plusieurs muscles peuvent être « sautés » du fait des erreurs d'aiguillage.

Une récupération non homogène après réparation nerveuse chez l'adulte est fréquente.

Le bilan électrophysiologique [1, 6]

Ce n'est que le prolongement du bilan clinique et il ne doit pas s'y substituer. Il doit être guidé, orienté. Une simple ordonnance pour « EMG » pour un électrophysiologiste peu habitué aux lésions nerveuses périphériques sera peu ou pas contributive. Il s'agit d'un examen opérateur dépendant. Ses conclusions doivent être claires.

Cet examen est indiqué en cas de paralysie dans le territoire d'un nerf ou en cas de compression d'origine traumatique ne cédant pas au traitement des lésions associées.

Il n'a aucun intérêt avant la 3^e semaine post-opératoire, temps nécessaire à la dégénérescence wallérienne.

Le bilan électrophysiologique permet de distinguer un bloc de conduction d'une interruption axonale mais ne permet pas de distinguer une lésion axonale qui va récupérer de celle qui ne récupérera pas.

Le bilan électromyographique initial permet de montrer différents cas de figure

- En cas de rupture ou section d'un nerf :
 - il n'y a aucune activité volontaire enregistrée au niveau des muscles paralysés;
 - le muscle est inexcitable par stimulation du nerf en amont de la lésion;
 - il y a une activité spontanée de fibrillations dont le délai d'apparition varie selon la distance entre la lésion et le muscle mais n'est pas observée avant le 15^e–21^e jour;
 - les vitesses de conduction distales peuvent être conservées en partie pendant les cinq à six premiers

jours suivant la lésion. Après ces vitesses sont non mesurables.

- En cas de bloc de conduction incomplet :
 - la détection montre une activité volontaire très simplifiée, accélérée, avec des potentiels souvent de faibles amplitudes et polyphasiques ;
 - il n'y a pas en principe de potentiels de dénervation, de rares peuvent être observés ; la stimulo-détection montre une conduction nerveuse qui peut être altérée avec ralentissement de la conduction et diminution massive des potentiels d'action moteur et sensitifs qui sont cependant encore retrouvés.

Des tableaux EMG comparables à celui d'un bloc de conduction incomplet peuvent se voir en cas de section partielle d'un nerf ou bien en cas d'atteinte nerveuse où coexistent des lésions de plusieurs types de Sunderland.

Dans ces cas, seule la surveillance clinique permettra de distinguer différents cas de figure.

L'EMG de surveillance

Dans les blocs de conduction, la surveillance EMG est inutile, toutefois celle-ci permettrait d'observer une réinnervation riche et une amélioration de la conduction nerveuse.

En cas d'interruption axonale, la surveillance EMG ciblera les premiers muscles proximaux dans l'ordre d'innervation du nerf lésé. S'il y a régénération axonale, celle-ci se traduira par :

- l'apparition de potentiels d'unité motrice soit lors des tentatives de contraction volontaire de la part du patient, soit suite à l'électrostimulation. Au début, il s'agit de potentiels polyphasiques de faible amplitude ;
- la diminution de l'activité de fibrillation.

L'apparition de ces potentiels de réinnervation ne préjuge pas de la qualité de la récupération motrice. Le suivi clinique prime.

Les signes de récupération électrique précèdent les premières contractions perceptibles cliniquement.

Le délai d'apparition des premiers signes de réinnervation à l'EMG dépend de la distance entre la lésion et le muscle cible multiplié par la vitesse de régénération nerveuse (environ 1 mm/j) auquel il faut ajouter un à deux mois, notamment après traitement chirurgical. L'estimation de ce délai permet de décider par exemple de l'exploration d'un nerf après lésion fermée en cas de dépassement du délai.

Une réinnervation électrique pauvre, et qui le reste, ne doit pas faire illusion et ne fait que traduire une lésion mixte où prédominent des lésions au moins de degré IV ou V de Sunderland. L'analyse et le suivi des

anomalies de recrutement et du nombre d'unités motrices battantes seront importants au cours des différents examens (tracé intermédiaire simple, pauvre, voire riche lors des contractions maximales). Cette analyse du recrutement apporte une certaine aide au pronostic de récupération. Si peu d'unités motrices battent aux différents examens, cela traduit une faible réinnervation escomptée.

La fréquence des EMG dépend du type de lésion et du délai par rapport au traumatisme. Il y aura un examen à 21 jours mais aussi au terme du délai estimé pour les possibilités de récupération des premiers muscles proximaux. Entre ces deux examens, l'EMG est répété tous les 45 à 60 jours.

Le bilan d'imagerie

Il n'a d'intérêt que dans le cas de la prise en charge secondaire pour différencier un névrome post-traumatique d'une lésion susceptible de régénérer. C'est essentiellement l'IRM. Toutefois, son intérêt est encore limité du fait du manque de fiabilité des résultats.

Indications chirurgicales générales en cas de lésion nerveuse périphérique

Avant toute indication chirurgicale de réparation nerveuse, outre le bilan neurologique, seront évalués :

- le retentissement de la lésion nerveuse et ses conséquences fonctionnelles ;
- les critères de pronostic de la récupération nerveuse intrinsèques au patient (âge, consommation tabagique, terrain), seront mis en corrélation avec les critères propres au traumatisme (niveau lésionnel, étiologie, traumatisme vasculaire associé) ;
- l'état des tissus adjacents et la stabilisation squelettique ;
- le pronostic de récupération fonctionnelle du membre en cas de lésion pluritissulaire ;
- l'intérêt respectif d'une réparation nerveuse différée (primaire ou reprise) ou d'une chirurgie palliative.

En cas de prise en charge secondaire, devront être aussi analysés :

- le délai traumatique et le délai opératoire ;
- la souplesse articulaire et la trophicité du membre qui devront être maintenus par une rééducation attentive ;
- le degré d'adhésion du patient bien informé à son programme thérapeutique.

Le tableau 1 résume les grandes lignes des indications chirurgicales devant une ou des lésions nerveuses

Tableau 1

Schéma général des indications opératoires en cas de lésion nerveuse périphérique post-traumatique (plexus brachial exclu)

Récupération spontanée cohérente	Retentissement fonctionnel	Potentiel de régénération nerveuse	Environnement tissulaire	Pronostic fonctionnel du membre	Indication thérapeutique
+	+ ou indifférent	+ ou indifférent	+ ou indifférent	+ ou indifférent	abstention
–	+	+	+	+	réparation nerveuse
–	+	+	–	+	réparation différée
–	+	–	indifférent	+	chirurgie palliative
–	+	indifférent	–	–	abstention
–	–	indifférent	indifférent	indifférent	abstention

périphériques en dehors des lésions du plexus brachial. Le retentissement fonctionnel fait allusion aux nerfs à ne pas réparer, car leurs répercussions sont minimes. Le pronostic de régénération nerveuse est lié à des facteurs intrinsèques au patients (âge, consommation tabagique, terrain), à des facteurs propres à la lésion (niveau lésionnel, étiologie, traumatisme vasculaire

associé), ainsi qu'au délai opératoire. L'environnement tissulaire fait référence à une contamination infectieuse, au degré d'attrition tissulaire, à un état ischémique. En cas de traumatisme complexe pluritissulaire où le pronostic fonctionnel du membre est engagé, l'indication de réparation nerveuse est soumise à la conservation du membre.

RÉFÉRENCES

- Birch R. Nerve repair. In : Green's operative hand surgery. Edited by Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC, Wolfe SW. Philadelphia : Elsevier Churchill Livingstone; 2005. p. 1075-1112.
- Lundborg G. Nerve Injury and Repair. Edinburgh : Churchill Livingstone; 1988.
- Lundborg G, Danielsen N. Injury, degeneration and regeneration. In : Operative Nerve Repair and Reconstruction. Edited by Gelberman RH. Philadelphia : JB Lippincott Company; 1991. p. 109-131.
- MacKinnon SE, Dellon AL. Surgery of the Peripheral Nerve. New York : Thieme; 1988.
- Seddon H. Surgical Disorders of the Peripheral Nerves. London : Churchill Livingstone; 1975.
- Seror P. Examen électromyographique du membre supérieur. In : Traité de chirurgie de la main. Edited by Tubiana R, Paris : Masson; 1991. p. 19-47
- Sunderland S. Nerve Injuries and Their Repair. A Critical Appraisal. Edinburgh : Churchill Livingstone; 1991.
- Sunderland S. Nerves and Nerve Injuries. Edinburgh : Churchill Livingstone; 1978.
- Sunderland S. Nerves and Nerve Injuries. Edinburgh : Churchill Livingstone; 1972.
- Thomas PK, Holdorff B. Neuropathy due to physical agents. In : Peripheral neuropathy. Edited by Dyck PJ, Thomas PK, Griffin JW. Philadelphia : WB Saunders; 1993.
- Tinel J. Le signe du fourmillement dans les lésions des nerfs périphériques. Press Med 1915; 47 : 388-389.

Dégénérescence et régénération des nerfs périphériques et des effecteurs musculaires et sensitifs

Degeneration and regeneration of both peripheral nerve and motor and sensory effectors

B. COULET¹, M. CHAMMAS¹, P.-A. DAUSSIN¹, C. LAZERGES¹, F. LACOMBE¹, M. CÉSAR¹, S. DOMERGUE¹, F. BACOU¹, J.-P. MICALLEF¹

RÉSUMÉ

Malgré des progrès significatifs en chirurgie, les techniques de réparation nerveuse ont peu évolué depuis les principes établis par Sir Sidney Sunderland lors de la Seconde Guerre mondiale. Pour maîtriser les techniques de sutures et bien suivre la récupération fonctionnelle du nerf, il est essentiel de connaître la physiopathologie de sa régénération. Après une lésion, l'extrémité distale du nerf subit la dégénérescence wallérienne, mais le traumatisme a des conséquences sur sa partie proximale. La régénération axonale est guidée par le tissu de soutien qui l'entoure, essentiellement les cellules de Schwann avec lesquelles entretient des interactions complexes. Une fois le contact avec l'effecteur établi, des mécanismes de compensation, musculaires pour la fonction motrice, cérébraux au niveau sensitif, se mettent en place afin d'optimiser la récupération fonctionnelle. Cet article précise les phénomènes de régénération nerveuse, mais aussi les mécanismes moins classiques de compensation musculaire ayant pour but d'en accroître les performances.

Mots clés : Régénération. – Nerf. – Muscle.

SUMMARY

Despite advances in many other fields in surgery, nerve repair has not improved substantially from the techniques established by Sir Sidney Sunderland during World War II. A prerequisite to the understanding of both the timing and the technique of nerve repair is a good knowledge of the pathophysiologic aspects of nerve injury. After nerve injury the distal segment undergoes the Wallerian degeneration. A peripheral nerve injury is a very complex injury because it involves both peripheral (Wallerian degeneration) and central components of the nervous system all the way from targets at muscle and skin receptors up to the brain. In the neuron and its supporting cells (mainly schwann cells) there are numerous steps with the aim to bring the axon to the effector. After, contact with effector several mechanisms of compensation appears to improve the motor or sensory recovery. The present article focuses on the nerve regeneration after injury and the muscle reaction to increase motor function.

Key words: Regeneration. – Nerve. – Muscle.

Introduction

Les lésions des nerfs périphériques ont été identifiées très tôt dans l'histoire de la médecine, mais des auteurs comme Galien (130–201) pensaient que les nerfs étaient incapables de régénérer. Guy de Chauliac (1300–1370) observe chez un jeune patient que les nerfs comme les tendons peuvent cicatriser retrouvant ainsi leur aspect initial. Malgré cette observation les sutures nerveuses vont tomber en désuétude, et il faudra attendre le 18^e siècle pour que la régénération nerveuse après lésion soit admise.

Ce n'est qu'au cours des deux guerres mondiales que la chirurgie nerveuse périphérique va réellement se développer. Tinel décrit la séméiologie de la repousse nerveuse, Seddon [14] identifie les différents types de lésions du nerf. Sunderland [16] précise son architecture fasciculaire ce qui augurera le développement de la chirurgie nerveuse grâce à la microchirurgie.

Le motoneurone et les fibres musculaires qu'il innerve constituent l'unité motrice. Cet élément de base du complexe associant le muscle et son innervation est fonctionnellement et structuralement très spécialisé. Cette spécialisation architecturale limite les capacités

¹ Service de chirurgie de la main et du membre supérieur, hôpital Lapeyronie, CHU de Montpellier, 34295 Montpellier Cedex 5, France

de régénération des tissus nerveux et musculaires. Le muscle en contact direct avec l'environnement extérieur est soumis à des traumatismes et doit pouvoir régénérer. Le système nerveux est anatomiquement protégé et hormis des conditions très particulières (traumatismes violents ou plaies profondes), il est moins soumis que le muscle à des lésions, ces capacités de régénérations sont considérablement plus limitées.

Le nerf dans des conditions normales ne sera en fait soumis qu'à des compressions n'occasionnant que des lésions partielles pour lesquelles des mécanismes de compensation sont à la disposition de l'unité motrice.

Nous étudierons dans ce chapitre les conséquences d'une lésion nerveuse périphérique. Les possibilités de régénération du nerf et les modifications subies par le muscle strié squelettique en l'absence d'innervation et en cas de réinnervation. Nous décrirons aussi les mécanismes de compensation développés par le muscle pour palier à un déficit d'innervation.

Rappels anatomo-physiologiques

[4, 6, 8, 9, 11, 17]

Les nerfs moteurs ont leurs corps cellulaires dans la corne antérieure de la moelle épinière, tandis que ceux des nerfs sensitifs proviennent des ganglions spinaux.

Le neurone est composé, d'un corps cellulaire volumineux, où se trouve le noyau entouré de cytoplasme appelé péricaryon, et l'axone qui constitue en volume la partie la plus importante de la cellule.

Les neurones sont entourés de cellules gliales (tissu de soutien) spécifiques du système nerveux central. À la sortie du canal médullaire, les cellules gliales sont remplacées par les cellules de Schwann qui forment une sorte de tube autour de l'axone.

L'axone est le prolongement cylindrique du cytoplasme neuronal (l'axoplasme). Il est limité par une membrane de type cytoplasmique, l'axolemme. Il ne comporte pas de ribosome et est incapable de réaliser une synthèse protéique. L'ensemble de ses constituants provient donc du corps cellulaire et est véhiculé par le flux axonal, l'axoplasme est avant tout une voie de transport à double sens appelée : transport axonal.

– Le transport orthograde ou antérograde (du noyau à la périphérie) :

le transport antérograde lent : il se fait par voie axoplasmique, sa vitesse est de 1 à 2 mm/jour, correspondant à la vitesse de repousse de l'axone. Il véhicule les substances nécessaires à l'entretien de l'axoplasme et au squelette de l'axone,

le transport axonal rapide : il se fait à travers le réticulum endoplasmique, sa vitesse est de 200 à 400 mm/jour.

Il véhicule, dans le même sens, les enzymes nécessaires à la neurotransmission au niveau de la synapse et certaines protéines de paroi qui se déposent tout au long de l'axolemme;

– le transport rétrograde (de la périphérie au noyau), sa vitesse est de 150 à 300 mm/jour. Il véhicule : les produits du métabolisme de la neurotransmission qui vont être recyclés par le neurone, diverses substances qui renseignent le neurone sur sa périphérie :

– les facteurs neurotrophiques signalent la présence de substances exogènes qui envahissent l'axone lors d'une section nerveuse, le retour prématuré (non métabolisé) lors de lésions nerveuses, de substances endogènes destinées à la périphérie.

Le blocage du transport axonal rétrograde provoque la même réaction du corps cellulaire neuronal que celle observée lors d'une section de son axone.

Les synapses et les jonctions neuromusculaires

La synapse est un relais hautement spécialisé, par lequel l'information passe d'un neurone à un autre, ou à une cellule effectrice (par exemple avec une cellule musculaire), le plus souvent grâce à des médiateurs chimiques.

On distingue trois parties :

– la zone présynaptique qui correspond à l'extrémité dilatée de la terminaison axonique. Elle contient des vésicules synaptiques qui correspondent à des quanta de neurotransmetteurs (l'acétylcholine);

– la fente synaptique qui est constituée de matériel amorphe;

– la zone post-synaptique qui ne contient pas de vésicule, mais présente des récepteurs spécifiques pour les neurotransmetteurs.

L'unité motrice

Le concept d'unité motrice a été proposé par Sherrington (figure 1). Il définit l'ensemble des fibres musculaires innervées par un seul axone. Le territoire d'une unité motrice est vaste et peut s'étendre sur plus de la moitié du muscle; cependant, deux fibres voisines sont habituellement innervées par deux axones différents. Il y a donc interdigitation des territoires d'innervation des différentes unités motrices. Au sein d'une unité motrice, le motoneurone (neurone moteur) et les fibres musculaires qu'il innerve ont les mêmes propriétés physico-chimiques et se contractent simultanément (disposition en mosaïque).

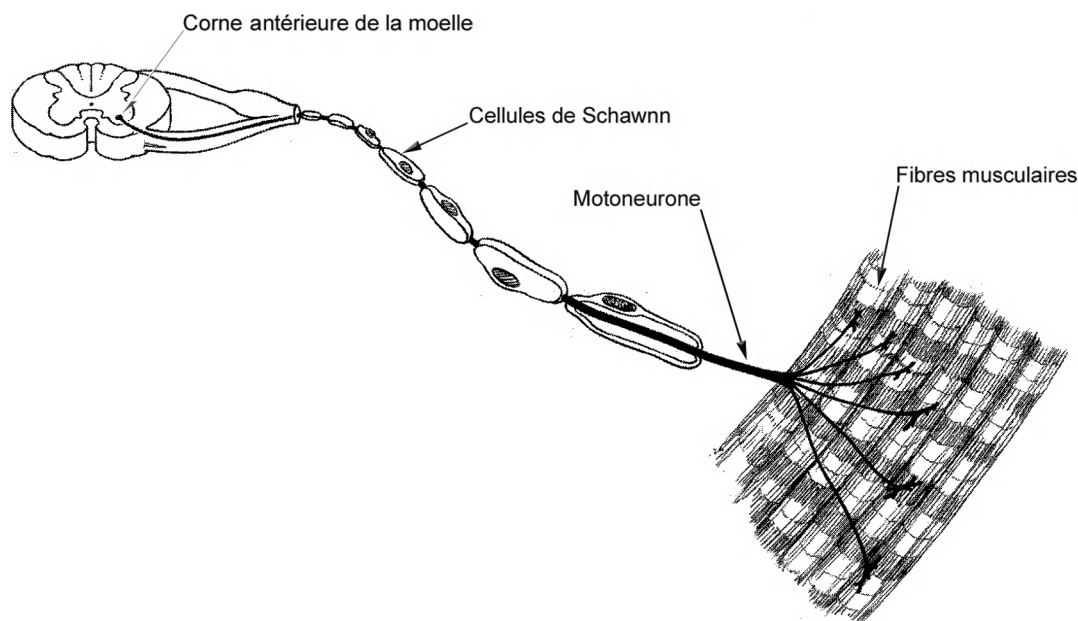


Figure 1. Représentation d'une unité motrice, elle est définie par un motoneurone et l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve. Toutes les fibres musculaires d'une même unité motrice ont les mêmes propriétés physico-chimiques et se contractent simultanément.

La fibre nerveuse

La fibre nerveuse est constituée par l'axone ou neurite, la cellule de Schwann avec ou sans gaine de myéline et la membrane basale. Certains axones sont entourés par une gaine de myéline (axones myélinisés), d'autres pas (axones amyéliniques).

Dans le système nerveux périphérique, l'axone est entouré par des cellules de Schwann, seules cellules gliales du nerf périphérique (figure 2). Leur multiplication et leur différenciation sont contrôlées par l'axone. Les cellules de Schwann interviennent dans le guidage de

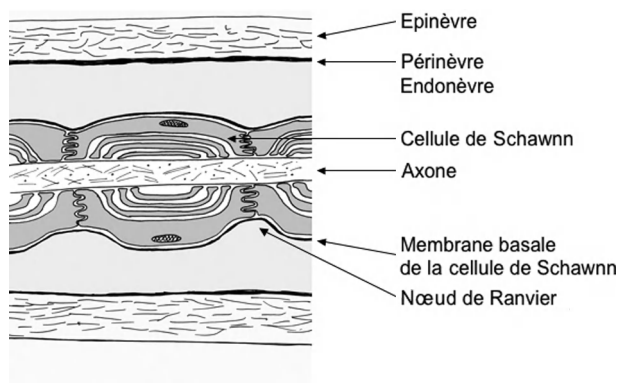


Figure 2. Représentation schématique de l'axone et de ses enveloppes.

la croissance axonale, dans la myélinisation, dans la dégénérescence et la repousse axonale. Cette cellule entoure, en spirale, l'axone formant 20 à 30 couches concentriques. Cette myélinisation de l'axone se produit pendant la période périnatale.

La gaine de myéline est un enroulement multilamellaire résultant d'une spécialisation de la membrane plasmique de la cellule de Schwann.

L'espace séparant deux segments myélinisés est le noeud de Ranvier, celui séparant deux noeuds de Ranvier est l'espace internodal.

La gaine de myéline, très riche en lipoprotéine (cholestérol et phospholipides), est un isolant au point de vue électrique; elle protège l'axone responsable de la transmission de l'influx nerveux.

Les gaines du nerf périphérique (figure 3)

Dans leur course vers la périphérie, les fibres nerveuses sont regroupées en fascicules relativement homogènes, constitués majoritairement de fibres motrices ou de fibres sensibles auxquels sont associées d'autres structures (gaines de tissu conjonctif, vaisseaux sanguins...) pour former le tronc nerveux.

Le fascicule est limité par le périnèvre constitué de couches de cellules périneurales d'origine fibroblastique séparées par des faisceaux de collagène.

L'endonèvre correspond au tissu conjonctif intra fasciculaire. Les fascicules nerveux se rassemblent dans un

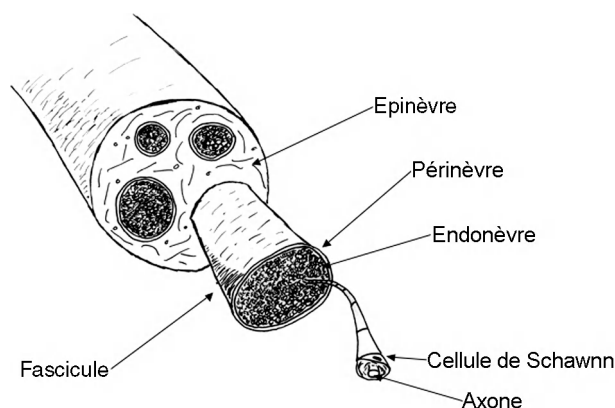


Figure 3. Représentation d'un nerf périphérique.

tissu conjonctif lâche appelé l'épinèvre qui assure la fixation et le glissement du nerf avec les structures de voisinage. Il contient le réseau vasculaire et lymphatique.

Lésions axonales

Différents types de lésions du nerf périphérique

Nous avons vu que fonctionnellement l'axone et la gaine qui l'entoure constituent des structures intimement liées anatomiquement mais aussi embryologiquement. Comme pour leur formation, l'axone et le tissu de soutien qui l'entoure sont interdépendants lors de leur régénération après lésion. L'axone du fait d'un cytoplasme hypertrophié est extrêmement sensible aux traumatismes et la moindre atteinte même localisée, en interrompant les flux axonaux, conduira à un isolement du segment distal et à sa dégénérescence appelée wallérienne. La qualité de la régénération axonale dépendra directement de l'importance de l'atteinte du tissu de soutien en regard de la lésion. Cette notion est très importante car elle est la base de toutes les classifications lésionnelles des nerfs périphériques.

Deux classifications se superposent : celle bien connue de Seddon et celle de Sunderland (figure 4).

- La neurapraxie de Seddon ou Stade I de Sunderland correspond au respect de la continuité de l'axone et de ses gaines nerveuses. La partie distale ne dégénère pas, il existe seulement un bloc de conduction temporaire, la récupération est complète.

- L'axonotmesis de Seddon ou Stade II de Sunderland correspond à une interruption axonale avec dégénérescence wallérienne, mais les gaines sont intactes si bien

que la repousse axonale se fait dans les tubes endoneuraux non interrompus, la récupération est en général bonne, elle dépend essentiellement de la tolérance de l'effecteur à la dénervation.

- Le neurotmesis de Seddon est une section du tronc nerveux avec une rupture des fibres nerveuses et des gaines. L'axone n'est plus systématiquement guidé dans sa repousse, il existe un risque de formation névromateuse au site lésionnel.

Sunderland distingue 3 stades dans cette lésion selon l'atteinte des gaines :

- stade III rupture endoneurale ;
- stade IV rupture endo- et périneurale ;
- stade V rupture des trois gaines endo-, péri- et épineurale qui correspond en fait à la section du nerf.

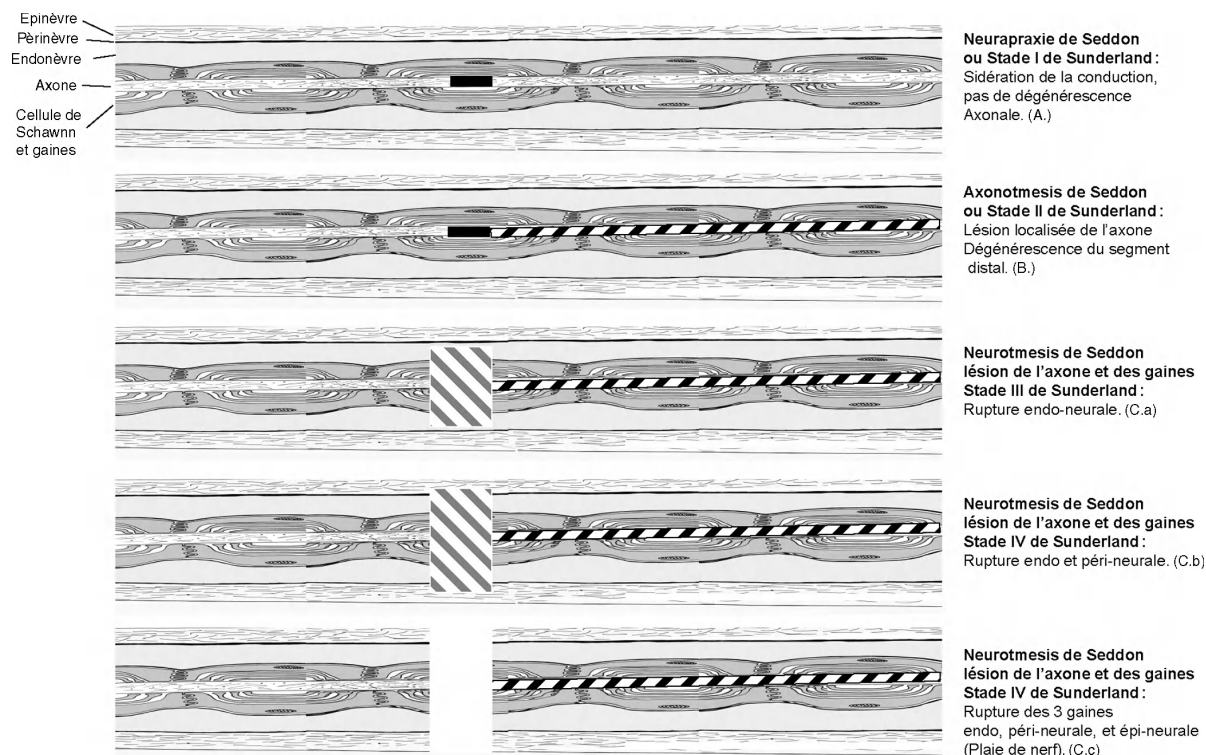
Dans ce groupe, la récupération est toujours incomplète, pouvant dans certain cas être nulle avec la formation d'un névrome.

Conséquences de la lésion axonale

Dès 1838, Remak considérait le corps cellulaire nucléé comme la source des substances formant les fibres nerveuses. La première étude expérimentale sérieuse, des conséquences d'une section nerveuse périphérique, a été effectuée en 1850 par Auguste Waller, en indiquant clairement que l'extrémité distale du nerf sectionné dégénérerait. Le cytoplasme du neurone, comme tout autre cellule de l'organisme, ne vit que grâce au rôle trophique du noyau. Le corps cellulaire est indispensable au maintien de l'axone et à l'entretien des relations étroites qui existent entre le neurone et les tissus qu'il innerve. En 1943, Weiss et Hiscoe ont montré l'existence de matériel synthétisé dans le corps cellulaire et constamment transporté le long de l'axone, mettant ainsi en évidence les notions de flux axonal antérograde lent et rapide et de flux axonal rétrograde. L'absence, quasi totale, de synthèse protéique dans l'axone, permet d'expliquer que ce prolongement neuronal (expansion cytoplasmique) ne peut survivre et jouer son rôle dans la transmission de l'influx nerveux, lorsqu'il est séparé de son centre trophique (corps cellulaire situé dans la corne antérieure de la moelle). Depuis lors, le processus de transformation, irréversible dans le tronçon distal d'un nerf sectionné, alors que le tronçon proximal de la fibre survit, porte le nom de « dégénérescence wallérienne ».

Les modifications de l'extrémité distale : dégénérescence wallérienne

Les modifications s'appliquent aussi bien à la fibre motrice (motoneurone) qu'à la fibre sensitive (deutoneurone), pour



simplifier le vocabulaire nous n'utiliserons que le terme d'axone.

La perte de continuité de l'axone entraîne rapidement des modifications histologiques, biochimiques et physiologiques.

Dans les premières 24 heures, on constate des modifications intra-axonales importantes qui conduisent dans un premier temps à la perte de la structure fibrillaire de l'axone puis après 48 heures en moyenne chez l'homme à sa disparition. La conséquence physiologique de la désintégration axonale est la disparition de la conduction de l'influx nerveux.

La gaine de myéline subit le même sort mais de façon plus lente sur une quinzaine de jours.

La vitesse de dégénérescence des fibres de petite taille est de 250 mm/jour, alors qu'elle est beaucoup plus lente pour les fibres de grandes tailles, 50 mm/jour. Pendant la seconde semaine a lieu le métabolisme biochimique de la myéline, dont les composants lipidiques

se transforment en esters du cholestérol utilisés ultérieurement pour la synthèse de la nouvelle myéline.

Les cellules de Schwann, elles, ont une tout autre évolution, elles ne dégèrent pas et sont le siège d'une intense activité métabolique (noyau dilaté, nombreuses inclusions cytoplasmiques...). L'activité mitotique maximale des cellules de Schwann coïncide avec la période où la dégénérescence wallérienne est la plus prononcée. Elles vont participer dans un premier temps par une activité macrophagique intense à la digestion des débris d'axone et de myéline. Dès le 4^e jour, on retrouve ces cellules de Schwann alignées en cordons à l'intérieur du tube formé par la membrane basale; ils constituent les bandes de Büngner qui jouent un rôle essentiel dans la régénération nerveuse.

La membrane basale, dans un nerf normal, constitue un mince tube continu sur toute la longueur de la fibre nerveuse, passant sans interruption d'une cellule de Schwann à l'autre.

Un élément fondamental lors de la régénération nerveuse est le respect de l'intégrité de la membrane basale de part et d'autre de la lésion nerveuse (segments proximal et distal). En l'absence de régénération, les tubes schwanniens (cellule de Schwann, membrane basale) se rétractent et se collabent. Une fibrose endoneurale se développe inéluctablement en 12 à 18 mois et les quelques tubes schwanniens qui persistent n'ont plus qu'un diamètre voisin de 2 μm alors que la surface des fascicules est réduite au moins du tiers de la normale. Pour Sunderland, dès le 4^e mois, le diamètre des tubes schwanniens ne serait plus que de 3 μm . L'origine de cette fibrose (collagène) proviendrait des cellules de Schwann et des fibroblastes.

Après section, les différentes gaines du nerf (épinèvre, périnèvre, endonèvre, membrane basale) ne dégénèrent pas, il apparaît un tissu cicatriciel par prolifération cellulaire visant au rétablissement de la continuité des gaines. En l'absence de réparation nerveuse, ces phénomènes conduiront à la constitution d'un névrome.

Les modifications de l'extrémité proximale

La partie proximale du neurone inclut le noyau, un élément essentiel à la survie cellulaire. Selon le niveau de la lésion axonale, le neurone va perdre la plus grande partie de son cytoplasme. Une telle amputation va avoir plusieurs conséquences sur l'extrémité proximale :

- au niveau de sa portion terminale en regard de la lésion, l'axone va subir une dégénérescence ascendante ou traumatique allant jusqu'au premier nœud de Ranvier voire au-delà si le traumatisme est intense. Ces altérations morphologiques et physiologiques sont comparables à celles observées dans le segment distal, mais elles s'en distinguent par leur réversibilité et l'apparition précoce d'une repousse axonale.

Il persistera toutefois une réduction du calibre et de la vitesse de conduction des fibres nerveuses de l'ordre de 20 à 30 % ;

- au niveau du corps cellulaire du neurone : de profondes modifications structurales, métaboliques et physiologiques appelées chromatolyses, apparaissent au niveau du corps cellulaire neuronal lorsqu'il est séparé d'une partie de son axone. Ces modifications décrites en 1892 par Nissl, correspondent à :

- une augmentation du volume cellulaire, très vite suivie d'une réduction,
- une migration du noyau cellulaire vers la périphérie du cytoplasme,

- une fragmentation et une dispersion des corps de Nissl (réticulum endoplasmique granulaire).

Cette réaction du corps cellulaire serait due au flux rétrograde qui informerait le corps cellulaire de la lésion axonale (équivalent à une amputation du cytoplasme cellulaire) et durerait 2 à 3 semaines.

La chromatolyse entraînerait à son tour et dès la 48^e heure une réaction gliale à l'extérieur du corps cellulaire. L'évolution se faisant soit vers la reprise d'une fonction normale, grâce au rétablissement des connections périphériques grâce à la régénération nerveuse, soit vers la mort cellulaire du neurone, si la dégénérescence rétrograde a été intense, et ce d'autant plus que la lésion est proximale.

Régénération de la partie proximale

Deux facteurs essentiels conditionnent la repousse axonale. Tout d'abord sa capacité à régénérer après une telle agression et surtout l'intégrité ou non du tissu de soutien pour guider la repousse axonale. Ainsi, à partir du degré 2 de la classification de Sunderland la dégénérescence axonale est constante, par contre une distinction très importante doit être faite entre le degré 2, pour lequel les gaines du nerf sont intactes et donc le guide de la repousse axonale conservé, et les degrés 3, 4 et 5 où l'axone régénérant devra soit recoloniser des tubes neuraux existants soit s'associer à des structures néoformées.

Nous étudierons dans un premier temps la repousse axonale observée dans les degrés 2 lorsque la gaine et les cellules de Schwann sont conservées puis le cas des lésions 3, 4 et 5 plus spécifiques des conditions traumatiques.

Régénération axonale après lésion de degré 2 (Sunderland) ou axonotmésis (Seddon)

La restauration neuronale

Le début de la régénération est marqué par un arrêt de la chromatolyse et une reprise des activités anaboliques du neurone. La synthèse de protéines spécifiques GAPs (*Growth Associated Proteins*) permet la reprise du transport axoplasmique et favorise l'élongation de l'extrémité axonale. Cette réaction cellulaire varie avec :

- l'âge du patient ;
- la distance séparant la lésion axonale et le corps cellulaire ;
- le type de lésion.

La régénération axonale

Après une période de latence de 2 à 6 heures, apparaissent les premières pousses axonales à l'extrémité

distale des fibres nerveuses lésées. L'extrémité de l'axone prend un aspect renflé, en forme de massue, appelé « cône de croissance », hérissé de fins prolongements axoniques animés de mouvement amiboïdes. Dans les 48 heures après la lésion, ces premières pousses axonales dégénèrent avant la phase de ramification définitive. La phase de ramification, à proprement parlé, débute dès le second jour et dure deux semaines. L'axone en voie de régénération émet plusieurs pousses de tailles variées, qui se ramifient à leur tour plus distalement, l'ensemble des bourgeons constituant un faisceau de régénération. Le développement ultérieur des bourgeons et le maintien de l'intégrité de la néo-fibre nerveuse nécessitent un apport continu de substance trophique et de matériaux de remplacement jusqu'au cône de croissance. La voie de transport de ces substances se fait par les flux axoniques antérogrades et rétrogrades.

La myélinisation des segments régénérés

L'axone régénéré prolonge directement l'axone initial. La membrane basale ancienne étant conservée (axonotmesis), l'axone en régénération progresse dans ce guide accompagné de cellules de Schwann. Vers les 5^e et 6^e jours, apparaît une nouvelle membrane basale qui se substitue progressivement à l'ancienne. Cette dernière étant amenée à disparaître en trois à quatre semaines. La myélinisation de l'axone régénéré débute au 7^e jour, la néo-gaine de myéline faisant suite à la myéline proximale saine. Toutes les fibres libérées ne sont pas myélinisées et celles qui ne le sont pas dégénèrent. Il subsiste une augmentation de 25 % du nombre de fibres par rapport au nerf controlatéral témoin avec un calibre sensiblement le même au bout de deux ans.

Reconstitution des plaques motrices

L'établissement du contact entre le motoneurone et les fibres musculaires est essentiel, il conditionne la récupération fonctionnelle de l'unité motrice. Avec le temps et le degré de remaniement musculaire lié à l'atrophie et à la fibrose péri- et endomyoale, la proportion de plaques motrices « originelles » réinnervées va décroître. Les jonctions neuromusculaires sont progressivement entourées et envahies de collagène, ce qui explique que seul un nombre très limité de plaques motrices seront réinnervées. La réinnervation se fera donc avec le temps majoritairement par des plaques motrices néoformées, mais cette capacité à générer de nouvelles jonctions neuromusculaires diminue au fil des mois.

Sur ce sujet ne sont rapportés que des travaux expérimentaux chez l'animal. Le délai de constitution d'une plaque motrice chez le lapin est lorsque la lésion nerveuse est au voisinage du muscle de 11 jours; ce délai double si la lésion est à distance et passe à 55 jours après neuf mois de dénervation.

Réinnervation de voisinage

À partir de la première fibre musculaire réinnervée se développe une réinnervation des fibres voisines. Cette réinnervation de voisinage conduit à une augmentation de taille des unités motrices, un motoneurone innervant un grand nombre de fibres musculaires, mais aussi à une disposition particulière des fibres musculaires d'unités motrices voisines. Dans le muscle normal, les fibres d'unités différentes et voisines sont mélangées ce qui leur donne une disposition en mosaïque, les unités motrices du muscle réinnervé ont leurs fibres regroupées en amas ce qui donne la classique disposition en « *type grouping* ». Ces modifications architecturales du muscle avec des fibres dont la disposition est moins homogène va altérer significativement ses performances mécaniques. À masse de muscle équivalente, la force mécanique produite par le muscle est inférieure à celle d'un muscle témoin [6, 10].

La régénération nerveuse après section (3^e, 4^e, 5^e degrés de Sunderland)

Les degrés 3, 4 et 5 de Sunderland ou neurotmesis de Seddon ont un pronostic de récupération bien moins bon que le degré 2 ou axonotmesis. Dans ces cas, le franchissement de la zone lésionnelle est rendu particulièrement difficile pour deux raisons. La disparition plus ou moins complète du tissu de soutien qui guide la repousse axonale et l'interposition entre les deux extrémités nerveuses d'un tissu cicatriciel.

N'ayant plus son « rail » de croissance, les tubes de lame basale étant rompus, et confrontée à un milieu cicatriciel hostile, la progression du bourgeon axonal se fait au hasard :

- certains sortent du tissu cicatriciel et s'égarent dans le tissu environnant;
- d'autres restent prisonniers du tissu cicatriciel et participent à la constitution d'un névrome;
- d'autres parviennent à gagner le segment distal du nerf sectionné, pénètrent dans un tube de lame basale et poursuivent leur croissance vers la périphérie. Mais les axones régénérants ne pénètrent pas forcément dans des basales appropriées à leurs fonctions et beaucoup colonisent des basales différentes de celles qu'ils occupaient avant

la lésion. Si un axone moteur emprunte un tube distal sensitif, il dégénérera, s'il emprunte un tube distal moteur d'un type différent du sien (lent ou rapide) il risque de subir le même sort, ou si le muscle est réceptif, il peut induire la conversion de la fibre musculaire innervée.

Enfin, La microscopie électronique a démontré qu'après interruption nerveuse la plupart des axones régénérants ne pénètrent pas dans les tubes endoneuraux vieillissants, mais via des tubes endoneuraux néoformés. Ces nouveaux tubes endoneuraux sont retrouvés entre les anciens.

L'espace entre les deux extrémités nerveuses est un milieu hostile, et une grande partie des axones ne le franchira pas.

Après la section du tronc nerveux, outre une dégénérescence traumatique dans le tronçon proximal et la dégénérescence wallérienne dans le tronçon distal, apparaît de part et d'autre de la lésion une grande activité mitotique des cellules de Schwann et une importante réaction inflammatoire locale avec un afflux de macrophages et de lymphocytes. Les cellules périnatales, parmi lesquelles de nombreux fibroblastes, prolifèrent, ce qui produit une quantité importante de fibres de collagène.

Dans le segment distal, la multiplication des cellules de Schwann, au sein des tubes de lame basale désaffectés d'axone, aboutit à la formation des bandes de Büngner. Les espaces endoneuraux étant progressivement envahis par les fibres de collagène, leur calibre diminue, ce qui impose que les axones régénérés seront plus petits que la normale.

L'espace, situé entre les deux tranches de section du nerf et dont la longueur est variable suivant que le nerf a été suturé ou pas, sera comblé par un tissu cicatriciel dont la nature, la densité et l'organisation structurale sont très variables. Cet espace cicatriciel prend une importance capitale dans la régénération nerveuse.

Les bourgeons axonaux en croissance devront se frayer un chemin à travers ce tissu cicatriciel. Narakas précise que ce tissu cicatriciel ne doit pas être assimilé à un tissu fibrosé, de consistance habituellement dure, mais plutôt à un tissu mou et spongieux. Pour Mira, sa consistance dépend de la présence ou non de conditions hémorragiques ou ischémiques. Dans de tels cas, le tissu cicatriciel est dur et doit être réséqué au moment de la réparation.

Pour de Medinaceli, cet espace est une chambre de nécrose cellulaire « *chamber of necrosis* ». Elle est formée de débris cellulaires post-traumatiques, de cellules inflammatoires, d'une prolifération des cellules de Schwann et de néovaisseaux. Elle est constante, même si la section nerveuse est franche et sa réparation très minutieuse.

Les récepteurs périphériques, aussi bien moteurs que sensitifs, ne peuvent donner de résultats fonctionnels satisfaisants que lorsqu'ils sont recolonisés par la même

fibre nerveuse préexistante à la lésion. On estime à un minimum de 40 % (par rapport au nombre initial de fibres) la quantité de fibres nerveuses nécessaires à la restauration d'une fonction motrice normale.

Lorsque l'on considère l'ensemble des obstacles que doit franchir un axone régénérant pour atteindre l'effecteur distal, on prend conscience que si le hasard était le seul facteur intervenant la récupération nerveuse après section serait bien moindre. D'autres facteurs essentiellement biologiques jouent un rôle essentiel lors de la repousse axonale.

Facteurs biologiques intervenant dans la repousse nerveuse

La croissance et l'orientation des axones régénérés sont un processus complexe, régi par une multitude de facteurs biologiques. L'importance de ces facteurs, dans la capacité de l'axone à croître et à s'orienter vers les récepteurs cibles distaux, fut mise en évidence, dès le début du siècle, par Forssman (1900) et Ramon y Cajal (1928).

À partir d'études expérimentales chez le chat, Ramon y Cajal a introduit la notion de « chimiotactisme ». Hypothèse selon laquelle le segment distal du nerf sectionné libère des substances biologiques qui auraient pour effet d'orienter et de favoriser la croissance des axones du bout proximal. En 1986, Rita Levi-Montalcini et Stanley Cohen reçurent le prix Nobel de médecine pour la mise en évidence et la purification des premiers facteurs de croissance. Depuis une quinzaine d'années, grâce au génie génétique, de nombreuses molécules ont été découvertes et la famille des facteurs de croissance ne cesse de croître. Ce fait témoigne des efforts de recherche en ce domaine, efforts motivés par le vaste champ d'application thérapeutique que laissent entrevoir les données récentes. Les facteurs de croissance sont des protéines présentes à des concentrations très faibles, nanomolaires, dans le milieu extracellulaire. Elles agissent par divers mécanismes directement sur la réplication et les synthèses cellulaires. Actuellement, de nombreux facteurs ont été identifiés avec pour chacun une bonne connaissance de leurs origines et leurs effets. Chaque facteur intervient à un moment défini de la régénération axonale de façon synergique et complémentaire d'autres facteurs, avec une chronologie très précise, qui elle est moins bien établie.

Pour agir, ces phénomènes de neurotropisme nécessitent une distance minimum entre les extrémités nerveuses évaluées à 5 mm.

Lundborg, différencie les facteurs neurotrophiques des facteurs neurotrophiques :

Tableau 1

Principaux facteurs neurotopiques et neurotrophiques influençant la repousse axonale

	Facteurs	Origine	Cible	Action
NGF	Nerve Growth Factor	cellule de Schwann tissus à forte densité en récepteur sensitif	neurones sensitifs neurones sympathiques	survie et croissance des neurones sensitifs et sympathiques
CNTF	Ciliary Neurotrophic Factor	cellule de Schwann	- motoneurone	survie du motoneurone après section axonale
BDNF	Brain derived neurotrophic factor	nerf périphérique	- motoneurone périphérique	croissance axonale survie du motoneurone
a FGF	Acidic Fibroblast Growth Factor	motoneurone central et périphérique	- nerf périphérique	favorise la régénération axonale

Les facteurs neurotrophiques

Le neurotrophisme traduit l'influence de certaines substances sur la croissance, la maturation et la survie du nerf. Ces facteurs neurotrophiques sont retrouvés dans les récepteurs distaux sensitifs et moteurs et dans le moignon nerveux distal. Ces facteurs exercent leur influence sur le corps de la cellule nerveuse lorsqu'ils sont transportés de façon rétrograde du moignon nerveux distal vers le corps cellulaire (tableau 1).

Après une section nerveuse, les cellules de Schwann synthétisent une grande quantité de facteurs neurotrophiques qui favoriseront la régénération nerveuse. Il existe d'autres facteurs neurotrophiques tels que :

- l'*insulin like growth factor*, le *ganglionic neurotrophic factor*;
- la fibronectine, la testostérone, l'interleukine 1 ;
- les hormones thyroïdiennes ;
- ACTH.

Les facteurs neurotrophiques

Il s'agit de substances influant la direction que prennent les bourgeons axonaux en croissance. Ces substances seraient synthétisées par le segment distal du nerf en voie de dégénérescence. Elles exerceraient un pouvoir d'attraction sur les bourgeons axonaux du bout proximal. La direction de la repousse axonale semble se réaliser par un mécanisme de « guidage par contact ». Il existerait une reconnaissance moléculaire « *recognition molecules* », entre des effecteurs moléculaires situés sur le bourgeon axonal en croissance et des récepteurs moléculaires spécifiques situés dans

le micro-environnement, autour du bourgeon axonal (myéline, lame basale, résidus axonaux).

De nombreuses substances ont ainsi été décrites :

- laminine (glycoprotéine rentrant dans la composition de la membrane basale, synthétisée par la cellule de Schwann) ;
- fibronectine ;
- *myelin-associated glucoprotein*.

Lundborg justifie l'utilisation, dans la réparation des plaies nerveuses, de la technique des chambres de régénération prothétique. Celles-ci se comporteraient comme des réservoirs de stockage des substances neurotrophiques synthétisées au niveau de la plaie.

Cependant, de nombreux auteurs ne partagent pas les théories de Lundborg sur le neurotrophisme.

Pour Sunderland et de Medinaceli si le neurotrophisme existe, ses effets sur l'orientation des bourgeons axonaux en croissance sont insignifiants, voire inexistantes.

Pour ces auteurs, la médiocrité où l'échec total d'une réparation nerveuse est une des preuves du rôle mineur que joue le neurotrophisme dans la qualité de la récupération nerveuse.

Sunderland pense que le seul rôle qui peut être attribué au neurotrophisme est d'aider le bourgeon axonal proximal, en croissance, à atteindre le segment distal du nerf sectionné.

La vitesse de régénération de l'axone moteur varie de 1 à 4,5 mm par jour. La variabilité de cette vitesse est liée au mécanisme de la lésion, à la population neuronale spécifique, et à l'âge et l'espèce de l'animal étudié. Plus le mécanisme lésionnel est sévère, plus grande est la dégénérescence traumatique du moignon nerveux proximal et plus grande est la période de latence avant la repousse axonale à travers le site lésionnel.

Particularités de la compression nerveuse

La compression représente l'élément physiopathologique principal dans la genèse d'un syndrome canalaire. Outre la compression mécanique, le nerf va subir une altération de sa vascularisation intraneurale. Elle occasionne une souffrance chronique du nerf qui va avec le temps conduire à des lésions superposables à celles observées en cas d'atteinte traumatique à la différence notable que seule une partie du nerf est lésée ce qui conduit à une dénervation partielle. C'est lorsque le muscle conserve une partie de son innervation que les mécanismes de compensation seront les plus efficaces.

Dans le cadre d'un syndrome canalaire le nerf subit deux types de contraintes, la compression et l'étirement en proportion variables selon sa topographie. Ainsi, de ces deux contraintes va résulter une altération de la vascularisation intraneurale. Une réaction inflammatoire chronique secondaire peut par la suite aggraver les choses en induisant une fibrose intraneurale compressive ainsi que des adhérences supplémentaires entre l'épinèvre et les structures de voisinage qui amplifie les contraintes en traction.

Les conséquences sur le nerf sont à trois niveaux : les transports axonaux, la gaine de myéline, la structure axonale.

Troubles des transports axonaux

Expérimentalement, dès 30 mmHg, une compression neurale exercée pendant 2 heures va entraîner d'importantes altérations des divers transports axonaux. Plus la compression et sa durée seront importantes, plus la réversibilité des perturbations des transports axonaux sera lente après levée de la compression. Ainsi, après une pression exercée à 200 mmHg pendant 2 heures, les transports axonaux ne reviendront à la normale qu'au bout de 3 jours. Les conséquences des altérations des flux axonaux antérogrades sur le fonctionnement axoplasmique et sur la jonction synaptique du fait ne sont pas les seules observées, en amont le corps cellulaire lui-même est atteint par des anomalies du flux rétrograde. En effet, des modifications morphologiques de ce corps cellulaire ont été observées dans les cellules du ganglion spinal postérieur lors d'une compression sur l'axone de 30 mm de Hg pendant 2 heures. Ces troubles sont réversibles, mais potentialisent les effets de la compression et de l'étirement sur l'axone et ses enveloppes.

Altérations de la gaine de myéline et lésion axonale

Plus tardivement, après la perturbation de la microcirculation et des transports axonaux, vont apparaître des anomalies de la gaine de myéline. Il s'agit au début d'un simple amincissement qui peut aller jusqu'à la démyélinisation segmentaire au site de compression avec déplacement des noeuds de Ranvier (jonction entre deux cellules de Schwann) à l'écart de la zone de compression. De telles atteintes de la gaine de myéline produisent une altération de la vitesse de conduction nerveuse.

L'interruption axonale au site de compression représente l'ultime et la plus grave conséquence du processus de compression nerveuse. Il s'agit d'une lésion d'axotomie selon Seddon, ou de type II de Sunderland, c'est-à-dire sans désorganisation des tubes endoneuraux et avec survenue d'une dégénérescence wallérienne sur le segment axonal en aval de la compression. La récupération n'est possible qu'après levée de la compression et à l'issue d'une repousse axonale (1 mm/j). Des lésions plus graves de type neurotmesis de Seddon ou de type III ou IV de Sunderland, qui impliquent une désorganisation des enveloppes conjonctives du nerf et qui peuvent justifier une réparation nerveuse par suture ou greffe, sont de constatation exceptionnelle dans le cadre des syndromes canauxaires vrais.

Conséquences cliniques. Classification anatomoclinique

Stade I : le stade de début est caractérisé par une symptomatologie intermittente, par exemple uniquement nocturne ou à l'effort. La cause en serait principalement des anomalies de la microcirculation intraneurale ayant pour conséquence le ralentissement des transports axonaux. Il n'existerait aucune anomalie morphologique axonale ou des enveloppes. Après libération nerveuse, la disparition des symptômes est immédiate et la récupération complète et rapide, du fait de la levée de la compression sur la microcirculation intraneurale.

Stade II : les symptômes sont à ce stade permanents. Un œdème interstitiel des enveloppes existerait par trouble de la perméabilité capillaire, éventuellement associé à des perturbations de la gaine de myéline. Après libération nerveuse, la récupération peut demander plusieurs semaines, temps nécessaire à la réparation de la gaine de myéline en cas de lésion de celle-ci.

Stade III : il existe des signes de dénervation avec anomalies importantes de la sensibilité et atrophie musculaire traduisant l'interruption d'un nombre d'axones plus ou moins important. Une dégénérescence

wallérienne existe dans les axones interrompus. Après libération nerveuse, la récupération va demander plusieurs mois, voire 1 à 2 ans, et peut être incomplète. L'importance de la récupération dépendra de la distance entre le site de compression et les effecteurs sensitifs et musculaires, du potentiel de régénération axonal du patient principalement lié à son âge et à l'existence d'une polyneuropathie, et de l'ancienneté et de la sévérité de la compression.

Cette classification qui a le mérite de la simplicité manque toutefois de nuances. En effet, suite à une compression, toutes les fibres nerveuses au sein d'un même nerf ne seront pas au même stade lésionnel. Il est démontré que les fibres nerveuses périphériques du tronc nerveux sont affectées avant les fibres plus centrales, il en est de même des grosses fibres myélinisées par rapport aux plus petites fibres et des fibres sensitives par rapport aux fibres motrices.

Effets de la dénervation sur le muscle [6, 11]

La dénervation fait subir au muscle strié squelettique un large spectre de modifications tissulaires, cellulaires et moléculaires. Avec le temps, l'atrophie puis l'involution fibro-adipeuse est la transformation la plus visible que va subir le muscle. Néanmoins à la période initiale, se produit une réaction de « régénération compensatrice » difficile à mettre en évidence par des techniques histologique conventionnelle. Cette réaction musculaire à la phase initiale de la dénervation correspond en fait à des phénomènes de compensation qui présentent tout leur intérêt en cas de dénervation partielle ou au moment de la réinnervation. Nous étudierons successivement ces deux phénomènes.

Conséquences morphologiques de la dénervation

Les effets histologiques de la dénervation sont bien connus depuis longtemps ils s'appuient sur l'étude de modèles animaux mais aussi de façon plus rare cliniques. Même si la chronologie n'est pas strictement superposable d'une espèce à l'autre, elle respecte les mêmes grandes lignes. On distingue trois grandes phases.

C'est durant les 4 premiers mois que l'atrophie est la plus rapide. Cependant, le degré d'atrophie du muscle dénervé varie en fonction de l'espèce étudiée et de la typologie des fibres qui composent les muscles. Chez le rat, la surface de section des fibres musculaires ne présentant plus que 20 % de la normale après trois

semaines de dénervation. Chez l'homme, c'est au cours des trois premiers mois post-dénervation que l'atrophie musculaire s'aggrave le plus rapidement. Peu de signes de dégénérescence sont généralement observés à ce stade, la striation des fibres musculaires est intacte, ainsi que l'organisation des capillaires vasculaires. Il existe cependant une prolifération fibroblastique au niveau du périnysium et de l'endomysium, sans désorganisation de l'architecture musculaire.

Les fibres rapides s'atrophient initialement de façon plus rapide et plus intense que les fibres lentes, mais à quatre mois, la différence est moins prononcée. Ce phénomène est lié à l'accélération de l'atrophie des fibres lentes entre 2 et 4 mois post-dénervation. À ce stade, les effets de la dénervation ne sont pas irréversibles, on ne note aucun processus de dégénérescence musculaire.

Entre le 4^e et le 12^e mois post-dénervation, la diminution de la surface de section des fibres musculaires s'aggrave toujours, mais moins rapidement qu'au cours des trois premiers mois. Les premiers signes de dégénérescence au niveau des fibres musculaires ne s'observent qu'à partir du 6^e mois, pour ensuite être plus marqués à partir du 9^e mois. La striation des fibres musculaires est en grande partie conservée. Une diminution du nombre des capillaires par fibre musculaire s'amorce, associée à une désorganisation du réseau capillaire et de ses anastomoses intramusculaires. L'accroissement du tissu conjonctif à ce stade est évident, essentiellement au niveau du périnysium et de l'endomysium.

Après le 12^e et jusqu'au 36^e mois post-dénervation, les modifications des fibres musculaires préalablement observées s'aggravent. Outre une atrophie musculaire importante, on constate une désorganisation de la structure des fibres traduisant leur dégénérescence avec l'accroissement du tissu conjonctif et du tissu adipeux, la raréfaction des capillaires et l'épaississement de leur paroi.

Après le 36^e mois post-dénervation, les fibres sont fragmentées et le siège d'une activité macrophagique accrue. La striation n'est qu'occasionnellement visible au niveau des fibres musculaires encore intactes qui sont considérablement atrophiées. Le tissu conjonctif devient prédominant avec présence de tissus graisseux entre les groupes de fibres musculaires résiduelles.

Conséquences électrophysiologiques

Alors qu'innervées les fibres musculaires ont des contractions synchrones au sein d'une même unité motrice, les fibres dénervées, avides d'une nouvelle innervation, comme durant la période embryonnaire,

vont exprimer sur l'ensemble de leur surface et non plus seulement au niveau des jonctions neuromusculaires des récepteurs à l'acétylcholine. Ce phénomène conduit à une hyperexcitabilité des fibres musculaires à l'origine de leur fibrillation. Celle-ci peut être perçue cliniquement mais surtout lors d'un examen électromyographique (potentiels de dénervation). Les fibrillations musculaires apparaissent 3 à 5 jours après la dégénérescence de la portion distale du nerf sectionné, date à laquelle la sensibilité à l'acétylcholine initialement exclusive des plaques motrices s'étend à l'ensemble de la surface des fibres musculaires dénervées. En cas de dénervation périphérique, les fibrillations apparaissent d'autant plus tard que la distance entre la lésion nerveuse et le muscle est importante. Les fibrillations persistent tant qu'il existe du tissu musculaire contractile dénervé.

Réactions cellulaires et dénervation

Le muscle comme tout tissu très spécialisé a perdu ses capacités de régénération spontanée, néanmoins très exposé au milieu extérieur il doit pouvoir régénérer en réponse aux traumatismes auxquels il est potentiellement soumis. Pour cela, des cellules spécifiques ont été mises en réserve en périphérie du muscle, les cellules satellites, elles pourront être activées ponctuellement en cas de besoin reproduisant un processus superposable à la myogenèse [7, 10].

Le rôle central joué par les cellules satellites dans la régénération musculaire est maintenant bien connu, mais cette situation n'est pas la seule à induire une activation de ce « *pool* » de cellules. Un pic de prolifération cellulaire est décrit dans la première semaine après la dénervation chez la souris [13], ou pendant les quatre premières semaines après dénervation chez le rat. Chez la souris, le nombre de CS (exprimé en pourcentage du nombre de noyaux musculaires totaux) du soleus et l'EDL dénervés augmente respectivement de 4 à 9 % et de 1 à 4 % [15].

Chez le rat, la proportion des CS augmente de 2 à 9 % dans l'EDL deux mois après la dénervation [18]. Une réaction de régénération réparatrice apparaît ensuite entre 2 et 4 mois, caractérisée par l'apparition de myotubes [1]. À ce stade, 2 à 3 % des fibres expriment la forme embryonnaire de la chaîne lourde de myosine (MyHC), avec le temps ce phénomène s'épuise. Le nombre de cellules satellites dans l'EDL de rat décroît progressivement de 9 % à 0,5 % du second au 25^e mois post-dénervation [2].

La myogénèse consécutive à la dénervation est activée très précocement et ne nécessite ni atro-

phie des fibres ni mort cellulaire pour être initiée. Mais à la différence du processus de développement embryonnaire et de régénération, la myogenèse du muscle dénervé persiste longtemps et présente un caractère asynchrone. Ce qui suggère que les cellules myogènes d'un muscle ainsi affecté sont capables d'activer le processus de régénération menant à un certain niveau de récupération fonctionnelle, tout au moins pendant les premières semaines post-dénervation, ce phénomène étant temporaire en l'absence de réinnervation.

Sur le plan des mécanismes, il est maintenant bien établi que la dénervation régule positivement chez l'adulte l'expression des facteurs de transcription myogéniques, par levée de l'inhibition liée à l'innervation sur l'expression de ces facteurs [3, 12].

Ce phénomène d'activation des cellules satellites et de la myogenèse ne peut être apprécié que de façon indirecte par l'augmentation de niveau des différents transcrits des MRFs régulant la régénération musculaire. L'étude de ces derniers montre que ce mécanisme de compensation est variable selon le type de muscle et le stade de dénervation.

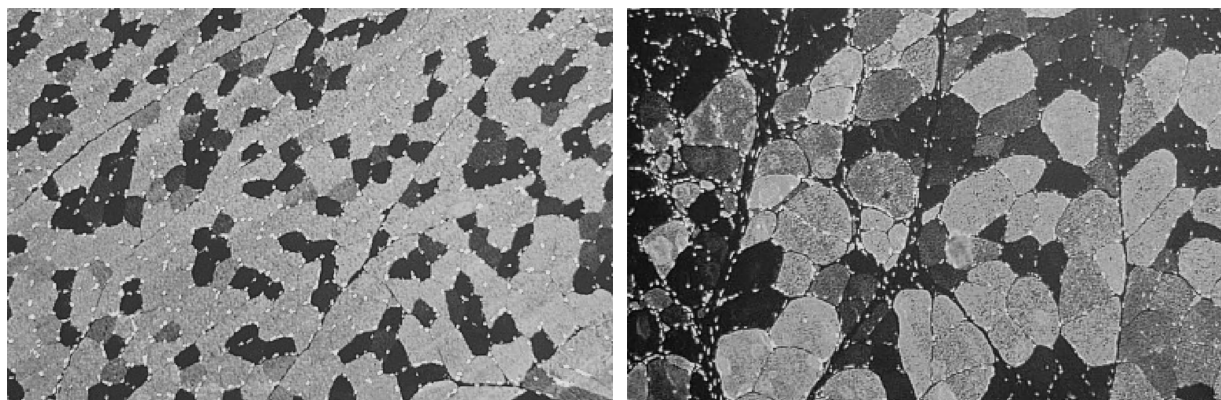
Chez le rat, les muscles rapides (*extensor digitorum longus*, *tibialis anterior*, *plantaris*) réagissent immédiatement après dénervation par une augmentation du niveau des transcrits des MRFs. Au contraire, les muscles lents (*soleus* et dans une certaine mesure le *gastrocnemius*) ne montrent pas d'augmentation significative d'expression peu après la dénervation. L'augmentation de l'expression de MRF4 et myogénine est plus importante dans les muscles rapides; il en est de même pour Myf-5 et MyoD mais dans des proportions moindres [19].

De façon globale, ces phénomènes de régénération musculaire après dénervation vont avoir deux conséquences positives sur sa récupération :

- accroître la plasticité du muscle réinnervé vis-à-vis d'une innervation différente avec à l'issue une conversion possible du muscle induite par l'innervation palliant ainsi aux fausses routes lors de la repousse nerveuse [5];
- permettre une hypertrophie compensatrice des fibres musculaires qui ont conservé ou récupéré une innervation (figures 5 et 6).

Particularités de la récupération des fibres sensitives

Après lésion d'une fibre nerveuse sensitive, on observe les mêmes conséquences, au niveau du neurone et des cellules de soutien qui l'entourent, que pour un nerf moteur.



Figures 5 et 6. Marquages immuno-histochimiques de coupes musculaires de *Tibialis Anterior* de lapin, sain (figure 5) et après réinnervation (figure 6). On note après réinnervation une perte de la distribution des fibres d'unités motrices voisines en mosaïque pour un regroupement de fibres de mêmes types « *grouping* ». Cette disposition des fibres est secondaire au phénomène de réinnervation de voisinage. De plus après réinnervation, la taille des fibres n'est plus homogène avec des fibres hypertrophiées.

Les conséquences des erreurs d'aiguillage lors de la repousse au niveau de la suture sont même amplifiées par la présence de plusieurs types de terminaisons nerveuses. On distingue les terminaisons libres et les récepteurs encapsulés parmi lesquels quatre types de mécanorécepteurs sont individualisés : complexe des cellules de Merkel, organe de terminaison de Ruffini, corpuscules de Pacini et de Meissner. Chaque type de récepteur est sensible à des stimuli différents et répond par une fréquence de décharge différente parfaitement identifiée au niveau cortical.

Après lésion nerveuse et dégénérescence wallérienne du segment axonal distal, les complexes des cellules de Merkel vont dégénérer rapidement et complètement, à l'inverse les corpuscules de Meissner dégénèrent plus lentement et partiellement. Les corpuscules de Pacini persistent longtemps après dénervation.

L'atteinte neurologique sensitive a aussi des conséquences corticales. Lorsqu'un nerf est atteint, sa représentation au sein du cortex somato-sensitif se réduit au profit des zones voisines qui s'hypertrophient.

Après réinnervation, les fibres sensibles doivent franchir la suture et progresser dans des tubes neuraxiaux sensitifs, si possible correspondant au même type de récepteur. Le cas échéant le cortex aura du mal à interpréter des informations dont il ne reconnaît pas le codage. Une fois le contact établi, une recolonisation de la zone somato-sensitive initiale est nécessaire.

On voit là le rôle essentiel joué par la plasticité cérébrale dans la récupération sensitive. L'âge du patient et la rééducation postopératoire auront donc une place essentielle dans qualité de récupération sensitive.

Conséquences cliniques

De ce chapitre qui reste volontairement schématique sur la physiopathologie des lésions nerveuses, outre la classique vitesse de repousse nerveuse de 1 à 5 mm par jour, le chirurgien doit retenir quelques principes de base pour sa pratique quotidienne.

En ce qui concerne les facteurs pronostics, certains doivent être bien connus :

- le délai de prise en charge du patient, avec le temps, les capacités de régénération du nerf diminuent, mais surtout l'effecteur sensitif ou musculaire souffre de l'absence d'innervation. De façon très schématique, un muscle dénervé depuis plus d'un an (délai de prise en charge et repousse nerveuse inclus) a perdu une partie de ses fibres et surtout n'a plus les capacités de compensations par hypertrophie des fibres musculaires et des unités motrices;
- l'âge du patient est l'autre facteur pronostic de la récupération neurologique, avec l'adage classique « après 20 ans pour les nerfs on est vieux » ;
- le niveau de la lésion conditionne la récupération, car plus celle-ci est proximale, plus le « chemin à parcourir est long » et le risque de mort cellulaire par action rétrograde sur le noyau est plus important ;
- le type de nerf atteint joue un rôle important. Un nerf comme le nerf ulnaire, innervant les muscles fins de la main avec un grand nombre d'unités motrices de petites tailles, souffrira rapidement de la dénervation et récupérera souvent très partiellement, car les muscles qu'il innerve nécessitent la repousse d'un nombre important de motoneurones.

Techniquement nous pouvons là encore retenir certains principes dans la réalisation de la suture nerveuse.

Une suture nerveuse est une urgence et doit être réalisée le plus précocement possible, car le processus

de régénération débute dans les heures qui suivent la lésion. Cette notion d'urgence n'est pas absolue car la trophicité des tissus environnants la suture est essentielle afin de limiter les réactions inflammatoires entre les deux extrémités nerveuses. Il sera donc préférable de différer la suture quand les conditions locales ne sont pas favorables.

Techniquement, la recoupe proximale en zone saine est très importante, surtout dans les sutures secondaires. Les points doivent être épipérineux en nombre limités en essayant de faire coïncider les fascicules en fonction de leurs diamètres. Aucune tension excessive n'est souhaitable car facteur de fibrose interstitielle.

RÉFÉRENCES

- 1 Bacou F, Rouanet P, Barjot C, Janmot C, Vigneron P, d'Albis A. Expression of myosin isoforms in denervated, cross-reinnervated, and electrically stimulated rabbit muscles. *Eur J Biochem* 1996 ; 236(2) : 539-47.
- 2 Borisov AB, Dedkov EI, Carlson BM. Interrelations of myogenic response, progressive atrophy of muscle fibers, and cell death in denervated skeletal muscle. *Anat Rec* 2001 ; 264(2) : 203-18.
- 3 Buonanno A, Edmondson DG, Hayes WP. Upstream sequences of the myogenin gene convey responsiveness to skeletal muscle denervation in transgenic mice. *Nucleic Acids Res* 1993 ; 21(24) : 5684-93.
- 4 Chammas M. AY. La réinnervation musculaire. In: Cahier d'enseignement de la SOFCOT 1997 ; 1997. p. 27-35.
- 5 Chammas M, Coulet B, Micallef JP, Prefaut C, Allieu Y. Influence of the delay of denervation on slow striated muscle resistance to slow-to-fast conversion following cross-innervation. *Microsurgery* 1995 ; 16(12) : 779-85.
- 6 Coulet B. Application de la thérapie cellulaire dans les lésions nerveuses périphériques : études pré-cliniques. Montpellier : Montpellier I ; 2005.
- 7 Coulet B, Lacombe F, Lazerges C, Daussin PA, Rossano B, Micallef JP, et al. Short- or long-term effects of adult myoblast transfer on properties of reinnervated skeletal muscles. *Muscle Nerve* 2006 ; 33(2) : 254-64.
- 8 Dahlin L. The biology of nerve injury and repair. *Journal of american society for surgery of the hand* 2004 ; 4(3) : 143-155.
- 9 Dahlin L. Nerve Injury and Repair: from molecule to man. In: Elsevier editor. *Green's operative hand surgery*. 5th ed ; 2006. p. 1-22.
- 10 Lazerges C, Daussin PA, Coulet B, Boubaker el Andaloussi R, Micallef JP, Chammas M, et al. Transplantation of primary satellite cells improves properties of reinnervated skeletal muscles. *Muscle Nerve* 2004 ; 29(2) : 218-26.
- 11 Mackinnon D, editor. *Surgery of the peripheral nerve*. New York: Thieme Medical Publishers ; 1988.
- 12 Merlie JP, Isenberg KE, Russell SD, Sanes JR. Denervation supersensitivity in skeletal muscle: analysis with a cloned cDNA probe. *J Cell Biol* 1984 ; 99(1 Pt 1) : 332-5.
- 13 Murray MA, Robbins N. Cell proliferation in denervated muscle: identity and origin of dividing cells. *Neuroscience* 1982 ; 7(7) : 1823-33.
- 14 Seddon HJ. Peripheral nerve injuries in Great Britain during World War II; a review. *Arch Neurol Psychiatry* 1950 ; 63(1) : 171-3.
- 15 Snow MH. Satellite cell response in rat soleus muscle undergoing hypertrophy due to surgical ablation of synergists. *Anat Rec* 1990 ; 227(4) : 437-46.
- 16 Sunderland S. A classification of peripheral nerve injuries producing loss of function. *Brain* 1951 ; 74(4) : 491-516.
- 17 Sunderland S. The anatomy and physiology of nerve injury. *Muscle Nerve* 1990 ; 13(9) : 771-84.
- 18 Viguie CA, Lu DX, Huang SK, Rengen H, Carlson BM. Quantitative study of the effects of long-term denervation on the extensor digitorum longus muscle of the rat. *Anat Rec* 1997 ; 248(3) : 346-54.
- 19 Walters EH, Stickland NC, Loughna PT. The expression of the myogenic regulatory factors in denervated and normal muscles of different phenotypes. *J Muscle Res Cell Motil* 2000 ; 21(7) : 647-53.

La microchirurgie : pourquoi et comment l'enseigner ?

Microsurgery: why and how to teach it?

A.-C. MASQUELET ¹

RÉSUMÉ

La microchirurgie est une technique au service des spécialités chirurgicales. Son apprentissage requiert un investissement important qui permet en outre d'acquérir une maîtrise globale de la dissection tissulaire. L'entraînement aux techniques microchirurgicales justifie un encadrement institutionnel.

Mots clés : Microchirurgie. – Technique. – Laboratoire.

SUMMARY

Micro surgery is a technical procedure which is common to several surgical specialities. Micro surgical training requires a special laboratory and a graduate coaching by well educated technicians. A good training in micro surgical techniques provides indoubtly a real benefit for all aspects of traditional surgical practice.

Key words: Micro surgery. – Technique. – Laboratory.

Introduction

Les premières séries de réimplantations digitales réalisées en Chine au plus fort de la révolution culturelle, dans les années 60, ont puissamment contribué à populariser la microchirurgie. Au début des années 70, les grandes premières microchirurgicales expérimentales et cliniques virent le jour en Occident à la suite du travail préliminaire de Jacobson et Suarez [5] sur les anastomoses de vaisseaux de 1 mm de diamètre :

- lambeau libre épigastrique : Krizek (1965) [6];
- réimplantation d'oreille de lapin : Buncke (1966) [1];
- lambeau musculaire libre chez le chien : Tamaï (1970) [8];
- lambeau libre inguinal : Daniel & Taylor (1973) [2].

La première question qui vient naturellement à l'esprit est de savoir ce qu'est en réalité la microchirurgie et si on peut se prévaloir d'être microchirurgien. Disons pour commencer, ce que n'est pas la microchirurgie :

- la microchirurgie n'est pas une discipline universitaire au sens où elle aurait comme d'autres disciplines chirurgicales, un statut institutionnel et académique;

– elle n'est pas non plus une spécialité chirurgicale, comme peut l'être la chirurgie de la main, du moins en France. Car, dans d'autres pays (Russie, Sud-Est asiatique) de véritables centres de microchirurgie, qui sont en réalité des services de chirurgie réparatrice, traitent par des techniques microchirurgicales les cas les plus difficiles relevant de toutes les spécialités. L'existence de telles institutions revient, à notre avis, à confondre spécialité et techniques; – la microchirurgie, littéralement « le travail de la main sur les petites structures » (et non pas la « petite chirurgie ») est exclusivement une technique au service des spécialités chirurgicales. Il vaudrait mieux parler d'ailleurs de techniques microchirurgicales plutôt que de microchirurgie;

– l'engouement suscité par la microchirurgie depuis une trentaine d'années semble marquer le pas depuis le début de ce siècle. Dans de nombreux domaines en effet, des progrès sont venus supplanter les techniques microchirurgicales en particulier en gynécologie et en urologie dans le cadre des pathologies de la fertilité, et en chirurgie reconstructrice dans le domaine des lambeaux où la tendance est de s'affranchir des lambeaux libres revascularisés par anastomoses vasculaires microchirurgicales.

¹ Service de chirurgie orthopédique, Université Paris XIII, hôpital Avicenne AHPH, 125, route de Stalingrad, 93009 Bobigny, France

Pourquoi enseigner la microchirurgie ?

On peut donc légitimement se demander si l'apprentissage de la microchirurgie comme technique a encore une utilité et un sens.

Notre réponse à cette question est sans ambiguïté : non seulement la microchirurgie a encore une utilité opératoire clinique, mais son enseignement et son apprentissage mériteraient d'être inclus, de droit, dans toute formation chirurgicale quelle que soit la spécialité envisagée. En effet, l'expérience du suivi de jeunes chirurgiens en formation autorise à affirmer quelques bénéfices de l'apprentissage de la microchirurgie.

- L'utilisation d'un microscope permet de déceler des troubles minimes de la vision binoculaire aisément corrigés par une rééducation appropriée.

- La vision qu'offre le microscope d'une structure vivante est saisissante pour le jeune chirurgien en formation. Elle permet de prendre conscience de la réalité de la microvascularisation et de la richesse de l'innervation sensitive qui paraissent négligeables à l'œil nu et dont l'importance est néanmoins cruciale pour la qualité de la cicatrisation d'un abord chirurgical.

- L'entraînement technique microchirurgical que nous détaillerons plus loin permet une maîtrise gestuelle incomparable par le contrôle définitif du tremblement physiologique. Incontestablement, le respect des tissus et la précision du geste, l'un n'allant d'ailleurs pas sans l'autre, fait que le chirurgien ayant suivi un entraînement microchirurgical opère différemment, dans le souci constant de négocier les tissus, sans brutalité, en recherchant des plans de clivage et en utilisant au mieux les instruments dont il dispose.

Cela revient à dire que l'apprentissage des techniques microchirurgicales est toujours un investissement à long terme pour la chirurgie dite traditionnelle même si le chirurgien n'a pas l'occasion d'exercer ultérieurement la microchirurgie opératoire dans sa pratique quotidienne. Cela est également vrai pour la chirurgie mini-invasive qui requiert un sens de la manipulation des tissus vivants que l'entraînement microchirurgical permet d'acquérir.

Comment enseigner la microchirurgie ?

Le cadre et l'encadrement [4]

L'écueil à éviter est l'enseignement au rabais, dispensé sous forme de brèves séances de quelques jours au terme desquels l'étudiant entretiendra l'illusion d'une maîtrise de la technique. L'apprentissage de la microchirurgie implique au contraire une continuité de

l'entraînement qui doit se dérouler sur une année universitaire. Cela implique de définir une véritable politique institutionnelle de formation dans un cadre de préférence hospitalo-universitaire où seront délivrés de véritables moyens comportant la création d'un laboratoire de microchirurgie dont le label sera celui d'un établissement d'expérimentation agréé (art. 6 du décret du 10/10/1987). Il faudra donc disposer d'un local spécialement aménagé qui pourra d'ailleurs s'inscrire dans un laboratoire d'anatomie et surtout d'une animalerie susceptible d'accueillir de petits animaux. On conçoit dès lors que l'encadrement doit être également à la hauteur des ambitions de formation. Il faut au moins une personne, employée de préférence à temps plein ou au minimum à mi-temps, à qui sera assignée un triple mission :

- la tenue du laboratoire ;
- l'encadrement technique des étudiants ;
- l'entretien de l'animalerie.

Le profil type de cette personne est un technicien de laboratoire ayant lui-même suivi un cursus pratique de techniques microchirurgicales et qui, de plus (du moins en France), sera titulaire d'une autorisation nominative du ministère de l'Agriculture (art. 5 du décret du 19/10/1987). L'entretien de l'animalerie, les soins apportés aux animaux, la pratique de l'euthanasie sont désormais régis par des textes contraignants.

L'animal de choix pour l'apprentissage des techniques microchirurgicales est le rat de souche Wistar d'un poids de 200 à 250 g. Peu coûteux à l'achat, le rat est un animal résistant, facile à nourrir, à endormir et à manipuler.

Le matériel

Au sein du laboratoire, il est nécessaire d'équiper des postes d'apprentissage dont le nombre sera fonction de la demande de formation ; demande difficile à préciser au début certes ; un nombre de 3 à 5 postes nous paraît largement suffisant pour démarrer un centre de formation. De fait, l'équipement doit être pensé en conséquence et chaque poste est pourvu d'un microscope et d'une boîte d'instruments spécifiques. Les microscopes binoculaires sont un investissement important et leurs caractéristiques sont un grossissement jusqu'à 40, un tube binoculaire oblique, une source de lumière froide (fibre optique) et surtout une focale de 200 mm ou à la rigueur de 250 mm, ce qui correspond à la distance entre l'objectif et une mise au point nette sur la table de dissection. Pour des raisons économiques, il est préférable dans un premier temps d'investir dans des microscopes à statif de table et à réglage manuel.

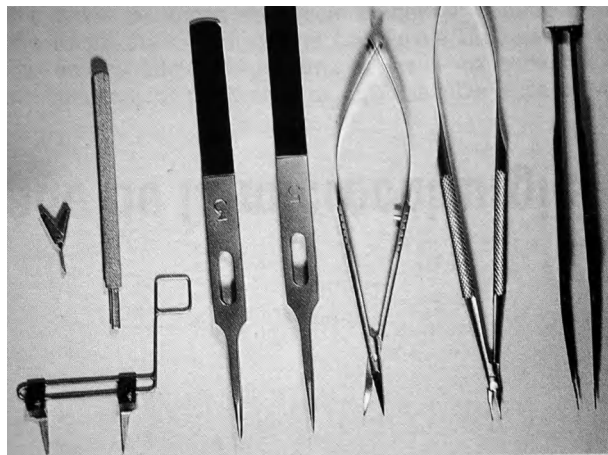


Figure 1. La boîte d'instruments pour la microchirurgie. (D'après l'article [4]).

La boîte d'instruments microchirurgicaux a une composition minimum (figure 1) :

- 2 pinces droites : l'une fine pour les anastomoses, l'autre un peu plus épaisse pour les dissections;
- 1 porte-aiguille à extrémité courbe;
- 1 ciseau courbe à extrémité mousse;
- 1 clan double.

À cette composition, il faut adjoindre le matériel chirurgical nécessaire à l'ouverture et à la fermeture de l'animal :

- 1 paire de ciseaux type Metzenbaum court;
- 1 porte-aiguille et 1 pince à griffe type Adson.

Les écarteurs peuvent être réalisés à moindre frais par des trombones courbes retenus par des élastiques, le rat ne s'infectant pratiquement jamais et étant le plus souvent sacrifié en fin de manipulation.

La table de dissection peut être une grande pailasse de laboratoire commune à un nombre limité de postes. Il est nécessaire de se procurer des tabourets à assises fermes (bois ou métal) et à hauteur variable.

Le fil de microchirurgie est un poste important de dépense au budget d'un enseignement officiel. On utilise habituellement des fils monobrins, non résorbables, de calibre 9-0, 10-0 ou 11-0 munis d'aiguilles à corps rond et d'une courbure de 3/8^e de cercle. Les aiguilles à extrémité spatulée utilisées en ophtalmologie sont à proscrire pour la microchirurgie vasculaire et nerveuse. À noter que certains fabricants proposent des fils non stériles, utilisables en laboratoire ce qui réduit le coût de 30 % environ.

L'apprentissage proprement dit

L'apprentissage débute par une période d'initiation (une à trois demi-journées) qui répond à un triple objectif :

- se familiariser avec la manipulation du microscope binoculaire;
- déceler d'éventuels troubles de la vision pouvant impliquer une rééducation préalable;
- acquérir la maîtrise des nœuds simples sur compresses puis des anastomoses sur tubes de silicone (figure 2).

La phase d'entraînement sur le rat comporte la dissection des abords chirurgicaux (figure 3) et la réalisation d'anastomoses vasculaires de difficultés croissantes (figures 4 et 5).

Il importe à ce propos de souligner que la réalisation d'une anastomose nerveuse correcte (figures 6 et 7) est bien plus difficile qu'une anastomose vasculaire; la parfaite maîtrise d'une anastomose nerveuse passe d'abord par la maîtrise préalable d'une anastomose vasculaire. Cela tient au fait qu'une anastomose vasculaire ne souffre pas d'approximation et que le résultat est immédiatement perçu. En conséquence, les progrès de l'étudiant sont plus faciles à évaluer.

Dans le cadre d'un enseignement s'étalant sur une année universitaire, des cours théoriques sont organisés

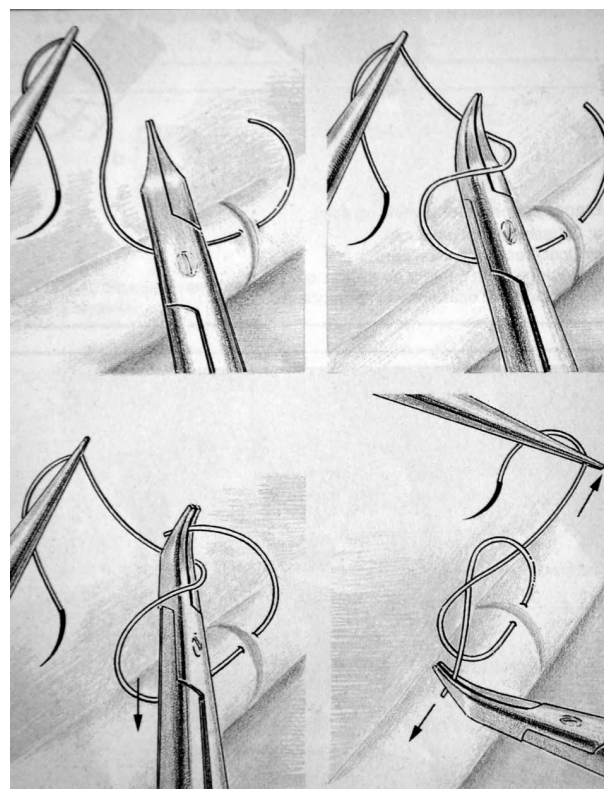


Figure 2. Réalisation d'un nœud. (D'après l'article [4]).

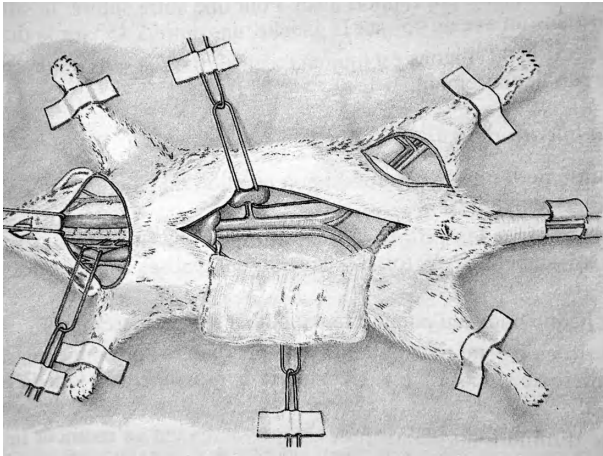


Figure 3. Abord des sites vasculaires chez le rat : artère carotidienne et veine jugulaire externe ; aorte sous rénale ; vaisseaux fémoraux ; artère caudale. (D'après l'article [4]).

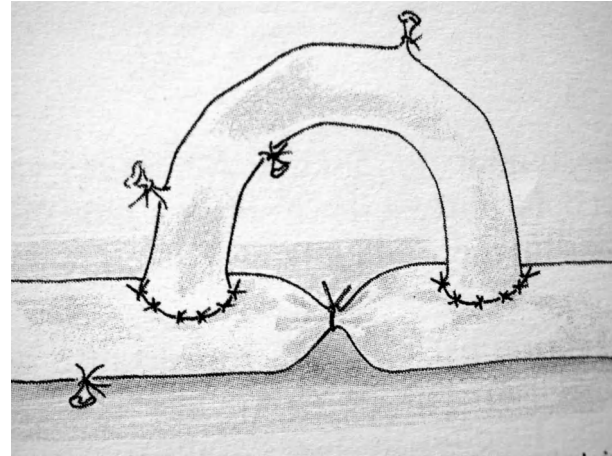


Figure 4. Pontage de l'aorte par la veine jugulaire externe. (D'après l'article [4]).

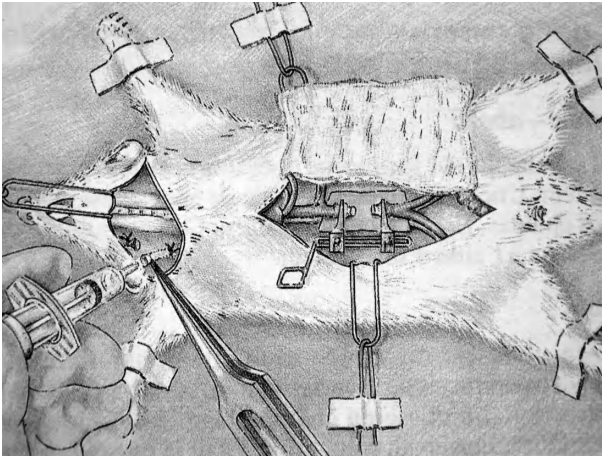


Figure 5. Greffe aortique par la veine jugulaire externe. (D'après l'article [4]).

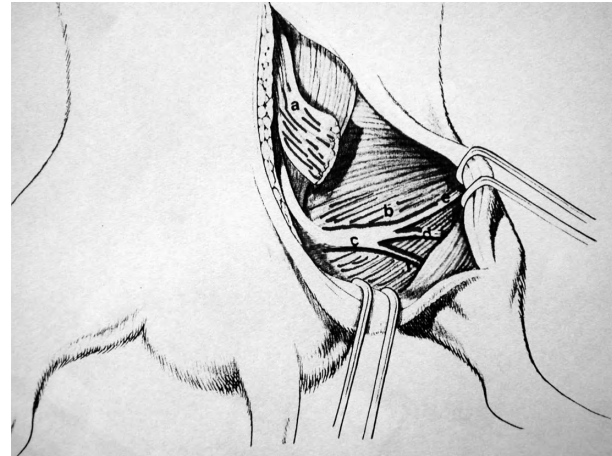


Figure 6. Exposition du nerf sciatique par voie postérieure. a : biceps fémoral sectionné. b : muscle adducteur. c : tronc principal du sciatique. d : nerf péronier. e : nerf tibial. f : nerf sural.

pour exposer la place et les applications des techniques microchirurgicales dans chaque spécialité.

Cependant, l'essentiel de l'enseignement tient à l'apprentissage technique et il a été prouvé que le temps nécessaire pour acquérir une fiabilité régulière est au minimum de 120 heures de pratique ce qui représente une trentaine de séances [4]. Il importe d'informer l'étudiant que, contrairement à l'opinion commune, la progression n'est pas linéaire mais qu'elle se fait par paliers. Cette notion évite les épisodes de découragement en période de stagnation.

Le tableau 1 propose un programme d'entraînement des techniques sur le rat par ordre de difficultés croissantes. L'expérience a permis de conclure qu'il était préférable d'augmenter la difficulté technique à chaque séance plutôt que de refaire une technique

pour laquelle on a essayé un échec lors de la séance précédente.

La pratique de laboratoire

Ce court paragraphe est destiné à mettre en lumière quelques aspects pratiques.

- Le poste de travail : une mauvaise position est génératrice de tension et de fatigue musculaires. Dès le début l'étudiant, aidé par l'enseignant, doit s'astreindre à déterminer la meilleure position de travail dont les critères sont invariants : dos plat, tête dans le prolongement du dos, pieds arrimés au sol, avant-bras reposant doucement sur le bord de la paillasse.

- L'anesthésie et l'installation du rat : le protocole anesthésique doit permettre une anesthésie de 3 heures

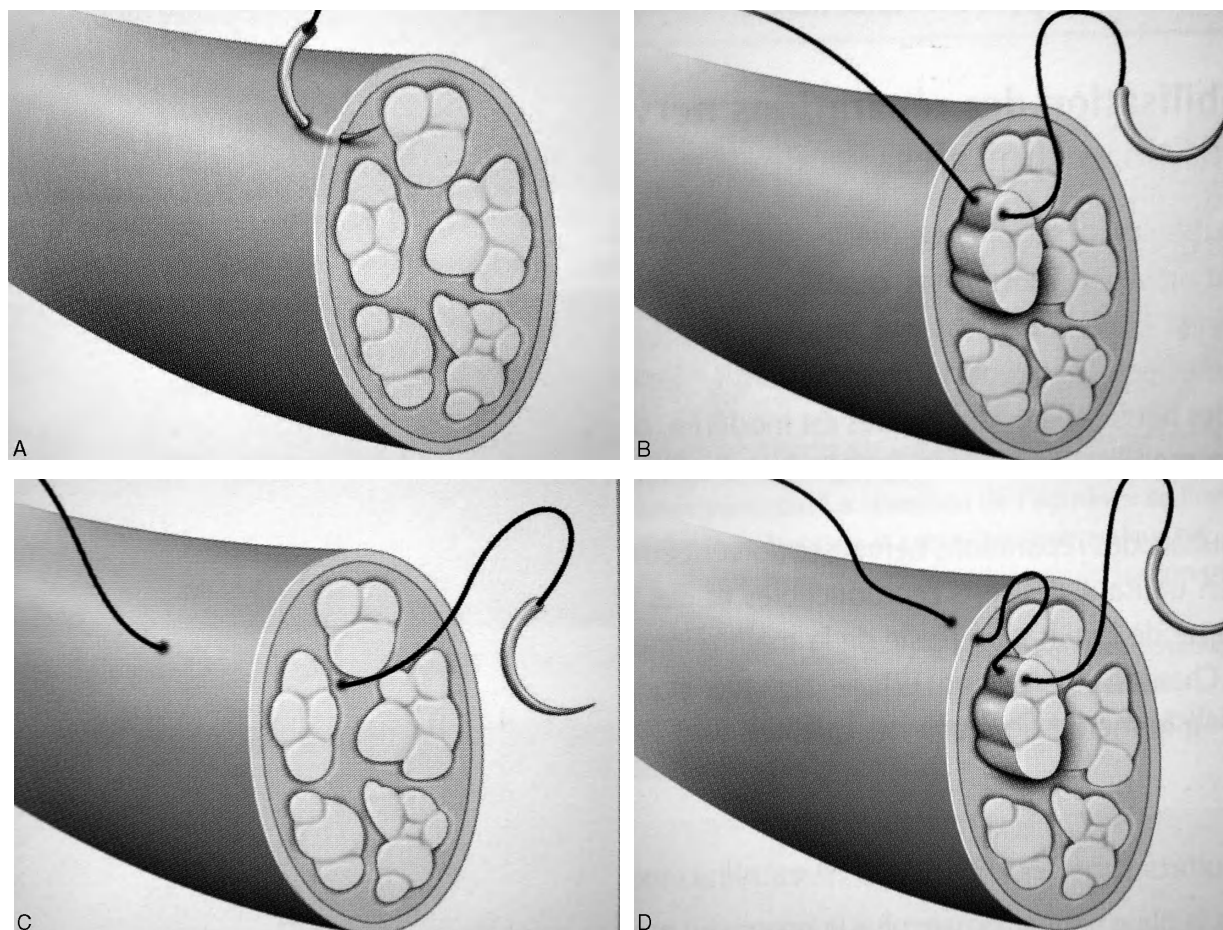


Figure 7. Suture nerveuse (sur le sciatique de rat). A : suture épineurale. B : suture fasciculaire après résection limitée de l'épinièvre. C : suture inter-fasciculaire. D : suture epipérineurale. La recoupe nerveuse à l'aide de microciseaux altère le nerf et induit une nécrose limitée. Au plan expérimental, les meilleures recoupes sont obtenues en congelant le nerf brièvement entre -2°C et -5°C selon la technique de Medinacelli [3]. En pratique clinique, l'instrument le plus utilisé est le clamp guillotine de V. Meyer [7]. (D'après l'article « le nerf périphérique », chapitre 5 du volume *Chirurgie Orthopédique : Principes et Généralités*, Masson, Paris, 2004, p. 46-47.)

sans surveillance particulière. En pratique, on prépare une solution de 1,5 ml de chlorpromazine dosée à 5 mg/ml et de 10 ml de kétamine dosée à 50 mg/ml. Une dose en intramusculaire de 0,7 ml de cette solution suffit à endormir un rat de 200 g. Il faut tenir l'animal par l'extrémité proximale de la queue et injecter dans les masses musculaires de la patte arrière. Le champ opératoire est rasé après endormissement de l'animal et désinfecté par une compresse imbibée de bétadine. L'animal est posé sur une planchette et fixé par des sparadraps au niveau des pattes.

– L'acte opératoire : en dehors de l'incision cutanée, la totalité de l'opération s'effectue au microscope, y compris l'isolement des organes et des axes vasculaires. Les principes sont une dissection atraumatique, la limitation des déperditions sanguines par l'utilisation

de la pince bipolaire et l'humidification permanente du champ opératoire à l'aide d'une petite seringue.

– Le réveil de l'animal : il faut éviter une hyperthermie ou au contraire une hypothermie. L'animal est enveloppé dans une couverture de survie et disposé dans une cage sans sciure dans une pièce chauffée à 23°C .

Du laboratoire à la salle d'opération

La distance à parcourir est grande entre la fiabilité acquise au laboratoire et la fiabilité en pratique clinique. Il y a, à cela, plusieurs raisons.

– En pratique clinique, le geste microchirurgical ne représente qu'une partie de l'opération et c'est pourtant la

Tableau 1
Techniques de difficulté croissante pour un programme d'entraînement à la microchirurgie

1	Utilisation du microscope
2	Nœuds sur compresses
3	Anastomoses sur tube de silicone
4	Anastomose de l'aorte sous rénale
5	Anastomoses de la carotide et de la veine jugulaire externe
6	Anastomoses de l'artère et de la veine fémorales
7	Pontage de l'aorte par la veine jugulaire externe
8	Lambeau inguinal libre in situ (sur les vaisseaux fémoraux)
9	Autotransplantation rénale : anastomoses termino-terminales
10	Grefe de l'aorte par la veine jugulaire externe
11	Lambeau inguinal transplanté dans le creux inguinal opposé
12	Pontage de la carotide par la branche profonde de la veine jugulaire externe
13	Anastomose porto cave
14	Auto transplantation rénale : anastomoses termino-latérales
15	Grefe de l'artère fémorale par la veine épigastrique
16	Anastomose de l'artère caudale

partie essentielle sur laquelle se joue le sort de l'intervention. Il faut donc l'aborder dans les meilleures conditions physiques ce qui justifie de faire ce type d'intervention, dans la mesure du possible, à double équipe. Dans cet esprit certaines équipes, asiatiques notamment, font appel à de jeunes chirurgiens bien entraînés pour réaliser le seul temps de sutures microchirurgicales.

– Le microscope opératoire est beaucoup plus sophistiqué que le microscope de laboratoire. En général, le microscope opératoire est équipé d'une focale variable et d'un système d'orientation permettant une bonne adaptation au champ opératoire. Néanmoins, la position de l'opérateur est rarement aussi confortable qu'au laboratoire (intervention à plat, avant-bras appuyés) et peut s'assortir de difficultés qui justifient a posteriori une parfaite maîtrise acquise à l'entraînement (champ opératoire en profondeur, gestes à main levée...).

– L'application clinique d'un geste de microchirurgie procède généralement d'une réparation qui s'effectue dans un environnement tissulaire cicatriciel ou inflammatoire qui rend les dissections difficiles et les anastomoses délicates à réaliser.

– Au-delà de la microchirurgie proprement dite, une intervention de chirurgie réparatrice comporte la maîtrise d'autres phases essentielles opératoires comme l'anesthésie, le pansement et la surveillance post opératoire.

En conclusion, la pratique de la microchirurgie qui repose sur l'apprentissage des techniques microchirurgicales est avant tout une école de la rigueur et de l'humilité, qualités qu'on est en droit d'attendre de tout chirurgien quelle que soit sa spécialité.

Plus qu'une technique, la microchirurgie est ainsi un véritable état d'esprit dont l'acquisition requiert un investissement important.

RÉFÉRENCES

- 1 Buncke HJ, Schulz W. Total ear reimplantation in the rabbit utilizing micro miniature vascular anastomoses. *Br J Plast Surg* 1966; 19 : 15.
- 2 Daniel RK, Taylor GI. Distant transfer of island flap by microvascular anastomoses. *Plast Reconstr Surg* 1973; 52 : 111.
- 3 De Medinacelli L. Experimental nerve reconnection : importance of initial repair. *Microsurgery* 1989; 10 : 56.
- 4 Gilbert A, Legagneux J, Lapiere F. Apprentissage de la microchirurgie. *Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris) Techniques chirurgicales – Chirurgie Plastique, Reconstructrice et Esthétique*, 45-025, 1998, 24 p.
- 5 Jacobson JH, Suarez EL. Microsurgery in anastomosis of small vessels. *Surg Forum* 1960; 11 : 243.
- 6 Krizek TJ, Tani T, Desperes Q, Kiohn CL. Experimental transplantation of composite grafts by microvascular anastomoses. *Plast Reconstr Surg* 1965; 36 : 358.
- 7 Meyer VE, Smahel J. The surgical art surface of peripheral nerves. *Int J Microsurg* 1981; 2 : 187.
- 8 Tamai S, Komatsu S, Sakamoto H. Free muscle transplants in dogs with microsurgical neurovascular anastomoses. *Plast Reconstr Surg* 1970; 46 : 219.

Différentes possibilités thérapeutiques : suture directe, greffe nerveuse, neurolyse

Peripheral nerves repair operating options: primary suture, nerve grafting, neurolysis

J.-Y. ALNOT¹

RÉSUMÉ

Les différentes possibilités de réparation nerveuse dépendent étroitement des connaissances que l'on a de l'anatomie chirurgicale du nerf périphérique, et cela inclut les structures conjonctives et l'organisation en groupes fasciculaires, la cartographie de Sunderland, selon que la lésion se situe à un niveau proximal ou distal par rapport aux effecteurs sensitif et moteur, et enfin des procédés techniques découlant de la microchirurgie. Les indications ont une importance capitale avec le traitement de toutes les lésions associées cutanée, tendineuse, osseuse et vasculaire, dont va dépendre la trophicité locale et locorégionale. La réparation nerveuse sera ensuite une suture primitive s'il s'agit d'une lésion nerveuse franche, nette, sans perte de substance, selon la technique préconisée par Bourrel de suture épipérineurale. Si la suture primaire directe n'est pas justifiée du fait d'une contusion ou d'une perte de substance nerveuse, il faut dès le stade de l'urgence programmer l'avenir avec une réparation secondaire (suture secondaire ou greffe nerveuse) dans un délai de 4 à 6 semaines. Enfin, la chirurgie nerveuse n'a pour but que d'obtenir une régénération et doit donc être appréciée en fonction des résultats cliniques et de la récupération sensitive et motrice.

Mots clés : Nerf périphérique. – Suture. – Greffe nerveuse. – Neurolyse.

SUMMARY

Selective options required for nerve repair strictly depend upon a solid knowledge of peripheral nerves surgical anatomic features: this entails supportive connective structures distribution, bundles group organization, Sunderland cartography, proximal or distal damage level (relatively to sensory or motor end-plates) and finally the technical procedures offered by microsurgical expertise. Surgical indications decisional process remains critical and includes combined lesions treatment; these compounding lesions can involve skin, tendons, bony or vascular structures, and all these eventual damages influence local or regional tissues vitality response. Primary suture ought to be preferred when dealing with a neat and sharp transection without a segmental nerve loss, and generally uses the epiperineural suture technique suggested by Bourrel. If, because of a crushing injury or a segmental nerve loss, primary suture options appear contra-indicated, at this very early emergency stage, a delayed secondary repair requires to be programmed (secondary suture versus nerve grafting) within a prospective four to six weeks deferment lapse of time. Finally, the main peripheral nerve repair surgical objective remains to achieve a functional regeneration and needs to be evaluated in light of the clinical results obtained in terms of the sensory and motor recuperation level.

Key words: Peripheral nerves. – Nerve suture. – Nerve grafting. – Neurolysis.*

Nous n'envisagerons que les stades IV ou V de Sunderland, et, dans le problème général des réparations nerveuses [1, 3, 12, 21], deux points fondamentaux doivent toujours être présents à l'esprit : la cicatrisation des structures conjonctives et la régénération nerveuse.

Les différentes techniques de réparation nerveuse dépendent de plusieurs facteurs :

- le mécanisme des lésions ;
- le niveau de la lésion, proximal ou distal, sur le membre et le siège de la lésion, près ou loin des effecteurs ;
- le caractère récent ou ancien des lésions nerveuses ;

– les lésions associées osseuses, vasculaires, musculo-tendineuses et cutanées ;

– enfin, l'expérience du chirurgien, en rappelant qu'actuellement toute réparation nerveuse doit se faire sous microscope.

Suture primaire dans le cadre de l'urgence

Elle est indiquée devant toute section totale ou partielle, nette et sans perte de substance. Dans les cas de

¹ Ancien chef du service de chirurgie orthopédique et traumatologique de l'hôpital Bichat, chirurgien consultant

* Remerciements au Docteur C. Msika pour la traduction en anglais du résumé

contusion ou a fortiori de perte de substance nerveuse, la réparation secondaire sera programmée après la cinquième ou la sixième semaine, et il faut en urgence soit suturer entre elles les extrémités nerveuses, si cela est possible, soit les fixer sur place en cas de perte de substance pour éviter leur rétraction et permettre, ultérieurement, soit une suture secondaire, soit une greffe nerveuse la plus courte possible.

Il n'y a dans notre expérience aucune indication de greffe nerveuse en urgence, sauf peut-être dans certains cas très précis, notamment une lésion des nerfs collatéraux.

Toutes les lésions associées cutanée, tendineuse, osseuse et vasculaire seront réparées en urgence, et il faut insister sur les réparations vasculaires [8, 10, 11, 17, 18], facteur essentiel d'une trophicité satisfaisante, et sur la couverture cutanée, qui dans certains cas nécessite un lambeau par couverture.

La suture primaire directe est donc indiquée devant une lésion nerveuse franche, nette, sans perte de substance, et, sur le plan technique, l'intervention se déroule sous garrot pneumatique, bloc plexique ou anesthésie générale, et il faut disposer d'un microscope.

La préparation des extrémités nerveuses constitue le premier temps et, après parage de la plaie, il faut disséquer les extrémités nerveuses sur une courte distance, 1 cm, sans aucune dissection intranerveuse pour éviter de dévasculariser le nerf ou de provoquer une réaction de fibrose. Les tranches de section nerveuse seront ensuite lavées avec une solution de Ringer en évitant le sérum physiologique qui peut décalcifier le nerf en provoquant des échanges ioniques transmembranaires

(pompe $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{++}$). L'examen au fort grossissement des extrémités nerveuses permet de réséquer une zone de contusion très localisée et de réséquer le tissu intraneural qui fait hernie au niveau des tubes périneuraux. Il importe également de régulariser, toujours au ciseau de microchirurgie, l'épinèvre pour éviter son invagination. L'affrontement des tranches et la suture nerveuse doivent se faire dans une position d'allongement des articulations.

Pour donner des exemples, une plaie du nerf cubital au coude nécessite une transposition antérieure du nerf et une suture à 15° de flexion. Une section du nerf médian au poignet sera suturée le poignet à 0° ou en très légère flexion.

Les nerfs sont des systèmes élastiques avec une tension physiologique, et cette tension physiologique est matérialisée par l'écart qui se produit entre les deux extrémités après la section (figure 1). Cette tension physiologique est parfaitement contrôlée par des fils 9/0 ou 10/0.

L'étape la plus difficile de la suture est d'affronter les groupes fasciculaires qui se correspondent.

Loin des effecteurs, il faudra s'appuyer sur l'aspect des tranches de section sous microscope en rappelant que la seule situation où les deux tranches de section ont un aspect identique est justement celle d'une section vue en urgence, et on évitera toute torsion en affrontant des groupes fasciculaires qui ont le même aspect.

Près des effecteurs, il faut en plus avoir une connaissance parfaite des cartographies (figure 2) décrites par Sunderland [20] et se rappeler que, si une erreur de

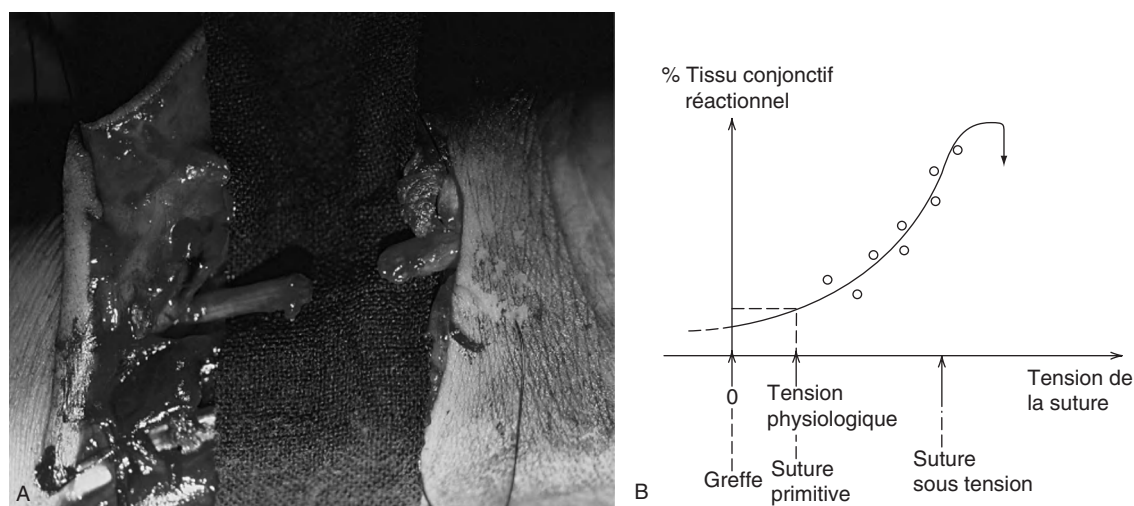


Figure 1. L'écart entre les deux extrémités nerveuses après section est le reflet de la tension physiologique. La suture primitive est donc une suture en tension physiologique.

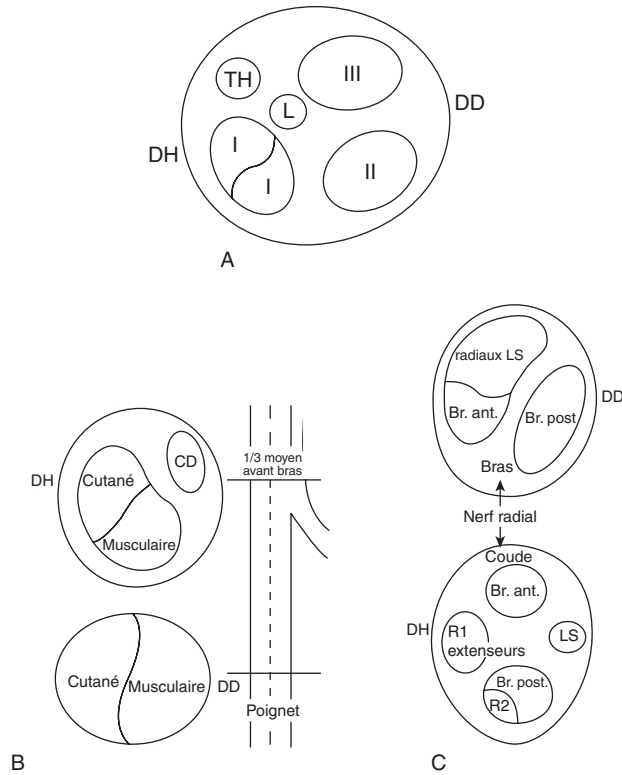


Figure 2. La cartographie selon Sunderland au niveau du nerf médian au poignet, du nerf ulnaire à l'avant-bras et au poignet et du nerf radial au bras et au coude.

quelques degrés à un niveau proximal n'a peut être pas d'inconvénient majeur du fait de l'entrecroisement des fibres, il n'en est pas de même près des effecteurs, où les groupes fasciculaires correspondent à des territoires cutanés ou moteurs précis.

Si, par exemple, pour une section du nerf médian au poignet, on fait une erreur de rotation de 10° , on va exclure totalement la branche motrice thénarienne en envoyant les fibres motrices dans des conduits sensitifs et inversement, avec donc des résultats médiocres.

La suture épipérineurale (figure 3) proposée par Bourrel [4] est aujourd'hui la technique utilisée par la quasi-totalité des auteurs, en rappelant que le but est d'affronter des groupes fasciculaires et non, ce qui est impossible, des fibres nerveuses.

La réalisation de la suture est faite avec des monofils 9/0 ou 10/0, non résorbables, à aiguille ronde de 3/8 de cercle 140 microns, et les points de suture prendront appui sur les enveloppes conjonctives, épinèvre et périnèvre des groupes fasciculaires les plus périphériques. S'il existe un gros groupe fasciculaire central, il faudra mettre 1 ou 2 points de fils 10/0 en intranerveux. Les fils périphériques seront ensuite passés en quatre temps successifs : épinèvre puis périnèvre du groupe fasciculaire proximal, puis périnèvre et épinèvre du groupe fasciculaire distal. On commence en général par le plan postérieur et 8 points sont nécessaires et suffisants pour suturer un médian ou un nerf ulnaire.

Les points de la suture induisent cependant un double traumatisme, direct au niveau de l'enveloppe

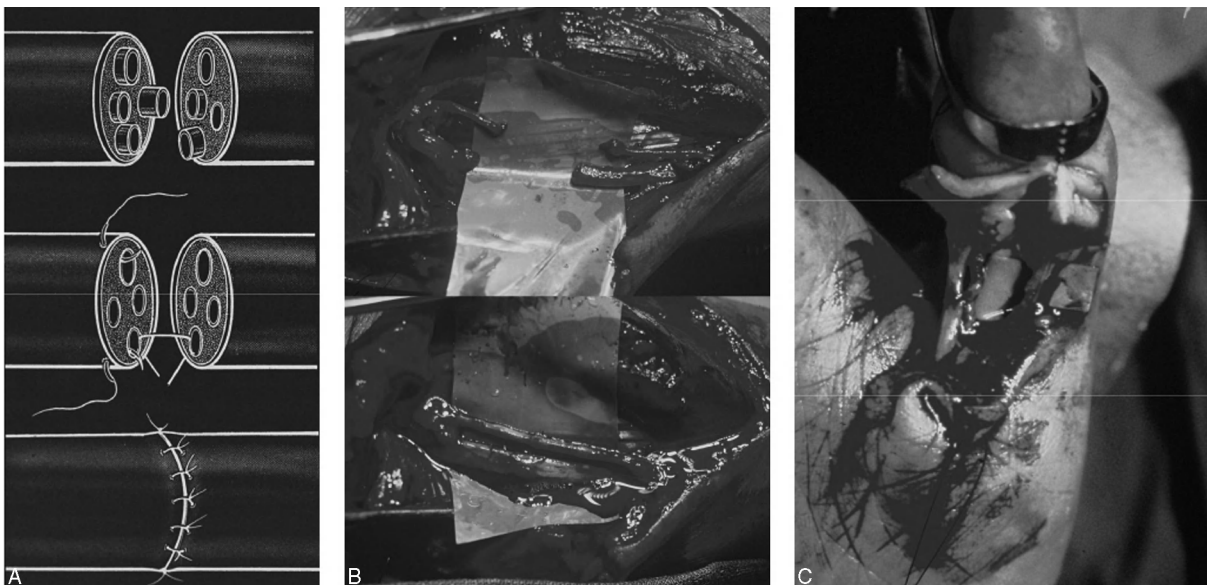


Figure 3. A : la suture directe épipérineurale selon Bourrel. B et C : importance de la réparation des lésions associées, qu'il s'agisse de gros vaisseaux tronculaires ou d'artère collatérale.

conjonctive et indirect au niveau des axones en cours de repousse en provoquant une réaction inflammatoire. C'est la raison pour laquelle il faut s'orienter vers une diminution du nombre de points de suture en y associant l'adjonction de colle biologique [7, 15], qui forme un cylindre étanche au niveau de la zone de suture, évitant la fuite des axones lors de la repousse axonale et dont la résorption se fera en deux à quatre semaines.

La suture primaire directe est donc une suture en tension physiologique, et il faut proscrire toute suture sous tension, comme l'a bien montré Millesi [13]

S'il existe des lésions associées, elles seront traitées avant la suture nerveuse.

Une immobilisation est enfin nécessaire en légère détente des articulations intéressées pour trois semaines, suivie de reprise de mobilisation tout en maintenant encore l'attelle la nuit pendant deux semaines.

Suture directe secondaire

Lorsqu'une suture primaire directe n'est pas justifiée dans le cadre de l'urgence, notamment en présence d'une contusion des extrémités, celles-ci seront repérées pour les rapprocher le plus possible par 4 à 6 points de fils 8/0, d'une part pour éviter la rétraction et d'autre part pour limiter la cicatrice conjonctive.

Après un délai de six à huit semaines, lorsque la cicatrisation cutanée et tendineuse sera obtenue et que les conditions trophiques locales seront satisfaisantes, il sera possible de réaliser une suture secondaire quand, après résection du névrome et excision des zones de fibrose, la perte de substance nerveuse sera limitée de 0,5 à 1 cm.

Il s'agit alors d'une suture non pas en tension physiologique, mais sans tension anormale, et un point technique intéressant est le fait que les deux extrémités peuvent être rapprochées, les articulations en légère flexion, par des points de fils 9/0.

La technique de suture directe secondaire est ensuite identique à celle décrite pour les sutures primitives, c'est-à-dire une suture épipérineurale.

Il faut souligner qu'il faut proscrire toute suture sous tension, facteur de fibrose croissante, comme l'a bien montré Millesi [13] (figure 1).

Autogreffes nerveuses dans les lésions vues en secondaire

Dans un premier temps, il est essentiel d'apprécier, outre la lésion nerveuse, les séquelles du traumatisme initial, et notamment l'état cutané, tendineux, articulaire et trophique. Ces lésions associées peuvent nécessiter des traitements spécifiques avant ou dans le même temps que la réparation nerveuse.

siter des traitements spécifiques avant ou dans le même temps que la réparation nerveuse.

Il faut ici rappeler le rôle fondamental de la trophicité locale et du lit sur lequel on pose les greffons nerveux. L'importance de cet environnement tissulaire n'est plus à souligner car, au même titre qu'un lambeau cutané n'est pas viable, ou qu'un os ne peut consolider sans vascularisation, un nerf ne peut se régénérer dans un environnement tissulaire défavorable, et c'est encore insister sur la nécessité impérative du traitement correct de toutes les lésions associées en urgence, dont va dépendre la trophicité locale ou locorégionale.

Les travaux de Sunderland nous ont appris la topographie intranerveuse avec le regroupement des fibres de même destinée près des effecteurs et la possibilité de définir une cartographie à un certain niveau d'un nerf donné. Les termes de lésion loin ou près des effecteurs sont préférables à ceux de proximale ou distale sur le membre, qui peuvent prêter à confusion. Une cartographie précise est en effet possible au niveau de l'épaule sur le nerf axillaire [5] ou le nerf musculocutané situé proximale sur le membre, alors que pour le médian ou le cubital une cartographie ne sera utilisable que distalement au poignet ou à la main.

Il en découle dans la classification des autogreffes nerveuses l'utilisation de termes précis :

- greffe à orientation fasciculaire en câble loin des effecteurs, en soulignant qu'aucune cartographie précise n'est possible et qu'il n'y a aucun moyen technique d'être sûr d'envoyer un pourcentage important de fibres nerveuses dans les conduits qui leur sont destinés;
- greffe interfasciculaire près des effecteurs pontant des groupes fasciculaires de même destinée.

À titre d'exemple, un piège bien connu est celui de la greffe d'une perte de substance du nerf ulnaire au quart inférieur de l'avant-bras au niveau de l'émergence de la branche sensitive cubitodorsale (figure 2). En amont de cette greffe, la cartographie du nerf comporte trois sous-groupes : sensitif latéral, moteur médian et sensitif médial. En aval de l'émergence du contingent sensitif médial, constituant la branche cubitodorsale, la cartographie fasciculaire devient sensitive en latéral et motrice en médial. On comprend donc que, si une greffe nerveuse pontait une perte de substance située à ce niveau, et que par ignorance on fasse correspondre le bord médial sensitif du segment nerveux d'amont et le bord médial moteur du segment d'aval, on enverra toutes les fibres sensibles correspondant à la branche cutanée cubitodorsale dans le contingent moteur, avec un résultat nul.

La réalisation d'autogreffes conventionnelles, qui représente 90 % des cas, est faite en utilisant des nerfs

cutanés sensitifs dont le prélèvement est facile et la rançon anesthésique minime. Il faut rappeler que ces greffons que l'on coupera en un certain nombre de torons, dont la longueur sera très légèrement supérieure à la perte de substance nerveuse, devront se revasculariser pour permettre la régénération des fibres nerveuses. Cette revascularisation se fait essentiellement par le lit sur lequel sont posés les greffons, en insistant donc encore une fois sur le terrain trophique local.

Les greffons seront prélevés en fonction du nerf à réparer :

- s'il s'agit d'un petit nerf sensitif, comme un nerf collatéral, le prélèvement se fera sur la branche médiane du nerf musculocutané ou sur une des branches terminales du brachial cutané interne. La branche terminale du nerf interosseux postérieur est également une zone de prélèvement possible ;

- s'il s'agit de greffer un tronc d'un nerf mixte, médian, cubital ou radial, mais également lorsque l'on aura à greffer plusieurs nerfs collatéraux ou digitaux, on s'adressera alors au prélèvement du nerf saphène externe ou nerf sural qui va donner 35 à 40 cm de greffon, et les deux nerfs seront souvent prélevés en fonction de la taille du nerf et de la longueur de la perte de substance (figure 4).

Il faut souligner un point fondamental qui est de ne jamais prélever un nerf dans le territoire contigu à celui du nerf qu'il faut réparer, et on ne prendra donc jamais le nerf saphène externe homolatéral si l'on répare le sciatique poplité externe, en rappelant que le nerf saphène externe naît dans la majorité des cas du sciatique poplité interne.

La séquelle sensitive du prélèvement du nerf saphène externe est limitée à une zone hypœsthésique étroite au bord externe du pied avec prise en charge par les nerfs voisins au bout d'un an environ.

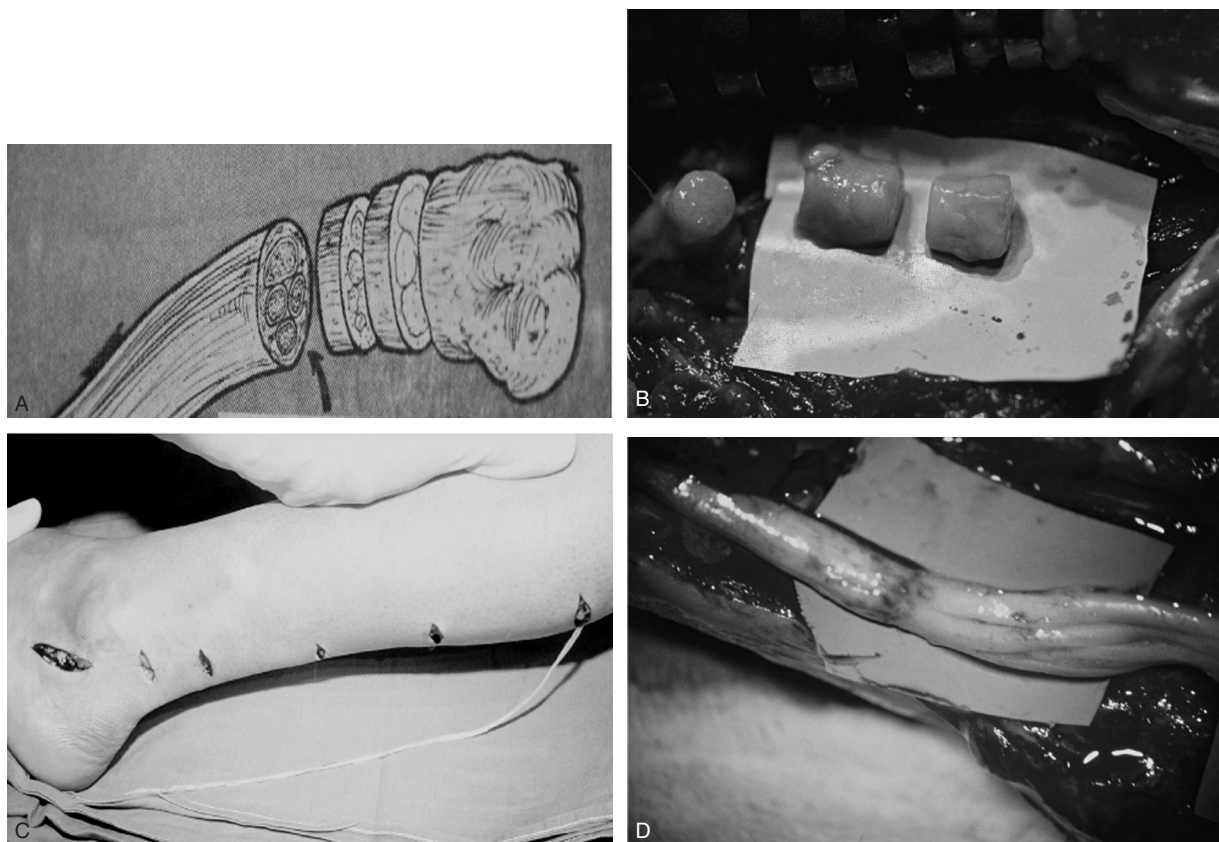


Figure 4. A et B : dans les réparations secondaires par greffe, il faut, par des recoupes successives au niveau des extrémités, obtenir une tranche de section comportant des groupes fasciculaires sans fibrose. C : prélèvement du nerf sural. D : coaptation exacte avec les torons de nerf sural.

Sur le plan technique

Le principe de l'autogreffe nerveuse conventionnelle est de ponter la perte de substance par un ou des greffons de calibre suffisamment petit pour être revascularisés par le lit.

Greffe d'un petit nerf

Lorsqu'il s'agit de greffer un petit nerf, par exemple un nerf collatéral [18], par une branche du nerf musculo-cutané, la technique est simple : suture épipérineurale avec 3 à 4 points de fils 10/0 et un manchon de colle biologique en périphérie.

Certaines équipes utilisent la colle seule en rappelant que la force tensile de la colle est inférieure à la tension physiologique du nerf et qu'il est donc important que le greffon soit de longueur légèrement supérieure à la perte de substance nerveuse pour annihiler toute tension au niveau de la zone de coaptation.

Greffe d'un tronc d'un nerf mixte

La technique initiale d'assemblage des torons décrite par Millesi [12] consistait à individualiser au niveau des extrémités nerveuses plusieurs groupes fasciculaires, à réséquer l'épinèvre sur une longueur plus ou moins étendue et à créer ainsi artificiellement des groupes fasciculaires, trois ou quatre par exemple, dont le diamètre serait égal ou multiple de celui du nerf saphène externe. La dissection des extrémités risquait de dévasculariser les groupes fasciculaires et d'entraîner une fibrose accrue.

L'évolution s'est donc faite, avec de nombreux auteurs comme Narakas, vers une technique d'assemblage des torons de la greffe avec très peu de points et de la colle biologique [7, 19]. Le bon diamètre de la greffe, c'est-à-dire congruent avec le nerf à greffer, est obtenu en apposant ensemble un nombre voulu de torons pour aboutir à un diamètre équivalent à celui des extrémités nerveuses (figure 4). La recoupe des extrémités a une importance considérable, car il est essentiel d'obtenir des tranches sans fibrose, et ce point doit être souligné, car faire une greffe nerveuse sur des extrémités présentant une fibrose nette, notamment interfasciculaire, équivaut à se contenter d'un résultat partiel, voire d'un échec. La longueur de la greffe joue certes un certain rôle pronostique, mais l'aspect des extrémités est plus important, et il ne faut pas hésiter à réséquer 1 ou 2 cm supplémentaires.

Après la préparation des extrémités, le type de la greffe dépendra du nerf considéré et de sa situation loin ou près des effecteurs.

Loin des effecteurs

Loin des effecteurs, la greffe est faite en câble (figure 5). Le nerf saphène externe est coupé en un multiple de torons de la longueur désirée, et les extrémités sont dégraissées afin de réduire le plus possible la proportion de tissu non neural lors de l'assemblage des torons. Les extrémités des torons nerveux sont collées de façon compacte pour obtenir la plus grande densité nerveuse possible sur chaque tranche de section avec recoupe franche une fois le collage réalisé. On a ainsi, aux deux extrémités de la greffe, deux tranches de section correspondant au diamètre de l'extrémité du nerf à greffer. On pourra alors réaliser l'équivalent de deux sutures épipérineurales par 4 ou 5 points de fils 10/0 et un manchon de colle en périphérie. Ce manchon de colle crée une chambre de régénération en soulignant qu'il ne faut pas serrer les fils. Le problème de cette chambre de régénération a été souligné par Narakas [15], qui utilise de la colle seule.

En ce qui concerne les torons par eux-mêmes, la colle n'est utilisée qu'aux extrémités, et il faut les étaler sur le lit pour permettre la meilleure revascularisation possible. La colle biologique, elle, réalise un adhésif à base de fibrinogène humain et de thrombine calcique d'origine bovine. Son principe est de reproduire la fibrinoformation, dernière phase de la coagulation sanguine, et d'aboutir à la réalisation d'un caillot de fibrine polymérisé concentré qui se résorbe en 15 jours environ. La thrombine mélangée au fibrinogène provoque la transformation en fibrine soluble, monomère. Le facteur XIII et le calcium déclenchent la polymérisation de la fibrine. La présence d'aprotinine, inhibiteur de la fibrinolyse, protège le caillot de fibrine pendant 15 jours. C'est la concentration de thrombine qui conditionne la rapidité de la réaction, et en général on utilise la solution à 500 UI/ml pour une prise rapide en quelques secondes.

Le temps de survie de la colle avant sa dégradation par les substances fibrinolytiques dépend du taux d'aprotinine. Plus celui-ci est élevé et plus le temps de survie de la colle est long. Le temps de survie joue un rôle essentiel, car, s'il est trop court, la fibrinolyse précoce peut entraîner une désunion, et donc un échec, et c'est la raison pour laquelle nous y associons des fils lorsqu'il est trop long, la persistance de la fibrine au site anastomotique peut engendrer une fibrose préjudiciable à la régénération nerveuse.

Les doses d'aprotinine sont de 3000 UIK (unité inactivatrice de kallidinogénase) pour le Tissucol par exemple.

Kuderna [17] conseille d'utiliser l'aprotinine à faible dosage de 100 UIK/ml, et l'aprotinine est donc diluée

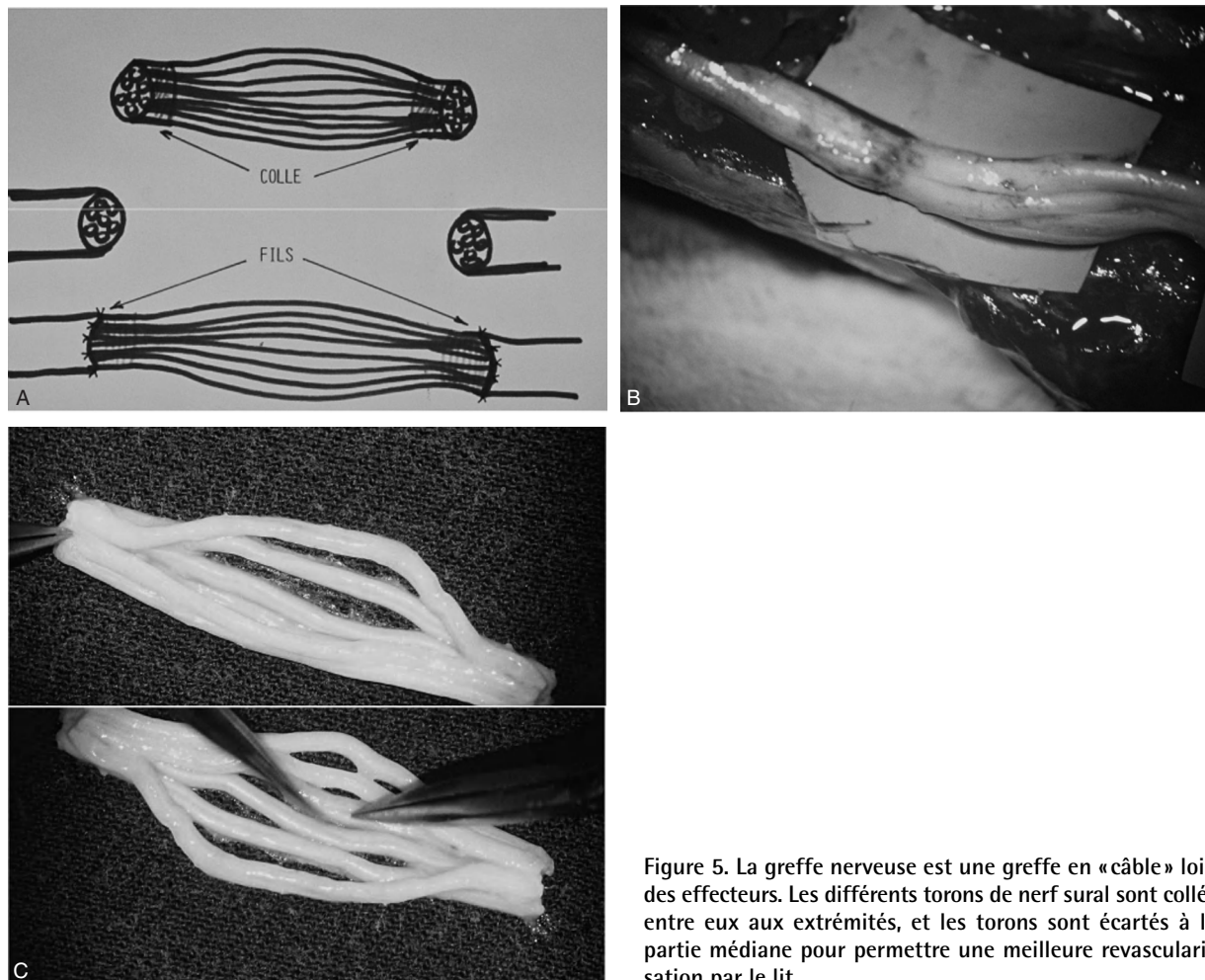


Figure 5. La greffe nerveuse est une greffe en « câble » loin des effecteurs. Les différents torons de nerf sural sont collés entre eux aux extrémités, et les torons sont écartés à la partie médiane pour permettre une meilleure revascularisation par le lit.

de moitié par adjonction d'une quantité équivalente d'eau distillée avant toute autre manipulation.

Enfin, il faut signaler que le risque de transmission de maladies virales (sida, hépatite virale B et C) est en théorie nul, en raison de la sélection des donneurs, et surtout grâce à la thermo-viro-inactivation.

Près des effecteurs

Près des effecteurs, la greffe sera interfasciculaire entre des groupes de même destinée (figure 6). En tenant compte de la cartographie [20], on repérera les groupes fasciculaires correspondant aux contingents destinés à des effecteurs précis de manière à avoir des greffes correspondant en général à des groupes fasciculaires moteur ou sensitif.

Chaque groupe fasciculaire sera alors ponté par 1, 2 ou 3 torons en fonction de son diamètre, en utilisant au niveau des extrémités une coaptation exacte avec des fils et de la colle ou de la colle seule en fonction des auteurs, puisqu'il n'y a aucune tension au niveau des zones de coaptation, mais il y a un risque de décoaptation qui milite en faveur de peu de fils et de colle.

Neurolyses

Millesi [12] définit trois types de fibrose :

– le stade où la fibrose est épifasciculaire au niveau de l'épinèvre. Ce type de fibrose peut être comparé à un anneau constrictif et est en règle générale observé dans les stades I, II ou III de Sunderland, et on l'annotera IA, 2A ou 3A ;

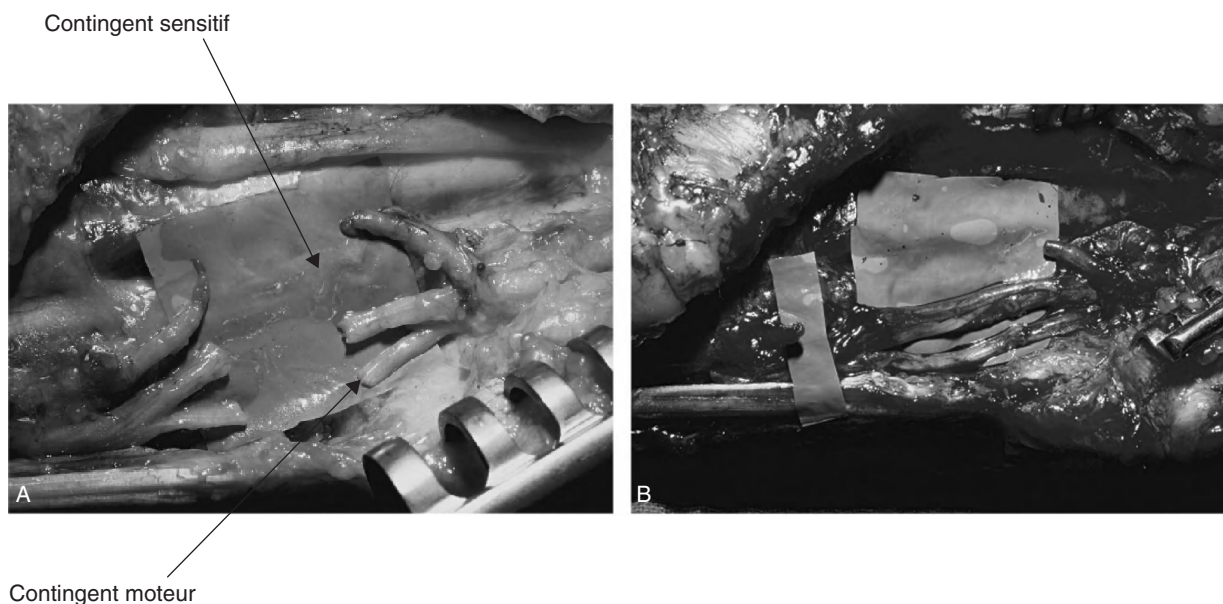


Figure 6. La greffe est interfasciculaire près des effecteurs entre des groupes fasciculaires de même destinée (exemple : nerf ulnaire au poignet, dont le contingent latéral est sensitif et le contingent médial moteur).

- la fibrose interfasciculaire type B, qui atteint les tissus entre les groupes fasciculaires ;
- enfin, la fibrose intrafasciculaire type C, qui n'est rencontrée qu'à partir des stades III de Sunderland et, dans ces stades IIIC, il n'y a aucune possibilité de régénération spontanée et une réparation nerveuse est indispensable. Les neurolyses doivent être précisées, et l'on distingue :
 - la neurolyse externe, considérée comme la séparation du nerf de son environnement cicatriciel ; elle suppose une fibrose du paranèvre et également une atteinte de l'épinèvre, mais, par définition, la neurolyse externe ou exoneurolyse ne concerne que des nerfs où les couches les plus internes de l'épinèvre sont intactes ; elle permet de restaurer le glissement du nerf ;
 - la neurolyse interne. Celle-ci nécessite l'incision de toutes les couches de l'épinèvre dans le but de libérer les groupes fasciculaires comprimés.

Le périnèvre des groupes fasciculaires doit être épargné, car, si l'on fait une brèche dans le périnèvre, il se produit une hernie du tissu nerveux et des troubles importants dans la conduction. Il ne faut jamais faire de neurolyse intrafasciculaire après ouverture de l'épinèvre, car cela aboutit à des catastrophes par lésions des fibres nerveuses et des capillaires et à une fibrose réactionnelle secondaire.

Dans le sujet qui nous intéresse, le problème est celui des neurolyses après réparation nerveuse, soit après une suture directe, soit après une greffe nerveuse. Sur le plan technique, il faut toujours commencer la dissection en zone saine et, dans la majorité des cas, faire une

exoneurolyse, avec parfois ouverture longitudinale de l'épinèvre, mais jamais une neurolyse interfasciculaire.

La date de la neurolyse est également importante, et les neurolyses sont essentiellement indiquées lorsqu'il existe, après réparation nerveuse, un résultat partiel avec la persistance d'un signe irritatif local qui fait penser à un bloc de conduction par la fibrose. On pourra alors, par l'exoneurolyse avec ou sans ouverture de l'épinèvre, améliorer le résultat déjà acquis en améliorant la conduction nerveuse, **mais en aucun cas une neurolyse ne permettra à des fibres nerveuses arrêtées au niveau de la zone de réparation de la franchir de nouveau.**

Cas particuliers

Autogreffes nerveuses vascularisées libres ou pédiculées [12, 13, 16]

a) L'utilisation d'un gros nerf mixte comme greffon ne peut se faire qu'en greffe vascularisée, car la revascularisation d'un greffon tronculaire par le lit est très aléatoire avec une nécrose centrale.

Par ailleurs, il est bien évident que cette technique ne s'adresse qu'à des cas bien précis : les lésions plurinerveuses, par exemple, du nerf médian et du nerf cubital au bras, avec une perte de substance de 15 cm et pour lesquelles le stock des greffons est dépassé. On privilégiera alors la réparation du nerf médian en utilisant le nerf cubital en greffon vascularisé, pédiculé ou libre anastomosé en terminoterminal sur l'artère humérale.

La technique de Strange en deux temps est également possible [19].

Un autre exemple caractéristique est la lésion étendue du tronc du nerf sciatique [16] avec une perte de substance de plus de 15 cm, et il est impossible de ponter avec le nerf saphène externe contralatéral. On privilégiera donc la réparation du nerf sciatique poplité interne par le nerf sciatique en utilisant le nerf sciatique poplité externe pédiculé.

b) Dans les cas où le lit est très médiocre, notamment dans les séquelles de Volkmann, l'utilisation du nerf saphène externe vascularisé libre ou du nerf brachial cutané interne a été préconisée, mais ces techniques sont d'indication exceptionnelle, et, actuellement, l'orientation se fait vers un apport vasculaire local, par lambeau par exemple, puis greffe classique.

Neurotisations intramusculaires directes

Les bases logiques de cette opération reposent sur une différence fondamentale qui existe entre le muscle normal et un muscle dénervé. En effet, un muscle normalement innervé ne peut accepter une nouvelle innervation, alors qu'un muscle dénervé a une sensibilité diffuse sur l'ensemble de sa surface à l'acétylcholine et accepte de nouvelles innervations, même dans des zones anormales, en soulignant que des plaques motrices peuvent se former partout où une terminaison atteint un muscle dénervé.

Sur le plan technique, cette neurotisation est indiquée lorsqu'il existe une avulsion des branches terminales au niveau musculaire; elle consiste à diviser les greffons en le plus grand nombre possible de fascicules anatomiques et à introduire ces fascicules dans le territoire musculaire le plus vaste possible, à la fois en superficie et en profondeur.

L'épinièvre des greffes sera suturée ensuite au fascia musculaire.

Enfin, d'autres techniques sont du domaine de la recherche, comme les hétérogreffes ou les substituts nerveux.

Conclusion

La réparation des lésions traumatiques des nerfs périphériques pose de nombreux problèmes physiologiques, physiopathologiques et techniques.

L'anatomie fasciculaire et la physiologie nerveuse ont été abordées par de nombreux auteurs, et les études au microscope électronique ont permis de mieux apprécier l'aspect intime des fibres nerveuses.

De même, l'étude du flux cytoplasmique a permis de mieux cerner les phénomènes secondaires à une section nerveuse avec augmentation du métabolisme du centre trophique et formation de faisceaux de régénération, avec souvent un pourcentage de fibres supérieur à la normale.

Ces faisceaux de régénération correspondant à la division d'une fibre nerveuse permettent à une collatérale d'accroître ses chances de trouver le bon chemin à travers la zone de réparation nerveuse, puis d'atteindre les effecteurs, alors que les autres collatérales dégénèrent.

Les techniques de réparation nerveuse ont fait d'immenses progrès avec la microchirurgie et les moyens de coaptation; fils et colle biologique permettent de limiter au maximum les phénomènes de cicatrisation conjonctive locale.

La recherche doit se poursuivre et porter sur des domaines aussi divers que les thérapeutiques destinées à stimuler la régénération nerveuse, les colles biologiques ou la constitution d'une banque de nerfs, pour lesquels le problème est celui de la conservation avec des techniques de congélation, mais surtout celui de l'antigénicité, qui n'est pour le moment pas résolu.

Enfin, la chirurgie nerveuse périphérique n'a pour but que d'obtenir une régénération et doit donc être appréciée en fonction des résultats cliniques [5, 6, 9, 14].

RÉFÉRENCES

- 1 Allieu Y, Alnot JY. Résultats des sutures nerveuses sous microscope. *Rev Chir Orthop* 1978; 64 : 276-83.
- 2 Alnot JY, Badelon O, Leroux D. Les plaies tendino-nerveuses de la face antérieure du poignet. À propos d'une série de 62 cas. *Rev Chir Orthop* 1986; 72 Suppl 2 : 126-31.
- 3 Alnot JY, et al. Les lésions traumatiques des nerfs périphériques. « Cahier d'enseignement de la Sofcot ». Paris : Expansion scientifique; 1997. P. 1-131.
- 4 Bourrel P, Ferro RM, Lorthior JM. Résultats cliniques comparés des sutures nerveuses « mixtes » épipéri-neurales et des sutures névrlématiques. À propos d'une série de 190 cas des plaies des nerfs de la main. *Sem Hôp Paris* 1981; 57 (47-48) : 2015-23.
- 5 Chaise F, Friol JP, Gaisne E. Résultats de la réparation en urgence des plaies des nerfs collatéraux palmaires des doigts. *Rev Chir Orthop* 1993; 79 : 393-7.

- 6 Dellon AL, Kallman CM. Evaluation of functional sensation in the hand. *J Hand Surg* 1983; 8 : 865-70.
- 7 Egloff DV, Narakas A. Anastomoses nerveuses par fibrinocollage, rapport préliminaire (56 cas). *Ann Chir Main* 1983; 2 : 101-15.
- 8 Le Breton E. Vascularisation de la main. In : *Cahier d'enseignement de la Société française de chirurgie de la main*, n° 5. Paris : Expansion scientifique française; 1993. p. 77-111.
- 9 Liverneaux P, Alnot JY. Les plaies des nerfs collatéraux digitaux, entretiens de Bichat. Paris : Expansion scientifique; 1993. p. 22-6.
- 10 Lundborg G. Ischemic nerve injury. Experimental study on intraneural microvascular pathophysiology and nerve function in a limb subjected to temporary circulatory arrest. *Scand J Plast Reconstruct Surg* 1970; Suppl 6 : 3-113.
- 11 Mamejean E, Alnot JY. Les plaies tendino-nerveuses de la face antérieure du poignet. In : *Lésions traumatiques des nerfs périphériques*. Paris : Expansion scientifique; 1997. p. 100-5.
- 12 McKinnon SE, Dellon AL. *Surgery of the peripheral nerve*. New York (NY) : Thieme Medical Publishers; 1988. p. 1-638.
- 13 Millesi H. *Peripheral nerve surgery, hand clinics*. Philadelphia (PA) : Saunders WB; 1986.
- 14 Moberg E. Objective methods for determining the functional value of sensibility of the skin. *J Bone Joint Surg* 1958; 40B : 454-76.
- 15 Narakas A. The use of fibrine glue in repair of peripheral nerves. *Orthop Clin North Am* 1988; 19 : 187-99.
- 16 Oberlin C, Alnot JY, Comtet JJ. Les greffes nerveuses tronculaires vasculaires. Techniques et résultats de 27 cas. *Ann Chir Main* 1989; 8 (4) : 316-23.
- 17 Rogers GD, Henshall A, Sach RP, Wallis KA. Simultaneous laceration of the median and ulnar nerves with flexor tendons at the wrist. *J Hand Surg* 1990; 15A : 990-5.
- 18 Stefanich RJ, Putnam MD, Paimier CA, Sherwin FS. Flexor tendon lacerations in zone V. *J Hand Surg Am* 1992; 17A : 284-91.
- 19 Strange FG. An operation for nerve pedicle grafting. *J Surg Br* 1947; 34 : 423-5.
- 20 Sunderland S. *Nerve and nerve injuries*. 2nd ed. New York (NY) : Churchill Livingstone; 1978.
- 21 Tubiana R. *Traité de chirurgie de la main. Chirurgie des tendons, des nerfs et des vaisseaux*. Tome 3. Paris : Masson; 1986.

Lésions du nerf axillaire isolées ou associées au nerf scapulaire supérieur ou musculocutané

Isolated lesions of the axillary nerve or combined lesions of axillary, suprascapular and musculocutaneous nerves

C. BONNARD¹

RÉSUMÉ

La lésion du nerf axillaire est une complication fréquente des traumatismes de l'épaule. Elle passe souvent inaperçue. En règle générale, elle récupère spontanément, sauf dans les traumatismes à haute énergie. Le but de l'article est de clarifier l'indication à un traitement chirurgical (greffe nerveuse), qui devrait se faire dans un délai posttraumatique ne dépassant pas six mois. Une série de 177 patients opérés d'une lésion du nerf axillaire est présentée, avec un suivi adéquat chez 152 patients. L'analyse est faite en fonction de la récupération de la force du deltoïde et de la fonction de l'épaule.

Mot clés : Nerf axillaire. – Nerf sus-scapulaire. – Plexus brachial.

SUMMARY

The lesion of the axillary nerve is a frequent complication of a shoulder trauma. However, it is often unrecognised. Spontaneous recovery usually occurs except in high energy trauma. The aim of the article is to specify the indication for surgery (nerve grafts) that should be done before six months post trauma. A serie of 177 patients who were operated on an axillary nerve lesion is presented with 152 patients with a adequate follow up. Results are presented according to the recovery of the strength of the deltoid and the function of the shoulder.

Key words: Axillary nerve. – Suprascapular nerve. – Brachial plexus.

Introduction

Tout traumatisme de l'épaule peut associer lésion orthopédique (luxation, fracture, rupture de la coiffe) et lésion neurologique. Le nerf axillaire est le plus souvent atteint, isolément ou en association avec une lésion du nerf sus-scapulaire ou d'autres nerfs du plexus brachial (musculocutané, radial, etc.). L'évolution spontanée de ces lésions nerveuses dépend de leur gravité initiale : certaines vont récupérer spontanément et peuvent être traitées conservativement, d'autres sont définitives et nécessiteront un traitement chirurgical. Le but de ce chapitre est de sensibiliser les chirurgiens orthopédistes à la présence de ces atteintes neurologiques, de leur permettre de sélectionner rapidement les situations à risque et, en précisant l'indication opératoire à temps, d'offrir ainsi à leur patient un traitement optimal.

Historique

Les lésions traumatiques du nerf axillaire sont connues depuis le XIX^e siècle déjà. Elles étaient alors traitées conservativement, parce que, d'une part, leur pronostic était jugé favorable, tout au moins après luxation de l'épaule, et, d'autre part, leur réparation chirurgicale était dite impossible en raison des difficultés techniques liées à la position profonde du nerf.

Delbet et Cauchoux, en 1910, sont les premiers à rapporter un cas de neurolyse avec succès et un cas de suture suivi d'échec. Stoffel, en 1913, propose une neurotisation du moignon distal du nerf axillaire rompu à partir d'un rameau du nerf radial. Cette idée sera reprise par Förster (1929) et Lurje (1948) avec un résultat moyen. Ni Seddon ni Sunderland ne parlent dans leur traité exhaustif de réparation chirurgicale du nerf axillaire.

¹ Chirurgie plastique, reconstructive et esthétique, chirurgie de la main FMH, clinique de Longeraie, 9, avenue de la Gare, CH 1003 Lausanne, Suisse

Ainsi, dans les trois premiers quarts du ^{xx}^e siècle, la grande majorité des lésions diagnostiquées du nerf axillaire était traitée conservativement, en immobilisant le membre supérieur dans une attelle d'abduction pour éviter une chute du moignon de l'épaule jusqu'à la récupération d'une abduction active. En cas de non-récupération, certains proposaient une neurolyse, un transfert musculaire (trapèze, grand dorsal) ou une arthrodeuse gléno-humérale.

Les premières réparations chirurgicales du nerf axillaire par greffe nerveuse sont mentionnées par Narakas en 1972 [17], et Millesi en 1973 [16], dans des articles consacrés à la réparation du plexus brachial utilisant les nouvelles techniques microchirurgicales. Il faudra attendre une dizaine d'années pour la publication de grandes séries : Petrucci et Morelli en 1982 (21 cas) [21], Alnot en 1983 (19 cas) [1], Coene et Narakas en 1986 (57 cas) [8], Bonnard et Narakas en 1999 (146 cas) [5], Rezzouk en 2003 (83 cas) [23], Kline en 2003 (99 cas) [11], Alnot en 2004 (45 cas) [9], Bonnard (présente série 2007, 177 cas).

Une lésion du nerf sus-scapulaire complique l'atteinte du nerf axillaire une fois sur quatre. Alnot intervient sur les deux nerfs (axillaire et sus-scapulaire) dans 24,4 % des cas (11 cas sur 45) [9], et Bonnard dans 28,2 % des cas (50 cas sur 177). Enfin, toutes les études [9, 5, 23] insistent sur la nécessité d'une réparation précoce, la qualité du résultat final dépendant du délai entre traumatisme et réparation chirurgicale, et ce de manière statistiquement significative.

Anatomie

Nerf axillaire

Le nerf circonflexe est un nerf à prédominance motrice issu de la partie postérieure des racines C5 et C6. Ses fibres nerveuses cheminent dans le tronc primaire supérieur, puis dans le tronc secondaire postérieur. Il quitte le tronc postérieur dans l'étage infraclaviculaire, se dirige postérieurement et passe au travers du trou carré de Velpeau (figure 1), en donnant au passage une ou deux branches articulaires. Distalement par rapport au trou carré de Velpeau, le nerf axillaire se divise en deux branches antérieure et postérieure : la branche postérieure donnera une branche motrice pour le muscle petit rond, une branche sensitive pour la peau innervant la partie externe du moignon de l'épaule et une branche motrice pour le deltoïde postérieur. La branche antérieure du nerf axillaire est purement motrice pour les faisceaux antérieur et moyen du deltoïde [29]. Tout au long de ce trajet, de son départ du tronc secondaire postérieur (point de relative fixité

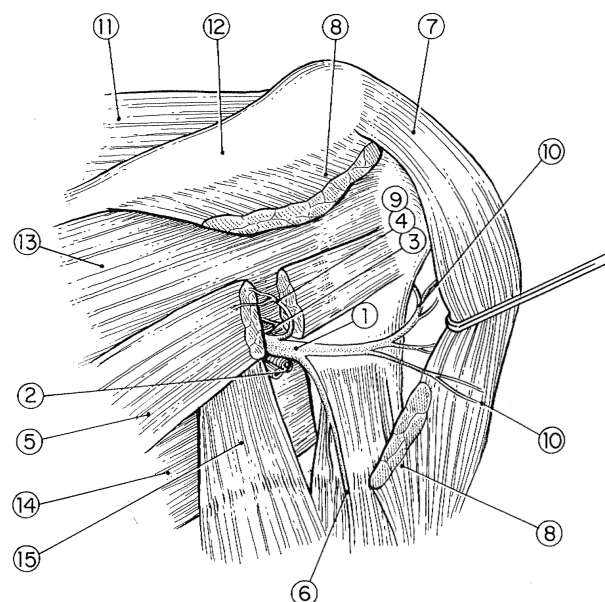


Figure 1. Nerf axillaire (vue dorsale). Le nerf axillaire ou circonflexe (1) quitte le trou carré de Velpeau en compagnie des vaisseaux circonflexes postérieurs (2), en position céphalique par rapport à eux et au contact de la capsule articulaire (3), dont il innervait le tiers inférieur. Le rameau (4) pour le petit rond ou *teres minor* (5) chemine avec le nerf ou le quitte peu avant le canal. Le tronc principal donne un rameau sensitif postérieur (6) qui court le long de la berge dorsale du deltoïde (7), dont le faisceau postérieur (8) a été excisé pour les besoins de l'illustration. Le nerf contourne l'humérus (9), innervant le muscle par des rameaux (10), dont certains vont jusqu'à la peau. 11. Muscle sus-épineux. 12. Crête de l'omoplate et l'acromion. 13. Muscle sous-épineux. 14. Muscle grand rond. 15. Long chef du triceps.

proximal) au point moteur des trois faisceaux du deltoïde (point de relative fixité distal), le nerf axillaire est en contact étroit avec l'articulation gléno-humérale et le col chirurgical de l'humérus. Cette disposition anatomique explique la fréquence de l'atteinte du nerf axillaire dans les traumatismes de l'épaule impliquant une dissociation gléno-humérale et la localisation préférentielle de la lésion dans le trou carré de Velpeau [6, 26-28]. Elle explique de même la fréquence des lésions iatrogènes du nerf circonflexe dans la chirurgie de l'épaule (prothèse d'épaule, plastie pour instabilité, vissage transaxillaire percutané d'une fracture marginale de la glène, chirurgie arthroscopique [10, 15], enclouage de l'humérus [22]) ou dans certaines positions du patient sur table d'opération (décubitus latéral, ventral ou bras en abduction-rotation externe [7]). Les manipulations sous narcose d'une épaule gelée peuvent provoquer des lésions neurologiques

par traction, qui touchent plus volontiers la totalité du plexus infraclaviculaire plutôt que le nerf axillaire isolément [2].

Nerf sus-scapulaire

Issu des fibres de la portion craniale de la racine C5, il s'isole du tronc primaire supérieur quelque deux travers de doigt au-dessus de la clavicule. Il chemine le long de la face postérieure du muscle omo-hyoïdien (excellent point de repère), traverse avec ce dernier la fosse sus-claviculaire et rejoint l'échancrure coracoïdienne. Il passe sous le ligament coracoïdien (figure 2). En abordant la fosse sus-épineuse, le nerf sus-scapulaire se divise immédiatement en une branche courte qui plonge dans le muscle sus-épineux et une deuxième branche longue. Celle-ci donne des branches articulaires (articulations acromioclaviculaire et gléno-humérale), puis contourne le pied de l'acromion en passant sous le ligament spinoglénoïde. Le nerf aborde ainsi la fosse sous-épineuse et rejoint la face profonde du muscle sous-épineux, qu'il innerve.

Cette disposition anatomique explique les atteintes du nerf sus-scapulaire dans les fractures de l'omoplate

qui passent par l'échancrure coracoïdienne. De même, le nerf étant intimement au contact de l'omoplate sur toute la partie distale de son trajet, il sera étiré ou rompu dans tous les traumatismes impliquant une dissociation scapulothoracique ou, moins grave, dans les mouvements répétés de translation postéroantérieure de l'omoplate, geste typique du joueur de volley-ball.

Nerf musculocutané

Les fibres de ce nerf, issues principalement de la racine C6, cheminent dans le tronc primaire supérieur, puis dans le tronc secondaire antéro-externe, qu'elles quittent quelque deux centimètres en dessous de l'apophyse coracoïde. Le nerf musculocutané traverse alors le muscle coracobrachial, qu'il innerve au passage, puis chemine entre les deux chefs du biceps. Au bras, le nerf musculocutané innerve les muscles biceps, puis brachial antérieur. Le nerf musculocutané se continue ensuite par une branche sensitive qui traverse l'aponévrose à la hauteur du pli du coude (lieu de compression possible) et innerve la peau de la face antéro-externe de l'avant-bras.

Les variations anatomiques du nerf musculocutané sont fréquentes. Une fois sur six, le nerf musculocutané forme un tronc commun avec le nerf médian dont il suit le trajet. Il donne alors au passage des branches musculaires pour le coracobrachial et, à mi-bras, pour le biceps. Ces branches sont parfois récurrentes.

Le point de relative fixité du nerf musculocutané se situe dans son trajet dans le muscle coracobrachial. Par conséquent, un traumatisme de l'épaule impliquant un mouvement violent de rétropulsion de l'omoplate est susceptible de léser isolément ce nerf à cet endroit.

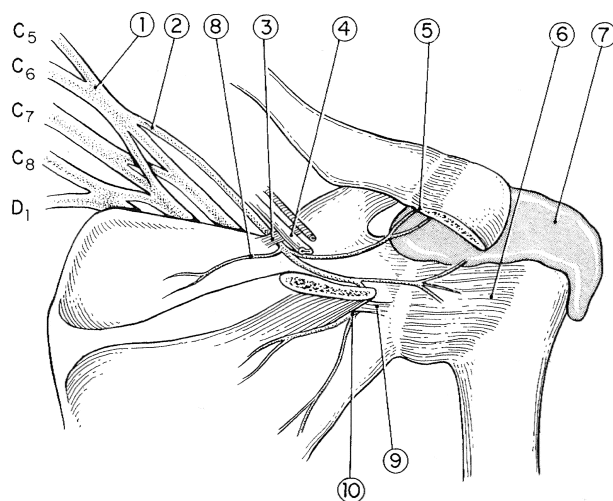


Figure 2. Nerf suprascapulaire ; vue oblique de l'arrière. Venant du tronc primaire supérieur (1) C5C6, le nerf (2) passe sous le ligament coracoïdien (3) ou ligament scapulaire transverse supérieur. Les vaisseaux scapulaires supérieurs (4) le sautent. Le nerf se distribue à la partie caudale de l'articulation acromioclaviculaire (5), aux deux tiers supérieurs de l'articulation gléno-humérale (6), à la bourse sous-acromiale (7), au muscle sus-épineux et à l'os (8). Il contourne ensuite le pied de l'acromion, passe sous le ligament spinoglénoïdien (9) ou scapulaire transverse inférieur avec les vaisseaux et innerve le muscle sous-épineux et l'os (10).

Incidence et évolution spontanée des lésions neurologiques

Les études prospectives nous donnent une idée de la fréquence des lésions neurologiques dans les traumatismes de l'épaule. Elle varie en fonction de l'âge du patient, de la méthode diagnostique (évaluation clinique seule ou avec examen électromyographique) et de la lésion orthopédique associée (tableau 1). Chez le patient de plus de 40 ans, la luxation simple de l'épaule s'accompagne d'une lésion neurologique cliniquement symptomatique, dans un cas sur deux [24]. La présence d'un hématome important augmente la probabilité d'une lésion nerveuse [26]. Visser, en 1999 [26], complétant l'étude de De Laat de 1994, arrive aux mêmes conclusions : une luxation primaire de l'épaule avec ou sans fracture du col de l'humérus est suivie

Tableau 1

Études prospectives étudiant l'incidence des lésions neurologiques dans les luxations primaires de l'épaule

	Lésions orthop. associées	Nombre de patients	Âge	Incidence	EMG
Blom [3]	± fractures du col de l'humérus	73		36 %	+
			> 50 ans	43 %	+
Pasila [20]		238		18 %	–
			≥ 50 ans	28 %	–
			< 50 ans	7 %	–
Toolanen [24]		65	> 40 ans	53 %	+
De Laat, Visser [26,27]	± fractures du col de l'humérus	101	Moyenne âge = 63 ans	45 %	+

dans presque un cas sur deux d'un déficit neurologique. Le nerf axillaire est le plus souvent atteint (37 %). Viennent ensuite les nerfs sus-scapulaire (29 %), radial (22 %), musculocutané (19 %). Tous les éléments du plexus infraclaviculaire peuvent d'ailleurs être concernés. Dans une étude plus récente, Visser [27] collecte 143 fractures consécutives de la tête humérale dues à un traumatisme à basse énergie : 96 patients présentent des signes de dénervation à l'EMG dans les territoires du nerf axillaire dans 83 cas (58 %) et du nerf sus-scapulaire dans 69 cas (48 %). Dans ce collectif de 143 fractures, 50 patients avaient des fractures déplacées, dont 41 présentaient à l'EMG des signes neurologiques (82 %), et 93 patients avaient une fracture non déplacée, dont 55 présentaient à l'EMG des signes de dénervation (59 %). La récupération neurologique est bonne, mais la fréquence de ces atteintes neurologiques explique la lenteur de certaines évolutions posttraumatiques dans des traumatismes qui restent malgré tout mineurs (trauma à basse énergie).

Dans les luxations simples de l'épaule, la récupération spontanée de la lésion neurologique est la règle chez le jeune patient [20]. La présence d'une fracture du col de l'humérus associée à la luxation augmente non seulement le risque d'une lésion du

nerf axillaire, mais aussi la gravité de l'atteinte. Enfin, pour une gravité comparable, la récupération est moins bonne au-delà de 40 ans. Tous âges et toutes lésions confondus, les traumatismes de l'épaule (luxation simple avec ou sans fracture du col de l'humérus) laissent des séquelles neurologiques confirmées par un examen clinique avec ou sans EMG dans 8 % des cas dans la série de Visser [26, 27]. Toolanen décrit des séquelles neurologiques à long terme dans 26 % des cas, mais ses patients ont été évalués par le biais d'un questionnaire téléphonique ou écrit, avec les réserves que l'on peut formuler avec ce type d'évaluation. Toutes ces études prospectives concernent le tout-venant d'une consultation d'urgence d'orthopédie. La violence du traumatisme influence le risque de complications neurologiques (tableau 2) : celles-ci surviennent dans 23 % des cas si le patient tombe de sa hauteur et dans 44 % des cas si le patient tombe d'une hauteur supérieure [20]. L'étude rétrospective de Narakas [18] ne concerne que des cas référés pour lésion du nerf axillaire (112 patients); 96 patients avaient subi un traumatisme à basse énergie (chute de sa hauteur, coup mineur sur le moignon de l'épaule). Un traitement conservateur a été choisi, et seuls deux patients parmi les 96 n'ont pas récupéré de leur lésion neurologique.

Tableau 2

Influence de la violence du traumatisme sur l'incidence des lésions neurologiques et les séquelles à long terme

	Auteurs	Nombre de patients	Trauma mineur	Trauma violent
Complications neurologiques	Pasila [20].	238	23 %	44 %
Séquelles tardives	Narakas [18].	112	2 %	44 %

En revanche, 16 patients présentaient une paralysie totale du nerf axillaire associée à un traumatisme violent (accident de moto). La reconstruction par greffe nerveuse proposée n'a pas été réalisée pour des raisons indépendantes de sa volonté. Parmi ces 16 patients, 44 % (soit 7 cas) n'ont rien récupéré du tout.

Ainsi, connaissant maintenant l'évolution spontanée d'une lésion du nerf axillaire, l'indication opératoire à une reconstruction dépendra non seulement de la gravité initiale de l'atteinte, du délai posttraumatique et de l'âge du patient, mais aussi de la violence du traumatisme causal.

Clinique

Nerf axillaire

Sa lésion entraîne une paralysie des muscles deltoïde et petit rond et des troubles de la sensibilité du moignon de l'épaule, d'une surface et d'une localisation très variables. En urgence, l'interprétation des troubles de la sensibilité est délicate. Le patient peut décrire une anesthésie localisée au territoire du nerf axillaire sans que l'examen EMG permette de confirmer plus tard une lésion neurologique. L'inverse est aussi vrai : la sensibilité est dite normale en urgence alors que le nerf s'avérera complètement rompu !

Tant que la coiffe des rotateurs est fonctionnelle (intégrité ostéotendineuse de la coiffe et absence de lésion du nerf sus-scapulaire), la paralysie complète du deltoïde peut être peu symptomatique, raison pour laquelle le diagnostic de lésion du nerf axillaire est souvent tardif. L'amplitude de l'abduction et de la flexion antérieure n'est diminuée que de 5 à 15 % après résection complète du deltoïde pour tumeur [14]. En revanche, la force de ces mêmes mouvements est diminuée de 40 %.

Les plaintes habituelles des patients avec une paralysie complète du deltoïde sont la fatigabilité de l'épaule et l'impossibilité de mettre la main dans la poche, ce dernier geste nécessitant la présence d'un deltoïde postérieur intact, seul muscle capable de faire une abduction et une extension de l'épaule simultanément. Dans les séries de Alnot [9] et de Bonnard [5], la fonction préopératoire de l'épaule (abduction, antépulsion et rotation externe) est décrite comme subnormale (à l'exception de la projection postérieure qui est toujours déficitaire) dans respectivement 44 et 36 % des cas de lésion isolée du nerf axillaire. Une impotence fonctionnelle majeure de l'épaule en présence d'une paralysie du deltoïde doit faire soupçonner une lésion associée soit de la coiffe des rotateurs (notamment chez les patients de plus de 40 ans), soit du nerf sus-scapulaire.

Nerf sus-scapulaire

La paralysie du nerf sus-scapulaire est l'équivalent fonctionnel d'une rupture complète de la coiffe des rotateurs. Tout comme celle du nerf axillaire, la paralysie isolée du nerf sus-scapulaire peut être asymptomatique chez l'individu très musclé (compensation par le deltoïde et le petit rond), mais, en association avec une atteinte du nerf axillaire, elle se traduira toujours par une paralysie complète de la fonction de l'épaule. Classiquement, dans les cas d'incompétence du muscle sus-épineux (d'origine orthopédique ou neurologique), l'angle scapulo-huméral se ferme dans les tentatives d'abduction. Parfois, seule la branche pour le muscle sous-épineux est lésée à son passage sous le ligament spinoglénoïdien au pied de l'acromion. Le muscle sous-épineux est paralysé et la force de la rotation externe, coude au corps, est abolie. La lésion du nerf sus-scapulaire ne s'accompagne pas de troubles sensitifs.

Nerf musculocutané

La lésion du nerf musculocutané se traduit par une paralysie du biceps, une parésie du brachial antérieur et des troubles de la sensibilité de la face antéro-externe de l'avant-bras. La flexion du coude peut être complète grâce à l'action conjointe des muscles épitrochléens et huméro-stylo-radial, mais sa force est notablement diminuée.

Étiologie

La lésion isolée du nerf axillaire est liée à un traumatisme dont le point d'impact se situe dans l'articulation gléno-humérale. Le bras se sépare de l'omoplate, qui, elle, reste solidaire du thorax. Le nerf axillaire se rompt alors dans le trou carré de Velpeau. À la lésion isolée du nerf axillaire s'ajoute une lésion de la coiffe (rupture du tendon du sus-épineux ou fracture du trochiter) dans 46 % des cas (soit 81 cas sur les 177 cas de lésions du nerf axillaire présentés dans ce chapitre). Mais une rupture du nerf axillaire peut aussi survenir en l'absence de lésion orthopédique.

Par opposition, la rupture du nerf axillaire associée à une lésion d'autres nerfs du plexus infraclaviculaire est causée par un traumatisme qui entraîne une dissociation scapulothoracique, le bras restant alors relativement solidaire de l'omoplate. Le nerf axillaire se rompt, mais cette fois-ci plus proximale, dans le tronc secondaire postérieur. À cette lésion neurologique complexe s'associe une lésion vasculaire dans la moitié des cas.

Investigations paracliniques

Électromyographie : l'EMG est demandé trois semaines après le trauma. Ce délai est nécessaire pour l'apparition de signes de dénervation (potentiels lents et fibrillations). Si la fonction de l'épaule est voisine de la normale, seul le deltoïde sera étudié. Il le sera dans ses trois faisceaux, en se souvenant que la réinnervation commence par le deltoïde postérieur. Si la fonction de l'épaule est franchement mauvaise, on demandera un examen des deux nerfs axillaire et sus-scapulaire. Les premiers signes de réinnervation seront attendus dans le deltoïde postérieur, puis latéral, puis antérieur. Si l'on admet que la lésion s'est produite un peu en avant du trou carré de Velpeau, connaissant la vitesse de repousse du nerf et la distance à parcourir, les premiers signes de réinnervation devraient apparaître au plus tard dans le courant du troisième mois.

IRM et arthro-CT scan sont indiqués si l'on suspecte une atteinte orthopédique de la coiffe des rotateurs (atteinte fonctionnelle importante en présence d'une lésion isolée du nerf axillaire, en l'absence d'une lésion du nerf sus-scapulaire). L'inverse est aussi vrai : en présence d'une atteinte massive de la coiffe avec atrophie musculaire, le chirurgien devrait rechercher systématiquement une atteinte neurologique (7 EMG positifs – axillaire et sus-scapulaire

– dans un groupe de 25 coiffes dans l'étude de Vad) [25]. L'association coiffe massive et lésion chronique du nerf sus-scapulaire est possiblement liée à la traction directe sur le nerf sus-scapulaire par la simple rétraction du muscle sus-épineux [13].

Indication opératoire

Elle devrait être prise de manière impérative à la fin du troisième mois post-traumatique. Elle est fondée sur la persistance d'une paralysie motrice complète du deltoïde et du petit rond, la présence de troubles sensitifs dans le territoire du circonflexe, la confirmation EMG d'une dénervation totale sans signes de réinnervation et le mécanisme lésionnel (traumatisme violent). La même attitude est valable pour les nerfs sus-scapulaire et musculocutané (figure 3).

Voies d'abord et technique opératoire

Nerf axillaire

Dans les lésions isolées du nerf axillaire, la lésion se situe dans 81 % des cas dans le trou carré de Velpeau. La réparation chirurgicale par greffe nerveuse nécessi-

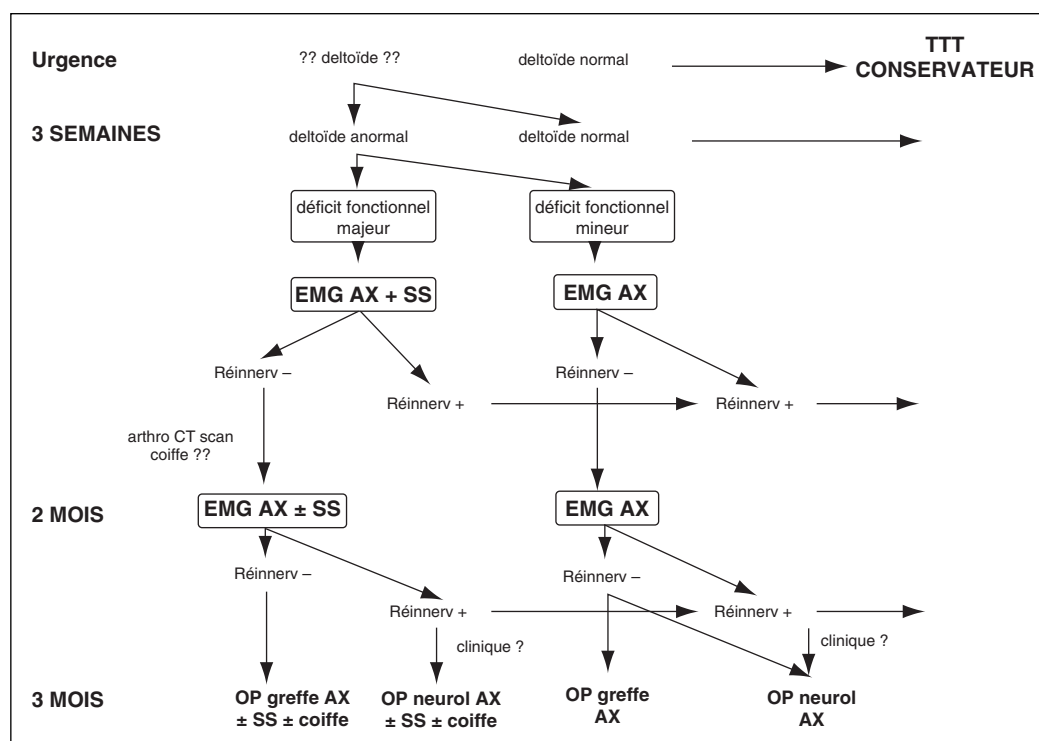


Figure 3. Attitude thérapeutique en présence d'une paralysie du nerf axillaire.

tera un abord antérieur et postérieur (parfois axillaire) dans 73 % des cas.

Voie d'abord antérieure

Incision dans le sillon deltopectoral. La veine céphalique est rabattue médialement. Désinsertion à la demande du petit pectoral de l'apophyse coracoïde. Mise en évidence du tronc secondaire antéro-externe. On passe à l'extérieur de ce tronc et on repère le tronc postérieur. On individualise le nerf radial du nerf circonflexe. Celui-ci est disséqué distalement en se rappelant que, plus loin, il est rejoint par les vaisseaux circonflexes, dont la lésion est à éviter (hémostase difficile). Le moignon proximal se situe dans l'immense majorité des cas en avant du trou carré de Velpeau, où il est fixé par de la fibrose aux vaisseaux. Si l'on est certain d'une interruption complète du nerf, on évitera cette dissection dangereuse en recoupant d'emblée en tissu sain le moignon nerveux. Sur 177 cas de réparation du nerf axillaire, il nous est arrivé trois fois de ne pas retrouver le moignon proximal, même en remontant la dissection du tronc postérieur très proximale, en arrière de la clavicule. Le moignon distal a été neurotisé deux fois par les branches nerveuses pour les muscles grand rond et grand dorsal avec un résultat moyen (deltoïde M3) et une fois par les branches pour le sous-scapulaire et le grand rond avec un bon résultat (deltoïde M4+).

Cette voie antérieure est suffisante deux fois sur trois lorsque la lésion du nerf axillaire entre dans le cadre d'une atteinte plus complexe du plexus infraclaviculaire. Dans ces cas-là, la rupture se situe dans le tronc postérieur et on peut retrouver le moignon distal en avant du trou carré de Velpeau.

Voie postérieure

Incision longeant le bord postérieur du deltoïde dans ses deux tiers plutôt inférieurs. Incision de l'aponévrose. Le plus facile est ensuite de repérer la branche sensitive du nerf axillaire, qui se recourbe autour du bord postérieur du deltoïde, et de la suivre jusqu'au trou de Velpeau. Pour mémoire, celui-ci se situe entre humérus et triceps longitudinalement et entre petit et grand ronds transversalement. Le nerf circonflexe est repéré. Il est souvent déjà divisé en plusieurs branches motrices. La dissection est poursuivie en profondeur pour retrouver le tronc principal en amont de sa division. Il est caché en général par les vaisseaux circonflexes, qu'il faudra écarter. Le moignon distal est recoupé

et rabattu vers la surface. Le passage au travers du trou carré de Velpeau est alors complété aux ciseaux et au doigt en passant alternativement par les voies antérieure et postérieure. Ensuite, la suture entre greffons et moignon distal est réalisée facilement. Un passe-lacs est passé de l'avant à l'arrière au travers du trou, vient saisir l'extrémité proximale des greffons, puis est retiré délicatement, les greffons sont ainsi passés vers l'avant, et la suture proximale peut être réalisée.

Nerf sus-scapulaire

La lésion isolée du nerf sus-scapulaire avec ou sans lésion associée du nerf axillaire se situe en général à l'encoche de l'omoplate, alors que la lésion du nerf sus-scapulaire dans le cadre d'une atteinte plexuelle est plus proximale, soit dans le tronc primaire supérieur, soit lorsqu'il quitte ce tronc. Dans ce dernier cas, le nerf est exploré par une voie sus-claviculaire classique en se souvenant que le trajet du nerf sus-scapulaire est parallèle à celui du muscle omo-hyoïdien, qui est un point de repère facile à trouver. Lorsque le nerf est lésé à la hauteur de l'encoche de l'omoplate, c'est la voie d'abord transtrapézienne qui donne le meilleur jour, et, si la lésion est située au pied de l'acromion, il faut compléter cette dernière ouverture par une incision postérieure.

Voie transtrapézienne

Si l'on divise l'épine de l'omoplate en trois portions égales, l'encoche de l'omoplate se trouve à la jonction entre les deux tiers internes et le tiers externe, légèrement en avant. On dessine une incision longitudinale entre l'épine de l'omoplate et le bord libre du trapèze, parallèle à celui-ci. Discision longitudinale des fibres musculaires du trapèze. En profondeur, on tombe d'abord sur la graisse de la fosse sus-épineuse, qui est toujours traversée par un pédicule vasculaire que l'on confond régulièrement avec le pédicule qui accompagne le nerf ! Il faut rabattre cette graisse postérieurement, ce qui permet de découvrir le muscle sus-épineux, qui à son tour est écarté vers l'arrière délicatement. On a alors un excellent jour sur le ligament coracoïdien qui coiffe l'encoche. Ce ligament est sectionné à vue au bistouri, en préservant si possible l'artère qui passe au-dessus ou tout au moins en évitant de la déchirer involontairement, car l'hémostase peut s'avérer difficile au fond de ce trou ! Le nerf sus-scapulaire est alors repéré au fond de l'encoche, enrobé de graisse dans les syndromes canaux et pris dans du tissu cicatriciel

dans les atteintes traumatiques. On retrouve presque toujours la branche à destination du sous-épineux. En revanche, il arrive plus fréquemment que les branches pour le sus-épineux soient arrachées du muscle. Dans cette situation, nous réalisons une neurotisation neuromusculaire dont le résultat est franchement aléatoire entre nos mains.

Voie postérieure

L'incision est parallèle à l'épine de l'omoplate, décalée vers le bas de un travers de doigt et s'incurvant en regard de l'interligne gléno-huméral palpable. Le trapèze est désinséré de l'épine, en prenant si possible une languette périostée qui pourra être suturée. Dans la fosse sous-épineuse, on rabat vers le bas la graisse et de même pour le muscle sous-épineux. En gardant un contact osseux, on repère facilement le pied de l'acromion, le ligament spinoglénoïdien (en profondeur) et la branche terminale du nerf sus-scapulaire.

L'équipe de la Mayo Clinic propose de sortir le nerf de l'encoche pour gagner jusqu'à 23 mm de longueur, ce qui permettrait dans certaines situations d'éviter une greffe et de réaliser une suture directe après résection du névrome [4].

Nerf musculocutané

La lésion se situant dans le muscle coracobrachial, l'abord du nerf musculocutané se fait par une voie classique au travers du sillon deltopectoral. Le petit pectoral est désinséré de l'apophyse coracoïde à la demande (et sera réinséré en fin d'intervention). Le nerf est rompu à son départ du tronc secondaire antéro-externe, et la dissection du moignon proximal est aisée. En revanche, le moignon distal a filé le plus souvent dans le coracobrachial, et même au-delà. Le tendon du grand pectoral est alors gênant. Plutôt que de le désinsérer, il est préférable de faire une contre-incision longitudinale à la face antérieure du bras, repérer l'interface entre les deux chefs du biceps, aller

là en profondeur (dissection non sanglante) et retrouver le moignon distal du musculocutané. En cas de greffe, on réalise d'abord la suture distale, les greffons sont ensuite passés en arrière du grand pectoral, et on termine par la suture proximale.

Atteinte du plexus brachial C5C6

On ne saurait terminer ce chapitre sans mentionner la paralysie des muscles sus- et sous-épineux, deltoïde et biceps dans les avulsions C5C6. Dans ces cas, aucun moignon proximal n'est valable, et on aura recours à des neurotisations : la branche terminale du nerf spinal sera suturée directement au nerf sus-scapulaire, la branche pour le long triceps directement sur la branche antérieure du nerf axillaire pour les faisceaux antérieur et moyen du deltoïde [12], et deux fascicules du nerf cubital seront branchés directement sur le nerf du biceps [19]. Au dernier symposium Narakas de janvier 2007 à Porto Rico, Raimondi propose d'augmenter la force de flexion de coude par un double Oberlin inversé : deux fascicules du médian sur le nerf du biceps et deux fascicules du cubital sur le nerf du brachial antérieur. Dans le cas des lésions nerveuses périphériques traitées dans ce chapitre, on peut avoir recours à ces neurotisations distales dans des circonstances particulières (moignon proximal introuvable, manque de greffons disponibles, délai posttraumatique largement dépassé) : le délai de récupération est alors plus court (on est très près du point moteur), mais la force finale est un peu moins bonne.

Résultats

Les résultats donnés ici sont tirés de l'étude d'un collectif de 177 patients opérés d'une lésion du nerf axillaire par feu le professeur Narakas et l'auteur. Cette série complète celle publiée en 1999 [5] ; 152 cas ont été retenus avec un *follow up* suffisant.

Le tableau 3 présente la répartition des nerfs concernés par le geste chirurgical.

Tableau 3
Collectif de 177 patients opérés d'une lésion du nerf axillaire isolée ou associée à d'autres lésions neurologiques

	AX	SSCAP	MC	RAD	MED	ULN	PLX
Nbre de patients	177	50	31	16	10	4	9
Pourcentage	100	28,20 %	17,50 %	9,00 %	5,60 %	2,20 %	5,08 %

Tableau 4
Résultats de la force musculaire (échelle MRC M0-M5) (deltoïde, sus-épineux et biceps)
en fonction des nerfs opérés et du geste réalisé chez 152 patients

	M4-M5	M3	M0-M2	Total
AX greffe	86 (76,1 %)	16 (14,1 %)	11 (9,7 %)	113
AX neurolyse	21 (63,6 %)	3 (9 %)	9 (27,2 %)	33
AX autres	4 (66,6 %)	0	2 (33,3 %)	6
SS greffe	8 (50 %)	4 (25 %)	4 (25 %)	16
SS neurolyse	19 (67,9 %)	2 (7,1 %)	7 (25 %)	28
MC greffe	18 (81,8 %)	1 (4,6 %)	3 (13,6 %)	22

Tableau 5
Abduction finale de l'épaule en fonction des nerfs opérés (152 patients)

± Atteinte SS	≥ 160°	60–155°	< 60°	Total
AX isolé	68 (63 %)	21 (19,4 %)	19 (17,6 %)	108
AX + SS	14 (32 %)	18 (41 %)	12 (27 %)	44
Total	82	39	31	152

Le tableau 4 donne les résultats (en force musculaire) en fonction des nerfs et du geste réalisé, et le tableau 5, les résultats fonctionnels en fonction de l'association ou non d'une lésion du nerf sus-scapulaire.

La qualité de la récupération du deltoïde est fonction du délai entre traumatisme et réparation nerveuse, et ce de manière statistiquement significative ($p < 0,001$), le délai limite étant de 5,4 mois [5].

La longueur des greffes n'influence pas la qualité du résultat final, alors que l'âge a, comme on pouvait s'y attendre, un effet négatif, mais cela de manière non significative.

Enfin, les neurolyses présentent un risque plus élevé d'échec que les greffes nerveuses, et ce de manière significative ($p = 0,028$).

Conclusion

Tout traumatisme de la ceinture scapulaire peut entraîner des lésions orthopédiques et/ou neurologiques. L'association des deux survient dans un cas sur deux environ : 53 % des patients avec une luxation

de l'épaule ont une lésion neurologique et 46 % des patients ayant une lésion isolée du nerf axillaire sans autre atteinte neurologique ont une lésion de la coiffe (rupture tendineuse ou fracture du trochiter) [5, présente étude]. La lésion orthopédique est cliniquement symptomatique (luxation, fracture, hématome), facilement confirmée par des examens complémentaires précoces (radiographies standard, arthro-CT, IRM), et masque de ce fait la lésion neurologique, dont le diagnostic n'est fait trop souvent que tardivement. La lésion des nerfs axillaire, sus-scapulaire et/ou musculocutané doit impérativement être réparée dans un délai post-traumatique ne dépassant pas six mois, la qualité des résultats postopératoires chutant de manière significative si ce délai n'est pas respecté. C'est dire l'importance de la place du chirurgien orthopédique qui voit le patient en urgence et assume la suite du traitement. Correctement informé, il doit rechercher ces lésions neurologiques, cliniquement et par examen électromyographique, et, en cas de non-récupération à trois mois, adresser ces patients dans les plus brefs délais à un chirurgien formé en chirurgie des nerfs périphériques.

RÉFÉRENCES

- 1 Alnot JY, Jolly A. Les lésions du nerf circonflexe. *Rev Chir Orthop* 1983; 69 : 539-46.
- 2 Birch R, Jessop J, Scott G. Brachial plexus palsy after manipulation of the shoulder. *J Bone Joint Surg [Br]* 1991; 73 : 172.
- 3 Blom S, Dahlbäck LO. Nerve injuries in dislocations of the shoulder joint and fractures of the neck of the humerus. A clinical and electromyographical study. *Acta Chir Scand* 1970; 136 : 461-6.
- 4 Bodily KD, Spinner RJ, Shin AY, Bishop AT. Clinical significance of suprascapular nerve mobilization. *Clin Anat* 2005 Nov; 18 (8) : 573-9.
- 5 Bonnard C, Anastakis DJ, van Melle G, Narakas AO. Isolated and combined lesions of the axillary nerve. *J Bone Joint Surg* 1999; 81B : 212-18.
- 6 Brown TD, Newton PM, Steinmann SP, Levine WN, Bigliani LU. Rotator cuff tears and associated nerve injuries. *Orthopedics* 2000 Apr; 23 (4) : 329-32.
- 7 Chon SH, Suk Choi MS. Brachial plexus injury with emphasis on axillary nerve paralysis after thoracoscopic sympathectomy for axillary hyperhidrosis. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech* 2006 Dec; 16 (6) : 432-4.
- 8 Coene LN, Narakas AO. Operative management of lesions of the axillary nerve, isolated or combined with other nerve lesions. *Clin Neurol Neurosurg* 1992; 94 (Suppl) : S64-6.
- 9 Degeorges R, Lebellec Y, Alnot JY. [Prognostic factors of axillary nerve surgery]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2004 Apr; 90 (2) : 103-1.
- 10 Esmail AN, Getz CL, Schwartz DM, Wierzbowski L, Ramsey ML, Williams GR Jr. Axillary nerve monitoring during arthroscopic shoulder stabilization. *Arthroscopy* 2005 Jun; 21 (6) : 665-71.
- 11 Kline DG, Kim DH. Axillary nerve repair in 99 patients with 101 stretch injuries. *J Neurosurg* 2003; 99 (4) : 630-6.
- 12 Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C, Thuvasethakul P. Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II : a report of 7 cases. *J Hand Surg [Am]* 2003 Jul; 28 (4) : 633-8.
- 13 Mallon WJ, Wilson RJ, Basamania CJ. The association of suprascapular neuropathy with massive rotator cuff tears : a preliminary report. *J Shoulder Elbow Surg* 2006 Jul-Aug; 15 (4) : 395-8.
- 14 Markhede G, Monastyrski J, Srener B. Shoulder function after deltoid muscle removal. *Acta Orthop Scand* 1985; 57 : 242-4.
- 15 McCarty EC, Warren RF, Deng XH, Craig EV, Potter H. Temperature along the axillary nerve during radiofrequency-induced thermal capsular shrinkage. *Am J Sports Med* 2004 Jun; 32 (4) : 909-14.
- 16 Millesi H. Résultats tardifs de la greffe nerveuse interfasciculaire. *Rev Méd Suisse Romande* 1973; 93 : 511-9.
- 17 Narakas AO. Plexo braquial. *Terapeutica chirurgica directa. Tecnica, indicacion operatoria, resultados. Rev Orthop Traumat (Madrid)* 1972; 16 : 856-920.
- 18 Narakas AO. Lésions du nerf axillaire et lésions associées du nerf supra-scapulaire. *Rev Méd Suisse Romande* 1989; 109 : 545-56.
- 19 Oberlin C, Beal D, Leechavengvongs S. Nerve transfer to biceps muscle using a part of ulnar nerve for C5C6 avulsion of the brachial plexus : anatomical study and report of four cases. *J Hand Surg* 1994; 19A : 232-7.
- 20 Pasila M, Kiviluoto O, Jaroma H, Sundholm A. Recovery from primary shoulder dislocation and its complications. *Acta Orthop Scand* 1980; 51 : 257-62.
- 21 Petrucci FS, Morelli A, Raimondi PL. Axillary nerve injuries. 21 cases treated by nerve graft and neurolysis. *J Hand Surg [Am]* 1982; 7 : 271-8.
- 22 Prince EJ, Breien KM, Fehring EV, Mormino MA. The relationship of proximal locking screws to the axillary nerve during antegrade humeral nail insertion of four commercially available implants. *J Orthop Trauma* 2004 Oct; 18 (9) : 585-8.
- 23 Rezzouk J, Farlin F, Boireau P, Fabre T, Durandea A. [Surgical management of traumatic lesions of the axillary nerve : 83 cases]. *Chir Main* 2003 Apr; 22 (2) : 73-7.
- 24 Toolanen G, Hildingsson C, Hedlund T, Knibestöl M, Öberg L. Early complications after anterior dislocation of the shoulder in patients over 40 years. An ultrasonographic and electromyographic study. *Acta Orthop Scand* 1993; 64 : 549-52.
- 25 Vad VB, Southern D, Warren RF, Altchek DW, Dines D. Prevalence of peripheral neurologic injuries in rotator cuff tears with atrophy. *J Shoulder Elbow Surg* 2003 Jul-Aug; 12 (4) : 333-6.
- 26 Visser CP, Coene LN, Brand R, Tavy DL. The incidence of nerve injury in anterior dislocation of the shoulder and its influence on functional recovery. A prospective clinical and EMG study. *J Bone Joint Surg Br* 1999 Jul; 81 (4) : 679-85.
- 27 Visser CP, Coene LN, Brand R, Tavy DL. Nerve lesions in proximal humeral fractures. *J Shoulder Elbow Surg* 2001 Sep-Oct; 10 (5) : 421-7.
- 28 Yeap JS, Lee DJ, Fazir M, Kareem BA, Yeap JK. Nerve injuries in anterior shoulder dislocations. *Med J Malaysia* 2004 Oct; 59 (4) : 450-4.
- 29 Zhao X, Hung LK, Zhang GM, Lao J. Applied anatomy of the axillary nerve for selective neurotization of the deltoid muscle. *Clin Orthop Relat Res* 2001 Sep; (390) : 244-51.

Lésions du nerf spinal accessoire (nerf accessorius)

Accessory nerve injuries

J.-Y. ALNOT¹

RÉSUMÉ

Les paralysies du muscle trapèze par lésion du nerf spinal accessoire ou branche externe du nerf spinal se voient essentiellement après une chirurgie dite bénigne au niveau de la région cervicale et, dans la majorité des cas, sont secondaires à l'exérèse d'un ganglion cervical ou d'une petite tumeur bénigne. La symptomatologie clinique, essentiellement douleurs et sensation d'épaule lourde, est immédiate et doit attirer l'attention. Ce n'est qu'un mois ou deux après que le tableau devient typique avec l'épaule tombante, l'atrophie du trapèze, le décollement de l'omoplate et le défaut d'abduction au-delà de 90°. Il importe de faire le diagnostic de cette lésion le plus rapidement possible, car les résultats apparaissent d'autant meilleurs que la réparation nerveuse est réalisée plus précocement et les résultats des greffes nerveuses donnent de bons résultats dans toutes les séries publiées. Il apparaît donc essentiel d'attirer l'attention sur cette lésion, qui certes peut bénéficier d'une réparation secondaire par greffe nerveuse, mais qui doit surtout être évitée lors de tout abord chirurgical du triangle sus-claviculaire.

Mots clés : Nerf spinal. – Nerf accessorius.

SUMMARY

Trapezius palsies resulting from accessory spinal nerve lesions or from spinal nerve lateral branch lesions are most often encountered after a so-called minor surgical procedures on the neck region: the vast majority of these occurrences result from excisional biopsies of lymph nodes or of benign soft-tissues tumours in the area of the posterior triangle of the neck. The symptoms, entailing localized pains and shoulder impairment, are immediate after the nerve injury; however the complete typical clinical presentation with its characteristic downward shoulder shift, its trapezius atrophy, its outer and downward scapular migration and its disturbed abduction motion pattern past 90°, appears only one or two months later in the course of this injury. It is critical to diagnose as early as possible these lesions since the surgical treatment results are superior when surgery is performed early on, in the course of this lesion. In almost all the published series early nerve repairs as well as nerve grafting operations generally lead to satisfactory results if these procedures take place soon enough after the initial injury. It thus appears crucial to call everyone attention to speedily diagnose these lesions, which even if successfully amenable to secondary nerve grafting, should nevertheless be prevented by very careful surgical approaches of this neck posterior triangle during any invasive procedure in this vulnerable area.

Key words: Spinal nerve. – Accessory nerve grafting.*

La situation superficielle du nerf spinal accessoire (nerf accessorius) le rend particulièrement vulnérable lors de toute lésion traumatique. Mais les causes d'atteinte les plus fréquentes de ce nerf sont iatrogènes, lors des curages ganglionnaires, exérèses de tumeur bénigne ou bien de simples biopsies ganglionnaires.

Ces lésions posent des problèmes médico-légaux, et l'analyse des actions en justice intentées contre des chirurgiens fait apparaître une grande fréquence de procès pour lésions de ce nerf après ce type d'intervention.

Anatomie

Le nerf spinal, ou onzième nerf crânien, est un nerf purement moteur. Il s'agit en fait de la juxtaposition de deux nerfs fondamentalement différents, aussi bien par l'origine que par la destination, mais accolés par l'anatomie :

- le nerf spinal médullaire naissant par cinq ou six radicules du cordon latéral de la moelle cervicale haute ;
- le nerf spinal bulbaire naissant par quatre au cinq radicules du sillon collatéral postérieur du bulbe.

¹ Ancien chef du service de chirurgie orthopédique et traumatologique de l'hôpital Bichat, chirurgien consultant

* Remerciements au Docteur C. Msika pour la traduction en anglais du résumé

Le nerf spinal médullaire monte dans le canal rachidien et entre dans la fosse postérieure par le trou occipital. Il s'unit alors à la racine bulbaire, constituant le tronc du nerf spinal, qui, traversant le trou déchiré postérieur, gagne l'espace rétrostylien.

Il se divise alors en ces deux branches terminales :

- branche interne destinée au nerf pneumogastrique ;
- branche externe essentiellement constituée par les fibres d'origine médullaire, destinée aux muscles sterno-cléido-mastoïdien et trapèze.

C'est cette branche externe [1] qui nous intéresse, et il faut signaler que, du fait de son incursion intracrânienne, elle se trouve protégée et est en règle générale indemne dans les traumatismes par élévation du plexus brachial.

Cette branche externe traverse tout d'abord l'espace rétrostylien dans l'interstice situé entre l'apophyse mastoïde et l'extrémité supérieure de la branche montante du maxillaire inférieur. C'est là qu'il faut rechercher en zone saine le bout proximal du nerf dans les réparations des lésions proximales du nerf spinal, assez souvent secondaires à une excision ganglionnaire.

La voie d'abord est en avant de l'extrémité supérieure du muscle sterno-cléido-mastoïdien sous le muscle digastrique. Le bord postérieur de la glande parotidienne est récliné en avant, laissant apparaître la veine jugulaire interne. La branche externe du nerf spinal passe en avant de la veine, c'est-à-dire superficiellement pour l'opérateur dans 75 % des cas.

Puis la branche externe du nerf spinal aborde la face profonde du nerf sterno-cléido-mastoïdien à l'union tiers supérieur-tiers moyen en arrière de l'angle de la mâchoire, 3 cm sous la pointe de la mastoïde. Elle traverse le muscle entre le chef profond cléidomastoïdien et le chef superficiel cléido-occipital, leur abandonnant un rameau moteur.

Dans le creux sus-claviculaire, le nerf spinal descend obliquement dans le dièdre constitué par les muscles sterno-cléido-mastoïdien et trapèze recouverts par les aponévroses cervicales superficielle et moyenne, ainsi que par les branches du plexus cervical superficiel (figure 1).

Le nerf aborde le muscle trapèze par sa face profonde, 5 cm au-dessus de la clavicule. Il détache progressivement deux ou trois fins rameaux destinés à la partie supérieure du muscle, tandis que se poursuit le tronc nerveux, qui va innover le faisceau moyen, puis le faisceau inférieur, du muscle trapèze.

Le nerf spinal est constitué en quasi-totalité de fibres motrices, mais il contient également, comme tous les nerfs musculaires, un petit contingent de fibres végétatives. Sa constitution fasciculaire est variable en fonction du niveau considéré, et le nombre de fibres nerveuses myélinisées est de l'ordre de 1 700 à 2 000 fibres.

Son diamètre est relativement faible, de l'ordre de 2 mm, et son calibre est peu différent de celui du nerf saphène externe utilisé comme greffon.

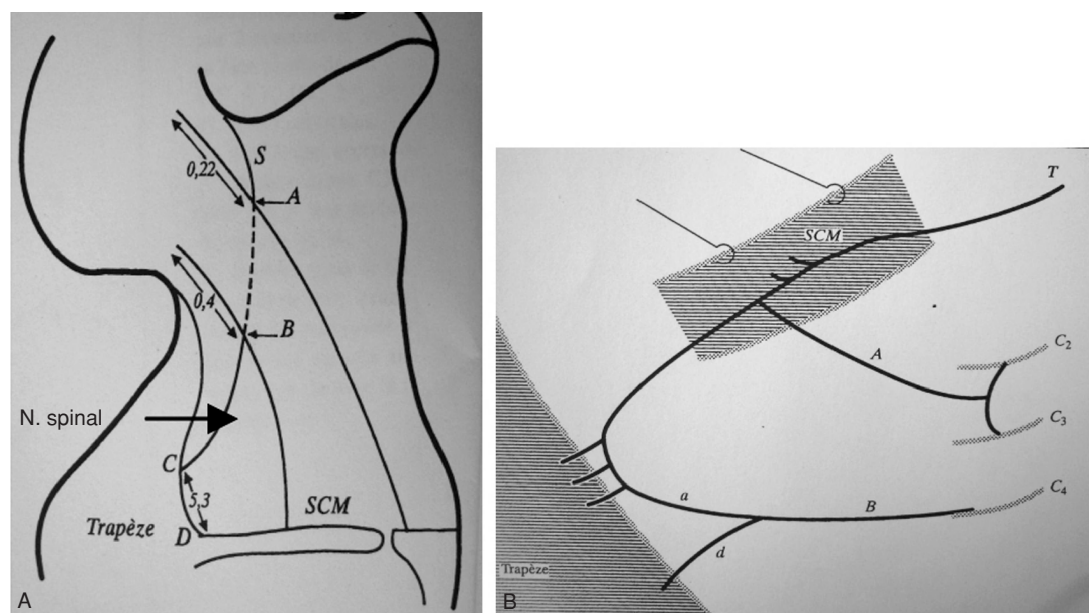


Figure 1. 1A : anatomie du nerf spinal avec ses points d'émergence, (A) au bord inférieur du sterno-cléido-mastoïdien, et (B) au bord supérieur du muscle trapèze, 5 cm au-dessus de la clavicule. 1B : participation du plexus cervical profond à l'innervation du muscle trapèze, essentiellement pour le faisceau inférieur.

Le muscle trapèze, muscle triangulaire, large, aplati et mince, est le plus superficiel des muscles de la région postérieure du cou et s'étend de la colonne cervicodorsale à l'épaule. On lui décrit un faisceau supérieur, un faisceau moyen et un faisceau inférieur.

Le nerf spinal accessoire innerve seul le faisceau supérieur, mais, en ce qui concerne le faisceau moyen et inférieur, il existe incontestablement une participation du plexus cervical profond, soit par des anastomoses avec le nerf spinal accessoire, soit directement par les branches de ce muscle au muscle trapèze [1].

Tableau clinique

Les modalités d'installation des troubles sont quasi univoques et rejoignent les données de la littérature [2, 4, 5, 7, 8, 11, 13, 17].

L'impotence est apparue le plus souvent immédiatement après une lésion traumatique ou après une biopsie ganglionnaire. Si cette biopsie ganglionnaire a été faite sous anesthésie locale, les patients ont presque

toujours la notion d'un ressaut par rotation brusque de l'épaule au moment de l'intervention.

Les premiers troubles constatés ont été des douleurs ou des sensations d'impotence fonctionnelle, mais le déficit moteur n'a été parfois constaté nettement qu'avec un retard de quelques semaines. Ces délais enregistrés semblent plutôt attribuables à des retards de prise de conscience, la gêne de même que le déficit moteur pouvant avoir été au début méconnus ou mal analysés, confondus avec les autres conséquences immédiates de l'acte chirurgical, et nos constatations regroupent celles de la littérature.

Osgaard [12] a constaté que tous les patients ont des difficultés à l'habillage avec une épaule lourde dans les heures suivant l'intervention.

Dans les jours suivants apparaît la douleur scapulaire avec des irradiations fréquentes à l'épaule et/ou au bras, et, après un mois ou deux, le tableau devient typique avec l'épaule tombante, l'atrophie du trapèze, le décollement de l'omoplate et le défaut d'abduction au-delà de 90° (figure 2).

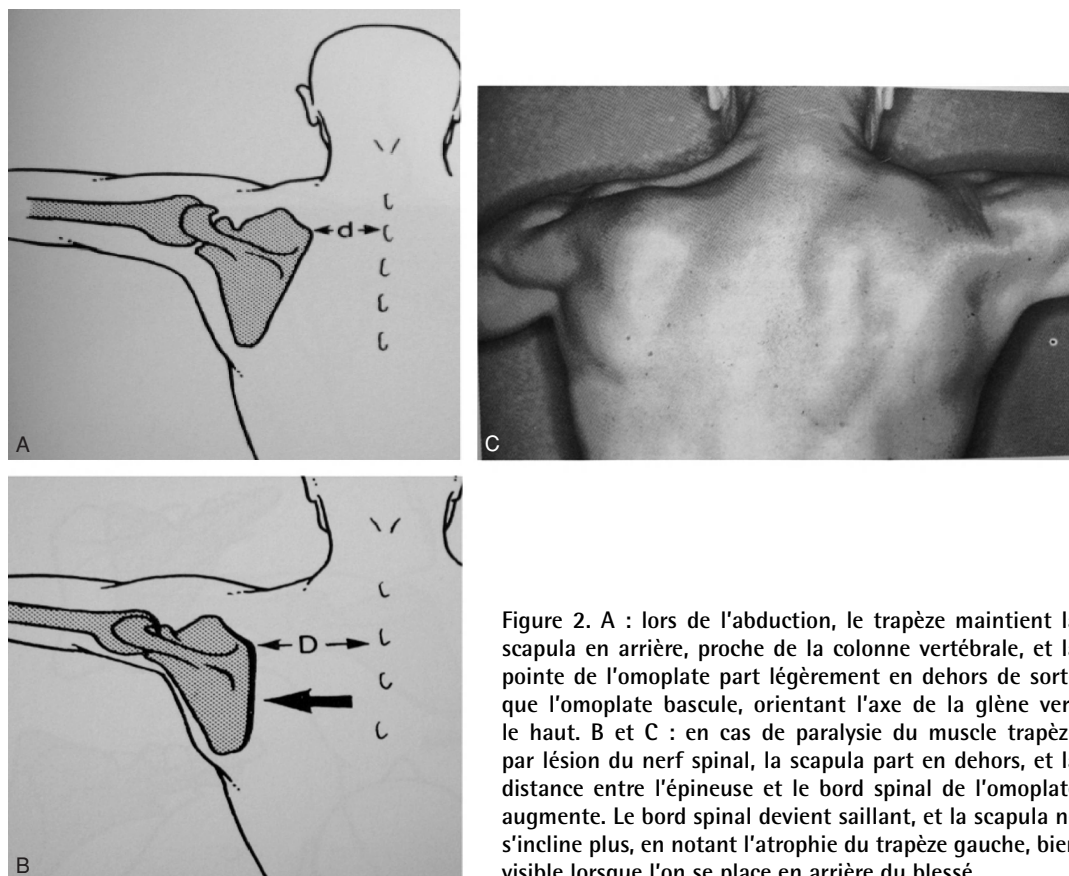


Figure 2. A : lors de l'abduction, le trapèze maintient la scapula en arrière, proche de la colonne vertébrale, et la pointe de l'omoplate part légèrement en dehors de sorte que l'omoplate bascule, orientant l'axe de la glène vers le haut. B et C : en cas de paralysie du muscle trapèze par lésion du nerf spinal, la scapula part en dehors, et la distance entre l'épineuse et le bord spinal de l'omoplate augmente. Le bord spinal devient saillant, et la scapula ne s'incline plus, en notant l'atrophie du trapèze gauche, bien visible lorsque l'on se place en arrière du blessé.

L'élévation du moignon de l'épaule, qui est limitée pour la plupart des malades, peut dans certains cas être possible malgré la paralysie complète du trapèze grâce à la suppléance de certains muscles agonistes comme l'angulaire de l'omoplate.

Enfin, l'étude électromyographique doit être réalisée sur les trois faisceaux du trapèze en notant que, sur les faisceaux moyen et inférieur, la dénervation peut n'être que partielle du fait d'une innervation concomitante par le plexus cervical profond.

Traitement

Il importe de faire le diagnostic de la lésion nerveuse le plus rapidement possible, car les résultats apparaissent d'autant meilleurs que la réparation est réalisée plus précocement.

Si, après un traumatisme, le malade est vu en urgence ou si le nerf est lésé accidentellement lors d'une biopsie ganglionnaire, il est alors possible de réaliser une suture nerveuse primaire. Dans le cas contraire, la réparation par greffe la plus précoce possible doit être réalisée [2, 12, 14, 17].

Dans la littérature, 75 à 80 % des lésions du nerf spinal accessoire sont d'origine iatrogène, secondaires à une intervention chirurgicale au niveau de la région cervicale, essentiellement des biopsies ganglionnaires ou de kystes sous-cutanés.

La voie d'abord sera centrée sur la plaie initiale ou l'incision cutanée de manière à repérer le bout distal du nerf à son entrée dans le muscle trapèze, et la connaissance de l'anatomie est alors très importante, en notant que le bout distal est le plus souvent facilement retrouvé.

Le problème se situe en effet pour le bout proximal, que l'on retrouvera au bord inférieur du muscle sterno-cléido-mastoïdien; la stimulation peropératoire peut aider en obtenant alors une contraction du muscle sterno-cléido-mastoïdien.

La lésion siège le plus souvent dans le triangle cervical, mais, dans certains cas, la lésion peut être plus proximale, et il faut alors aborder le nerf au-dessus du muscle sterno-cléido-mastoïdien, qui aura, bien sûr, été testé en préopératoire.

Les deux extrémités nerveuses étant repérées, une greffe nerveuse par un toron du nerf saphène externe est en général réalisée sur une longueur allant de 3 à 9 cm.

Quelques cas dans la littérature ont signalé l'absence de bout distal; la technique de neurotisation intramusculaire préconisée par Brunelli [3] peut alors être nécessaire.

Enfin, le nerf peut avoir été l'objet d'une simple contusion, et une neurolyse sera alors suffisante.

Résultats

La récupération complète demande souvent un an ou plus, avec globalement de bons résultats avec greffe nerveuse, résultats d'autant meilleurs que l'intervention est pratiquée plus précocement. Il faut souligner qu'un diagnostic précoce associé à l'amélioration des techniques microchirurgicales fait que la réparation par greffe nerveuse donne d'excellents résultats sur ce nerf musculaire avec une lésion proche de son effecteur.

Dans les cas vus tardivement ou après échec de la réparation nerveuse, les transferts musculaires utilisant les muscles angulaire et rhomboïde peuvent améliorer la situation [6, 9, 10, 15, 16].

Il faut par ailleurs insister sur le fait que le nerf spinal accessoire ou branche externe du nerf spinal est très vulnérable au niveau du cou, et particulièrement au niveau du triangle sus-claviculaire; une attention toute particulière doit être portée lors de l'abord chirurgical de cette région.

Le chirurgien doit effectuer celle-ci selon des règles strictes, même pour une simple biopsie ganglionnaire.

Il faut tester le muscle trapèze avant l'intervention, dessiner les repères anatomiques au crayon thermographique, dessiner le trajet théorique de la branche trapézienne, utiliser la stimulation opératoire et enfin éviter les hémostases à l'aveugle.

Conclusion

Les paralysies du muscle trapèze par lésion du nerf spinal accessoire se voient essentiellement après une chirurgie bénigne au niveau de la région cervicale; il est donc essentiel d'attirer l'attention sur cette lésion, qui certes peut bénéficier d'une réparation secondaire par greffe nerveuse, mais qui doit surtout être évitée lors de tout abord chirurgical du triangle sus-claviculaire.

RÉFÉRENCES

- 1 Aboujaoude J, Alnot JY, Oberlin C. Le nerf spinal accessoire (n. accessorius), étude anatomique. *Rev Chir Ortho* 1994; 80 : 291-6.
- 2 Alnot JY, Aboujaoude J, Moulrier C. Les lésions traumatiques du nerf spinal accessoire (n. accessorius), étude clinique et résultats d'une série de 25 cas. *Rev Chir Ortho* 1994; 80 : 297-304.
- 3 Brunelli G. Les neurotisations musculaires directes. *Ann Chir Main* 1989; 8 : 324-8.
- 4 Carenfelt C, Eliasson K. Occurrence, duration and prognosis of unexpected accessory nerve paresis in radical neck dissection. *Acta-Otolaryngol (Stockh)* 1980; 90 : 470-3.
- 5 Demottaz JD, Burdet A. Les paralysies du trapèze. *Schweiz Med Wochenschr* 1978; 108 : 854-7.
- 6 Dewar FP, Harris RL. Restoration of function of the shoulder following paralysis of the trapezius by fascial sling fixation and transplantation by the levator scapulae. *Am Surg* 1950; 132 : 1111-5.
- 7 Eden R. Zur Behandlung der trapezius lähmung mittels muskel plastik. *Dtsch Z Chir* 1924; 5 : 183-387.
- 8 Hubault A, Fages A. Une pseudo-périarthrite de l'épaule. La paralysie du trapèze par lésion chirurgicale du nerf spinal. *Sem Hôp Paris* 1972; 48 : 3029-37.
- 9 Lange M. Die Behandlung des irreparablen trapezius among langebecks. *Arch Klin Chir* 1951; 270 : 437-9.
- 10 Langenskjod A, Ryoppy S. Treatment of paralyses of the trapezius muscle by Eden-lange operation. *Acto Orthop Scand* 1973; 44 : 383-8.
- 11 Narakas A. Examen du patient et de la fonction des divers groupes musculaires du membre supérieur. In : Alnot JY, Narakas A. *Les paralysies du plexus brachial*. 2^e éd. Paris : Expansion scientifique française; 1995. p. 52-67.
- 12 Osgaard D, Eskensen V. Microsurgical repair of iatrogenic accessory nerve lesions in the posterior triangle of the neck. *Acta Chir Scand* 1987; 153 : 171-3.
- 13 Schernberg F, Gerard Y. Une pseudo-périarthrite de l'épaule. La paralysie du muscle trapèze par lésion chirurgicale du nerf spinal. *Ann Orthop Traumatol Est* 1979; 11 : 6.
- 14 Sedel L, Abols Y. Les lésions iatrogènes du nerf spinal. Réparation microchirurgicale. *Presse Med* 1983; 12 : 1711-3.
- 15 Teinturier P. Traitement de la paralysie du trapèze par transplantation de l'angulaire de l'omoplate. *Rev Chir Orthop* 1990; 76 : 297-302.
- 16 Valtonen EJ, Lillus HG. Late sequelae of iatrogenic spinal accessory nerve injury. *Acta Chir Scand* 1974; 140 : 453-5.
- 17 Vastamaki M, Solonen KA. Accessory spinal nerve injury. *Acta Orthop Scand* 1984; 55 : 296-9.

Lésions proximales des nerfs médian et ulnaire

High median and ulnar nerve injuries

M. CHAMMAS¹, C. LAZERGES¹, B. COULET¹, F. LACOMBE¹

RÉSUMÉ

Les lésions proximales des nerfs médian et ulnaire, plus rares que les lésions à l'avant-bras ou au poignet, sont fréquemment associées dans le cadre d'un traumatisme complexe du membre. La réparation par suture directe, lorsqu'elle est possible, est le traitement de choix de ces lésions proximales loin des effecteurs afin de minimiser la perte axonale et de diminuer le délai de réinnervation. Raccourcissement limité du squelette en cas de fracture, transposition antérieure du nerf ulnaire peuvent aider à la coaptation directe des extrémités nerveuses. En cas de perte de substance étendue, de contusion des extrémités nerveuses, de traumatisme pluritissulaire grave, il est souhaitable de repérer sur place les extrémités nerveuses pour éviter une rétraction qui augmenterait la perte de substance nerveuse et de faire une réparation secondaire. Le délai de la réparation nerveuse secondaire doit être le plus court possible. Il dépend du délai de cicatrisation des lésions des parties molles associées. La place de chirurgie palliative est discutée.

Mots clés : Lésions hautes nerf médian nerf ulnaire. – Réparation nerveuse. – Transposition nerf ulnaire.

SUMMARY

High median and ulnar nerve lesion are less frequent than lesion at the wrist of forearm level. Severe combined lesions are frequently observed especially vascular injury. Primary or secondary nerve sutures when it is possible is the treatment of choice. Bone shortening when fractured or ulnar nerve transposition can facilitate direct nerve coaptation under physiologic tension when nerve loss of substance is limited. In case of large loss of substance, nerve contusion or complex injury of the upper limb, delayed nerve repair is advised as soon as soft tissue healing and bone stabilisation are obtained. Residual deficit following nerve repair should require functional transfers depending on hand sensibility and extrinsic function.

Key words: High median ulnar nerve lesion. – Nerve repair. – Ulnar nerve transposition.

Introduction

Les lésions proximales des nerfs médian et ulnaire concernent les atteintes du nerf médian siégeant au-dessus de l'émergence de la branche d'innervation du muscle pronator teres, et les atteintes du nerf ulnaire siégeant au-dessus de l'émergence de la branche d'innervation du muscle flexor carpi ulnaris [13].

Ces lésions sont plus rares que celles siégeant à l'avant-bras et au poignet. Il faut souligner la fréquence des lésions vasculaires graves associées.

Les indications respectives des réparations nerveuses et de la chirurgie palliative font l'objet de controverses [16, 25] compte tenu de la distance séparant la lésion

de effecteurs représentant un facteur de pronostic péjoratif pour la réinnervation distale.

Rappel anatomique

Anatomie macroscopique

Le nerf médian naît de deux racines provenant des faisceaux latéraux et médiaux du plexus brachial en regard du col chirurgical de l'humérus lorsque l'épaule est à 90° d'abduction. Le nerf médian chemine en médial par rapport au biceps et en latéral par rapport à l'artère humérale. En principe, le médian ne donne aucune collatérale vers les muscles du bras. Toutefois, le nerf pour le rond pronateur peut émerger jusqu'à

¹ Service de chirurgie de la main et du membre supérieur, hôpital Lapeyronie, CHU de Montpellier, 34295 Montpellier cedex 5, France

7 cm en proximal par rapport aux épicondyles. Il peut y avoir aussi une branche provenant du nerf musculocutané qui le rejoint au 1/3 moyen du bras dans 8 à 36 % des spécimens [12]. Plus rarement, une ou plusieurs branches à destination du biceps ou du brachialis peuvent exister.

Le nerf ulnaire naît du faisceau médial du plexus brachial au niveau du petit pectoral. Le nerf reste en médial et postéro-médial par rapport à l'artère humérale jusqu'au bord inférieur du grand pectoral puis diverge pour percer le septum intermusculaire médial 8 cm en amont de l'épicondyle médial. Le nerf accompagné par les branches supérieure et inférieure de l'artère collatérale ulnaire traverse la gouttière épicondylo-olécraniennne. Le nerf ulnaire normalement ne donne pas de branche pour les muscles du bras. Une branche pour le fléchisseur ulnaire du carpe peut naître 1 cm en amont de l'épicondyle médial.

Anatomie microscopique

Du fait de la situation proximale loin des effecteurs, il n'y a pas d'organisation fasciculaire ciblée et les fibres sont dispersées sans cartographie nerveuse.

Vascularisation neurale [9, 24]

La vascularisation du nerf ulnaire au bras est principalement apportée par le réseau collatéral ulnaire, surtout l'artère collatérale ulnaire supérieure et inconstamment par l'artère humérale et l'artère axillaire. Le nerf médian reçoit une vascularisation étagée segmentaire à partir de l'artère axillaire puis de l'artère humérale.

Variations d'innervation et anastomoses médio-ulnaires

Ces variations et anastomoses permettent d'expliquer des atypies dans les territoires déficitaires et méritent d'être connues afin de ne pas les confondre avec des signes de récupération.

Anastomose de Martin-Grüber [12]

L'anastomose de Martin-Grüber, retrouvée dans 15 % des cas, consiste en une communication anormale qui transporte des fibres motrices du nerf médian vers le nerf ulnaire au niveau de l'avant-bras. Il s'agit de l'innervation à destinée de certains muscles intrinsèques normalement innervés par le nerf ulnaire : 1^{er} interosseux dorsal, adductor pollicis, abductor digiti quinti et moins fréquemment, les 2^e et 3^e interosseux dorsaux.

Une anastomose de Martin-Grüber peut être suspectée :

- en cas de lésion haute du nerf médian s'il y a un déficit de muscles intrinsèques innervés habituellement par le nerf ulnaire ;
- en cas de lésion haute du nerf ulnaire sans déficit intrinsèque alors que le fléchisseur ulnaire du carpe et le fléchisseur profond du 5^e doigt sont paralysés.

Anastomose de Riche-Cannieu [12]

Il s'agit d'une communication classiquement entre la branche pour le chef superficiel du court fléchisseur du pouce venant du rameau thénarien et la branche pour le chef profond du court fléchisseur du pouce venant de la branche profonde du nerf ulnaire. Elle est retrouvée dans 77 % des dissections de préparations anatomiques conservées et virtuellement dans tous les cas de préparations fraîches. Cette communication explique l'innervation variable du court fléchisseur du pouce et le retentissement variable au niveau de l'opposition du pouce et du signe de Froment respectivement des lésions du nerf médian et du nerf ulnaire.

Une anastomose de Riche-Cannieu peut être suspectée en cas :

- de persistance d'une opposition du pouce en cas de section complète du nerf médian, si le chef superficiel du court fléchisseur du pouce n'est pas paralysé ;
- d'absence de signe de Froment en cas de section complète du nerf ulnaire, si le chef profond du court fléchisseur du pouce est innervé par le médian.

Du point de vue clinique, ces variations d'innervation se traduisent par :

- une innervation complète des muscles thénariens par le nerf ulnaire dans 2 % des cas et par le nerf médian dans 2 % des cas aussi [21] ;
- le court fléchisseur du pouce reste fonctionnel dans 58 % des sections complètes du nerf ulnaire et dans 73 % des sections complètes du nerf médian [21] ;
- Jensen [15] considère qu'un transfert d'opposition du pouce n'est justifié que dans 14 % des paralysies complètes isolées du nerf médian.

Innervation des lombricaux et des fléchisseurs profonds correspondants

Le lombrical est innervé par le même nerf médian ou ulnaire que le fléchisseur profond correspondant. Classiquement, dans 50 % des cas, les deux premiers lombricaux et les fléchisseurs profonds de l'index et du médus sont innervés par le nerf médian. Les deux derniers et les fléchisseurs profonds de l'annulaire et de l'auriculaire sont innervés par le nerf ulnaire. De façon quasi constante, le 1^{er} lombrical et le fléchisseur profond de l'index sont innervés par le nerf médian.

Pour les autres, de nombreuses variations existent. Le médian débord plus souvent du côté ulnaire que le nerf ulnaire du côté médian.

Anastomose de Berrettini [12]

Cette branche de communication entre nerfs digital commun du 4^e espace provenant du nerf ulnaire et nerf digital commun du 3^e provenant du nerf médian immédiatement sous l'arcade palmaire superficielle est très fréquente, retrouvée entre 80 et 92 % des cas. Cela peut expliquer une sensibilité persistante du bord radial du 4^e doigt après section complète du nerf médian.

Étiologies et lésions associées

Étiologies

Les plaies ont de meilleurs résultats post-opératoires que les traumatismes par élongation [4, 8]. Les traumatismes balistiques sont caractérisés souvent par des pertes de substance pluritissulaires (figure 1).

Lésions associées

Les lésions associées sont fréquentes et graves. Cavanagh, Bonney et Birch, en 1987 [8], ont rapporté dans une série de 89 patients porteurs de lésions infra-claviculaires, une rupture de l'artère axillaire dans 46 % des cas. Les résultats post-opératoires en cas de lésion vasculaire étaient les plus mauvais notamment en raison des séquelles d'ischémie distale. Ils insistent sur les difficultés opératoires lors de la réparation nerveuse secondaire après chirurgie vasculaire initiale, notamment prothétique, pouvant conduire à l'abstention thérapeutique.

Dans la série de Dumont et Alnot [13], 17 patients avaient une lésion osseuse : fracture de l'humérus, ou fracture et luxation du coude. Dans trois cas, il existait une perte de substance tissulaire étendue qui a nécessité la réalisation d'un lambeau de couverture. Neuf patients étaient des polyfracturés, trois des polytraumatisés. Un patient présentait une amputation complète. Une dévascularisation du membre avait conduit à une réparation vasculaire chez 16 patients.



Figure 1. A, B, C : paralysie médio-ulnaire haute par traumatisme balistique au creux axillaire.

Particularités de la réparation nerveuse

En cas de section franche, la suture primitive, lorsque cela est possible, est préférable en urgence ou urgence différée.

En cas de perte de substance nerveuse, de contusion des extrémités du nerf et/ou de lésion pluritissulaire grave, le repérage des extrémités qui sont fixées non rétractées est préférable [13]. Une réparation nerveuse secondaire sera effectuée dès que l'environnement tissulaire le permettra par suture si la perte de substance est limitée et si la mobilisation du nerf le permet. Sinon une greffe nerveuse sera réalisée.

En cas de perte de substance du nerf ulnaire, celui-ci sera transposé en avant de l'épicondyle médial. Il faut veiller à préserver sa vascularisation lors de la transposition. La transposition antérieure du nerf ulnaire permet un meilleur environnement trophique et surtout un gain de longueur entre 5 et 6 cm si le coude est fléchi [24]. La transposition peut parfois permettre une suture directe au lieu d'une greffe.

En cas de fracture diaphysaire de l'humérus a fortiori comminutive, un raccourcissement osseux lors de l'ostéosynthèse peut parfois permettre une coaptation directe du ou des nerfs sous une tension physiologique.

Devant une perte de substance importante à la fois du nerf médian et du nerf ulnaire, la réparation du nerf médian est privilégiée pour essayer de récupérer la sensibilité de la main et des fonctions extrinsèques. Une greffe vascularisée pédiculée du nerf ulnaire sur le nerf médian (figure 2) peut alors être effectuée [13]. La restauration des fonctions liées au nerf ulnaire sera laissée à la chirurgie palliative secondaire.

Résultats de la réparation nerveuse

Résultats sensitifs et moteurs

Il est déjà bien connu que les résultats des réparations nerveuses proximales sont moins bons que ceux obtenus après lésions distales [1, 3, 5, 6, 11, 17, 22-24, 26]. Comme cela est détaillé dans le chapitre consacré à la dégénérescence et à la régénération des nerfs périphériques et des effecteurs traité dans cette monographie par Coulet, la dégénérescence des effecteurs moteurs et sensitifs survenant au cours du délai nécessaire à la repousse axonale de lésions nerveuses proximales, qui s'aggrave encore lorsque le délai entre la lésion initiale et la réparation nerveuse est important, peut

aboutir à un échec fonctionnel, indépendant de la qualité technique de la réparation nerveuse [6]. À la partie proximale des membres, il n'y a pas de cartographie nerveuse précise, ce qui empêche l'opérateur de pouvoir contrôler l'appariement fasciculaire entre bouts proximal et distal, et ce d'autant plus qu'il existe une perte de substance. Les erreurs d'appariement fasciculaire augmentent.

Peu de séries font état d'une analyse spécifique des lésions proximales des nerfs médians et ulnaires. Les méthodes d'évaluation sont différentes et rendent difficiles leur comparaison.

Birch *et coll.* selon leurs critères d'évaluation (tableau 1) rapportent 17 bons résultats, 48 moyens sur 117 cas après réparation du nerf médian au creux axillaire ou au bras et 10 bons, 47 moyens après réparation du nerf ulnaire au creux axillaire ou au bras. Ces auteurs utilisaient une classification pour évaluer les résultats moins exigeants que pour les lésions distales.

Dans leur série de Dumont et Alnot [13] rapportent de bien meilleurs résultats. 45 patients ont été revus avec un recul minimum de 24 mois post-opératoire avec une grille d'évaluation spécifique (tableau 2). Les âges se répartissaient de 7 ans à 56 ans avec une moyenne de 28 ans. 24 patients présentaient une lésion isolée du nerf ulnaire, 12 présentaient une lésion isolée du nerf médian, et neuf présentaient une lésion combinée médio-ulnaire. Chez dix patients une lésion du nerf radial était associée aux lésions des nerfs médian et ulnaire. La répartition des lésions des nerfs médian et ulnaire en fonction de leur siège, montrait une prédominance des lésions du nerf ulnaire au coude. Ont été réalisées 11 sutures nerveuses primaires, huit sutures secondaires ou resection-sutures, et 35 greffes nerveuses, incluant quatre greffes combinées des nerfs médian et ulnaire. Le délai moyen entre la lésion nerveuse initiale et les interventions de réparations nerveuses secondaires était de sept mois avec des extrêmes compris entre un et 33 mois.

Dans les lésions isolées du nerf médian, la récupération de la fonction extrinsèque de la main et de la sensibilité était satisfaisante. Le déficit résiduel prédominant concernait l'opposition du pouce par déficit intrinsèque. Un seul patient a cependant accepté la réalisation d'un transfert d'opposition après récupération d'une pince extrinsèque. Il y avait dans 90 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles extrinsèques, dans 40 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles intrinsèques, et dans 80 % des cas une sensibilité au minimum à S3 de l'index. Dix des 12 patients présentant une lésion isolée du nerf médian avaient un résultat objectif global bon ou très bon.

Les lésions isolées du nerf ulnaire aboutissaient fréquemment à des déficits de la fonction intrinsèque des doigts et du pouce. C'est dans ces cas que les palliatifs ont été le plus souvent réalisés après récupération de la fonction extrinsèque, en tenant compte d'une demande fonctionnelle variable. Les auteurs ont observé dans 90 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles extrinsèques, dans 60 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles intrinsèques, et dans 80 % des cas une sensibilité au minimum à S3 du 5^e doigt. Le résultat objectif global après réparation des lésions du nerf ulnaire était significativement

meilleur, s'il avait été réalisée une transposition antérieure du nerf, quelque soit le type de réparation.

Ce sont les lésions associées médio-ulnaires qui donnaient les moins bons résultats. Aucun des neuf patients présentant une lésion associée médio-ulnaire n'avait un très bon résultat, seuls deux patients avaient un bon résultat. Ils ont observé dans 65 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles extrinsèques innervés par le nerf médian, dans 55 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles extrinsèques innervés par le nerf ulnaire, dans 40 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles

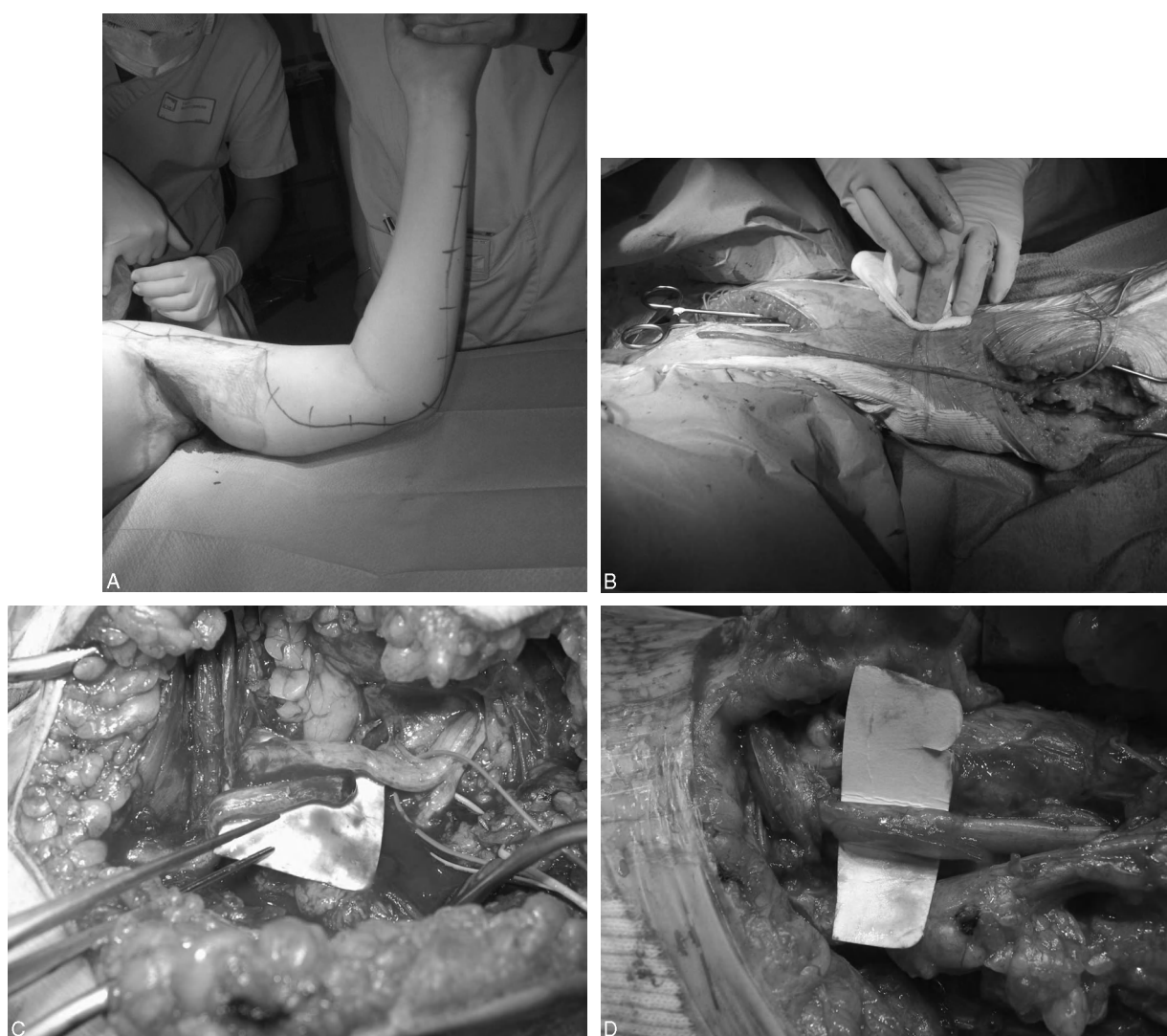


Figure 2. Greffe de nerf ulnaire vascularisée pédiculée sur le réseau collatéral ulnaire et retournée pour ponter la perte de substance du nerf médian en raison d'une perte de substance de plus de 10 cm des nerfs médian et ulnaire posant le problème de l'insuffisance des greffes conventionnelles. A : voie d'abord ; B : la greffe est passée à l'écart de la zone cicatricielle ; C : anastomose proximale par suture et colle biologique ; D : saignement de l'extrémité proximale de la greffe vascularisée de nerf ulnaire ; E : anastomose proximale au niveau du bout proximal du nerf médian en zone saine.

Tableau 1
Classification des résultats après réparation de lésions hautes des nerfs médian et ulnaire selon Dumont et Alnot

	Lésions isolées du nerf médian		Lésions isolées du nerf ulnaire		Lésions isolées des nerfs médian et ulnaire	
	sensibilité	testing moteur	sensibilité	testing moteur	sensibilité médian	testing moteur
très bon	$\geq S3+$	ME ≥ 4	$\geq S3+$	MI ≥ 4	$\geq S3+$	MI ≥ 4
bon	$\geq S3$	ME ≥ 3	$\geq S3$	MI ≥ 3	$\geq S3$	MI ≥ 3
moyen	$\geq S2$	ME ≥ 3	$\geq S2$	MI ≥ 3	$\geq S2$	MI ≥ 3
mauvais	S0 ou S1	ME ≥ 0	S0 ou S1	MI ≥ 0	S0 ou S1	MI ≥ 0

ME : muscles extrinsèques innervés par le nerf médian.

MI : muscles intrinsèques innervés par le nerf ulnaire.

Tableau 2
Évaluation des résultats après réparation de lésions hautes des nerfs médian et ulnaire selon Birch

Nerf médian	
Bon	Longs fléchisseurs $\geq$ ou = M4 Sensibilité discriminative sans hypersensibilité Retour de la transpiration
Moyen	Longs fléchisseurs à M3 ou M3+ Sensibilité de protection, peu ou pas d'hypersensibilité Transpiration absente ou diminuée
Mauvais	Longs fléchisseurs $<$ ou = M2 Sensibilité de protection et importante hypersensibilité ou pas de sensation
Nerf ulnaire	
Bon	FCU et FDP IV et V $\geq$ ou = M4 Muscles intrinsèques $\geq$ ou = M2 Sensibilité S3 Retour de la transpiration
Moyen	FCU et FDP IV et V à M3 ou 3+ Muscles intrinsèques M0 Sensibilité de protection, hypersensibilité modérée Transpiration absente ou diminuée
Mauvais	FCU et FDP IV et V $<$ ou = M2 Muscles intrinsèques M0 Sensibilité de protection et importante hypersensibilité ou pas de sensation Transpiration absente

intrinsèques innervés par le nerf médian, dans 20 % des cas une récupération au minimum à M3 des muscles intrinsèques innervés par le nerf ulnaire, dans 65 % des cas une sensibilité au minimum à S3 de l'index, et dans 55 % des cas une sensibilité au minimum à S3 du 5^e doigt.

L'analyse de la répartition des résultats objectifs globaux en fonction du délai séparant la lésion de la réparation nerveuse définitive, et du type de réparation nerveuse montrait que seules les lésions opérées avant six mois donnaient de très bons résultats. Les greffes nerveuses avaient le moins bon pronostic (40 % de bons et très bons résultats). Les réparations primitives par suture donnaient les meilleurs résultats (70 % de bons et très bons résultats) et les sutures secondaires des résultats intermédiaires (60 % de bons et très bons résultats). La longueur de la greffe n'influa pas sur le résultat final.

Dans cette série, les auteurs notaient toutefois que la récupération intrinsèque était faible ou modeste. Les transferts tendineux secondaires ont été surtout réalisés dans les séquelles de lésion ulnaire.

Les différences au niveau des résultats sur les intrinsèques entre ces deux séries peuvent être expliquées par la difficulté de leur analyse spécifique et leur hétérogénéité.

Influence du délai opératoire

Barrios [2], considère que lorsque le délai entre la lésion initiale et la réparation nerveuse dépasse un an, la réparation nerveuse est inutile. Dumont et Alnot [13] ont obtenu leurs meilleurs résultats si la lésion a été opérée avant le 6^e mois post-opératoire. Toutefois, ils ont obtenu 2/3 de résultats utiles lorsque ce délai dépassait 12 mois. D'après ces auteurs, une réparation microchirurgicale, même tardive, peut améliorer ces patients en atténuant le névrome proximal du nerf et en procurant une sensibilité, même rudimentaire, à la main. La récupération motrice est plus improbable, en particulier des intrinsèques, mais la réparation nerveuse peut éviter d'avoir à réaliser des transferts palliatifs extrinsèques en cas de récupération partielle.

Il faut toutefois mettre en balance le délai d'attente d'une éventuelle récupération ajouté au délai opératoire avec le temps nécessaire à obtenir un résultat après chirurgie palliative. À côté du délai, doivent être aussi considérés l'âge du patient, sa consommation tabagique, le type de lésion et la possibilité ou non de suture directe.

Dans les cas vus tardivement, chez l'adulte, nous recommandons donc une réparation nerveuse du nerf médian avec objectif de récupération d'une certaine

sensibilité dans les lésions associées ou isolées de ce nerf. Par contre, il nous paraît excessif de faire une réparation du nerf ulnaire tardive en cas de lésion haute isolée du nerf ulnaire où des transferts tendineux apporteront un résultat meilleur et plus rapide. Chez le patient jeune, par contre, la réparation nerveuse même tardive lorsqu'elle est possible est chaque fois indiquée.

Terme de la récupération motrice et sensitive et indications de la chirurgie palliative

Le temps au bout duquel le maximum de récupération est obtenu dans les lésions proximales des nerfs médian ou ulnaire, est long après la réparation nerveuse [14]. Pour Birch et Raji [5], un délai de deux ans est insuffisant déjà dans les lésions basses. Certains de leurs patients ont constaté des modifications de sensibilité corrélées avec une amélioration de force entre quatre et six ans après la réparation nerveuse. Trevett [25] note que la récupération intrinsèque après lésion du nerf ulnaire ne montre aucune amélioration après deux ans en cas de lésion haute et après quatre ans pour les lésions basses. Pour la récupération sensitive un plateau est atteint au bout de trois à quatre ans en cas de lésion basse et de quatre à cinq ans en cas de lésion haute.

L'importance de ce délai et la faible probabilité d'une récupération motrice des muscles intrinsèques de la main ont conduit certains auteurs [7, 10, 18-20] à proposer précocement des transferts palliatifs. Trevett [25] propose d'adapter les indications de la chirurgie palliative en fonction des exigences fonctionnelles. Il recommande une chirurgie palliative précoce chez les travailleurs manuels et d'attendre trois ans dans les autres cas. Là aussi, interviendront dans la décision les autres facteurs influant comme l'âge du patient, ses souhaits et motivation, sa consommation tabagique, le type de lésion et le type de réparation nerveuse.

Comme Dumont et Alnot [13], nous ne recommandons pas de réaliser de transfert tendineux tant qu'une sensibilité de protection n'est pas réapparue dans le territoire du nerf médian dans les lésions isolées du médian ou dans les lésions médio-ulnaires.

Les indications de chirurgie palliative dans les séquelles de paralysie ulnaire pourront être posées plus précocement à partir du moment où des critères de mauvais pronostic de régénération nerveuse existeront : adulte, perte de substance nerveuse traitée par greffe, délai opératoire... Dans ce cas, l'absence de récupération de la sensibilité ulnaire ne sera pas un obstacle.

Conclusion

Les lésions proximales des nerfs médian et ulnaire, plus rares que les lésions à l'avant-bras ou au poignet, sont fréquemment associées dans le cadre d'un traumatisme complexe du membre. La réparation par suture directe, lorsqu'elle est possible, est le traitement de choix de ces lésions proximales loin des effecteurs afin de minimiser la perte axonale et de diminuer le délai de réinnervation. Raccourcissement limité du squelette en cas de fracture, transposition

antérieure du nerf ulnaire peuvent aider à la coaptation directe des extrémités nerveuses. En cas de perte de substance étendue, de contusion des extrémités nerveuses, de traumatisme pluritissulaire grave, il est souhaitable de repérer sur place les extrémités nerveuses pour éviter une rétraction qui augmenterait la perte de substance nerveuse et de faire une réparation secondaire. Le délai de la réparation nerveuse secondaire doit être le plus court possible. Il dépend du délai de cicatrisation des lésions des parties molles associées.

RÉFÉRENCES

- Allieu Y, Alnot JY. Microchirurgie en traumatologie. Résultats des sutures nerveuses sous microscope. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1978; 64 : 276-83.
- Barrios C, Amillos De Pablos J, Canadell J. Secondary repair of ulnar nerve injury. 44 cases followed for 2 years. *Acta Orthop Scand* 1990; 61 : 46-49.
- Beazley WC, Milek MA, Reiss BH. Results of nerve grafting in severe soft tissue injuries. *Clin Orthop Relat Res* 1984; 188 : 208-12.
- Birch R. Nerve repair. In Green's operative hand surgery, pp. 1075-1112. Edited by Green DP, Hotchkiss RN, Pederson WC and Wolfe SW, 1075-1112, Philadelphia, Elsevier Churchill Livingstone, 2005.
- Birch R, Raji AR. Repair of median and ulnar nerves. Primary suture is best. *J Bone Joint Surg Br* 1991; 73 : 154-7.
- Brown PW. Factors influencing the success of the surgical repair of peripheral nerves. *Surg Clin North Am* 1972; 52 : 1137-55.
- Burkhalter WE. Early tendon transfer in upper extremity peripheral nerve injury. *Clin Orthop Relat Res* 1974; 104 : 68-79.
- Cavanagh SP, Bonney G, Birch R. The infraclavicular brachial plexus: the case for primary repair. *J Bone Joint Surg* 1987; 69B : 489.
- Comtet JJ. Greffes de nerf vascularisé. In *Traité de chirurgie de la main*. Edited by Tubiana R., Paris, Masson, 1986.
- De Abreu LB. Early restoration of pinch grip after ulnar nerve repair and tendon transfer. *J Hand Surg* 1989; 14B : 309-14.
- Desbonnet P, Allieu Y, Benichou M, Lussiez B, Daures JP. Les réparations tronculaires des nerfs médian et cubital. Analyse clinique et informatique de 105 cas. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1990; 76 : 185-90.
- Doyle JR., Botte MJ. Surgical anatomy of the hand and upper extremity. Edited, 721, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2003.
- Dumont CE, Alnot JY. Les sections proximales des nerfs median et ulnaire. Résultats des réparations primitives et secondaires. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1998; 84 : 590-9.
- Gaul JS. Intrinsic motor recovery - A long term study of ulnar nerve repair. *J Hand Surg* 1982; 7B : 502-508.
- Jensen EG. Restoration of opposition of the thumb. *Hand* 1978; 10 : 161-7.
- Lester RL, Smith PJ, Mott G, McAllister RM. Intrinsic reinnervation-myth or reality? *J Hand Surg* 1993; 18B : 454-460.
- Merle M, Amend P, Foucher G, Michon J. Plaidoyer pour la réparation primaire microchirurgicale des lésions des nerfs périphériques. Étude comparative de 150 lésions du nerf médian et du nerf cubital avec un recul supérieur à deux ans. *Chirurgie* 1984; 110 : 761-71.
- Mitz V, Meriaux JL, Vilain R. Séquelles fonctionnelles après réparation du nerf cubital. *Ann Chir Main*, 1984; 4: 193-205.
- Omer G. E.: Early tendon transfers in the rehabilitation of median, radial, and ulnar palsies. *Ann Chir Main* 1982; 1 : 187-90.
- Omer GE. Tendon transfers for combined traumatic nerve palsies of the forearm and hand. *J Hand Surg [Br]* 1992; 17 : 603-10.
- Rowntree T. Anomalous innervation of the hand muscles. *J Bone Joint Surg* 1949; 31B : 505-510.
- Ruijs AC, Jaquet JB, Kalmijn S, Giele H, Hovius SE. Median and ulnar nerve injuries: a meta-analysis of predictors of motor and sensory recovery after modern microsurgical nerve repair. *Plast Reconstr Surg* 2005; 116 : 484-94; discussion 495-6.
- Sakellarides H. A follow-up study of 172 peripheral nerve injuries in the upper extremity in civilians. *J Bone Joint Surg Am* 1962; 44-A : 140-8.
- Sunderland S. Nerves and Nerve Injuries. Edited, Edinburgh, Churchill Livingstone, 1972.
- Trevett MC, Tuson C, de Jager LT, Juon JM. The functional results of ulnar nerve repair. Defining the indications for tendon transfer. *J Hand Surg* 1995; 20B : 444-6.
- Vastamaki M, Kallio PK, Solonen KA. The results of secondary microsurgical repair of ulnar nerve injury. *J Hand Surg* 1993; 18B : 323-6.

Plaie tendinonerveuse à la face antérieure du poignet

Combined nerve and flexor tendon laceration at the volar aspect of the wrist

E. MASMEJEAN ¹, P. LIVERNEAUX ²

RÉSUMÉ

Les plaies tendinonerveuses de la face antérieure du poignet sont fréquentes et constituent une part importante d'incapacité, notamment chez les travailleurs manuels. Leur prise en charge passe par une réparation systématique et rigoureuse de tous les éléments dans un centre spécialisé, selon une chronologie précise : tendons, nerfs et enfin vaisseaux. Si le pronostic des lésions tendineuses est globalement satisfaisant, le résultat final est essentiellement dépendant de la réparation nerveuse microchirurgicale, et une suture nerveuse directe en urgence devra être réalisée chaque fois que les conditions locales le permettent. Il faut distinguer : les plaies antérolatérales, avec lésion du nerf médian, les plus fréquentes, dont le résultat dépend de la récupération sensitive des trois premiers doigts ; les plaies antéromédiales, avec lésion du nerf ulnaire, dont le résultat dépend de la récupération musculaire intrinsèque ; les hémisections antérieures, dont le résultat dépend à la fois de la récupération sensitive et de la récupération musculaire intrinsèque. Globalement, les résultats de ces lésions graves sont bons, non seulement grâce à l'amélioration des techniques microchirurgicales, mais aussi grâce à la proximité des effecteurs par rapport aux lésions nerveuses.

Mots clés : Plaie poignet. – Tendon fléchisseur. – Paralyse médio-cubitale basse.

SUMMARY

Combined nerve and flexor tendon lacerations of the wrist are frequent. Although there is a relatively good prognosis, disability, especially in manual workers, can be significant. Their initial repair requires systematic and rigorous repair of every element. The order of this repair is always the same: tendons, nerves, and then vessels. We distinguish three kinds of lacerations: radial wound with laceration of median nerve, ulnar wound with laceration of the ulnar nerve, and anterior hemisection of the wrist with laceration of both nerves. If the result of tendon repair is usually satisfactory, the final result essentially depends upon the results of the microsurgical repair of the nerve injuries. Thus, the good prognosis of distal medio-ulnar lacerations is undoubtedly due to the small distance between lesions and the sensitive and motor effector organs.

Key words: Wrist laceration. – Flexor tendon. – Distal median ulnar palsy.

Introduction

La région antérieure du poignet est fréquemment exposée aux traumatismes, volontaires ou involontaires. Elle recouvre et protège de multiples éléments nobles qui concourent aux fonctions essentielles de la vie de relation : la mobilité, la force et la sensibilité de

la main. Parmi les plaies de la face antérieure du poignet, certaines sont graves, parce qu'elles associent des lésions tendineuses, nerveuses et vasculaires [4]. Ce sont ces dernières qui vont faire l'objet de cet exposé.

Nous pouvons les définir comme toute plaie de la face antérieure du poignet qui inclut au minimum une lésion nerveuse et une lésion tendineuse, sans atteinte

¹ Unité de chirurgie de la main et des nerfs périphériques, SOS Mains, service de chirurgie orthopédique et traumatologique, hôpital européen Georges-Pompidou (HEGP), 20, rue Leblanc, 75015 Paris, France

² Centre de chirurgie orthopédique et de la main, hôpitaux universitaires de Strasbourg, 10, avenue Achille-Baumann, 67403 Illkirch Cedex, France

osseuse [15]. Nous n'aborderons pas en effet l'étude des plaies monolésionnelles, plus simples à prendre en charge. Nous excluons également les plaies plus complexes, dont la prise en charge appartient à un arbre décisionnel différent, comme les traumatismes ouverts associés à des lésions osseuses et/ou articulaires, ainsi que les pertes de substance cutanées nécessitant le recours à un procédé de recouvrement. Sont donc exclus de cette étude les traumatismes par écrasement, les fractures ouvertes, les amputations complètes ou incomplètes.

Le but de cet exposé est de définir une conduite à tenir en urgence devant une plaie tendinonerveuse de la face antérieure du poignet. Après un bref rappel anatomique, nous envisagerons les moyens de faire un diagnostic lésionnel précis, puis l'étude des techniques de réparation tendinonerveuse, avant de passer en revue les différents tests permettant de suivre l'évolution de la récupération après réparation.

Anatomie

La région antérieure du poignet est située en avant du squelette antébrachial et carpien (figure 1). Elle se compose des parties molles situées entre :

- en amont, une ligne horizontale passant au-dessus de la tête de l'ulna ;
- en aval, une ligne circulaire antérieure passant immédiatement au-dessous des saillies du tubercule du scaphoïde et du pisiforme ;
- latéralement, le bord latéral du radius et la saillie des tendons de l'*abductor pollicis longus* et l'*extensor pollicis brevis* ;
- médialement, par le bord médial du tendon du *flexor carpi ulnaris*.

La partie moyenne de la région antérieure du poignet est marquée par trois plis de flexion transversaux. Au-dessous du pli inférieur, appelé pli de flexion du poignet, naît le talon de la main.

Tendons

Sur une coupe transversale (figure 2), la région antérieure du poignet comporte deux loges, l'une latérale et l'autre médiale.

La loge latérale est en fait à cheval sur les deux régions antérieure et postérieure du poignet. La partie antérieure de la loge latérale comprend d'une part en dehors la branche antérieure du nerf radial protégée par la face profonde du muscle *brachioradialis*, et d'autre part l'artère radiale et ses veines satellites protégées par un dédoublement de la cloison intermusculaire antérieure.

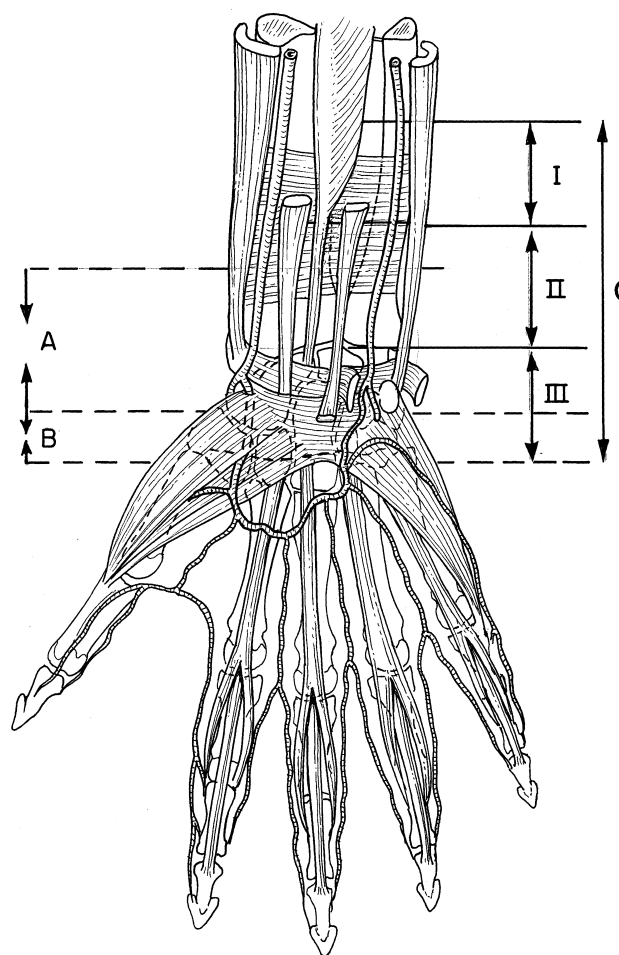


Figure 1. Représentation schématique vue de face des éléments constitutifs du poignet, du canal carpien et de l'appareil fléchisseur des doigts. A : limites conventionnelles du poignet. B : limites du talon de la main. C : trois zones de l'appareil fléchisseur ; zone I, jonction musculotendineuse ; zone II, tendon fléchisseur au-dessus du canal carpien ; zone III, tendon fléchisseur dans le canal carpien.

La loge médiale est limitée en avant par une aponévrose superficielle mince en haut, épaisse en bas, où elle se confond avec les éléments superficiels du rétinaculum des fléchisseurs. Entre cette aponévrose superficielle et le squelette, on définit deux loges antérieures superficielle et profonde.

Dans la loge médiale superficielle cheminent les tendons des muscles *flexor carpi radialis* et *palmaris longus*. Plus profondément cheminent au milieu les tendons du *flexor digitorum superficialis* et en dedans le *flexor carpi ulnaris*. Dans l'interstice entre le *flexor carpi radialis* et le *palmaris longus* se trouve le tronc du nerf médian, particulièrement exposé, même aux plaies en apparence superficielles.

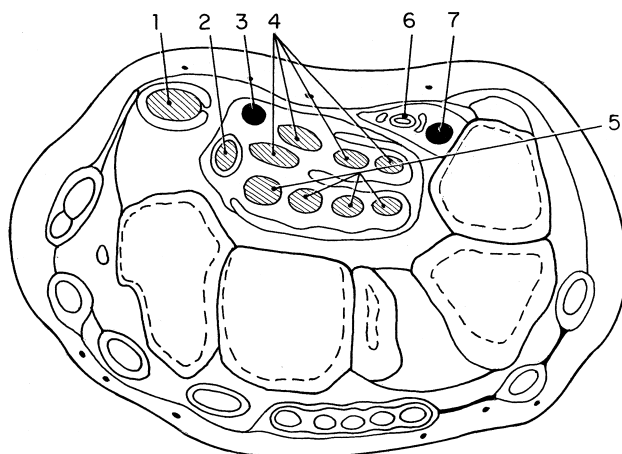


Figure 2. Coupe transversale du poignet au niveau du canal carpien. Le nerf médian est l'élément le plus superficiel du canal carpien. 1. Fléchisseur radial du carpe (FCR). 2. Long fléchisseur du pouce (LFP). 3. Nerf médian. 4. Fléchisseur commun superficiel (FCS). 5. Fléchisseur commun profond (FCP). 6. Artère ulnaire. 7. Nerf ulnaire.

Dans la loge médiale profonde cheminent latéralement le tendon du *flexor pollicis longus*, médialement les tendons du *flexor digitorum profundus*. Le *pronator quadratus*, le plus profond, s'étend transversalement du radius à l'ulna. Dans cette loge cheminent deux paquets vasculonerveux immédiatement sous l'aponévrose moyenne, le paquet ulnaire à l'aplomb du bord latéral du *flexor carpi ulnaris*, et le paquet interosseux antérieur contre la membrane interosseuse.

Nerfs

Les nerfs qui traversent la région antérieure du poignet participent à l'innervation de la main. Il s'agit principalement des nerfs médian et ulnaire. Deux autres nerfs sont purement sensitifs, peu concernés par les plaies antérieures, le nerf radial et le nerf cutané anté-brachial latéral.

Le nerf médian, dans la région antérieure du poignet, est habituellement constitué de nombreux fascicules, sans correspondance macroscopique avec les fascicules des branches terminales. La suture fasciculaire au poignet est donc impossible, parce que l'arrangement et la taille des fascicules ne le permettent pas. La suture fasciculaire n'est possible qu'à la main [24].

En effet, au poignet, le nerf médian présente à la coupe deux faisceaux ou branches, qui regroupent classiquement cinq fascicules (figure 3) :

- une branche sensitive, constituée habituellement de trois fascicules, à destinée des pulpes des trois premiers doigts et de la moitié radiale du quatrième

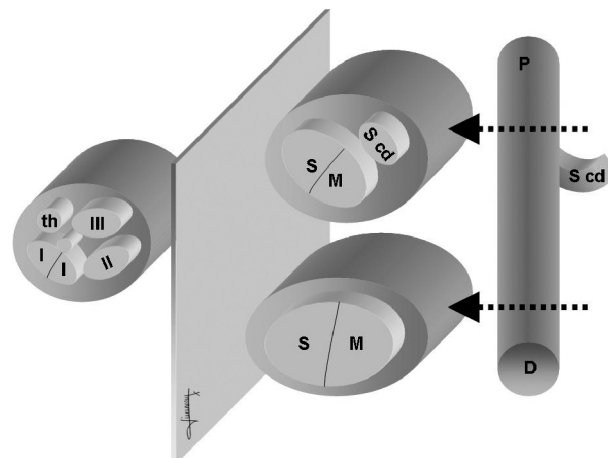


Figure 3. Cartographie du nerf médian (à gauche sur le schéma) et du nerf ulnaire (à droite sur le schéma) au poignet selon Sunderland. I, II, III : espaces interosseux correspondants. Th pour branche thénarienne. P : proximal. D : distal. S cd : branche sensitive cutanée dorsale du nerf ulnaire. M : contingent moteur. S : contingent sensitif. Les flèches en pointillés correspondent aux coupes situées en amont (en haut sur le schéma) et en aval (en bas sur le schéma) de la branche sensitive cutanée dorsale.

doigt. Elle correspond à la branche terminale du nerf médian en regard de la partie distale du rétinaculum des fléchisseurs. Ces fascicules sensitifs peuvent être individualisés les uns des autres, mais sur de très courtes et variables distances. Un fascicule latéral, plus facilement individualisable par rapport aux trois autres, regroupe généralement les fibres provenant de la partie radiale du pouce ;

- une branche motrice, pour les muscles thénariens latéraux, constituée habituellement d'un seul fascicule. Elle naît du tronc principal juste proximale au-dessus de la partie distale du rétinaculum des fléchisseurs. Cette branche apparaît à la partie antérolatérale du tronc terminal, en pénétrant graduellement dans la substance du nerf. La distance de dissection de cette branche motrice, c'est-à-dire la distance maximale sur laquelle la branche peut être identifiée et libérée, est d'environ 70 mm, soit à peu près 30 mm de la styloïde radiale. Adjacent à la partie médiane du nerf, on individualise à ce même niveau un petit fascicule pour les lombricaux.

Dans la partie distale de la région antérieure du poignet, cette division anatomique du nerf médian, en deux branches sensitive et motrice, autorise une réparation séparée de ces deux branches. Dans la partie proximale de la région antérieure du poignet apparaît la branche cutanée palmaire, soit isolément, soit en deux branches séparées formées chacune d'un fascicule. La branche cutanée palmaire, qui naît toujours du côté radial du

nerf médian, habituellement entre 20 et 30 mm de la styloïde radiale, et qui peut être séparée proximale du nerf médian d'environ 30 mm, est facilement identifiée et réparée séparément.

Le nerf ulnaire, dans la région antérieure du poignet, se termine en regard de la loge de Guyon, où il se divise en deux faisceaux, une branche profonde motrice et une branche superficielle sensitive (figure 3) :

- la branche sensitive apparaît au bord radial du nerf, à destinée des téguments du bord ulnaire de la main, du cinquième doigt et de l'espace interdigital entre les deux derniers doigts. Les fascicules des branches digitales sont séparables depuis leur jonction jusqu'à une distance moyenne de 26 mm, qui correspond à la partie proximale de la loge de Guyon ;
- la branche motrice occupe rapidement après sa naissance du tronc ulnaire une position dorso-ulnaire. Ses fibres sont généralement regroupées en un gros faisceau formé d'un nombre variable de petits fascicules. Cette branche est séparable de la branche sensitive sur environ 80 mm.

Cette séparation anatomique des composants sensitif et moteur est facile à identifier, et permet régulièrement une suture distincte en regard de la région antérieure du poignet. Les fascicules destinés aux branches superficielle et profonde occupent respectivement 45 et 55 % de la section totale du tronc nerveux.

La branche la plus proximale à rejoindre le nerf ulnaire est la branche cutanée dorsale. Cette branche sensitive répond à un territoire variable du dos des quatrième et cinquième métacarpiens et des premières phalanges correspondantes. Cette branche, qui est séparable du tronc du nerf ulnaire sur une distance de 170 à 200 mm, atteignant presque le coude, est considérée par certains comme un nerf séparé du nerf ulnaire.

Au poignet, le nerf radial est purement sensitif, avec un bouquet de branches terminales qui irradiant autour de la styloïde radiale. Elles sont responsables de la sensibilité de la face dorsale de la première commissure et d'une partie de la face dorsale des doigts. Ces branches superficielles sont particulièrement exposées, parce que sous-cutanées.

Au poignet, le nerf cutané antébrachial latéral est purement sensitif, et se termine à la base du pouce. Il est responsable de la sensibilité de la partie radiale de la face antérieure du poignet.

Vaisseaux

Les vaisseaux qui traversent la région antérieure du poignet participent à la vascularisation de la main. Il s'agit de deux axes principaux, les artères radiale et ulnaire, et de deux axes accessoires, les artères interosseuses.

L'artère radiale, dans la région antérieure du poignet, présente un trajet sinueux. Elle contourne la styloïde radiale, passe sous les tendons de l'*abductor pollicis longus* et de l'*extensor pollicis brevis*, sur le ligament collatéral radial, pour gagner la face dorsale du carpe. Dans la gouttière du poulx, elle donne, notamment, le rameau thénarien radial superficiel. Dans la loge thénarienne, elle donne des branches ascendantes (récurrentes) pour le carpe, qui peuvent s'anastomoser avec l'artère interosseuse antérieure (ventrale) pour compenser l'hypovascularisation de la main en cas d'atteinte combinée des artères radiale et ulnaire.

L'artère ulnaire, dans la région antérieure du poignet, traverse obliquement en dehors la loge de Guyon. Elle se projette à 10 mm de la partie la plus saillante du pisiforme, dont elle est séparée par le nerf ulnaire. Elle donne notamment, 20 à 50 mm en amont du pisiforme, le rameau carpien dorsal, encore appelé artère ulnodorsale, et le rameau cutané descendant de la région des trois derniers métacarpiens et de l'éminence hypothénar.

L'artère interosseuse antérieure (ou ventrale) descend d'abord dans l'espace interosseux antérieur de l'avant-bras pour pénétrer à son quart inférieur la loge postérieure. Elle se termine à la face dorsale du carpe et s'anastomose avec les rameaux terminaux de l'artère interosseuse postérieure (ou dorsale) pour former le réseau carpien dorsal. En cas d'hypovascularisation de la main, elle joue un rôle de suppléance non négligeable.

L'artère interosseuse postérieure (ou dorsale), seule artère dorsale du poignet, est inconstante et grêle. Elle se termine à la face dorsale du carpe et s'anastomose avec les rameaux terminaux de l'artère interosseuse antérieure pour former le réseau carpien dorsal.

Citons une cinquième artère, l'artère médiane, ou artère du nerf médian, qui n'a d'importance que pendant l'embryogenèse, où elle constitue l'axe vasculaire principal de la main. Au stade adulte, c'est une artère fine et grêle qui longe le nerf médian.

Le rôle respectif des deux artères principales est discuté, avec semble-t-il une prédominance de l'artère ulnaire dans deux tiers des cas. En pratique, les anastomoses sont nombreuses et variées, ce qui explique les suppléances possibles, même en cas de section des deux axes artériels principaux. Ainsi, une hémisection antérieure n'entraîne pas systématiquement une dévascularisation de la main.

Diagnostic Étiologie

Le mécanisme des plaies de la région antérieure du poignet est variable, mais un contexte psychiatrique

est souvent retrouvé dans les plaies volontaires, soit qu'il s'agisse d'une tentative d'autolyse, soit d'un geste de colère, dans un contexte d'alcoolisation et/ou de prise médicamenteuse. Les accidents domestiques (bricolage, cuisine) ne sont pas rares, tout comme les accidents de travail.

Les tentatives d'autolyse surviennent chez des patients en phase dépressive, qui concrétisent ainsi un comportement destructeur direct [6]. Si la tentative de suicide est plus fréquente chez les femmes, le suicide suivi de décès est plus fréquent chez les hommes, mais la phlébotomie est proportionnellement deux fois plus fréquente chez les hommes [11]. La forme typique est la phlébotomie d'un homme jeune par arme blanche de la face antérieure du poignet non dominant, la main dominante réalisant l'acte d'autoagressivité. Le terrain est souvent pathologique (psychose maniaco-dépressive, schizophrénie, toxicomanie), mais le diagnostic psychiatrique n'est pas toujours connu (refus du patient, sortie contre avis médical). Le passage à l'acte relève d'un conflit intrapsychique aigu, acculant le patient à une situation de désespoir ou d'appel à l'aide. Le choix du siège de la blessure se porte sur la face antérieure du poignet, à la fois pour des raisons pratiques et symboliques.

Les plaies survenues lors d'actes de violence sont tout aussi fréquentes, mais l'agent vulnérant est le plus souvent du verre. La forme typique est un geste violent de colère, d'énervement ou de frustration chez un homme jeune dont la main dominante traverse une vitre. Ces lésions peuvent survenir chez des patients indemnes de toute pathologie psychiatrique. L'acte violent est alors un geste de détournement d'une potentielle hétéro-agressivité, l'individu exacerbé déchargeant son agressivité en brisant par exemple une vitre, plutôt que de frapper la personne à l'origine de son agressivité. Il s'agit d'une décharge de tension pulsionnelle ou instinctuelle, qui vise à faire une démonstration de force et de puissance. Dans un contexte domestique de conflit familial ou conjugal, le passage à l'acte témoigne d'un défaut d'expression majeur. Le terrain est plutôt celui de personnalités pauvres et limitées ou de personnalités introverties et inhibées, qui « craquent » et révèlent par leur geste, à l'entourage ainsi qu'à eux-mêmes, l'importance de leurs difficultés relationnelles. L'échec de l'autocontrôle, le passage à l'acte, la lésion elle-même, et ses conséquences fonctionnelles graves, peuvent faire naître chez le patient un sentiment de culpabilité et/ou de honte.

Les plaies involontaires, par exemple à l'occasion d'un accident domestique ou de travail, entraînent également, du fait de l'importance des séquelles, des conséquences psychologiques indéniables.

Examen clinique

L'examen clinique est essentiel, car il est le seul moyen fiable de poser en urgence l'indication chirurgicale devant une plaie tendino-nerveuse de la face antérieure du poignet.

Toute plaie de la face antérieure du poignet, même minime, peut cacher une plaie nerveuse, le plus souvent du nerf médian. Pour éviter de passer à côté du diagnostic, il faut rechercher systématiquement des troubles sensitivomoteurs, même minimes, dans le territoire des nerfs médian, ulnaire, radial et cutané antébrachial latéral. Les atteintes nerveuses, même partielles, sont en général des lésions de degré 5, selon la classification de Seddon modifiée par Sunderland (tableau 1), avec une interruption complète nécessitant une réparation chirurgicale.

Sur le plan sensitif, on peut retrouver une anesthésie de la pulpe des doigts, de la face dorsale de la première commissure, de l'éminence thénar, et du versant ulnaire de la face dorsale de la main.

Sur le plan moteur, on peut retrouver une atteinte des muscles intrinsèques et extrinsèques. L'absence de fonction des muscles intrinsèques relève d'une lésion nerveuse, et l'on peut constater une paralysie de ces muscles en testant notamment la mobilité active en antépulsion, en abduction et adduction des doigts longs, ainsi que la fermeture de la première commissure. En revanche, les muscles extrinsèques relèvent d'une lésion tendineuse, et l'on peut constater une absence de flexion active de l'interphalangienne du pouce ou de l'interphalangienne distale des doigts longs, témoignant d'une section complète du long fléchisseur du pouce ou des fléchisseurs profonds des doigts longs. Une section isolée d'un fléchisseur superficiel peut être démasquée en maintenant les doigts longs adjacents au doigt à tester en extension, ce qui bloque l'action du fléchisseur profond du doigt à tester. Mais l'exploration chirurgicale est indispensable, car les sections partielles ne sont pas rares, impossibles à affirmer par le simple examen clinique en raison de la persistance d'une continuité tendineuse.

Au total, les plaies des nerfs à la face antérieure du poignet peuvent être associées à des lésions vasculaires et/ou tendineuses. Toutes les associations sont possibles, et l'on peut distinguer, selon leur localisation, trois types lésionnels [1], qui répondent chacun à une prise en charge thérapeutique spécifique (figure 4) :

– la plaie antérolatérale, qui implique dans tous les cas le nerf médian et au moins un tendon fléchisseur. L'artère radiale est parfois sectionnée;

Tableau 1
Classification des lésions traumatiques des nerfs périphériques selon Sunderland et Seddon

Sunderland	Axone	Endonèvre	Perinèvre	Épinèvre	Seddon	Correspondance clinique
Degré 1					Neurapraxie	Récupération spontanée rapide à la levée de la compression
Degré 2					Axonotmésis	Récupération spontanée par repousse axonale 1 mm/j
Degré 3						Récupération spontanée possible, mais toujours partielle
Degré 4						Aucune récupération spontanée Réparation nerveuse par suture ou greffe
Degré 5					Neurotmésis	Aucune récupération spontanée Réparation nerveuse par suture ou greffe

Les cases en gris foncé correspondent à une rupture de la continuité de l'unité anatomique. Les cases en gris clair correspondent à l'absence de lésion de l'unité anatomique.

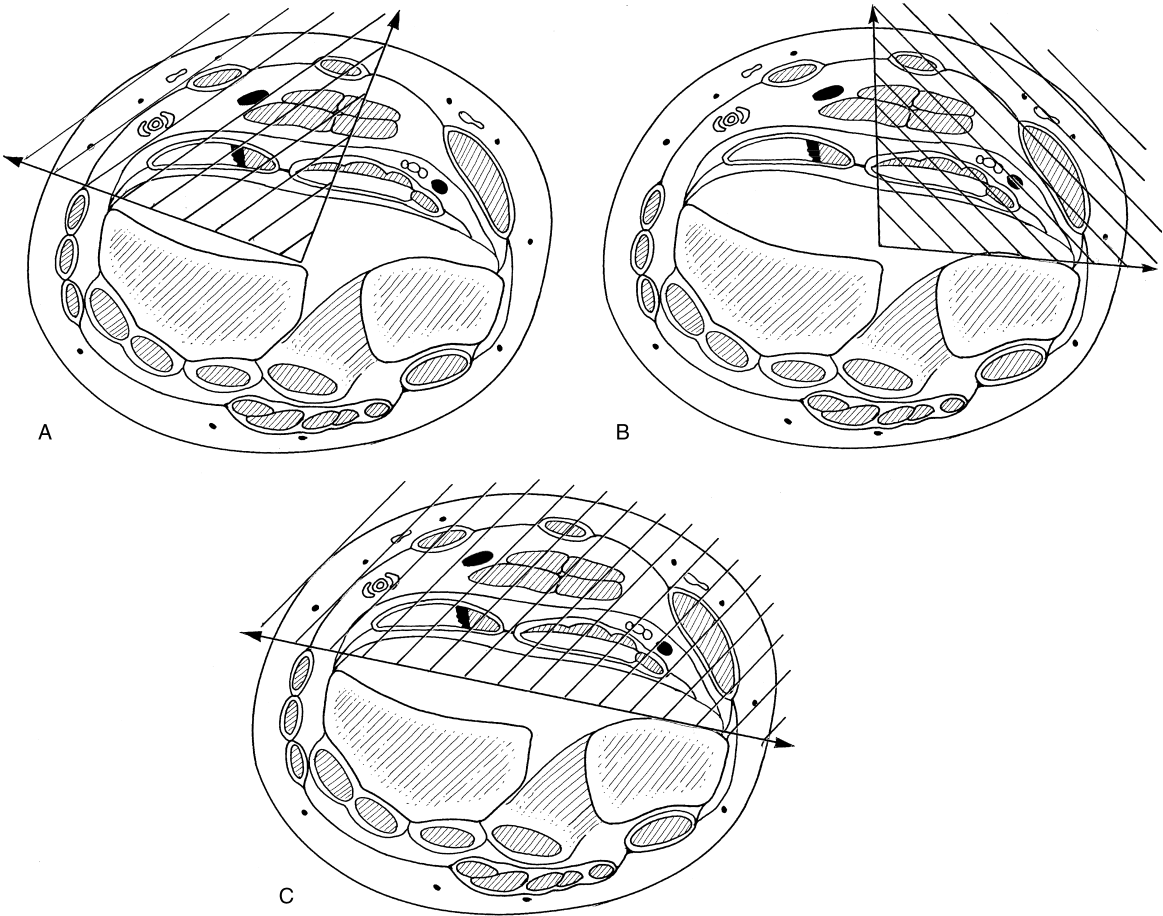


Figure 4. Trois types de plaie tendinonerveuse au poignet. A : plaie antérolatérale. B : plaie antéromédiale. C : hémisection antérieure.



Figure 5. Hémisection antérieure du poignet droit. A : avant parage. B : après exposition, qui montre une section complète de l'artère ulnaire, des nerfs médian et ulnaire, des tendons du *palmaris longus*, de tous les fléchisseurs superficiels des doigts, du profond de l'index, du *flexor carpi ulnaris*; une section partielle des tendons fléchisseurs profonds des 3^e, 4^e et 5^e rayons. C : après réparation des lésions avant fermeture cutanée, qui montre des sutures tendineuses par des points en cadre au fil 3/0; une suture épipériéurale des deux nerfs par trois points de 9/0 sous microscope en tension physiologique additionnée de colle biologique; une résection anastomose étanche et perméable de l'artère ulnaire par des points de 9/0 sous microscope.

– la plaie antéromédiale, qui implique dans tous les cas le nerf ulnaire et au moins un tendon fléchisseur. L'artère ulnaire est fréquemment sectionnée;

– l'hémisection antérieure [10], qui implique dans tous les cas les deux nerfs médian et ulnaire, tout ou partie des tendons fléchisseurs du poignet et des doigts, et fréquemment les artères radiale et/ou ulnaire. Quand tous ces éléments sont sectionnés, on parle d'hémisection totale antérieure du poignet (figure 5).

Techniques de réparation

Nous n'envisagerons ici que la prise en charge en urgence des plaies tendinonerveuses de la face antérieure du poignet. Les réparations secondaires, greffes nerveuses, neurolyses, ténolyses et transferts tendineux palliatifs ne seront pas envisagés ici.

Quel que soit le type lésionnel, l'intervention doit s'effectuer au bloc opératoire, sous anesthésie locorégionale le plus souvent, garrot pneumatique gonflé à la racine du

membre après vidange du membre supérieur, dans des conditions d'asepsie stricte sous loupes grossissantes.

Le premier temps consiste à laver et à parer la plaie. Le second temps consiste à l'explorer, souvent au prix d'un agrandissement proximal et/ou distal, qui doit être effectué selon les règles de l'art de la chirurgie de la main. Le troisième temps a pour but de réparer les lésions tendineuses. Ce n'est qu'au quatrième temps qu'intervient la réparation nerveuse dans un champ opératoire exsangue. Le cinquième temps est consacré à la réparation des lésions vasculaires, et le sixième temps au revêtement cutané. Enfin, le dernier temps, l'immobilisation et la gestion des suites postopératoires, fait partie intégrante du traitement chirurgical, et doit être programmé dès la sortie du patient du bloc opératoire. Cette étape importante, où une information claire et intelligible doit être donnée au patient et à son entourage, a pour but non seulement de lui expliquer les consignes à respecter, mais aussi de le motiver pour obtenir le meilleur résultat possible. Rappelons que l'information claire et intelligible est une obligation déontologique [21].

Réparation des tendons

La section des tendons fléchisseurs au poignet correspond aux zones IV et V de la classification topographique adoptée par la Fédération internationale des sociétés de chirurgie de la main (IFSSH), d'après la classification de Verdan.

La réparation en urgence des tendons fléchisseurs par suture directe est la règle. Toutefois, jusqu'à trois semaines après l'accident, il est souvent encore possible de réaliser une suture directe secondaire [14]. La technique de réparation standard est la suture en cadre par du fil 3/0 avec des boucles d'ancrage selon Mason-Kessler. Le point en cadre peut être complété par un surjet épitendineux au nylon 5/0, lorsque l'affrontement des extrémités n'est pas parfait. De nombreuses variantes ont été décrites. Actuellement, comparée aux autres techniques de suture, la réparation selon la technique de Kessler modifiée, comportant une suture périphérique circonférentielle, semble être celle qui autorise sur le plan mécanique la plus grande contrainte avant rupture.

L'ouverture du canal carpien en urgence ne se justifie que dans deux cas, d'une part lorsque l'exposition et la réparation des lésions dans des conditions optimales le nécessitent, d'autre part lorsque la réparation des lésions occupe un volume trop important dans le canal carpien lors de la mise en extension passive du poignet et des doigts. Ces cas se rencontrent dans les plaies situées en regard du talon de la main ou dans celles qui sont survenues poing fermé et poignet en flexion, car elles entraînent des sections tendinonerveuses loin des jonctions musculotendineuses. Dans tous les autres cas, la section du rétinaculum des fléchisseurs ne se justifie pas, et il est exceptionnel qu'un syndrome de compression du nerf médian au canal carpien apparaisse secondairement.

Réparation des nerfs

Quelques auteurs [18] préconisent de laisser une solution de continuité entre les deux extrémités nerveuses sectionnées. Toutefois, les méthodes les plus recommandées actuellement en chirurgie nerveuse périphérique privilégient la restitution aussi précise que possible de la structure anatomique initiale, grâce au microscope opératoire, aux instruments microchirurgicaux et à une technique opératoire particulièrement précise.

L'objectif de ces méthodes est d'assurer, grâce à la régénération nerveuse périphérique, le franchissement de la zone de réparation par les axones, qui sont attirés vers les tubes endoneuraux distaux vides après la dégé-

nérescence wallérienne. On obtient ainsi le rétablissement plus ou moins précis du câblage axonal initial.

Il faut distinguer les sections franches sans perte de substance des sections contuses avec ou sans perte de substance. On parle de réparation directe lorsque les extrémités nerveuses sont maintenues affrontées par une technique de réparation, et de réparation indirecte lorsque les extrémités nerveuses sont mises en relation par l'intermédiaire d'une interposition. On parle de réparation primaire lorsqu'elle est réalisée en urgence, et secondaire lorsqu'un second temps opératoire est décidé. Il existe donc des réparations directes primaires ou secondaires, et des réparations indirectes primaires ou secondaires.

La réparation nerveuse par suture directe primitive doit être privilégiée, mais elle ne doit être autorisée que si elle est réalisée sans tension ou en tension physiologique, poignet discrètement fléchi. En pratique, la réparation directe primaire est réalisable si les deux extrémités nerveuses, après parage, ne s'écartent pas au repos de plus de 10 à 15 mm l'une de l'autre. Après préparation et affrontement des extrémités nerveuses, il est essentiel de retrouver l'orientation fasciculaire, car, au poignet, les nerfs sont mixtes, moteurs et sensitifs. Par exemple, l'orientation du nerf médian, qui contient notamment la branche motrice thénarienne, est repérable par l'artère centrale du nerf, qui est bien visible. Concernant le nerf ulnaire, qui est encore un nerf mixte au niveau du poignet, on se souviendra de la position des fascicules en fonction de l'émergence de la branche cutanée dorsale.

Le temps suivant est le maintien de cet affrontement par une suture épipérineurale à l'aide de six à dix points de monofil de nylon 9/0 pour les troncs des nerfs médian et ulnaire au poignet. Tout doit être fait pour que la réparation perturbe le moins possible la repousse nerveuse : parage, orientation fasciculaire, points de suture peu nombreux mais efficaces et sans tension, préservation de l'environnement nerveux. C'est pourquoi l'addition de colle biologique est souhaitable [2, 23], car elle permet de diminuer par deux le nombre de points (trois à cinq), d'assurer une meilleure coaptation des extrémités nerveuses, d'augmenter la force tensile de la suture, de diminuer le risque de sclérose, tout en procurant un substrat favorable au transport des neurotransmetteurs.

Lorsqu'une suture directe n'est pas possible dans le cadre de l'urgence, il importe de bien repérer et de rapprocher les extrémités nerveuses, afin de donner le maximum de chance soit, au mieux, à une réparation directe secondaire, soit, au pire, de limiter la longueur d'une éventuelle greffe nerveuse secondaire.

Réparation des vaisseaux

La section des artères du poignet doit être réparée systématiquement, même en l'absence de troubles vasculaires d'aval [9]. Les objectifs de cette réparation sont triples : diminuer les douleurs au froid, améliorer la perfusion d'aval et par conséquent la qualité de la repousse nerveuse, et conserver l'entraînement à la microchirurgie.

La réparation des lésions artérielles de la région antérieure du poignet s'effectue sous grossissement optique, au mieux au microscope, par suture directe avec des points séparés de nylon 9/0, après recoupe soigneuse des extrémités et lavage artériel au sérum hépariné.

En cas de perte de substance artérielle ne permettant pas une suture directe, un pontage vasculaire terminoterminal doit être réalisé par substitution d'un greffon veineux prélevé en général à la face antérieure du poignet.

Lorsque la plaie est prise en charge secondairement et qu'une artère a été ligaturée pour éviter le saignement, il est en général impossible et inutile de procéder à une réparation, d'abord parce que les suppléances vasculaires sont déjà fonctionnelles, et ensuite parce qu'il existe des lésions intimes, voire des thromboses, qui s'opposent à la reperméabilisation artérielle. C'est la raison pour laquelle il convient d'informer les centres d'accueil d'urgences des gestes à réaliser devant une plaie hémorragique, en insistant sur le caractère iatrogène des ligatures vasculaires.

Protocole postopératoire

Après hémostase soigneuse et fermeture cutanée, le poignet et la main sont immobilisés dans une attelle dorsale, prenant pour certains le coude si les fléchisseurs superficiels ont été réparés. Le poignet doit être fléchi de 20 à 30°, mais pas au-delà en raison de l'extension passive automatique des rayons digitaux provoquée par l'effet ténodèse. Les articulations métacarpophalangiennes doivent être fléchies de 50 à 70°. L'attelle dorsale autorise une extension complète des interphalangiennes.

Une rééducation passive selon Duran et Houser est débutée au huitième jour postopératoire, et cela malgré l'association d'une réparation nerveuse ou vasculaire. L'immobilisation stricte en dehors des séances de rééducation est de trois semaines, et est prolongée par le port intermittent d'une attelle de repos nocturne pour une durée de trois semaines supplémentaires. Cette rééducation sera ultérieurement complétée d'une rééducation active des fléchisseurs, en général à partir de la quatrième semaine. Dans de telles lésions, si la récupération d'une mobilité active est la règle, il faut

savoir prolonger la rééducation motrice et sensitive [5] et encourager le patient dans cette longue et difficile période [16]. La prise en charge par un rééducateur spécialisé est privilégiée.

Quelle que soit la lésion, une prise en charge psychologique, voire psychiatrique, est souhaitable. Il faut au minimum lutter contre l'exclusion de tout ou partie de la main du schéma corporel du patient. De plus, le chirurgien doit s'efforcer de proposer une aide aux patients paraissant fragiles, comme ceux dont le pronostic final semble inéluctablement associé à un handicap persistant, clinique et/ou social, pouvant conduire à un reclassement professionnel. Dans un contexte de plaie volontaire, soit de tentative d'autolyse, soit d'acte violent, le diagnostic et le suivi psychiatrique sont indispensables et systématiques. Il n'est pas question d'autoriser la sortie de l'établissement de soin d'un patient victime d'une tentative d'autolyse avant une consultation psychiatrique, au risque d'engager la responsabilité du praticien, en cas de récurrence d'un geste suicidaire.

Évaluation des résultats

L'évaluation des résultats après réparation d'une plaie tendinonerveuse de la face antérieure du poignet est indispensable, mais sujette à caution. En effet, les tests d'évaluation disponibles sont multiples, mais peu reproductibles et peu significatifs [13]. Il est donc difficile de définir avec précision une classification à partir de leurs résultats objectifs.

C'est pourquoi nous envisagerons dans un premier temps le bilan analytique tendineux et nerveux, puis dans un second temps le bilan global tendinonerveux.

Bilan tendineux

Il comporte le *testing* des muscles extrinsèques concernés par la réparation tendineuse et l'étude des mobilités articulaires, afin d'apprécier la qualité de la suture, l'absence de rupture complète ou partielle, ou encore d'adhérences.

Le *testing* des muscles extrinsèques est évalué par la cotation du British Medical Research Council (tableau 2).

L'étude des mobilités articulaires permet d'apprécier la qualité de la réparation tendineuse, tant par la capacité de flexion active que par celle d'extension passive du poignet et des rayons digitaux.

Pour le poignet, la position de référence est la position neutre à 0°. L'évaluation des mobilités du poignet comporte la flexion-extension et la prosupination.

Pour les doigts, la position de référence est l'extension complète. L'évaluation des mobilités de cha-

Tableau 2
Cotation du British Medical Research Council (BMRC) pour apprécier la récupération musculaire

M0	Absence complète de contraction
M1	Contraction volontaire perceptible au niveau du corps musculaire
M2	Contraction volontaire perceptible à la partie distale du muscle. Pas de contraction efficace contre la pesanteur
M3	Contraction volontaire possible contre la pesanteur
M4	Contraction volontaire possible contre la résistance. Mouvements indépendants possibles
M5	Force musculaire normale

que rayon digital comporte la flexion–extension des articulations métacarpophalangienne et interphalangienne. Le calcul de la mobilité active totale des doigts longs (TAM ou *total active motion*) est un des systèmes d'évaluation adoptés par la Fédération internationale des sociétés de chirurgie de la main (IFSSH). Il additionne la valeur angulaire de la flexion des articulations métacarpophalangienne, interphalangiennes proximale et distale. Le déficit d'extension de chaque segment digital est mesuré globalement par addition des déficits de chacune des trois articulations, poignet en position neutre.

Une autre méthode, fréquemment employée pour mesurer le déficit global de flexion de chacun des doigts longs, est la mesure de la distance pulpe–pli palmaire distal, bien qu'elle ait été décrite initialement pour l'évaluation de la qualité des réparations de l'appareil extenseur.

Bilan nerveux

Nous regroupons sous le terme de syndrome de récupération nerveuse les symptômes permettant de dépister le début de la récupération, d'en suivre l'évolution, puis d'en apprécier le résultat : le signe de Tinel, le retour de la motricité, de la sensibilité, d'une activité sudoripare et de la trophicité cutanée. Compte tenu de la vitesse théorique de régénérescence nerveuse (1 mm/j), le délai minimal de récupération est de six mois, avec une amélioration possible jusqu'à dix-huit mois, ce dont le patient doit être averti.

Après réparation d'une lésion nerveuse périphérique à la face antérieure du poignet, il faut distinguer le résultat sensitif du résultat moteur.

Bilan sensitif

Les récepteurs somatiques répondent à la stimulation mécanique de la peau et des tissus sous-jacents.

Leur activation est à l'origine des sensations de tact, de pression, de chaud et de froid. À chaque sensation est associé un type de mécanorécepteur spécifique, à adaptation lente ou rapide. Parmi les mécanorécepteurs à adaptation lente, citons la terminaison hérédiforme des corpuscules de Merkel de l'épiderme. Parmi les mécanorécepteurs à adaptation rapide, citons les corpuscules de Pacini, responsables de la transmission des changements de pression en fonction du temps. Il est difficile de classer ces différents types de sensibilité et les examens qui les apprécient, car ils sont subjectifs, sans valeur fonctionnelle. Le bilan se fait en consultation par des méthodes simples et reproductibles, comparant le côté opposé et les doigts voisins, les yeux fermés. Les résultats de tous ces tests sont rassemblés pour apprécier la sensibilité fonctionnelle, en suivre l'évolution, et en déterminer le résultat.

L'évaluation de la qualité de la réinnervation sensitive repose sur plusieurs tests. L'évaluation globale de la sensibilité est orientée par l'examen de la sensibilité à la compresse. Le tact correspond à la reconnaissance exacte les yeux fermés des hémipulpes effleurées par une compresse. La sensibilité peut être normale, diminuée (hypoesthésie) ou modifiée (hyper ou dysesthésie).

Le test de Weber, ou Weber statique, ou test de discrimination statique, est le plus utilisé. Il étudie la densité des mécanorécepteurs à adaptation lente. On applique une pression inférieure à la pression capillaire en deux points voisins de la zone à explorer et on recherche la distance minimale de perception yeux fermés d'un double contact avec une distance de 5 à 7 mm pour un sens tactile correct. La technique est rigoureuse et utilise un trombone ou plutôt un disque de Greulich. Le patient doit être coopérant.

Le test de Dellon, ou Weber dynamique, ou test de discrimination dynamique [7], étudie les mécanorécepteurs à adaptation rapide. Les pointes du disque de Greulich sont placées sur la partie latérale de la pulpe à explorer, où il n'y a pas de sensibilité croisée avec le

nerf collatéral voisin, et mobilisées longitudinalement de proximal en distal avec une pression légère. La valeur normale est inférieure de 2 à 3 mm par rapport à celle du test de Weber statique.

Le test de Von Frey, amélioré par Semmes et Weinstein, étudie la présence et le seuil de sensibilité des mécanorécepteurs à adaptation lente, mais pas la discrimination tactile, qui est appréciée par les deux tests précédents. Il utilise des monofilaments de nylon calibrés pour fléchir sous une certaine pression, en fonction de leur diamètre. C'est ainsi qu'une sensibilité au monofilament n° 2,83 correspond à la normalité [3].

L'évaluation de la reconnaissance tactile d'objets usuels les yeux fermés, ou *picking-up test* de Möberg, apprécie la fonction globale du nerf médian [20]. C'est le premier test qui a permis de quantifier l'adaptation ou la compensation du patient après lésion nerveuse. Il consiste à reconnaître, les yeux bandés, dix objets usuels dans un temps déterminé (brosse à dents, crayon, collier de perle, petite cuillère, compresse, vis, clé, bouton, bille et dé à coudre). Plutôt que de chronométrer le test, il apparaît plus déterminant de neutraliser les doigts considérés comme sains (en l'occurrence les deux doigts ulnaires). Le test est évalué par le rapport du nombre d'objets reconnus par le côté atteint rapporté à celui du côté sain.

Le test de Möberg à la ninhydrine évalue la dénervation sympathique en quantifiant l'activité sudoripare à l'aide d'un buvard. Il ne témoigne pas de la qualité de la récupération sensitive pulpaire. En pratique, il est peu utilisé.

L'appréciation globale de la sensibilité fait appel à la classification du British Medical Research Council. Il s'agit d'une cotation dont les différents degrés de 0 à 5 correspondent à l'évolution chronologique du syndrome de récupération (tableau 3).

Tableau 3
Cotation du British Medical Research Council pour apprécier la récupération sensitive

S0	Anesthésie complète	0/5
S1	Sensibilité profonde nociceptive	1/5
S2	Sensibilité superficielle nociceptive (sensibilité de protection)	2/5
S3	Sensibilité à la compresse, Weber statique ≥ 15 mm (tact)	3/5
S3+	Test de Weber statique compris entre 7 et 15 mm (discrimination)	4/5
S4	Test de Weber statique ≤ 6 mm	5/5

Bilan moteur

Le retour à la motricité débute par le tonus, puis la sensibilité, et enfin la trophicité musculaire. Ce n'est que secondairement que réapparaissent les contractions musculaires volontaires [17]. L'électromyogramme dépiste le début de la récupération par des potentiels de réinnervation infracliniques. Mais la récupération motrice est lente, et sa valeur dépend du nombre d'axones régénérés, de la qualité des fibres musculaires et de la plaque motrice. Il est impossible de fixer une période au-delà de laquelle le muscle n'est plus réinnervable. Le bilan moteur comporte le *testing* analytique et l'évaluation globale des muscles intrinsèques concernés par la réparation nerveuse.

Le *testing* analytique des muscles intrinsèques est évalué par la cotation du British Medical Research Council (BMRC), modifiée par Alnot (tableau 4), qui reste valable muscle par muscle, mais pas pour apprécier le résultat global. Ce sont les muscles thénariens latéraux et médiaux, le premier interosseux dorsal, les hypothénariens. L'évaluation globale de la main motrice intrinsèque recherche une amyotrophie, des mouvements anormaux et des déformations. Pour le nerf médian, on recherche une amyotrophie de l'éminence thénar et on explore l'antépulsion-opposition.

Pour le nerf ulnaire, on recherche une amyotrophie de la face postérieure de la première commissure et de l'éminence hypothénar. On recherche également une dysharmonie de la flexion des doigts, signant une atteinte séquellaire des muscles interosseux.

Une griffe ulnaire doit être classée qualitativement et quantitativement. Sur le plan qualitatif, c'est la réponse à la manœuvre de Bouvier qui permet de la classer en souple, raide et intermédiaire. Sur le plan quantitatif, c'est la valeur du déficit d'extension de l'articulation interphalangienne proximale du cinquième doigt lors de la manœuvre du volet.

Le signe de Froment est caractérisé par une flexion anormale de l'interphalangienne du pouce lors de la prise terminolatérale pouce-index contre résistance, liée à une paralysie de l'adducteur du pouce, alors que le signe de Wartenberg correspond à une perte de l'adduction du cinquième doigt, liée à une paralysie de l'interosseux palmaire du quatrième espace.

L'arche transverse métacarpienne est évaluée par la mesure de l'arche intermétacarpienne, poing fermé, à l'aide d'un goniomètre, dont le pivot est placé perpendiculairement à l'axe de la main en regard du col du troisième métacarpien. Une valeur inférieure à 30° témoigne d'une faiblesse des muscles intrinsèques, et notamment des muscles thénariens et hypothénariens.

Tableau 4
Méthode d'évaluation des muscles intrinsèques (d'après Alnot)

Muscle exploré	Fonction explorée	Récupération motrice (BMRC)		
		Entre 0 et 1 (point)	Entre 2 et 3 (points)	Entre 4 et 5 (points)
Thénariens latéraux et court fléchisseur du pouce	Antépulsion Opposition	0–1	2–3	4–5
Hypothenariens	Abduction Élévation du 5 ^e rayon	0	-	0,5
Interosseux (sauf 1 ^{er} interosseux dorsal)	Mobilité en volet	0	0,5	1,5
	Amyotrophie Force musculaire	0	0,5	1
	Écartement et rapprochement des doigts	0	-	0,5
Muscles du 1 ^{er} espace	Signe de Froment Force de la pince I-II	0	0,5	1,5
Total (sur 10 points)		0–1	3,5–4,5	10

La mobilité en abduction–adduction du troisième doigt fait intervenir les deuxième et troisième interosseux dorsaux, innervés uniquement par le nerf ulnaire. La mesure, main à plat et poignet stabilisé, de la distance du sommet de l'ongle en abduction maximale et adduction maximale a une valeur normale supérieure ou égale à 50 mm [12].

Bilan global

Le bilan global des réparations des plaies tendino-nerveuses de la face antérieure du poignet a pour but d'étudier l'ensemble des fonctions de la main qui sont sous la dépendance à la fois de la réparation tendineuse (muscles extrinsèques) et nerveuse (sensibilité et muscles intrinsèques). Aucun test global évaluant toutes ces fonctions en une seule fois n'est utilisé en routine [25], et nous étudions séparément la force globale de la main, la mobilité de la colonne du pouce et l'appréciation subjective du résultat, et notamment de la douleur.

L'étude de la force globale comprend la mesure quantitative de la force de la poigne (*grasp*) et de la pince pollicidigitale terminolatérale (*key pinch*) au moyen de dynamomètres. L'utilisation bilatérale de l'appareil Jamar® au troisième cran permet de tester la

force développée par la musculature à la fois extrinsèque et intrinsèque.

L'étude de la mobilité de la colonne du pouce doit rechercher quatre valeurs : l'opposition, la pronation, l'abduction et l'antépulsion. La valeur de l'opposition est obtenue par la mesure hippocratique de la grande course du pouce, selon Kapandji. La valeur de la pronation est obtenue par la mesure de l'angle défini entre les axes des dernières phalanges du pouce et du quatrième doigt lors de la pince pollicidigitale terminoterminal de ces deux doigts, selon Bourrel. La valeur de l'abduction est obtenue par la mesure de l'angle défini entre les axes des premier et deuxième rayons lors de l'ouverture maximale de la première commissure. La valeur de l'antépulsion est obtenue par la mesure de l'angle défini entre l'axe du pouce et celui du plan de la main en antépulsion maximale.

L'étude de l'appréciation subjective du résultat, et notamment de la douleur, cherche à évaluer le syndrome irritatif, l'intolérance au froid et la valeur fonctionnelle de la main. Le syndrome irritatif en regard des sutures nerveuses et de l'ensemble de la main est évalué par la classification globale utile de Michon (tableau 5). L'existence d'une intolérance au froid est recherchée, ainsi que l'avis du patient concernant la valeur fonctionnelle de sa main parmi quatre propositions (très satisfaisant, satisfaisant, moyen, insatisfaisant).

Tableau 5
Classification globale utile (d'après Michon)

U0	Douleurs permanentes, main inutilisable
U1	Gêne ou douleur rendant la main difficilement utilisable
U2	Gêne modérée, main utilisable
U3	Gêne discrète sans retentissement sur l'utilisation de la main lors des activités normales
U4	Aucune gêne ni douleur

Classification globale des résultats

Le résultat objectif global des plaies tendinonerveuses de la face antérieure du poignet est essentiellement corrélé au résultat nerveux, les sections tendineuses en zone V étant généralement considérées comme de bon pronostic [22]. La plupart des méthodes d'évaluation utilisent une pondération permettant un classement facile en cas de lésion isolée, mais posent problème en cas de lésions combinées, comme pour les plaies tendinonerveuses de la face antérieure du poignet.

La classification décrite par Alnot [1] remplit ces objectifs, car elle prend en compte des critères d'évaluation différents pour les lésions isolées du nerf ulnaire ou du nerf médian, et des deux nerfs associés.

En cas de lésion isolée du nerf médian, comme dans une plaie antérolatérale, la qualité du résultat dépend essentiellement de la récupération sensitive des trois premiers doigts, alors que la paralysie séquellaire des muscles thénariens latéraux est souvent peu invalidante (surtout si le faisceau profond du court fléchisseur du pouce est innervé par le nerf ulnaire).

En cas de lésion isolée du nerf ulnaire, comme dans une plaie antéromédiale, la qualité du résultat dépend essentiellement de la récupération motrice intrinsèque, alors qu'une hypoesthésie du bord ulnaire de la main est souvent moins invalidante.

En cas de lésion associée des nerfs médian et ulnaire, comme dans une hémisection antérieure, l'évaluation

objective globale doit prendre en compte non seulement le résultat sensitif dans le territoire du nerf médian, mais aussi celui de la récupération motrice dans le territoire du nerf ulnaire.

Le résultat global objectif est obtenu par l'addition des notes de la classification nerveuse sensitive (1 ou 2, notes sur 5) et motrice (1 ou 2, notes sur 5), et la moyenne permet de classer le résultat (tableau 6). Le résultat global subjectif est obtenu lorsque est prise en compte dans la moyenne l'évaluation fonctionnelle subjective du patient.

Résultats

Les résultats après réparation de plaie tendinonerveuse de la face antérieure du poignet sont variables selon l'organe lésé (tendineux, nerveux et/ou vasculaire), mais aussi selon le type lésionnel (antérolatéral, antéromédial ou hémisection antérieure).

Sur le plan tendineux, le pronostic après réparation est en général bon, et la récupération de la course des muscles extrinsèques est complète dans la plupart des cas. Parmi les tendons de l'appareil fléchisseur, ce sont ceux du *palmaris longus*, des fléchisseurs du troisième doigt et du *flexor carpi radialis* qui sont le plus souvent atteints, puis viennent ceux du *flexor carpi ulnaris* et des fléchisseurs du quatrième doigt. Les résultats obtenus après réparation, en terme de mobilité, sont les meilleurs dans les plaies antéromédiales, puis dans

Tableau 6
Classification du résultat objectif global (d'après Alnot)

	Sensibilité (S)	Testing moteur (M)
Mauvais	S0 ou S1	≥ M0
Moyen	≥ S2	= M3
Bon	≥ S3	≥ M3
Excellent	≥ S4	≥ M4

les plaies antérolatérales, et les moins bons sont observés dans les hémisections antérieures. En cas de résultat imparfait, les reprises chirurgicales par ténolyse ou suture secondaire donnent en général de bons résultats.

Quoi qu'il en soit, le principe de la réparation de « tout en un temps avec mobilisation précoce », préconisé depuis longtemps [19], reste la règle pour éviter œdème, raideur et exclusion de la main.

Sur le plan nerveux, le pronostic dépend du type lésionnel, donc de la localisation de la plaie.

Le résultat des plaies antérolatérales, plus fréquentes, qui intéressent le nerf médian, est directement corrélé à la qualité de la récupération sensitive. Nous avons vu que la réparation nerveuse pouvait intéresser les fascicules, autorisant une orientation de bonne précision.

Le résultat des plaies antéromédiales, moins fréquentes, qui intéressent le nerf ulnaire, est directement corrélé à la qualité de la récupération des muscles intrinsèques. Nous avons vu que la réparation nerveuse, dont les contingents moteur et sensitif pouvaient être séparés, était plus tronculaire que fasciculaire. La lésion nerveuse, proche des effecteurs, est globalement de bon pronostic, comparée aux lésions proximales, qui récupèrent rarement [8].

Le résultat des hémisections antérieures, plus rares, qui intéressent les deux nerfs, est aussi le moins bon. C'est dans ces cas que l'ouverture du canal carpien sera parfois nécessaire pour obtenir une meilleure exposition lésionnelle. C'est aussi dans ces cas de lésions nerveuses médiolunaires basses que certains auteurs ont proposé une plastie d'opposition d'emblée, en urgence, arguant de la lenteur et de l'incertitude de la récupération nerveuse motrice. Toutefois, les résultats objectifs d'une telle attitude restent à démontrer, et c'est pourquoi nous la réservons à des cas exceptionnels de patients très âgés ou atteints de pathologies neurologiques chroniques.

Sur le plan vasculaire, le pronostic est en général bon, mais les douleurs au froid sont d'autant plus rares que tous les axes artériels auront été réparés en urgence. En effet, en cas de réparation secondaire, la revascularisation d'une thrombose artérielle est en général inef-

ficace, car une greffe veineuse a de grandes chances de thromboser du fait d'une revascularisation du bout distal par l'intermédiaire de l'arcade palmaire superficielle. En effet, le flux antérograde de l'artère revascularisée est souvent neutralisé par le flux rétrograde plus important provenant de l'axe vasculaire intact.

Au total, le bon pronostic des plaies tendinonerveuses de la face antérieure du poignet, qui correspondent à des lésions médiocubitales basses, est expliqué par la faible distance entre la lésion et les organes effecteurs sensitifs et moteurs. Par ailleurs, on peut compter parmi les facteurs aggravant le pronostic l'âge, l'existence de lésions artérielles non réparées, le terrain psychologique, voire psychiatrique.

Conclusion

Les plaies tendinonerveuses de la face antérieure du poignet sont fréquentes et constituent une part importante d'incapacité, notamment chez les travailleurs manuels. Leur prise en charge passe par une réparation systématique et rigoureuse de tous les éléments dans un centre spécialisé. Si le pronostic des lésions tendineuses est globalement satisfaisant, le résultat final est essentiellement dépendant de la réparation nerveuse microchirurgicale, et une suture nerveuse directe en urgence devra être réalisée chaque fois que les conditions locales le permettent.

Il faut distinguer :

- la plaie antérolatérale, avec lésion du nerf médian, la plus fréquente, dont le résultat dépend de la récupération sensitive des trois premiers doigts;
- la plaie antéromédiale, avec lésion du nerf ulnaire, dont le résultat dépend de la récupération musculaire intrinsèque;
- l'hémisection antérieure, dont le résultat dépend à la fois de la récupération sensitive et de la récupération musculaire intrinsèque.

Globalement, les résultats de ces lésions graves sont bons, non seulement grâce à l'amélioration des techniques microchirurgicales, mais aussi grâce à la proximité des effecteurs par rapport aux lésions nerveuses.

RÉFÉRENCES

- 1 Alnot JY, Badelon O, Leroux D. Les plaies tendino-nerveuses de la face antérieure du poignet. À propos d'une série de 62 cas. *Rev Chir Orthop* 1986; 72 : 126-31.
- 2 Alnot JY, Liverneaux P. Plaies récentes des nerfs au poignet et à la main. *Rev Prat* 1994; 44 : 2446-50.
- 3 Bell-Krotoski JA. Light-touch-deep pressure testing using Semmes-Weinstein monofilaments. In: Hunter JM, Schneider LH, Mackin EJ, Callahan A, eds. *Rehabilitation of the hand*. St Louis (MO) : Mosby; 1990. p. 585-93.
- 4 Buchler U, Hastings IH. Combined Injuries. In: Green DP, ed. *Operative hand surgery*. Vol. 2. New York (NY) : Churchill Livingstone; 1993. p. 1563-85.
- 5 Comtet JJ. La sensibilité : physiologie, examen, principes de la rééducation de la sensation. *Ann Chir Main* 1987; 6 : 230-8.

- 6 Cone JC, Hueston T. Psychologie et blessure de la main. In : Tubiana R, éd. *Traité de chirurgie de la main*. Vol. 1. Paris : Masson; 1980. p. 757-66.
- 7 Dellon AL. The moving two-point discrimination test : clinical evaluation of the quickly-adapting fiber/receptor system. *J Hand Surg* 1978; 3A : 474-81.
- 8 Dumont CE, Alnot JY. Proximal median and ulnar resections. Results of primary and secondary repairs. *Rev Chir Orthop* 1998; 84 : 590-9.
- 9 Hirase Y, Yamaguchi T, Abe K. Flexor tendon rupture with nerve and artery damage in the wrist in children. *Jap J Plast Reconstr Surg* 2005; 48 : 871-9.
- 10 Hudson DA, de Jager LT. The spaghetti wrist. *J Hand Surg* 1993; 18B : 171-3.
- 11 Faltot M, Fremont B. Les tentations suicidaires. *Soins Psy* 1992; 128 : 24-6.
- 12 Iida H, Ogata K, Asakawa Y, Onoue H, Soejima O. The measurement of the long finger active radial-ulnar abduction distance (LAD) in patients with cubital tunnel syndrome. Presented at the annual meeting American Association for Orthopaedics Surgery; 1994; New Orleans, LA.
- 13 Jerosch-Herold C. A study of the relative responsiveness of five sensibility tests for assessment of recovery after median nerve injury and repair. *J Hand Surg* 2003; 28B : 255-60.
- 14 Kallio PK, Vastamäki M. An analysis of the results of late reconstruction of 132 median nerves. *J Hand Surg* 1993; 18B : 97-105.
- 15 Lamine A, Fikri T, Zryouil B. Lésions nerveuses médiocubitales associées au niveau du poignet. À propos de 17 cas. *Rev Chir Orthop* 1993; 79 : 398-401.
- 16 Leddy JP. Flexor tendons-acute injuries. In : Green DP, ed. *Operative hand surgery*. Vol. 2. New-York (NY) : Churchill Livingstone; 1993. p. 1823-51.
- 17 Liverneaux P, Nonnenmacher J. Lésion nerveuse et vasculaire. In : Dubert T, Masméjean E, éd. *Plaies de la main*. Paris : Elsevier; 2006. p. 109-22.
- 18 Lundborg G, Rosen B, Dahlin L, Holmberg J, Rosen R. Tubular repair of the median or ulnar nerve in the human forearm : a 5-year follow-up. *J Hand Surg* 2004; 29B : 100-7.
- 19 Michon J, Merle M, Foucher G. Complex injury of the hand : one-stage treatment with early mobilisation. *Chir* 1977; 103 : 956-64.
- 20 Möberg E. Objective methods for determining the functional value of sensibility of the hand. *J Bone Joint Surg* 1958; 40B : 454-75.
- 21 Nonnenmacher J, Rapp E. La main neurologique périphérique. *Rev Fr Dommage Corp* 2004; 4 : 289-304.
- 22 Rogers GD, Henshall AL, Sach RP, Wallis KA. Simultaneous laceration of the median and ulnar nerves with flexor tendons at the wrist. *J Hand Surg* 1990; 15A : 990-5.
- 23 Schoofs M. L'usage de la colle biologique en microchirurgie de la main. *Ann Chir Plast Esthet* 1999; 44 : 132.
- 24 Sunderland S. The intraneural topography of the radial, median and ulnar nerves. *Brain* 1945; 68 : 243-99.
- 25 Vordemvenne A, Langer M, Ochman S, Raschke M, Schult M. Long-term results after primary microsurgical repair of ulnar and median nerve injuries. A comparison of common score systems. *Clin Neurol Neurosurg* 2007; 109 : 263-71.

Lésion du tronc du nerf radial au bras

Radial nerve injury at the arm

E. MASMEJEAN ¹, B. BAUER ², J.-Y. ALNOT ³

RÉSUMÉ

L'atteinte du tronc du nerf radial au bras est une lésion relativement fréquente en traumatologie. Elle peut survenir dans trois contextes différents : la plaie du bras avec atteinte du nerf radial, le traumatisme complexe du bras associant souvent une fracture ouverte et des lésions vasculonerveuses, et enfin et surtout après fracture de l'humérus. En cas de plaie du nerf, la réparation nerveuse répond aux règles habituelles de la prise en charge d'une plaie d'un tronc nerveux, avec suture primaire si possible en urgence, greffe nerveuse dans les cas secondaires. En cas de fracas ouvert du bras, le principe repose sur l'ostéosynthèse de l'humérus, qui peut être accourcissante, permettant autant que faire se peut de faire des sutures directes des éléments vasculonerveux, notamment de l'artère radiale. Enfin, l'atteinte du nerf est observée dans environ 15 % des fractures de l'humérus. En cas de paralysie radiale après fracture de l'humérus, la récupération spontanée est observée dans 70 à près de 90 % des cas suivant les séries. L'existence d'une paralysie ne doit pas modifier l'attitude vis-à-vis de la fracture. S'il existe une indication d'ostéosynthèse du fait notamment d'un déplacement significatif, l'opérateur doit rester libre de choisir une ostéosynthèse à ciel ouvert ou un système centromédullaire ; mais l'exploration du nerf doit être faite dans ce même temps opératoire. Si le nerf est interrompu, le nerf doit être suturé si possible, sinon, une greffe nerveuse sera réalisée à distance. Si le nerf est continu, il doit être évalué par la palpation et la stimulation. La possibilité d'une lésion postopératoire iatrogène doit également être connue. Dans les suites, la récupération doit être évaluée sur la clinique, elle commence par le brachioradial. L'électromyogramme doit être prescrit à partir de la sixième ou huitième semaine, en l'absence de tout signe clinique de récupération. Après deux ou trois mois, après disparition des phénomènes inflammatoires, le greffe nerveuse peut être envisagée. Elle se fait dans la gouttière bicipitale latérale en cas de rupture distale ; en extra-anatomique, entre biceps brachial et brachialis en cas de rupture plus proximale.

Mots clés : Nerf radial. – Fracture de l'humérus. – Paralysie iatrogène.

SUMMARY

Radial nerve palsy at the arm is a relatively frequent lesion. It can occur in 3 different situations: wound of the arm with radial nerve laceration, complex trauma of the arm including open fracture of the humerus and vasculonervous injuries, and the most often a "regular" humeral fracture. In case of nerve laceration, the direct suture in emergency is recommended, and a nerve graft can be required is secondary procedure. In case of complex open humeral fracture, a shortening osteosynthesis is necessary in order to allow a direct repair of vascular and/or nerve lesions. In case of a humeral shaft fracture, a radial nerve palsy can be noted in 15% of the cases. In such cases, the spontaneous recovery of the radial nerve palsy will occur in 70 to 90% of the cases. A radial nerve palsy do not modify the treatment attitude of the humeral fracture. In case of significant displacement, the surgeon can choose between an open reduction with internal fixation by plate, or a centromedullar system, but the exploration of the nerve must be done during the same procedure in all cases. If the nerve is interrupted, a nerve suture must be done, or a nerve graft in a secondary procedure if the direct repair is not possible. If the nerve is in continuity, the evaluation include palpation and electrostimulation of the nerve. Also, the possibility of a postop radial nerve palsy must be known. In the follow-up, recovery must be evaluated on the clinical recovery, beginning at the brachioradialis muscle. EMG must be done after 6 to 8 weeks, in absence of any sign of clinical recovery. After 2 to 3 months, after disappearance of the inflammatory process, nerve graft can be scheduled. It can be done for distal lesion in the bicipital lateral groove, or for proximal lesion, between the brachialis and the biceps with an extra-anatomic way.

Key words: Radial nerve. – Humerus fracture. – Postop palsy.

¹ Unité de chirurgie de la main et des nerfs périphériques, SOS Mains, service de chirurgie orthopédique et traumatologique, hôpital européen Georges-Pompidou (HEGP), 20, rue Leblanc, 75015 Paris, France

² Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, hôpital d'instruction des armées (H.I.A) Percy, 101, avenue Henri Barbusse, 92141 Clamart, France

³ Ancien chef du service de chirurgie orthopédique et traumatologique de l'hôpital Bichat, chirurgien consultant

Trois situations cliniques peuvent être schématiquement décrites [10, 11] :

- la lésion du nerf radial au cours d'une fracture de la diaphyse humérale ;
- la plaie ou contusion des parties molles avec atteinte du tronc du nerf radial ;
- la lésion du nerf radial dans le cadre d'un traumatisme complexe du membre supérieur associant des lésions plurinerveuses, des lésions ostéo-articulaires et/ou vasculaires.

Rappel anatomique

La paralysie du tronc du nerf radial au bras est la paralysie de l'extension du poignet et des doigts, de la rétropulsion-abduction de la colonne du pouce avec, à un moindre degré de gêne, une paralysie de la supination. Dans tous ces cas, le triceps brachial est respecté, car l'atteinte du tronc se fait distalement par rapport à l'origine du nerf du triceps.

Diaphyse humérale et ses rapports nerveux

La surface corticale est marquée par des crêtes dessinant des bords qui délimitent entre autres deux surfaces lisses diaphysaires régulières, notamment une antéromédiale, bien étendue verticalement, et une antérolatérale, moins étendue puisque interrompue par la gouttière du nerf radial [9].

Le nerf radial traverse le septum intermusculaire latéral à une distance moyenne de 16 cm de l'extrémité distale de l'os. Mais, étant donné l'importante variation individuelle de la mesure de ce niveau (de 9 à 21 cm), il est préférable de retenir en pratique l'existence d'une zone dangereuse constante entre 10 à 15 cm, à partir de l'épicondyle latéral. Le repère de quatre travers de doigt est utile.

Anatomie macroscopique

Le nerf radial (*radialis*) fait suite, après le départ du nerf axillaire, au tronc secondaire postérieur. Ses fibres sont issues des cinquième, sixième, septième et huitième racines cervicales. Il constitue la branche la plus volumineuse du plexus brachial. Il traverse verticalement la cavité axillaire à sa partie inférieure. Arrivé au bras, il se dirige en bas, en arrière et en dehors et s'engage dans la fente humérotricipitale située au-dessous du tendon du muscle grand rond (*M. teres major*) et du muscle grand dorsal (*M. latissimus dorsi*), dans un canal ostéomusculaire compris entre la gouttière

radiale de l'humérus en avant, la longue portion du muscle triceps brachial (*M. triceps brachii*) et le vaste latéral en arrière, les insertions du vaste latéral en haut et celles du vaste médial en bas. Le nerf va s'enrouler en spirale dans le bras autour de la diaphyse humérale de dedans en dehors, d'où l'appellation historique de nerf « spiralé » [18]. Dans ce canal, le nerf est appliqué contre la gouttière et accompagné par l'artère humérale profonde, qui chemine au-dessus et en dehors de lui. Le nerf sort de la gouttière radiale et descend dans le fond de la coulisse bicipitale latérale. Cette gouttière est limitée par le muscle biceps brachial (*M. biceps brachii* ou BI) et le muscle brachial antérieur (*M. brachialis* ou BA) en avant, le muscle brachioradial (*M. brachio-radialis* ou BR) et le long extenseur radial du carpe (*M. extensor carpi radialis longus* ou ECRL) en dehors. Au niveau de l'interligne articulaire de l'articulation huméroradiale, il se divise en ses deux branches terminales.

Le tronc du nerf donne en haut, un peu au-dessus de la base de l'aisselle, des branches collatérales pour la longue portion du M. triceps brachial et pour la partie médiale du vaste médial. À son origine vers l'extrémité supérieure de la gouttière radiale, il donne une branche pour la partie supérieure du vaste médial et l'ancône (*M. anconeus*). Le nerf du vaste latéral naît, lui aussi, à la partie supérieure de la gouttière. Les nerfs du BR et de l'ECRL naissent successivement à la partie supérieure de la gouttière bicipitale latérale.

La branche postérieure profonde, abusivement appelée motrice, est en fait un nerf mixte, car son rameau terminal, appelé nerf interosseux postérieur, se ramifie par des fibres sensitives sur la face dorsale des articulations du poignet et des os du carpe. Cette branche innerve le court extenseur radial du carpe (*extensor carpi radialis brevis* ou ECRB) et le supinateur (*supinator*), qu'il traverse. En fait, selon Spinner, l'ECRB reçoit son innervation de la branche superficielle dans la majorité des cas. La branche profonde innerve également les muscles du plan superficiel de la région anté-brachiale postérieure : l'extenseur commun des doigts (*extensor digitorum communis* ou EDC), l'extenseur propre du cinquième doigt (*extensor digiti minimi* ou EDM) et l'extenseur ulnaire du carpe (*extensor carpi ulnaris* ou ECU). Elle donne des rameaux pour les muscles du plan antérieur : long abducteur du pouce (*abductor pollicis longus* ou APL), les court et long extenseurs du pouce (*extensor pollicis brevis* ou EPB et *longus* ou EPL) et l'extenseur propre de l'index (*extensor indicis proprius* ou EIP).

La branche terminale antérieure, superficielle ou sensitive, donne l'innervation sensitive, par trois rameaux distincts, des faces dorsales du pouce, de la première

commissure et de la première phalange de l'index et de la moitié radiale de la première phalange du troisième doigt.

Anatomie intrafasciculaire

Dans la « gouttière spiralée » des Anglo-Saxons, le nerf est aplati et présente une surface postérieure, superficielle et musculaire, et une surface antérieure, profonde ou osseuse [20]. Entre le point de sortie du nerf du septum intermusculaire latéral et l'épicondyle, le nerf est contenu dans un fourreau entre le BR et l'ECRL latéralement, et le brachial antérieur médialement. Cela donne au nerf un aspect ovale avec des pôles antérieur et postérieur, et des faces superficielle ou latérale et profonde ou médiale. Au niveau du condyle latéral, le nerf se divise en ses deux branches terminales.

En ce qui concerne l'anatomie intrafasciculaire, on distingue grossièrement trois zones à partir de la gouttière radiale jusqu'au niveau de la gouttière bicipitale latérale [20]. Au niveau de la gouttière osseuse, la première zone siège de 8 à 10 cm en amont du condyle latéral, et il existe de très nombreux groupes nerveux sans cartographie précise. Dès la sortie du nerf de la gouttière radiale, la branche cutanée postérieure peut être clairement individualisée du tronc parental. Cette deuxième zone siège environ à 6 cm en amont du condyle latéral avec à ce niveau cinq fascicules, situés le long du pôle supérolatéral du nerf.

Réparation nerveuse et chirurgie palliative : problèmes spécifiques

Suture et greffe nerveuse

La suture nerveuse répond aux règles habituelles, à savoir une suture épipérineurale avec colle biologique [5].

En ce qui concerne la greffe, elle est à orientation fasciculaire en câble avec un problème spécifique en rapport avec le siège de la lésion [1, 13, 14].

Dans un grand nombre de cas, la lésion au bras est plutôt distale, et la greffe peut être faite dans la gouttière bicipitale latérale. Dans d'autres cas, la préparation du bout proximal nécessite une recoupe qui se trouve en arrière de l'humérus, et, dans ces cas, il faut alors faire un abord médial et proximal pour retrouver le tronc du nerf radial, le disséquer pour séparer la branche destinée au muscle vaste médial et faire passer les greffons en avant entre brachial antérieur et biceps brachial.

La longueur de la greffe a une valeur pronostique. Une longueur inférieure à 10 cm ainsi qu'un nombre

de torons supérieur à trois ou quatre, sont des éléments favorables. Dans la gouttière bicipitale latérale, la greffe peut être courte, souvent de moins de 10 cm. En avant, la greffe a une longueur minimale qui correspond au trajet entre le canal brachial, en haut et en dedans, et la gouttière bicipitale latérale, en bas et en dehors; le plus souvent, elle fait au moins 10 cm.

Transferts palliatifs

Les interventions palliatives font partie intégrante du plan thérapeutique [6, 16] et doivent être discutées si la longueur de la greffe est supérieure à 15 cm, et ce d'autant que le lit est trophiquement défavorable, si la lésion est ancienne (recolonisation estimée des effecteurs supérieure à 18 mois), et enfin si le sujet est très âgé.

Dans notre orientation, nous transférons le tendon du rond pronateur sur le tendon de l'ECRB, le tendon du fléchisseur ulnaire du carpe *circum cubital* sur le tendon des extenseurs communs des doigts et le long extenseur du pouce, et enfin le tendon du long palmaire sur les tendons long abducteur et court extenseur du pouce. Si le long palmaire est absent, nous utilisons alors le fléchisseur commun superficiel du quatrième doigt.

Ce chapitre fait l'objet d'un exposé à part entière dans cette monographie.

Méthode d'évaluation

Qu'il s'agisse de réparations nerveuses ou de transferts musculaires, la méthode d'évaluation des résultats doit être précisée.

Chaque muscle innervé par le nerf radial doit être testé [8, 22]. La cotation internationale du British Medical Research Council, modifiée par Möberg, peut être utilisée pour chaque muscle.

L'appréciation du résultat final, quel que soit le traitement de la lésion nerveuse (évolution spontanée, neurolyse, suture directe ou greffe nerveuse), est fondée sur une évaluation essentiellement motrice, décrite par Alnot [1, 2], qui apprécie les résultats au niveau de cinq groupes musculaires auxquels est attribuée une note correspondant à la fonction restaurée et à sa force (tableau 1).

Ces fonctions doivent, à notre avis, être analysées séparément, car elles correspondent à des mouvements utiles et différents.

Les fonctions d'extension du poignet et des doigts sont chacune considérées comme principales (3 points) (figure 1). Cliniquement, il semble très difficile, voire impossible, de déterminer l'intégrité de l'ECRB en présence d'un ECRL intact.

Tableau 1
Cotation de l'évaluation de la récupération du nerf radial selon Alnot [1, 2]

Cotation d'Alnot	Mouvement	Points		Muscles concernés
Fonction du poignet	Extension du poignet	3		ECRB & ECRL
Fonction des doigts	Extension des doigts	3		ECD
Fonction du pouce	Abduction – Extension du pouce	2	3	LAP – EPB
	Rétropulsion du pouce	1		LEP
Supination	Supination	1		BR & Supinateur
Total		10		

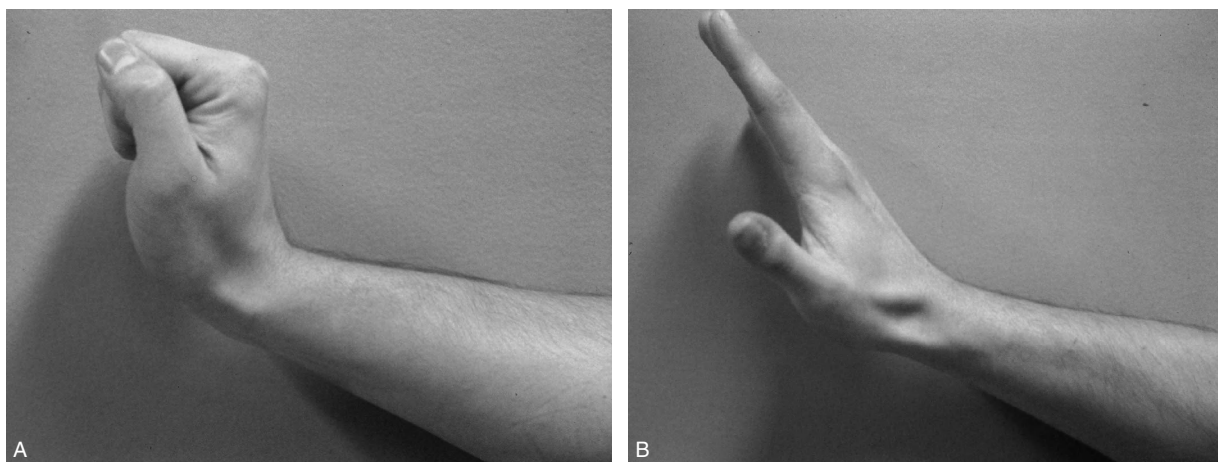


Figure 1. Évaluation clinique des extenseurs du poignet (A) et de l'extension des doigts (B). Pour tester les extenseurs du poignet, le poing doit être fermé.

La fonction de rétropulsion-rotation axiale de la colonne du pouce est également cotée principale (3 points). On subdivise ce mouvement en deux fonctions : la fonction d'extension ou de rétropulsion de la colonne du pouce (1 point) et l'action conjointe des muscles EPB et APL (2 points). Le dernier mouvement d'extension-abduction du pouce est produit conjointement par les muscles EPL, EPB et APL lors de l'opposition [14].

La fonction de supination du poignet est considérée comme accessoire (1 point).

Le résultat global est coté excellent (8–9 points), bon (6–7 points), moyen (4–5 points) et mauvais (0 à 2 points), en notant qu'il n'y a pas, après réparation nerveuse, de restitution *ad integrum* avec récupération de toutes les fonctions avec une force normale, car le blessé présente toujours une fatigabilité des muscles réinnervés, même dans les meilleurs cas.

Par ailleurs, les résultats classés moyens avec réinnervation de certains groupes musculaires sont cependant utiles, car ils permettent de faire ultérieurement des transferts limités, par exemple, sur les seuls extenseurs des doigts et du pouce, alors que les extenseurs radiaux du carpe ont récupéré.

Le résultat est noté comme acquis dès lors que la récupération est complète ou que l'évolution est stabilisée. En ce qui concerne la récupération spontanée, la durée de récupération est variable de quelques mois à un an. En ce qui concerne le délai de récupération après neurolyse ou greffe, il est directement corrélé à la longueur de la greffe et, à un moindre degré, à l'étendue de la fibrose constatée. Il faut considérer, en effet, que la repousse nerveuse débute dès la troisième semaine après l'intervention (délai de cicatrisation des sutures) et que la vitesse théorique de repousse nerveuse est d'environ 1 mm par jour.

Sur le plan sensitif, la sensibilité de la face dorsale de la première commissure doit être notée. Cette zone correspond au territoire autonome sensitif du nerf radial. La sensibilité peut être considérée comme normale, diminuée, dysesthésique ou nulle.

Lésion du nerf radial au cours d'une plaie (ou contusion) des parties molles

La réparation nerveuse ne se discute pas devant une plaie de la face latérale du bras, dont l'exploration chirurgicale doit être systématique.

Dans les cas de contusions plus ou moins appuyées, le problème peut être un peu différent, car la récupération peut survenir en fonction du type du traumatisme.

C'est cette attitude que nous avons adoptée dans notre série initiale de Bichat [10, 11], qui comporte 11 cas, 9 hommes et 2 femmes de 37 ans, d'âge moyen.

Dans 3 cas, il s'agissait d'une contusion appuyée de type « bras de porte », avec, dans 2 cas, une récupération spontanée et, dans 1 cas, vu secondairement, la nécessité d'une exploration et d'une réparation par greffe nerveuse avec un excellent résultat.

Dans 8 cas, la réparation nerveuse a été faite en urgence, avec dans tous les cas un bon ou un excellent résultat, modulé dans 3 cas où il existait des lésions plurinerveuses associées, grevant bien sûr le pronostic final.

Lésions du nerf radial au cours d'un traumatisme complexe du bras

Il s'agit d'une éventualité relativement rare. Ring et al. [17] rapportent 6 cas de traumatisme complexes multi-tissulaires sur 42 fractures diaphysaires de l'humérus avec paralysie radiale initiale colligées sur une année.

L'addition des facteurs de pronostic, fracture de la diaphyse humérale et lésions des parties molles, plurinerveuses et vasculaires, nécessitent un plan thérapeutique précis.

Il s'agit en effet de blessés présentant des lésions osseuses et des parties molles, vasculaires et nerveuses, confinant à l'amputation subtotalaire dans certains cas, et l'orientation de toutes les équipes se fait, après un parage strict, vers un raccourcissement osseux permettant, en un temps, la réparation vasculaire directe, la suture musculaire et la réparation nerveuse, si possible par suture en urgence ou secondairement par greffe.

Cela est possible aux membres supérieurs avec un raccourcissement de 5 à 6 cm et, dans notre expérience [10, 11], qui porte sur 12 hommes et 1 femme, cette attitude a permis la conservation du bras et la restauration, certes au prix d'interventions secondaires (greffe nerveuse en cas d'échec et/ou transfert musculaire), et de redonner une fonction utile (figure 2).

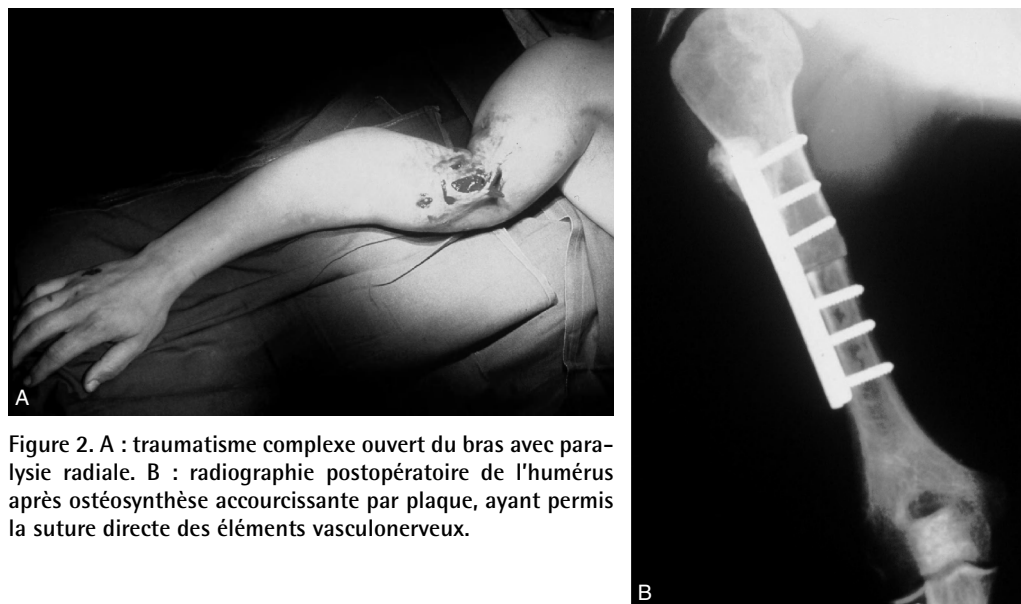


Figure 2. A : traumatisme complexe ouvert du bras avec paralysie radiale. B : radiographie postopératoire de l'humérus après ostéosynthèse accourcissante par plaque, ayant permis la suture directe des éléments vasculonerveux.

Paralysie radiale et fracture humérale

Ce chapitre pose le problème de l'attitude à avoir, notamment en urgence, devant une lésion du nerf radial contemporaine d'une fracture de la diaphyse humérale et de décider si l'existence de cette paralysie radiale va modifier les indications.

D'autres situations peuvent se voir, soit qu'il s'agisse de paralysie iatrogène survenue au décours d'une intervention ou après une ablation de matériel d'ostéosynthèse, soit que le malade est adressé secondairement avec un état initial inconnu, avec bien sûr une attitude thérapeutique différente.

Paralysie radiale contemporaine de la fracture humérale

L'atteinte du nerf radial s'observe dans 2 à 17 % des fractures de la diaphyse humérale dans les différentes séries de la littérature [17].

Le taux de récupération spontanée, secondaire à des lésions de degré I ou II de Sunderland, est élevé, compris entre 76 et 89 %.

Cette récupération spontanée est cependant longue. Par ailleurs, le problème est de savoir si, en appréciant un certain nombre d'éléments, il est nécessaire d'envisager une exploration précoce du nerf, et dans quelles conditions.

Siège et type de fracture

Le siège de la fracture est important à considérer, et il se situe au tiers moyen dans la majorité des séries. On retrouve cependant une fréquence relative pour les fractures du tiers supérieur et les fractures du tiers inférieur. Pour certains, le trait de fracture spiroïde est le plus pathogène et représentait dans notre expérience initiale 45 % des cas [3]. Dans la série collective rapportée lors du symposium de la Sofcot 2003, une part plus importante (22,7 %) de fractures transversales était relevée [12]. Dans l'expérience bordelaise [4], une majorité de fractures spiroïdes (7/15), avec une répartition équivalente du tiers moyen et du tiers distal, a encore été retrouvée.

Pour Shaw et Sakellarides [19], une fracture du tiers distal de l'humérus associée à un trait de fracture spiroïde représente le risque maximum de lésion du nerf. Cette association peut s'expliquer par l'absence d'interposition musculaire entre l'os et le nerf à ce niveau de l'humérus, ce qui rend ce dernier très vulnérable à ce type de fracture. Par ailleurs, le nerf à cet endroit

est très peu mobile et plus sensible à l'étirement. Le risque est alors accru de lacération ou de rupture du nerf radial par une esquille osseuse.

Déplacement fracturaire et ouverture cutanée

Le déplacement de la fracture est un deuxième élément important dans la décision thérapeutique, ainsi que l'ouverture cutanée, qui témoigne de la violence du traumatisme avec une fréquence de paralysie radiale qui peut être évaluée à 20 % des cas.

Holstein [7] a bien montré que la rupture nerveuse se faisait sur l'arête du fragment distal déplacé en dehors, en avant et en haut (figure 3), précédée d'une phase d'allongement du nerf, ce qui aboutit à un excès relatif de longueur, permettant, si l'on voit la lésion en urgence, de faire une recoupe des extrémités et une suture sans tension.

Dans d'autres cas, c'est la cloison intermusculaire latérale qui peut agir comme couperet lors du passage du nerf à travers elle.

La rupture se fait en règle au niveau de la gouttière bicipitale latérale, et plus rarement dans la gouttière de torsion, ou tout au moins proximale à l'entrée du nerf dans la gouttière bicipitale.

Tous ces éléments, ainsi que l'âge du blessé, entrent en ligne de compte dans les indications thérapeutiques.

Orientation thérapeutique

À la lumière de notre expérience et de la littérature, l'attitude doit être éclectique, et notre orientation est la suivante.

– Certaines situations incitent à l'ostéosynthèse du fait d'un contexte particulier : polyfracturé, polytraumatisé et fractures étagées du membre supérieur, ainsi que la fracture ouverte et la fracture irréductible. Pour certains auteurs, l'ostéosynthèse à foyer fermé par clou centromédullaire est alors une technique de choix [21]. L'exploration du nerf radial doit alors être faite dans le même temps opératoire, quel que soit le mode d'ostéosynthèse choisi, et permettre son éventuelle réparation, même si une voie d'abord complémentaire est nécessaire.

– De même, dans la fracture instable à grand déplacement, la stabilisation par ostéosynthèse est indiquée dans un grand nombre de cas, et l'exploration concomitante du nerf radial est pour nous d'une évidence logique. Pour cette raison, la stabilisation par ostéosynthèse à ciel ouvert par plaque après un abord latéral semble être préférée par la majorité des auteurs, et c'est également notre position.

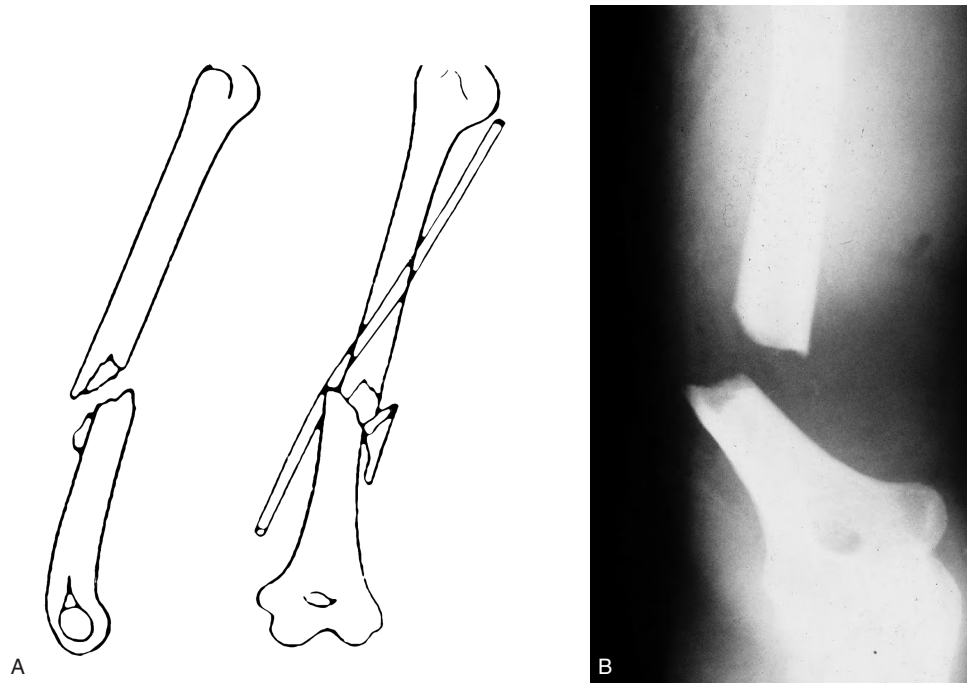


Figure 3. A : représentation schématique du mécanisme lésionnel du nerf radial au cours d'une fracture de l'humérus. Le nerf se rompt sur le fragment distal de l'humérus, déplacé en haut, en dehors et en avant. B : radiographie de l'humérus de face ; fracture avec déplacement significatif et paralysie radiale initiale contemporaine de la fracture.

Si le nerf est continu, macroscopiquement et lors de la palpation, la stimulation peropératoire apporte certains éléments intéressants pour le pronostic (figure 4).

La stimulation du nerf en amont et en aval des lésions présumées peut donner une réponse motrice avec une récupération très rapide dès la levée de la compression par stabilisation de la fracture.



Figure 4. Nerf en continuité à l'exploration chirurgicale. Il existe un rétrécissement en sablier, mais le nerf est plein à la palpation et il répond à la stimulation. Le pronostic est favorable.

Dans d'autres cas, la stimulation du nerf en amont de la lésion peut être négative, alors que la stimulation en aval donne une réponse motrice. Il s'agit alors d'un bloc de conduction avec récupération rapide, en quelques semaines, en fonction des délais de remyélinisation.

Enfin, la stimulation en amont et en aval peut être négative, et il est alors impossible de faire la distinction entre les lésions de type III et IV de Sunderland. La palpation du nerf est alors très importante, car, si l'on a l'impression d'un vide complet au sein de l'épimèvre, il faut considérer cette lésion comme un degré V et la traiter par résection-suture.

Si, lors de l'exploration, le nerf est rompu, la suture directe est possible après résection de l'allongement relatif, et l'on réalise alors dans la gouttière bicipitale latérale une suture épipérineurale (figure 5). Si la perte de substance nerveuse après parage est trop importante pour autoriser une suture directe, il faut alors repérer les extrémités nerveuses et les fixer au plan profond avant fermeture. Après disparition des phénomènes inflammatoires, à environ six à huit semaines, la greffe nerveuse peut être réalisée. La greffe nerveuse en urgence du nerf radial n'a pas pour nous d'indication, d'une part du fait qu'il est très difficile en urgence d'évaluer le niveau en zone saine nécessaire de

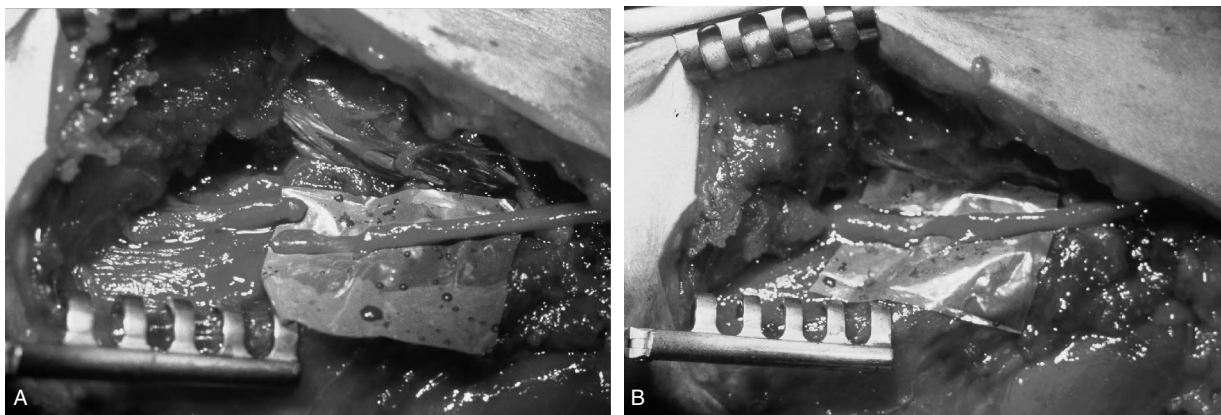


Figure 5. A : le nerf est interrompu à l'exploration ; la rupture s'est faite après un allongement relatif du nerf. B : après ostéosynthèse de l'humérus, la suture directe est réalisée.

régularisation nerveuse, du risque septique qui risque de faire « fondre » la greffe en cas d'infection postopératoire, et d'autre part dans le but de préserver autant que faire se peut le capital nerveux donneur pour une indication plus sûre.

– Dans les autres cas, notamment lorsque la fracture de la diaphyse humérale est peu déplacée, les attitudes doivent être éclectiques, et l'indication de choix est le traitement orthopédique.

L'absence de déplacement important est en faveur d'une contusion simple du nerf, qui peut récupérer spontanément. Il faut noter que les premiers signes de récupération sont souvent longs à obtenir, et il faut rechercher une récupération infraclinique au deuxième mois par un électromyogramme dans le premier muscle réinnervable, c'est-à-dire le brachioradial.

S'il n'y a aucune récupération clinique et électromyographique à deux mois et demi, c'est l'indication d'une exploration chirurgicale avec réparation nerveuse par greffe, la fracture étant consolidée.

Paralysie radiale après intervention chirurgicale pour fracture humérale

Si le nerf a été repéré et protégé au cours de l'intervention, l'évolution doit être spontanément favorable.

Sur les 17 cas de notre série initiale adressés pour la plupart secondairement, cela était le cas, 9 fois spontanément et 3 fois après neurolyse. Cinq blessés n'ont cependant pas récupéré, nécessitant trois greffes nerveuses et deux interventions palliatives chez des sujets âgés.

L'ostéosynthèse par plaque vissée est incriminée dans de nombreuses statistiques (figure 6). Une revue



Figure 6. Paralysie iatrogène postopératoire. Le nerf est repéré en zone saine, puis disséqué jusqu'à son passage sous la plaque vissée.

récente de la littérature retrouve 6,5 % de paralysie radiale compliquant une ostéosynthèse par plaque de l'humérus contre 2 % pour les autres méthodes chirurgicales [15]. Pour notre cas, chez les 17 patients, nous relevons 8 plaques vissées (47 %), 7 embrochages fasciculés (41 %), un enclouage et un cerclage.

Les techniques d'ostéosynthèse centromédullaire à foyer fermé nécessitent, dans les fractures déplacées, une réduction préalable, et les « fausses-routes », notamment pour les broches, sont à incriminer dans la genèse de la lésion du nerf radial. Il nous paraît logique, si une telle complication survient après un embrochage fasciculé, d'explorer rapidement le nerf radial.

Si l'état anatomique du nerf n'est pas connu, soit parce que le nerf n'a pas été exploré, soit que le compte rendu opératoire est incomplet, même si le taux de rupture

est théoriquement très faible, un abord précoce est là encore conseillé, et ce d'autant qu'une faute technique est fortement suspectée.

Dans tous les cas, en l'absence de signe de récupération, l'exploration sera effectuée à la fin du deuxième mois.

Paralysie radiale et ablation du matériel

Le patient doit être informé dans tous les cas de l'éventualité d'une paralysie radiale postopératoire, d'autant plus s'il existait une paralysie radiale au décours de la chirurgie initiale. Il est d'obligation médicale de noter sur le compte rendu opératoire initial la position du nerf par rapport au matériel (par exemple, le nerf passe entre la deuxième et la troisième vis à partir de l'extrémité distale) [12].

Paralysie radiale et pseudarthrose de l'humérus

L'association paralysie radiale et pseudarthrose de l'humérus doit être connue. Nous recommandons alors de traiter dans un premier temps opératoire la pseudarthrose, le plus souvent par plaque vissée et greffon

spongieux. La greffe nerveuse est ensuite réalisée à distance, dès disparition des phénomènes inflammatoires et après consolidation osseuse, souvent à partir du troisième mois après la cure de pseudarthrose. L'intérêt de prendre en charge ces lésions en deux temps distincts est aussi de ne faire la greffe nerveuse qu'après avoir éloigné tout risque de sepsis osseux postopératoire.

Conclusion

Le nerf radial à forte majorité de fibres motrices est fréquemment lésé dans les traumatismes du bras, et sa réparation par suture ou par greffe donne globalement des résultats satisfaisants. Les sutures donnent de meilleurs résultats que les greffes nerveuses et, par ailleurs, les résultats de la réinnervation musculaire directe sont bien sûr meilleurs que ceux des transferts musculaires, qui ne constituent qu'un traitement palliatif et qui répondent à des indications éclectiques.

Ces transferts peuvent valablement être discutés, d'une part, chez le sujet très âgé et, d'autre part, lorsqu'il existe dans les cas vus secondairement des lésions importantes des parties molles, et donc un lit défavorable pour la greffe.

La chirurgie nerveuse, avec l'amélioration des techniques microchirurgicales et des orientations spécifiques, doit être proposée dans une majorité des cas.

RÉFÉRENCES

- 1 Alnot JY, Le Reun D. Les lésions traumatiques du tronc du nerf radial au bras. *Rev Chir Orthop* 1989; 75 : 433-42.
- 2 Alnot JY, Oberlin C, Lahlou A. Paralysie radiale et fracture de la diaphyse humérale. In : *Entretiens de Bichat* 1983, Chirurgie. Paris : Expansion scientifique française; 1983. p. 49-50.
- 3 Alnot JY, Osman N, Masmejean E, Wodecki P. Les lésions du nerf radial dans les fractures de la diaphyse humérale. À propos de 62 cas. *Rev Chir Orthop* 2000; 86 : 143-50.
- 4 Cognet JM, Fabre T, Durandeu A. Paralysies radiales persistantes après fracture de la diaphyse humérale : origine, traitement et résultats. *Rev Chir Orthop* 2002; 88 (7) : 655-62.
- 5 Durandeu A, Fabre T. Chirurgie des nerfs périphériques. *Encycl Méd Chir. Techniques chirurgicales-Orthopédie Traumatologie*, 44-075. 2001 : 11 p.
- 6 Green PD. Radial nerve palsy. In : Green PD. *Operative hand surgery*. Vol. 2. 3rd ed. New York (NY) : Churchill Livingstone; 1993. p. 1401-8.
- 7 Holstein A, Lewis GB. Fractures of the humerus with radial nerve paralysis. *J Bone Joint Surg* 1963; 45A : 1382-3.
- 8 Kendall HO, Kendall FP, Wadsworth GE. Les muscles. Bilan et étude fonctionnelle. Paris : Maloine; 1981.
- 9 Lefèvre C, Liot M, Jacq JJ, Perruez H. Contexte anatomique de l'humérus. In : *Fractures diaphysaires de l'humérus*. Symposium de la SOFCOT 2003. *Rev Chir Orthop* 2004.
- 10 Masmejean E, Alnot JY. Injuries of the radial nerve in the upper arm. *J Bone Surg* 1997; 79B Suppl 1 : 59.
- 11 Masmejean E, Alnot JY. Les lésions du tronc du nerf radial au bras. In : Alnot JY. *Les lésions des nerfs périphériques*. Cahier d'enseignement de la Société française de chirurgie orthopédique et traumatologique. Paris : Expansion scientifique française; 1997. p. 82-9.
- 12 Masmejean E, Chetboun A, Jacquot F, Augereau B, Bonneville P. Paralysies radiales et autres complications vasculonerveuses. In : *Fractures diaphysaires de l'humérus*. Symposium de la SOFCOT 2003. *Rev Chir Orthop* 2004.
- 13 Millesi H. Traitement des lésions nerveuses par greffes libres fasciculaires. In : *Les lésions traumatiques des nerfs périphériques*. Monographie du GEM n° 10. Paris : Expansion scientifique française; 1979. p. 123-83.
- 14 Oberlin C. Greffes nerveuses. Anatomie des sites donneurs. *Ann Chir Main* 1989; 8 : 281-4.
- 15 Paris H, Tropiano P, Clouet d'Orval B, Chaudet H, Poitout DG. Fractures diaphysaires de l'humérus : ostéosynthèse systématique par plaque. Résultats anatomiques et fonctionnels d'une série de 156 cas et revue de la littérature. *Rev Chir Orth* 2000; 86 : 346-59.
- 16 Revol M, Servant JM. Chirurgie palliative motrice des paralysies de la main. Principes et méthodes palliatives des fonctions

- élémentaires. *Encycl Méd Chir. Techniques chirurgicales-Orthopédie Traumatologie*, 44-420. 2005 : 28 p.
- 17 Ring D, Chin K, Jupiter JB. Radial nerve palsy associated with high-energy humeral shaft fractures. *J Hand Surg [Am]* 2004 Jan; 29 (1) : 144-7.
- 18 Rouvière H, Delmas A. Anatomie humaine. In : Membres, système nerveux central. 12^e éd. Paris : Masson; 1984. p. 201-5.
- 19 Shaw JL, Sakellarides H. Radial nerve paralysis associated with fractures of the humerus. A review of forty-five cases. *J Bone Joint Surg* 1967; 49A : 899-902.
- 20 Sunderland S. Nerves and nerve injuries. 2nd ed. New York (NY) : Churchill Livingstone; 1978.
- 21 Taglang G, Lamponi F. L'enclouage des fractures diaphysaires de l'humérus. In : Fractures diaphysaires de l'humérus. Symposium de la Sofcot 2003.
- 22 Tubiana R. Examen après lésions des nerfs périphériques du membre supérieur. In : Tubiana R. *Traité de chirurgie de la main*. Tome 3. Chirurgie des tendons, des nerfs et des vaisseaux. Paris : Masson; 1986. p. 392-428.

Lésions traumatiques de la branche postérieure du nerf radial

Traumatic injuries of the posterior interosseous nerve

P. BELLEMÈRE¹

RÉSUMÉ

L'anatomie de la branche profonde ou branche postérieure du nerf radial, communément appelée nerf interosseux postérieur, l'expose aussi bien aux traumatismes antérieurs que postéro-externes du coude et du tiers proximal de l'avant-bras. La lésion nerveuse peut survenir au cours de traumatismes fermés ou le plus souvent de traumatismes ouverts. Une origine iatrogène est par ailleurs fréquente, soulignant la vulnérabilité de ce nerf dans les voies d'abord chirurgical du coude et de l'avant bras. Le diagnostic de la lésion est clinique devant une paralysie d'extension des doigts et du pouce sans trouble sensitifs associés. Sur le plan thérapeutique, cette branche nerveuse essentiellement motrice, située à proximité des effecteurs musculaires, répond très bien à la chirurgie nerveuse dans des délais relativement courts. La prévention des lésions iatrogènes repose avant tout sur une bonne connaissance de l'anatomie de cette branche nerveuse.

Mots clés : Nerf interosseux postérieur. – Réparation nerveuse. – Traumatisme.

SUMMARY

The anatomy of the posterior interosseous nerve explains possible nerve injury occurring during anterior and posterolateral traumas of the elbow and the proximal forearm. Nerve lesion can occur during closed injury or mostly opened injury. Iatrogenic lesion is frequent, pointing out the vulnerability of the nerve during surgical approaches of the elbow and the proximal forearm. The diagnostic of the lesion is clinical with paralysis of the extension of the thumb and the fingers without trouble on sensibility. This motor nerve branch, located near the muscular effectors, give good results after nerve surgery with short delays. Prevention of the iatrogenic injuries lay on a good knowledge of the anatomy of this nerve branch.

Key words: Posterior interosseous nerve. – Nerve repair. – Nerve injury.

Anatomie de la branche profonde du nerf radial

L'anatomie de la branche profonde du nerf radial (BPNR), que les Anglo-Saxons appellent nerf interosseux postérieur, est complexe. Son trajet, sa terminaison et sa dynamique sont à considérer dans les trois plans de l'espace (figures 1, 2, 3).

Naissance et trajet

Au niveau de la gouttière bicipitale externe, le nerf radial se divise en deux branches, l'une antérieure, superficielle ou sensitive, et l'autre postérieure profonde, communément appelée branche motrice. Sunderland a montré que, au sein du tronc du nerf radial, les groupes fasciculaires destinés à devenir la BPNR perdaient leur

identité entre 36 et 48 mm au-dessus de l'épicondyle [23]. Macroscopiquement, cette division est de hauteur variable, de 2,5 à 3 cm de part et d'autre de la ligne Hueter (ligne épicondylo-épitrochléenne), ou à 3 cm de part et d'autre de l'interligne huméroradial, ou encore à 4,6 cm de l'arcade de Froshe [18].

Immédiatement après sa naissance, la branche postérieure s'engage dans le tunnel radial entre le brachioradial (long supinateur) en dehors et le muscle brachial (brachial antérieur) en dedans. Elle repose sur l'articulation huméroradiale, recouverte d'un tissu facial et graisseux, puis par la face profonde de la portion tendineuse du court extenseur radial du carpe (CERC) – deuxième radial –, à qui elle donne le plus souvent sa branche motrice. Le nerf est presque constamment recouvert d'une arcade fibreuse tendue entre le CERC et le fascia des muscles extenseurs [12].

¹ Clinique Jeanne-d'Arc, 21, rue des Martyrs, 44100 Nantes, France

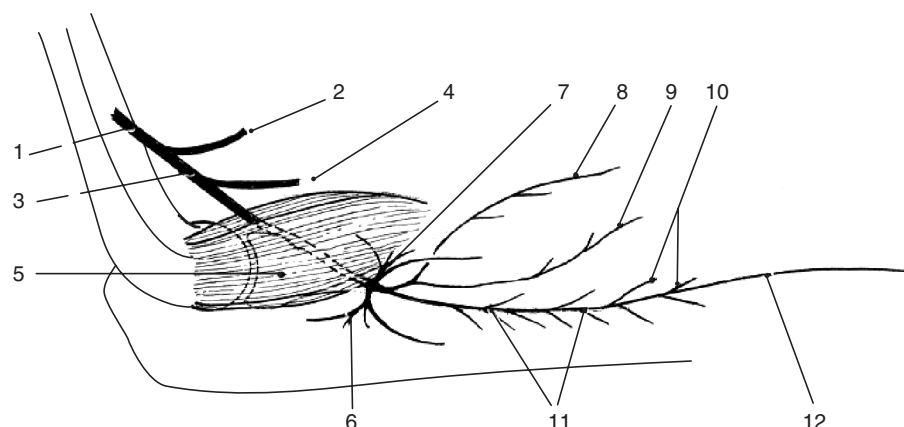


Figure 1. Schéma de la branche profonde du nerf radial (BPNR) et de sa terminaison. 1. Tronc du nerf radial. 2. Branche superficielle sensitive. 3. Branche profonde (BPNR). 4. Branche du CERC. 5. Supinateur. 6. Branches de l'EUC. 7. Branches des extenseurs des doigts. 8. Branches du LAP. 9. Branches du CEP. 10. Rameaux pour le LEP. 11. Rameaux pour l'EI. 12. Nerf interosseux postérieur.

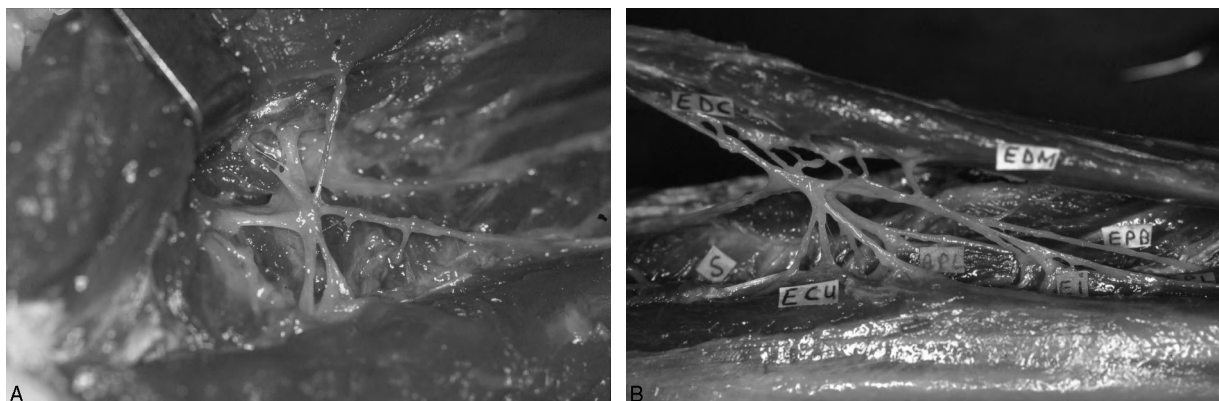


Figure 2. A : vue anatomique de l'arborescence terminale de la BPNR. B : et après dissection fine des différentes branches. EDC = extenseur des doigts, EDM = extenseur du petit doigt, EPB = court extenseur du pouce, S = supinateur, ECU = extenseur ulnaire du carpe, APL = long abducteur du pouce, EI = extenseur propre de l'index.

Puis, à environ 2,5 cm de l'interligne huméroradial, il s'engage entre les deux faisceaux du muscle supinateur (court supinateur), auxquels il donne à hauteur et en nombre variable plusieurs branches motrices [5, 25]. L'arcade de Fröhse et Frankel est représentée par un épaissement fibreux du faisceau antérieur de ce muscle sous lequel s'engage le nerf. Cet épaissement est inconstant, présent selon les auteurs dans 30 à 57 % des cas.

Durant son trajet dans le supinateur, la BPNR décrit un trajet spiralé autour du radius, la menant d'une position antérieure à une position postérieure et externe (figure 3). Elle développe des rapports étroits avec le col du radius et la diaphyse radiale, n'étant séparée de l'os que par le faisceau profond du supinateur. Elle

parvient dans la loge postérieure de l'avant-bras en émergeant au bord inférieur du supinateur après avoir parfois traversé le bord inférieur de son faisceau superficiel. À ce niveau, elle est légèrement aplatie, et son diamètre transversal est d'environ 2 mm.

Au cours de son trajet d'une longueur d'environ 8 cm, la BPNR est accompagnée par une branche ascendante de l'artère récurrente radiale antérieure. Un plexus artérioveineux précroise pratiquement constamment le nerf juste en amont du supinateur.

Terminaison

Arrivé dans la loge postérieure de l'avant-bras, à environ 6 cm de l'interligne huméroradial ou 8 cm de l'épicon-



Figure 3. Des clips métalliques ont été posés sur la BPNR de sa naissance jusqu'à son arborescence, ainsi que sur les branches terminales musculaires. Le bord supérieur et inférieur du faisceau superficiel du supinateur est matérialisé par un fil métallique. Des clichés en pronation et en supination de face (A) et de profil (B) montrent les différentes positions de la BPNR dans le plan frontal et sagittal.

dyle, le nerf se divise après un trajet très court (de 0 à 1,5 cm) en une arborescence de branches terminales, recouverte par la face profonde de l'extenseur des doigts (ED) et située à environ 18 cm de la styloïde radiale [5, 7].

Bien qu'il existe de nombreuses variations, nos études cadavériques sur 30 sujets ont montré une relative systématisation du mode de division de cette arborescence, organisée le plus souvent en trois branches principales, et au maximum six (figures 1 et 2) [5, 17].

Une première branche très courte, entre 0,5 et 1,5 cm, s'épanouit en général en trois ou quatre

branches étagées verticalement, se dirigeant transversalement en dehors à destination du muscle extenseur ulnaire du carpe (EUC) – cubital postérieur. On note la présence constante d'une branche récurrente ascendante.

Une deuxième branche également très courte prend un trajet directement postérieur. Elle s'épanouit aussi de haut en bas en trois ou quatre branches destinées à l'ED et à l'extenseur du petit doigt (EPD) – extenseur propre du cinquième doigt –, avec également de façon constante une branche récurrente ascendante contournant le bord inférieur du supinateur. La longueur des

branches qui ont pu être suivies avant leur pénétration intramusculaire a varié pour l'ED de 2,5 à 4,5 cm et pour le EUC de 2,5 à 6 cm.

La troisième branche semble prolonger le tronc de la BPNR et se divise après environ 2 cm en deux branches. L'une se dirige en bas et en dedans et donne deux longs rameaux principaux, destinés au long abducteur du pouce (LAP) et au court extenseur du pouce (CEP). L'autre branche prolonge la direction axiale initiale et donne des petits rameaux étagés en branches de sapin, destinés au versant dorsal et externe du long extenseur du pouce (LEP) et à la face profonde de l'extenseur de l'index (EI) – extenseur propre de l'index. Le rameau terminal, appelé nerf interosseux antébrachial postérieur ou nerf interosseux postérieur, chemine le long de la membrane interosseuse entre le LAP et le LEP en dehors et le CEP en dedans, et va innervier la capsule articulaire dorsale radio et médiocarpienne. La pénétration intramusculaire des rameaux destinés au LEP et à l'EI a varié dans nos dissections de 6 à 14 cm par rapport au bord distal du court supinateur.

Il existe de nombreuses variations anatomiques de cette arborescence; cependant, pour les muscles les plus superficiels (ED et EUC), l'origine, la course, la longueur et la distribution de leur branche nerveuse ont montré dans nos dissections une anatomie soit constante, soit fréquente [7]. En revanche, les branches destinées à l'EPD et aux muscles profonds (LAP, CEP, EI, LEP) ont montré les plus grandes variations quant à leur origine et leur longueur.

L'arborescence terminale va être rejointe par l'artère interosseuse postérieure, qui développera des contacts étroits avec les rameaux destinés au LEP et à l'EI avant de s'en éloigner, l'artère devenant plus superficielle. Le nerf interosseux postérieur est rejoint en distal par la partie terminale de l'artère interosseuse antérieure.

Tableau clinique

La paralysie de la BPNR se traduit par un déficit moteur touchant l'extension active des articulations métacarpophalangiennes (MP) des doigts et du pouce, l'extension active de l'interphalangienne (IP) du pouce, l'abduction et la rétropulsion active du pouce et l'inclinaison dorso-ulnaire du poignet. L'extension du poignet est conservée grâce à la persistance de l'innervation du long extenseur radial du carpe (LERC) – premier radial – et parfois de celle du CERC. Elle se fait néanmoins en déviation radiale en raison de la paralysie du EUC (figures 4 et 5).

Selon le siège de la lésion traumatique, il peut exister une paralysie du supinateur se traduisant par une

diminution de la supination coude en extension, ce qui neutralise l'effet supinateur du biceps. Il n'y a aucun trouble de la sensibilité, sauf en cas d'atteinte associée de la branche superficielle sensitive du nerf radial.

Il faut souligner que la possibilité d'une extension active du poignet confère à cette paralysie basse du nerf radial une relativement bonne tolérance fonctionnelle, ce qui explique parfois le retard diagnostique. De plus, la possibilité d'une extension du pouce et des MP des doigts par effet ténodèse en flexion du poignet peut faire méconnaître la paralysie d'extension active. Celle-ci sera donc le mieux objectivée en maintenant le poignet en extension (figure 4).

Selon le type et le siège de la lésion, des paralysies dissociées peuvent se rencontrer et ne toucher qu'une partie des contingents musculaires. Un tableau classique de ces paralysies dissociées est celui du « signe des cornes », lié à une atteinte de la branche de l'EC au niveau de l'arborescence de la BPNR (figure 6).

Étiologies des lésions traumatiques de la BPNR

Quelques séries de lésions traumatiques de la BPNR ont été publiées dans la littérature [1, 2, 4, 8, 9, 11, 13, 19, 29]. La série la plus importante concernant des interruptions complètes du nerf est celle que nous avons rapportée avec 21 cas [1].

Traumatismes fermés

Une lésion de la BPNR peut être engendrée par des fractures de Monteggia ou des fractures proximales du radius, le nerf étant soit directement comprimé, soit étiré du fait du déplacement antérieur du radius [20]. Une lésion compressive par un hématome calcifié post traumatique ou une contusion par un choc direct au bord externe du coude et de l'avant-bras ont été également décrites. Tous ces traumatismes entraînent en général des paralysies plus ou moins complètes par neurapraxie (lésion de type 1 de Sunderland), dont l'évolution spontanée est rapidement favorable.

Traumatismes ouverts

Ils sont plus fréquents, et la paralysie est le plus souvent totale, engendrée par une interruption complète de la BPNR. Deux types de traumatisme en sont en général responsables.

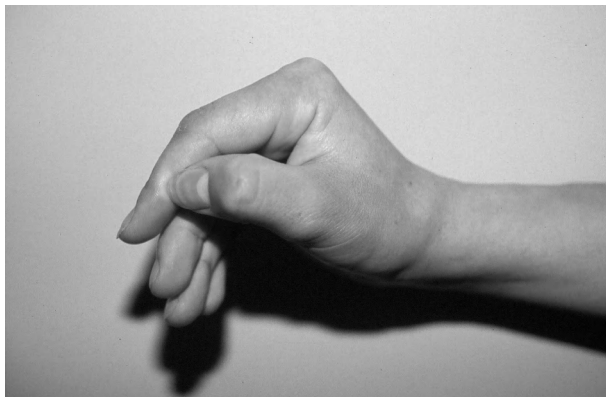


Figure 4. Aspect clinique d'une paralysie de la BPNR. Le déficit d'extension active des MP des doigts et du pouce doit se rechercher en extension active du poignet, ce qui supprime l'effet ténodèse sur les extenseurs.



Figure 5. L'extension active du poignet est conservée, mais déséquilibrée du côté radial du fait de la paralysie de l'extenseur ulnaire du carpe.

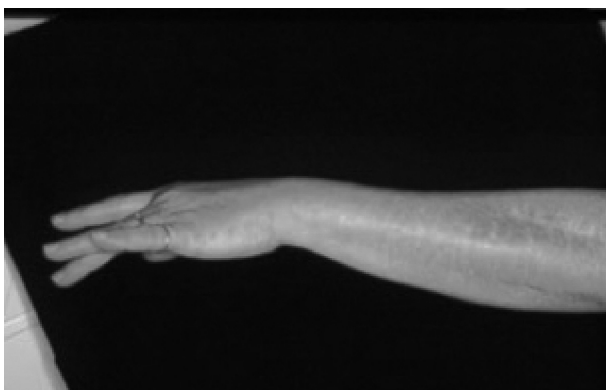


Figure 6. Paralysie dissociée avec «le signe des cornes», lié à une atteinte au niveau de l'arborescence de la BPNR de la branche destinée à l'extenseur des doigts.

Traumatisme par plaie simple

La plaie, occasionnée par un objet pointu et tranchant (bris de verre, couteau...), au niveau du coude et du tiers proximal de l'avant-bras, entraîne une section nette de la branche nerveuse. C'est le traumatisme le plus fréquemment rencontré. C'est aussi à la suite de ce type de traumatisme que, dans notre série, la lésion a été le plus souvent méconnue (28 % des cas), malgré une exploration en urgence avec simplement suture des masses musculaires [1]. Un déficit d'extension des MP des doigts et du pouce après une plaie simple proximale de l'avant-bras doit avant tout faire rechercher une lésion de la BPNR, avant d'incriminer une lésion purement musculaire.

Traumatisme par plaie complexe

Il s'agit de traumatismes graves de l'avant-bras : accident de la voie publique (bras de portière), plaie contuse par machine rotative ou scie circulaire, plaie par arme à feu. Les lésions sont alors pluritissulaires et associent, à la plaie ou à la perte de substance nerveuse, des délabrements cutanés, musculaires ou osseux. La réparation nerveuse est donc souvent programmée secondairement, après cicatrisation et consolidation des lésions associées.

Lésions iatrogènes

Celles-ci méritent d'être individualisées, car elles représentent une étiologie fréquente, 40 % des cas dans la série de Young [22]. Les lésions sont souvent liées à une contusion ou une elongation due à des manœuvres d'écartement ou de traction, pouvant provoquer des neurapraxies ou des axonotmésis de degré 2 ou 3 de Sunderland, entraînant des paralysies le plus souvent régressives. Néanmoins, des écrasements majeurs (degré 4 de Sunderland) et des sections accidentelles ne sont pas rares et représentent 19 % des cas de notre série. Ils peuvent survenir non seulement lors d'ostéosynthèse du radius et de la tête radiale par plaque, par broche ou enclouage verrouillé, ou lors de l'ablation de matériel d'ostéosynthèse, mais aussi au cours de résection de la tête radiale, d'exérèse de lipome profond ou d'autre tumeur, de traitement d'une épicondylite, d'arthroscopie du coude, de résection d'ostéochondrome ou d'une synostose radio-ulnaire, de réinsertion distale du tendon du biceps... [1, 2, 6, 10, 16, 21, 24, 26, 28].

En fait, la BPNR est extrêmement vulnérable durant tout geste chirurgical effectué au niveau du coude et du tiers proximal de l'avant-bras (figures 7 et 8). Une bonne connaissance de son anatomie est donc indispensable.



Figure 7. Incarcération de la BPNR sous une plaque d'ostéosynthèse du radius proximal.

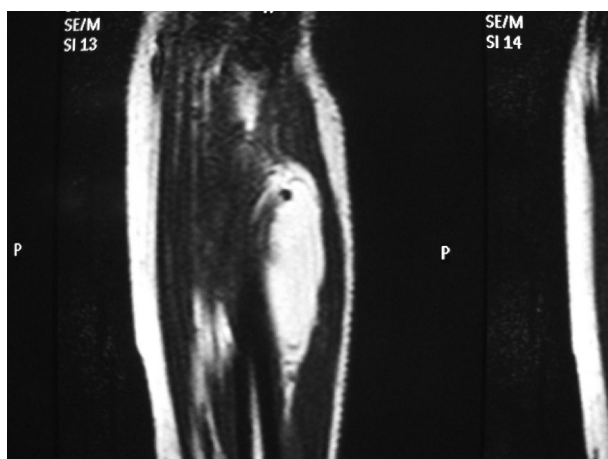


Figure 8. Lipome profond situé au quart proximal de l'avant-bras vu à l'IRM. Son exérèse comporte un risque majeur de lésion iatrogène sur la BPNR.

Examens complémentaires

Ils seront guidés par le contexte étiologique. Une radiographie standard du coude et de l'avant-bras de face et de profil est un minimum.

L'électromyographie (EMG) n'est pas nécessaire au diagnostic et est totalement inutile avant trois semaines. Elle a un intérêt pronostique dans les paralysies séquellaires d'un traumatisme fermé ou iatrogène en appréciant le degré de souffrance axonale et les signes de dénervation. Elle permet également dans ces cas de dépister des signes de réinnervation infraclinique avec la présence de potentiel d'unité motrice, présents entre le deuxième et le quatrième mois. Leur absence fait porter l'indication d'une exploration en vue d'une neurolyse ou d'une greffe.

Traitement

La BPNR étant un nerf essentiellement moteur et situé près des effecteurs musculaires, la chirurgie nerveuse effectuée dans une bonne ambiance trophique a donc toutes les chances de donner un bon, voire un très bon résultat. Les plaques motrices doivent cependant être réinnervées dans un délai maximum d'un an au-delà duquel la chirurgie nerveuse n'est plus efficace.

Abord chirurgical de la BPNR

Dans le cadre d'une lésion traumatique, cet abord doit permettre de repérer le nerf en zone saine de part et d'autre de la lésion, ce qui revient pratiquement à l'aborder sur tout son trajet. Un abord combiné antérieur et postérieur est donc souvent nécessaire. Le siège de la lésion est guidé par l'emplacement de la plaie ou de la cicatrice initiale. L'intervention est menée sous anesthésie générale ou bloc plexique avec un garrot pneumatique. Le grossissement optique est fortement recommandé.

L'abord antérieur se fait par une incision cutanée curviligne sur 10 cm, partant du pli du coude en dedans du relief du muscle brachioradial (long supinateur). La BPNR est repérée à sa naissance au fond de la gouttière bicipitale externe. L'expansion aponévrotique de l'insertion du CERC, puis la totalité de l'arcade de Fröshe, quand elle existe, doivent être incisées. Le nerf, qui s'engage en profondeur entre les deux chefs du supinateur, est repéré après avoir ligaturé le plexus artérioveineux qui le précroise.

L'abord postérieur permet l'accès aux lésions siégeant dans le supinateur et en aval à l'arborescence terminale du nerf. L'incision cutanée curviligne est d'environ 10 cm et siège à la jonction du tiers supérieur et du tiers moyen de la face postérieure de l'avant-bras, entre le relief du corps musculaire de l'EUC et celui de l'ED. Après l'ouverture de l'aponévrose postérieure, la dissection se poursuit entre ces deux muscles, permettant le repérage distal du tronc nerveux à la sortie du supinateur, dont il faut inciser parfois le faisceau superficiel. L'abord de l'arborescence terminale doit respecter les différentes branches motrices, en particulier les rameaux récurrents ascendants destinés au EUC et à l'ED. Les rameaux destinés au LAP et CEP sont parfois plus facilement abordés en passant entre l'ED et le CERC. Le plan de clivage entre ces deux muscles se fait le plus aisément à partir du tiers moyen de l'avant-bras.

Une fois la lésion repérée, le geste de chirurgie nerveuse dépendra du type de la lésion et de son ancienneté.

Neurolyse

La neurolyse permet de lever une lésion compressive (fibrose cicatricielle périneurale, hématome calcifié, cal osseux...) au contact du nerf qui reste en continuité. La fibrose périneurale est excisée sous microscope opératoire, libérant le nerf sur sa circonférence et longitudinalement. En fin d'intervention, il faut vérifier la liberté complète de la BPNR en flexion-extension du coude, ainsi qu'en pronosupination.

Des aspects trompeurs de pseudo-continuité de la BPNR peuvent se rencontrer dans un tableau de paralysie complète sans aucun signe de récupération à l'EMG. Il s'agit de lésions de degré 4 de Sunderland, qui sont notamment le fait des incarcérations de la branche nerveuse dans un foyer de fracture ou sous une plaque d'ostéosynthèse du radius. Une neurolyse conduirait à un échec, et le traitement de ce type de lésion consiste en fait en une greffe nerveuse.

Suture nerveuse

La suture nerveuse intéresse les sections simples de la BPNR vues en urgence ou précocement. La suture est effectuée sous microscope opératoire par des points épipérineuraux au fil 9/0 ou 10/0, à laquelle nous associons un fibrinocollage. Une immobilisation post-opératoire du coude en légère flexion et du poignet en position neutre pendant trois semaines est nécessaire. Une suture secondaire pour des lésions plus anciennes a pu dans certains cas être effectuée [4]. Néanmoins, après recoupe des extrémités nerveuses et compte tenu de leur rétraction, une suture directe sans tension n'est pas toujours possible, et aucune des lésions simples que nous avons eu à traiter secondairement n'a pu faire l'objet d'une telle réparation.

Les 5 sutures directes que nous avons effectuées ont donné 4 très bons et 1 bon résultat. La récupération fonctionnelle a été constatée dans tous les cas à partir du sixième mois, en débutant dans les extenseurs des doigts. Une amélioration ultérieure de la force se poursuit jusqu'au douzième ou treizième mois.

Greffe nerveuse

La greffe nerveuse concerne les pertes de substance nerveuse et les lésions de degré 4 de Sunderland. Dans notre série, une greffe nerveuse fut effectuée dans 75 % des cas.

Technique

Les extrémités nerveuses, une fois repérées, sont préparées sous microscope avec une recoupe jusqu'en zone parfaitement saine. Le lit de la greffe est également préparé soigneusement par une excision de la fibrose. Les greffons utilisés sont issus en général du nerf sural (nerf saphène externe) [30]. La branche sensitive ou branche superficielle du nerf radial a été parfois utilisée quand elle était également lésée, mais il nous paraît préférable dans ces cas de la réparer, plutôt que de l'utiliser comme greffon nerveux. La restauration d'une sensibilité du dos de la première commissure participera en effet à la qualité du résultat fonctionnel final.

Si la lésion siège sur le tronc de la BPNR, une greffe de type tronculaire est effectuée. La technique de suture que nous utilisons consiste en un alignement lâche des greffons assemblés à leurs extrémités par un fibrinocollage, puis une suture périphérique par fils et colle biologique.

Il est parfois plus facile de commencer par la suture distale de la greffe, en extériorisant le bout distal de la BPNR par la voie d'abord postérieure. Le greffon est ensuite passé sous la masse musculaire de l'extenseur commun et entre les faisceaux du supinateur, pour être suturé en amont par la voie antérieure. Cet artifice permet d'effectuer plus aisément la suture au niveau distal, qui anatomiquement se trouve en profondeur, d'accès difficile (figure 9).

Lorsque la lésion siège au niveau de l'arborescence terminale du nerf, les différentes branches motrices sont difficiles à distinguer de la fibrose cicatricielle. Il est possible de les repérer en aval avant leur pénétration intramusculaire par une dissection microchirurgicale au ras des corps musculaires. La dissection remonte ensuite le plus près possible de la lésion, et une greffe de type interfasciculaire peut alors être effectuée. Dans cette localisation très distale, la branche terminale sensitive, le nerf interosseux postérieur proprement dit, peut être utilisée comme greffon nerveux [8].

Une immobilisation postopératoire du coude et du poignet est également nécessaire pendant trois semaines.

Les 12 greffes nerveuses que nous avons effectuées étaient en moyenne d'une longueur de 5,8 cm et fournies en moyenne de trois ou quatre torons nerveux. Quatre greffes de type fasciculaire avaient été réalisées pour des lésions très distales au niveau de l'arborescence. Dans un de ces cas, nous n'avons pu retrouver de branches nerveuses destinées à l'ED, et nous avons eu recours à la technique de neurotisation intramusculaire pour réinnervier spécifiquement ce muscle [3].

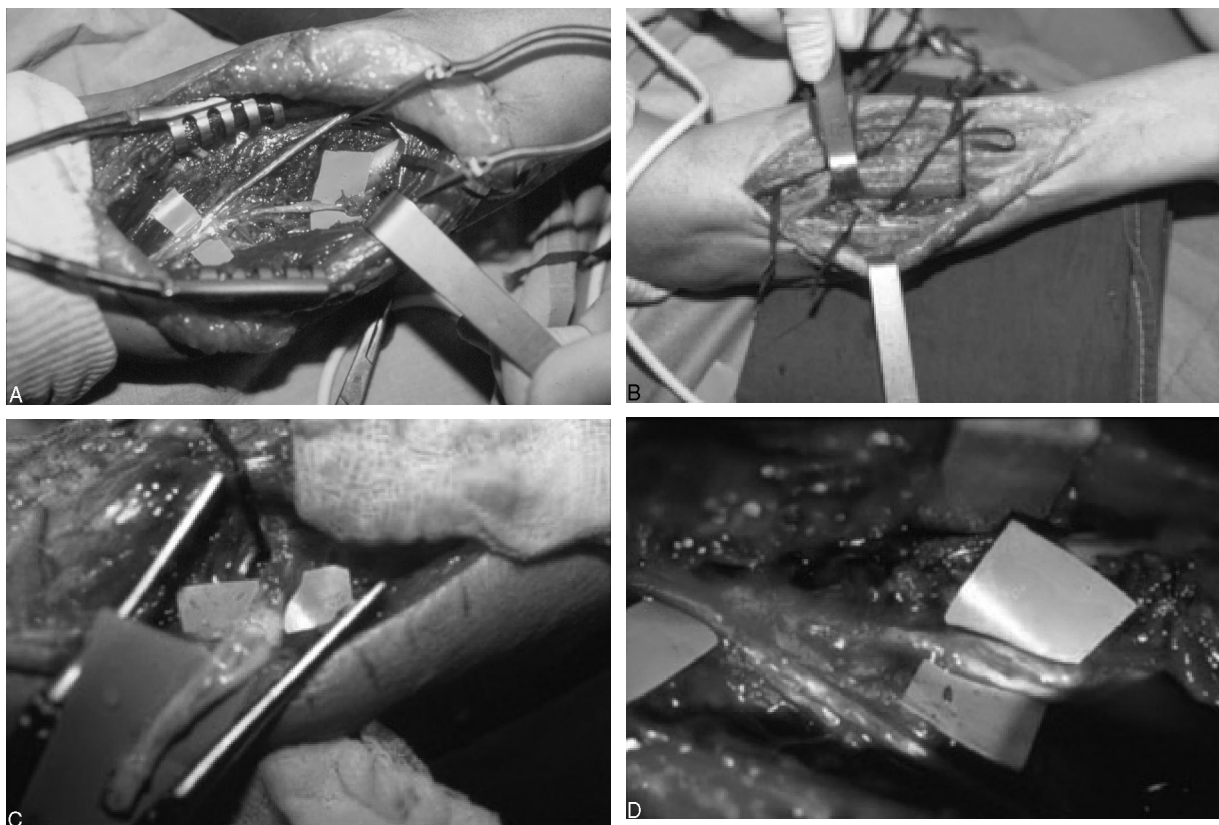


Figure 9. Plaie simple par couteau de la branche profonde de la BPNR à l'avant-bras droit, vue secondairement. A : la lésion à la face antéro-externe de l'avant-bras est indiquée par la flèche et siège juste en amont du supinateur. B : repérage du bout distal du nerf à la face postérieure de l'avant-bras. C : greffe tronculaire par quatre torons de nerf sural, suturée en premier au niveau distal. D : la greffe est passée sous les masses musculaires, puis suturée au niveau proximal.

Résultats

Après un délai de récupération s'échelonnant de 7 à 13 mois, les greffes nerveuses nous ont permis d'obtenir 83 % de très bons et bons résultats (figure 6). Un échec fut rapporté à une mauvaise indication dans le cadre d'un traumatisme complexe avec des lésions cicatricielles pluritissulaires trop étendues.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus dans d'autres séries et confirment, avec les résultats obtenus par les sutures nerveuses, l'intérêt de la chirurgie nerveuse dans le traitement des lésions traumatiques de la BPNR [4, 8, 9, 11, 13, 14, 19, 30].

Transferts nerveux

Le transfert nerveux, appelé encore neurotisation, d'une ou plusieurs branches terminales du nerf médian sur la BPNR a été récemment proposé [14, 15, 27]. Mais cette technique n'est pas encore codifiée dans sa réalisation

ni dans ses indications. Ustun a montré que les branches destinées au rond pronateur, au long fléchisseur du pouce ou au carré pronateur permettaient d'effectuer des transferts nerveux directs sur la BPNR [27]. Lowe a rapporté le résultat de deux transferts nerveux sur la BPNR : l'un par la branche du long palmaire (petit palmaire) sans résultat notable sur l'extension des doigts, l'autre en y associant une branche destinée au fléchisseur superficiel avec un bon résultat [15].

Indications du traitement

Les indications doivent être envisagées en fonction de quatre critères :

- le niveau lésionnel;
- le degré d'atteinte;
- les lésions associées;
- l'ancienneté.

Devant une paralysie traumatique de la BPNR, les indications de neurolyse concernent en général les trau-

matismes fermés et parfois iatrogènes. Elles doivent se discuter en fonction du degré de récupération spontanée clinique, voire électromyographique, après un délai de deux ou trois mois suivant le traumatisme.

Dans les traumatismes ouverts, où le nerf est totalement interrompu, la chirurgie nerveuse effectuée dans une bonne ambiance trophique a toutes les chances de donner un bon, voire un très bon, résultat.

Ainsi, les sutures primitives effectuées en urgence représentent la situation la plus favorable et permettent d'obtenir dans la plupart des cas un résultat complet dans des délais relativement courts [1, 2, 11, 19].

Lorsque les lésions sont traitées secondairement, soit en raison de lésions associées cutanées, musculaires ou osseuses qui n'autorisent pas une réparation nerveuse d'emblée, soit lorsque qu'une lésion simple a été initialement négligée ou méconnue, le recours aux greffes nerveuses est alors indiqué, à condition d'avoir un bon lit cicatriciel et une bonne trophicité musculaire. Même les lésions très distales situées au niveau de l'arborescence terminale du nerf sont accessibles à une greffe nerveuse. La dissection distale au ras des corps musculaires permet de repérer les différentes branches motrices et de réaliser une greffe nerveuse avec une suture distale de type fasciculaire. La technique de neurotisation directe intramusculaire proposée par Brunelli peut être une alternative dans le cas où ce repérage distal est impossible [3].

Les indications précises des transferts nerveux restent encore à définir, car l'expérience de cette technique dans le cadre d'une atteinte de la BPNR est encore trop confidentielle [14].

La chirurgie nerveuse est cependant contre-indiquée dans trois circonstances :

- en présence de lésions musculaires sévères (perte de substance ou fibrose cicatricielle étendue) au niveau de la loge postérieure de l'avant-bras ;
- chez un patient âgé ;
- ou lorsque les lésions nerveuses sont trop anciennes (délai supérieur à un an).

Ces trois circonstances représentent les indications de la chirurgie palliative par transferts tendineux.

Prévention des lésions iatrogènes de la BPNR

Il y a, dans chaque voie d'abord de la région antérieure, externe ou postérieure du coude et du tiers proximal de l'avant-bras, un danger potentiel de lésion de la BPNR qu'il faut bien connaître [2, 6, 10, 16, 21, 22, 24, 26, 28].

La voie arthroscopique antérolatérale comporte un risque qui est diminué si elle est effectuée coude

fléchi à 90° et avant-bras en pronation, ce qui éloigne le nerf en dedans. De plus, si le repère antérieur de cette voie ne dépasse pas 1 cm par rapport au sommet de l'épicondyle, le risque est alors minime. Nos repères radiologiques ont en effet montré que, en pronation complète, la BPNR se projetait au plus près à environ 2 cm de l'épicondyle sur un cliché de face. Sur le cliché de profil, elle se trouve en regard du point situé environ à 2 cm en haut et 2 cm en avant du sommet de l'épicondyle (voir figure 3).

La voie antéro-externe du coude de type Henry prolongée en aval, qui permet l'abord articulaire antérieur et l'abord antérieur du radius, doit être réalisée l'avant-bras en supination, ce qui éloigne latéralement la BPNR.

Si l'extrémité supérieure du radius doit être abordée pour une ostéosynthèse, le supinateur sera alors désinséré du radius sur son bord le plus médial et récliné en dehors ; le faisceau profond de ce muscle protège ainsi le nerf. Des écarteurs à bout mousse peuvent être placés sur le bord externe du col du radius en veillant à rester au contact de l'os et à éviter un appui latéral trop intensif.

Lorsqu'une ostéosynthèse a été effectuée par cette voie, il faudra redoubler de prudence lors de l'ablation du matériel. Les modifications anatomiques locales engendrées par la fibrose cicatricielle peuvent être trompeuses, et le nerf est alors particulièrement vulnérable. Un repérage proximal de celui-ci en zone saine est recommandé avant d'effectuer d'autres gestes. Il en est de même chaque fois que cette voie est utilisée pour une chirurgie d'exérèse tumorale (lipomes, kystes, ostéochondromes...), où les conditions anatomiques locales sont également perturbées.

Les voies externes ou postéro-externes du coude, utilisées principalement pour des ostéosynthèses ou pour l'ablation de la tête radiale, doivent être réalisées en pronation de l'avant-bras, ce qui déplace en avant et en dedans la BPNR [6, 22]. Dans cette position, les trois premiers centimètres du radius peuvent être abordés relativement sereinement. Pour aborder le tiers proximal du radius par ces voies prolongées en aval, il faut soit repérer la BPNR et son arborescence à sa sortie du supinateur, puis inciser son faisceau superficiel et rétracter prudemment le nerf, soit sectionner l'insertion du supinateur au raz du périoste et continuer l'abord en aval en écartant en avant le supinateur tout en amenant progressivement l'avant-bras en pronation.

Par voie externe (Thomson), en passant entre le CERC et l'ED, le risque pour la BPNR est considérable, car le nerf siège directement dans la voie d'abord [7]. Il est abordé en sectionnant le faisceau superficiel

du supinateur. La mise en supination forcée permet de désinsérer du bord radial son faisceau profond et d'aborder la diaphyse radiale. La rétraction latérale du corps de l'ED risque de léser sa branche nerveuse par traction, contusion ou section, que traduit le défaut d'extension des deux doigts centraux en postopératoire (signe des cornes). Prolongée en distal, cette voie d'abord menace directement les branches du LAP, le CEP et le LEP. L'abord postérieur du radius par ce type de voie d'abord doit donc être proscrit.

Par voie postéro-externe pour l'abord de la tubérosité radiale en pronation forcée, utilisée pour les réinsertions du tendon du biceps, le nerf n'est pas vu, mais il peut être lésé par un écarteur prenant appui sur le col du radius.

Remerciements

Remerciements au Laboratoire d'anatomie de la faculté de Nantes (Pr Rogez) et à Y. Kerjean pour leur contribution à nos études anatomiques.

RÉFÉRENCES

- Bellemère P, Alnot JY, Oberlin C. Les lésions traumatiques de la branche profonde du nerf radial. *Rev Chir Orthop* 1998; 84 : 26-32.
- Birch R, Bonney G, Dowell J, Hollingdale J. Iatrogenic injuries of peripheral nerves. *J. Bone Joint Surg Br* 1991; 73 : 280-2.
- Brunelli G. Direct neurotisation of severely damaged muscles. *J Hand Surg Am* 1982; 7 : 572-9.
- Cravens G, Kline D. Posterior interosseous nerve palsies. *Neurosurgery* 1990; 27 : 397-402.
- Cricenti S, Deangelis M, Didio L, Ebraheim N, Rupp R, Didio A. Innervation of the extensor carpi radialis brevis and supinator muscles : levels of origin and penetration of these muscular branches from the posterior interosseous nerve. *J Shoulder Elbow Surg* 1994; 3 : 390-4.
- Diliberti T, Botte MJ, Abrams RA. Anatomical considerations regarding the posterior interosseous nerve during posterolateral approaches to the proximal part of the radius. *J Bone Joint Surg Am* 2000; 82 : 809-13.
- Elgafy H, Ebraheim NA, Yeasting RA. Posterior interosseous nerve terminal branches. *Clin Orthop* 2000; 376 : 252-8.
- Hems TE. Isolated injury to a major branch of the posterior interosseous nerve : a rare occurrence? *J Hand Surg Br* 2002; 27 : 586.
- Hirachi K, Kato H, Minami A, Kasashima T, Kaneda K. Clinical features and management of traumatic posterior interosseous nerve palsy. *J Hand Surg Br* 1998; 23 : 413-7.
- Kelly EW, Morrey BF, O'Driscoll SW. Complications of elbow arthroscopy. *J Bone Joint Surg Am* 2001; 83 : 25-34.
- Kim DH, Murovic JA, Kim YY, Kline DG. Surgical treatment and outcomes in 45 cases of posterior interosseous nerve entrapments and injuries. *J Neurosurg.* 2006; 104 : 766-77.
- Laulan J, Daaboul J, Fassio E, Favard L. Les rapports du muscle court extenseur radial du carpe avec la branche de division profonde du nerf radial. Intérêt dans la physiopathologie des épicondylalgies. *Ann Chir Main* 1994; 13 : 366-72.
- Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpaiojkit C. Penetrating injury to the terminal branches of the posterior interosseous nerve with nerve grafting. *J Hand Surg Br* 2001; 26 : 593-5.
- Lowe JB 3rd, Sen SK, Mackinnon SE. Current approach to radial nerve paralysis. *Plast Reconstr Surg* 2002; 110 : 1099-113.
- Lowe JB 3rd, Tung T, Mackinnon SE. New surgical option for radial nerve paralysis. *Plast Reconstr Surg* 2002; 110 : 836-43.
- Mekhail A, Ebraheim N, Jackson W, Yeasting R. Vulnerability of the posterior interosseous nerve during proximal radius exposures. *Clin Orthop* 1995; 315 : 199-208.
- Missankov AA, Sehgal AK, Mennen U. Variations of the posterior interosseous nerve. *J Hand Surg Br* 2000; 25 : 281-2.
- Ozkan M, Bacakoglu AK, Gul O, Ekin A, Magden O. Anatomic study of posterior interosseous nerve in the arcade of Frohse. *J Shoulder Elbow Surg* 1999; 8 : 617-20.
- Shergill G, Bonney G, Munshi P, Birch R. The radial and posterior interosseous nerve. Results of 260 repairs. *J Bone Joint Surg Br* 2001; 83 : 646-9.
- Spinner M, Freundlich BD, Teicher J. Posterior interosseous nerve palsy as a complication of Monteggia fractures in children. *Clin Orthop* 1968; 58 : 141-5.
- Spinner RJ, Berger RA, Carmichael SW, Dyck PJB, Nunley JA. Isolated paralysis of the extensor digitorum communis associated with the posterior (Thompson) approach to the proximal radius. *J Hand Surg Am* 1998; 23 : 135-41.
- Strauch RJ, Rosenwasser MP, Glazer PA. Surgical exposure of the dorsal proximal third of the radius : how vulnerable is the posterior interosseous nerve? *J Shoulder Elbow Surg* 1996; 5 : 342-6.
- Sunderland S. Fascicular anatomy. In : *Nerve injuries and their repair. A critical appraisal.* Edinburgh : Churchill Livingstone; 1991. p. 31-40.
- Thomas MA, Fast A, Shapiro D. Radial nerve damage as a complication of elbow arthroscopy. *Clin Orthop* 1987; 215 : 130-1.
- Thomas SJ, Yakin DE, Parry BR, Lubahn JD. The anatomical relationship between the posterior interosseous nerve and the supinator muscle. *J Hand Surg Am* 2000; 25 : 936-41.
- Tomaino MM, Sotereanos DG, Westkaemper J, Plakseychuk A. Posterior interosseous nerve palsy following placement of the compass elbow hinge for acute instability : a case report. *J Hand Surg Am* 1999; 24 : 554-60.
- Ustun ME, Ogun TC, Buyukmumcu M. Neurotization as an alternative for restoring finger and wrist extension. *J Neurosurg* 2001; 94 : 795-8.
- Verhaar J, Van Mameren H, Brandsma A. Risks of neurovascular injury in elbow arthroscopy : strating anteromedially or anterolaterally. *Arthroscopy* 1991; 7 : 287-90.
- Young C, Hudson A, Richard R. Operative treatment of palsy of the posterior interosseous nerve of the forearm. *J Bone Joint Surg Am* 1990; 72 : 1215-9.
- Zook E, Hurt A, Russell R. Sural nerve grafts for delayed repair of divided posterior interosseous nerves. *J Hand Surg* 1989; 14 : 114-20.

Réparation des plaies des nerfs collatéraux palmaires des doigts

Digital nerve repair

F. CHAISE ¹

RÉSUMÉ

L'utilisation des méthodes microchirurgicales a modifié, en les améliorant, les résultats des réparations nerveuses. La chirurgie est moins traumatisante, les gestes appliqués sont spécifiques à chaque type de lésions : plaie franche, perte de substance, contusion. La notion de réparation en urgence a aussi participé à l'amélioration de ces résultats, les reconstructions secondaires aboutissant à des résultats de qualité inférieure à ceux obtenus par les réparations réalisées en urgence. Il convient d'insister encore sur la règle d'exploration systématique et soigneuse des plaies de la main survenant sur le trajet d'un ou de plusieurs pédicules. Dans le même temps opératoire, les lésions associées seront réparées qu'il s'agisse de lésions artérielles, tendineuses, ostéoarticulaires ou cutanées et cela pour limiter au maximum le temps d'interruption des activités. Dans les cas les plus difficiles, lorsque les méthodes de suture ne sont pas applicables, de nombreuses méthodes d'interposition sont devenues possibles : greffon nerveux, veine, muscle, tube synthétique ou neurotisation qui permettront une réinervation sensitive distale. S'il existe des facteurs de pronostic sur lesquels l'opérateur ne peut agir (âge du patient, type de plaie, lésions associées...), la qualité de la technique opératoire et la pertinence de gestes utilisés permettront le retour à une fonction digitale correcte dans la plupart des cas.

Mots clés : Nerf collatéral. – Suture nerveuse. – Neurotubes.

Les plaies des nerfs collatéraux palmaires des doigts doivent être considérées comme des lésions graves et urgentes. À ce titre, elles doivent être traitées par des opérateurs entraînés aux techniques de réparation microchirurgicale. En cas d'échec, elles font en effet courir au patient un risque de névromes douloureux, de paresthésies, d'hypo- ou d'anesthésies pulpaire dont le retentissement peut être important en particulier pour la fonction des pulpes dominantes.

SUMMARY

The advent of microsurgery has in the last few decades considerably improved the results of treatment of lesions of nerves in the hand both with regard to functional restoration of sensation, to reduction of local irritant factors and those linked to cold injury. Digital nerves are frequently injured by section, contusion or straining. In the case of hand or finger wound precise and systematic examination can do the diagnosis of nerve lesion and the neurological deficit. Microsurgery is always indicated. There are often associated complex lesions that must be fully repaired in the same order: tendons, nerves, vessels. Concerning nerve wound, the treatment depends on the severity of the contusion and the loss of substance. If the section is without loss of substance and no contusion a direct suture can be made. On the other hand if there is contusion or loss of substance, direct suture cannot be performed. In these cases other procedures have to be made: nerve graft, vein graft in the same time or later.

Key words: Palmar digital nerve. – Nerve suture. – Nerve tubulization.

Les progrès apportés par les techniques microchirurgicales ont diminué la survenue de ces complications redoutables. Malgré cela les résultats neurologiques, en dehors du cas de l'enfant, restent imparfaits. Certes, ils sont les meilleurs parmi tous ceux qui concernent les réparations des nerfs périphériques, néanmoins des progrès restent certainement à accomplir dans le domaine des réparations nerveuses distales au membre supérieur.

¹ Service de chirurgie réparatrice de la main, clinique Jeanne d'Arc, 21, rue des Martyrs 44100 Nantes, France

Rappel anatomique

Anatomie macroscopique

Les nerfs collatéraux palmaires des doigts proviennent soit du nerf médian, soit du nerf cubital. Ils sont en fait les branches de division des nerfs interdigitaux qui naissent à la paume en regard du pli palmaire distal. Sur leur parcours digital, ces nerfs cheminent à la face palmaire, assez superficiels par rapport au plan des tendons fléchisseurs et des artères collatérales, et se terminent par une trifurcation en regard de la base de l'ongle. Leur situation superficielle, sous-cutanée, explique leur vulnérabilité et la fréquence de leurs lésions traumatiques ainsi que celles des artères qui les accompagnent.

Anatomie microscopique

Les nerfs collatéraux palmaires des doigts sont des nerfs sensitifs pratiquement purs, essentiellement à destinées pulpaire et plus accessoirement dorsale et articulaire. Ils véhiculent aussi des fibres sympathiques dont le rôle dans le contrôle de la vasomotricité distale est connu. Ces nerfs présentent une structure paucifasciculaire, 2 à 3 groupes par tronc bien protégés par du tissu conjonctif péri- et intraneural abondant.

La vascularisation des nerfs collatéraux provient des artères digitales qui les accompagnent. Les artérioles qui en naissent abordent l'épinèvre et se divisent en branches ascendantes et descendantes qui constituent un réseau anastomotique visible à la surface du nerf. Comme pour tous les nerfs périphériques, des microvaisseaux perforants émanent des artères superficielles épineurales et se distribuent ensuite à l'intérieur du nerf en un réseau profond parallèle aux groupes fasciculaires.

Technique générale de réparation des nerfs périphériques

Les diverses techniques actuellement utilisées en chirurgie nerveuse périphérique ont pour objectif de reconstituer aussi précisément que possible la structure anatomique du nerf lésé. Les techniques microchirurgicales doivent assurer un affrontement des surfaces nerveuses sans tension, sans télescopage pour permettre aux faisceaux de régénération de franchir avec le moins de difficultés possibles la zone de réparation et de recoloniser les tubes endoneuraux laissés vides par la dégénérescence wallérienne. Plus la précision des anastomoses est grande, groupe fasciculaire par groupe fasciculaire, plus les phénomènes chimiques d'attraction, d'orientation et

de repousse des faisceaux axonaux seront efficaces et éviteront les dispersions axonales intra- ou extraneurale source de névromes et d'insuffisance distale de resensibilisation [9, 11, 24, 45, 46, 68, 82, 83].

Généralités

Toutes les réparations pédiculaires à la main doivent être conduites dans un champ exsangue obtenu par l'utilisation d'un garrot pneumatique à pression constante gonflé à la racine du membre à une pression de 300 mm de Hg chez l'adulte et 250 mm de Hg chez l'enfant, et mis en place après une exsanguination soignée du membre obtenue par un massage en surélévation ou l'application d'une bande élastique souple appliquée de distal en proximal.

Sous analgésie locorégionale le plus souvent, les plaies digitales ou palmaires doivent être parées, nettoyées et explorées après un agrandissement éventuel selon les règles acquises de la chirurgie de la main. Les lésions associées seront réparées en priorité (os, tendon). Le temps microchirurgical vient ensuite. Les artères ne seront suturées qu'après la réparation nerveuse qui doit être réalisée au mieux dans un champ parfaitement exsangue. Après avoir exposé les extrémités nerveuses, la réparation nerveuse comprend plusieurs temps opératoires.

Préparation des extrémités nerveuses

Le premier temps de réparation nerveuse, quel que soit le procédé qui sera choisi, consiste à découvrir puis à préparer les extrémités nerveuses qui ont précédemment été exposées. La dissection doit rester extraneurale et être la plus courte possible, sans aucune agression intraneurale, afin ne pas accroître les lésions de dévascularisation et la fibrose réactionnelle qui pourrait en découler [50]. Au contact du nerf seule, une solution de Ringer sera utilisée afin d'éviter les inconvénients du sérum physiologique qui peut léser directement les nerfs par des mécanismes ioniques entraînant une décalcification segmentaire. Sous grossissement optique, schématiquement on se retrouve devant trois situations :

- **la plaie nerveuse est franche**, nette, sans perte de substance : dans ce cas aucune recoupe n'est nécessaire, seuls les segments d'épinèvre, de périnèvre ou de groupes axonaux qui débordent la tranche de section seront excisés aux ciseaux pour éviter leur invagination lors de l'anastomose ;
- **la plaie nerveuse est contuse** : une recoupe est obligatoire, suffisante sans être excessive mais toujours située

en tissu nerveux sain. Pour certains cette recoupe doit être faite aux ciseaux de microchirurgie non crantés; pour beaucoup avec les instruments de V. Meyer [56]; pour d'autres en utilisant soit une congélation [5], soit une réfrigération segmentaire [25, 26] qui permet d'obtenir une tranche nette et un affrontement d'emblée parfait au microscope opératoire;

- il existe une perte de substance soit traumatique, soit après recoupe : des artifices de réparation par interposition sont alors nécessaires.

Affrontement des extrémités nerveuses

Pour les nerfs collatéraux dont la structure est paucifasciculaire et contrairement aux nerfs mixtes, la reconnaissance des groupes fasciculaire est généralement aisée et l'affrontement peut se faire au prix d'une très légère flexion des articulations des doigts. L'affrontement doit être aussi parfait que possible. Aucun élément conjonctif ne doit s'interposer avant d'entamer le temps suivant d'anastomose.

Divers types d'anastomose

Sutures [1, 7, 10, 66, 43]

Le choix des techniques de suture est maintenant admis pour les réparations nerveuses primaires par la plupart des auteurs. La suture épipérineurale réalisée sans tension et sans télescopage assure un bon affrontement et permet d'éviter les invaginations de l'épinèvre et des groupes fasciculaires. Cette technique a supplanté les sutures épineurales simples et les sutures fasciculaires source de fibrose secondaire [25, 26, 57, 66, 82, 83, 92]. Quatre à six points de monofil 9/0, monté sur une aiguille ronde 3/8^e de 4 mm, prennent en bloc l'épinèvre et le périnèvre. Une suture étanche peut être ainsi obtenue. Les travaux de Millesi ont insisté sur l'influence néfaste des tensions au niveau des zones d'anastomose, la résistance d'un fil 9/0 est le maximum tolérable pour pratiquer une réparation primaire directe [70]. En cas de perte de substance, traumatique ou chirurgicale liée à une recoupe nerveuse, il faut utiliser d'autres procédés et ne pas hésiter à interposer un greffon y compris en urgence.

Fibrinocollages [31, 33, 59, 73]

De nombreux auteurs utilisent les collages qui réalisent *in vivo* un adhésif à base de fibrine humaine et de thrombine calcique d'origine bovine. Cette technique présente l'avantage par rapport aux sutures

conventionnelles d'être un procédé plus rapide, moins traumatisant pour le tissu nerveux que le passage des aiguilles et des fils, et entraînerait ainsi moins de fibrose secondaire sur le site de réparation. Le désavantage en est sa très faible résistance mécanique et la fragilité des anastomoses réalisées par ce procédé. Pour pallier à cet inconvénient les techniques mixtes fil-colle peuvent avantageusement être utilisées. Deux points épipérineuraux de monofil 9/0 sont alors mis en place et la colle est disposée en un enrobement périphérique. Les suites post-opératoires ne diffèrent pas des sutures conventionnelles. Quant au risque de contamination par les maladies virales (SIDA, HV), il est rendu nul par la sélection des donneurs et surtout la thermo-inactivation des produits utilisés.

Suture laser [2, 30, 75, 84]

D'apparition récente en chirurgie nerveuse l'utilisation du laser [CO₂], reste d'utilisation encore limitée et ce d'autant que le coût du matériel est élevé. Le principe repose sur le rayonnement émis par l'appareil qui dénature l'épinèvre et les vaisseaux sanguins de l'épinèvre. Ces structures deviennent adhésives lorsque leur température est portée à 70 degrés. Il s'agit alors d'un procédé de type soudure directe sans apport de matériaux. Là aussi, la solidité de l'anastomose est faible et la plupart des auteurs associent une suture épipérineurale à la suture laser. Les avantages de ce procédé par rapport aux colles biologiques ne sont pas actuellement formellement démontrés.

Greffes conventionnelles

Dans les pertes de substances nerveuses traumatiques ou chirurgicales et dans la plupart des lésions anciennes, l'interposition de tissus permettant de conduire les faisceaux de régénération vers les tubes distaux est nécessaire. Les greffes nerveuses libres sont les techniques les plus couramment utilisées [3]. Les greffons utilisables peuvent être prélevés aux dépens du nerf musculo-cutané à la partie haute de l'avant-bras, du nerf saphène externe, du nerf brachial cutané interne; le nerf interosseux postérieur pourrait être employé mais il est souvent de petit calibre. La branche dorsale du nerf cubital a pu aussi être utilisée. En pratique, la branche moyenne du nerf musculo-cutané présente de nombreux avantages; calibre identique à celui d'un nerf collatéral, prélèvement aisé dans le même champ opératoire et sa longueur peut atteindre longueur de quatre à cinq cm. En cas de lésion isolée d'un nerf collatéral, nous le recommandons. Tous ces prélèvements laissent très peu de préjudice sensitif [35, 42, 51, 62,

72, 81, 86, 91]. Dans le cadre de traumatismes complexes multidigitaux un greffon prélevé sur un doigt banque sacrifié peut être utilisé.

En revanche dans les plaies multiples, en particulier pour les segments nerveux interdigitaux, la saphène externe apporte un greffon de grande longueur et de bon calibre. La technique d'anastomose pour les greffes des nerfs collatéraux reste équivalente à celle des sutures directes : suture épi-périneurale aux deux extrémités, au fil 9/0 associée à un fibrinocollage pour certains.

Les résultats des greffes libres restent modestes, notamment lorsque la trophicité du lit receveur est mauvaise, des procédés de greffes vascularisées ont été décrits en provenance d'un autre doigt ou du dos du pied, mais les séries sont courtes et il est donc difficile d'en conclure d'une façon formelle la supériorité ou non de ces procédés, qui restent d'exception et doivent être réservés, en ce qui concerne les nerfs collatéraux, aux reprises après un échec de réparation primaire ou secondaire [55].

Autres interpositions [36, 38, 40, 49, 74]

Il est parfaitement admis actuellement que les faisceaux de régénération peuvent recoloniser les extrémités des tubes neuraux ayant subi la dégénérescence wallérienne, s'ils trouvent un guide pour les y conduire [68]. Cette donnée dérive de la notion des chambres de repousse et divers procédés en ont été extrapolés et utilisés : interposition veineuse [12, 80], interposition de muscle congelé-décongelé [61, 67], membrane d'acide polyglycolique ou PGA [52]. La technique consiste à interposer un tube entre les deux extrémités nerveuses sectionnées. Les résultats sont discordants, et les indications nous semblent plus du domaine de la recherche que de la clinique humaine du moins en ce qui concerne les nerfs collatéraux. Ils nous paraissent quand même avoir leur place en urgence, surtout pour les interpositions veineuses. Il faut considérer que ces procédés d'interposition tubulaire sont des techniques de sauvetage dont les indications doivent être réservées à des cas extrêmes et à des opérateurs entraînés.

Neurotisations [48, 87, 88]

Il s'agit de procédés anciens qui ont surtout été utilisés sur les troncs ou les racines nerveuses proximales. Pour les nerfs digitaux, on peut utiliser la branche homolatérale dorsale du collatéral à son extrémité distale que l'on suture au moignon distal du nerf collatéral. La technique rapportée par Viterbo peut aussi être utilisée. Il s'agit de réaliser une anastomose ter-

mino-latérale du moignon distal du nerf sectionné et non réparable par les procédés habituels sur le nerf collatéral contro-latéral. Il s'agit là de procédés dont la diffusion reste très limitée en pratique clinique et réservés aussi à des opérateurs entraînés.

Soins post-opératoires

Compte tenu de la fragilité des procédés d'anastomose une immobilisation est nécessaire pour une durée de 10 à 15 jours après l'intervention, dans une position de détente des nerfs réparés mais en évitant toute position forcée. Bien entendu, les lésions associées peuvent imprimer des caractéristiques particulières aux suites opératoires (lésions tendineuses, lésions vasculaires complexes, lésions ostéo-articulaires). Dans les lésions associées des fléchisseurs, la main et le poignet sont totalement immobilisés dans une attelle de type Kleinert ou Duran pendant une durée de huit à dix jours. C'est une période suffisante pour que la solidité de la réparation nerveuse autorise ensuite la mise en route du programme de rééducation habituel aux sutures tendineuses.

Aspects cliniques

Notion de zone autonome

Sur chaque pulpe il existe une zone dite autonome, le plus souvent de surface réduite qui appartient en propre à un nerf collatéral sans aucune suppléance. On peut ainsi être amené à pratiquer des blocs anesthésiques digitaux controlatéraux pour apprécier la qualité d'une réparation nerveuse [58].

Signes cliniques analytique d'une section d'un nerf collatéral

En urgence, aucun signe neurologique n'est spécifique d'une plaie d'un nerf collatéral, il est donc tout à fait essentiel d'explorer toutes les plaies palmo-digitales dans de bonnes conditions techniques : analgésie, champ exsangue, opérateur entraîné aux réparations des lésions nerveuses ou vasculaires.

Analyse de la sensibilité [18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 58, 64, 79]

L'examen de la sensibilité pulpaire se heurte à de nombreuses difficultés qui touche à la fois à l'interprétation des tests utilisables qui ont plus une valeur

subjective que fonctionnelle, mais aussi aux diverses classifications internationales dont l'efficacité est loin d'être proportionnelle à la complexité. L'objectif pour un chirurgien est d'apprécier le niveau fonctionnel sensitif depuis l'absence de sensibilité jusqu'à la sensibilité discriminative la plus fine en essayant de la quantifier. La connaissance de la dynamique de la récupération nerveuse a permis de mettre au point des méthodes simples, reproductibles lors des diverses consultations de contrôle qui suivent une réparation nerveuse. L'examen doit être comparatif, avec les doigts voisins et le côté opposé et réalisé dans une ambiance calme chez un patient qui conserve les yeux fermés lors de la réalisation des tests. Après une réparation primaire par suture ou fibrinocollage, ou une reconstruction secondaire par greffe, la récupération se fait en trois étapes, chacune étant contrôlée par des mécanismes biochimiques régulateurs [11, 29, 39] :

1. apparition précoce des sensations douloureuses et apparition de paresthésies dont on peut penser qu'elles correspondent à la régénérescence des fibres amyéliniques à terminaisons libres, le test à la piqure apprécie la fonction de ces fibres ;
2. récupération des fibres à adaptation rapide réinnervant les corpuscules de Meissner et de Pacini, mises en évidence par l'épreuve du contact déplacé ;
3. récupération des fibres à adaptation lente et des corpuscules de Merkel et Ruffini destiné à percevoir le contact constant.

Si les trois étapes sont bien définies, et s'il est facile d'apprécier le passage du grade 1 au grade 2, en revanche la période du retour à la discrimination reste souvent un peu floue. Globalement, pour un nerf collatéral digital la récupération s'étend entre six mois et 18 mois.

Les méthodes d'examen de la sensibilité dans les suites des réparations nerveuses font appel à des tests de régénération nerveuse, des tests subjectifs et objectifs, et enfin des tests fonctionnels. La manipulation de ces divers tests permet de faire entrer le patient, à un moment donné, dans une des nombreuses classifications qui existent.

Tests de régénération nerveuse

Ils permettent de suivre la régénération nerveuse depuis la zone de réparation jusqu'à l'extrémité digitale. Le signe de Tinel est le plus précoce, il survient trois à quatre semaines après la lésion nerveuse sensitive, c'est-à-dire bien avant la récupération des sensations douloureuses. Il faut bien distinguer les paresthésies déclenchées en regard de la lésion ou de la réparation qui témoignent d'une irritation nerveuse de mauvais pronostic lorsque ce point reste fixe réalisant alors le « *hot*

point » des auteurs anglo-saxons et les paresthésies qui progressent de proximal en distal. Dans ce dernier cas la repousse nerveuse évolue dans la plupart des cas à une vitesse de l'ordre de 1 mm par jour. Toutes les fibres ne repoussant pas à la même vitesse, il se produit fréquemment que l'on mette en évidence une zone de signe de Tinel plus qu'un point précis.

Le signe de Tinel n'est que le témoin d'une repousse à un moment donné, il n'a en aucun cas une valeur pronostique quant au résultat final. La régénération axonale peut en effet se perdre, se bloquer dans une zone fibreuse ou s'épuiser ; des tests complémentaires sont donc absolument nécessaires pour affiner l'examen sensitif.

Tests subjectifs

Dans ce volet il faut distinguer :

- la sensibilité thermique au chaud et au froid étudiée par les épreuves des tubes à essai contenant des liquides à température variable ;
- la sensibilité dite de protection étudiée par le test à la piqure à l'aiguille ;
- la sensibilité au tact ou la sensibilité discriminative : sa recherche consiste à stimuler une hémipulpe avec une pointe mousse, un bord de compresse ou un fil de Semmes-Weinstein. Le patient doit préciser à l'examineur si une pulpe ou une hémipulpe est touchée et quelle pulpe est touchée.

Tests objectifs

Le test de Möberg à la ninhydrine qui apprécie l'activité sudoripare est difficile à mettre en œuvre. Il traduit une dénervation sympathique sans aucune valeur pronostique quant à la récupération sensitive pulpaire. Il en est de même pour les tests indirects mesurant la conductance cutanée [79].

Tests fonctionnels

Il faut distinguer dans ce groupe les tests statiques et les tests dynamiques.

Tests statiques

Le test de discrimination cutanée de deux points de Weber, simple dans sa conception, nécessite une extrême rigueur pour sa réalisation. Il consiste à appliquer simultanément une pression équivalente (deux pointes mousses), sans déclencher d'ischémie cutanée, en deux points voisins sur la pulpe à explorer et à rechercher la distance minimum pour laquelle le

patient perçoit la double pression. Au-delà, le patient ne perçoit plus qu'une seule pression, le seuil de discrimination est alors atteint. Les corrélations entre la valeur du seuil et la fonction varie d'un auteur à l'autre, mais les valeurs proposées par Möberg et affinée par Dellon restent largement acceptées (tableau 3). L'examen doit se faire dans le sens longitudinal, en évitant de déborder sur la pulpe voisine, sept réponses sur dix tests constituent une réponse valable. Sur un doigt normal, la discrimination est de 3 à 4 mm avec des variations liées à l'état du revêtement cutané. Au-delà d'un seuil de 9 à 10 mm, on ne peut plus parler de sensibilité discriminative vraie mais plutôt de sensibilité de protection.

Tests dynamiques

Le test de Weber mobile proposé par Dellon donne des renseignements plus précoces que le test statique classique; il explore en fait la densité de corpuscules à adaptation rapide dont la réinervation s'établit plus rapidement que les corpuscules à adaptation lente. Sa valeur plus fixe se situe à 4 mm. Les autres tests n'ont pas beaucoup d'intérêt dans les plaies des nerfs collatéraux, qu'il s'agisse du test de performance global de ramassage de Möberg (*picking up test*) ou des tests de reconnaissance d'objets [58].

Au terme de l'examen analytique sensitif, la sensibilité fonctionnelle pulpaire peut être appréciée, elle sera comparée d'un examen à l'autre pour suivre la régénération axonale et en apprécier résultat final. De nombreuses classifications ont été proposées, il faut retenir celle du British Medical Council (tableau 1) et celle de Möberg (tableau 2), toutes deux utiles mais incomplètes. La classification de JY. Alnot tient compte des deux cotations précédentes et a le mérite de s'appuyer sur l'analyse des capacités fonctionnelles (tableau 4). Aucune de ces classifications n'est parfaite, car elles n'intègrent pas les signes associés qui interfèrent avec le résultat fonctionnel, essentiellement la maladie du froid et les douleurs irritatives. L'appréciation subjective du patient [13, 14, 15] devrait idéalement aussi être prise en compte pour affiner l'examen sensitif et intégrer le niveau fonctionnel tel que perçu par le patient.

Évaluation des résultats

Critères d'appréciation des résultats

L'analyse des résultats de la réparation des nerfs collatéraux doit non seulement faire intervenir les données de l'examen neurologique mais aussi celles subjectives, qui

participent aussi à la qualité de la fonction digitale : douleur, dysesthésies, intolérance au froid, « *hot point* » qui, lorsqu'il est situé en zone de prise et quand il persiste, peut être très handicapant. Tous les auteurs s'accordent pour dire qu'il existe un parallélisme étroit entre le résultat neurologique et le résultat fonctionnel [20, 21]. Cette donnée est parfois à tempérer en présence d'une sensibilité douloureuse au froid dont l'interprétation étiopathogénique reste discutée mais peut se montrer redoutable pour certaines professions exposées.

Bien qu'imprécise et discutable, la classification internationale reste utilisée par la plupart des chirurgiens spécialisés, elle classe les niveaux de sensibilité en 5 grades qui ne concernent que la zone autonome spécifique au nerf considéré. Elle privilégie le test de Weber statique dont les corrélations avec les possibilités fonctionnelles sont bien établies (tableau 1). Sunderland ajoute un degré supplémentaire S1+ qui correspond au retour à une sensation au tact, limitée aux sensations cutanées douloureuses [77]. Au total, à 18 mois d'une réparation, chaque doigt dont un ou deux pédicules ont été réparés entre à la fois dans une catégorie sensitive et dans une catégorie fonctionnelle sur laquelle insiste JY. Alnot (tableau 3) :

1. doigt normal, oublié;
2. doigt utile (indolore, sensible permettant une reprise de l'activité);
3. doigt gênant (hyperesthésie de contact);
4. doigt spontanément douloureux exclu.

La conjonction de ces deux classements cerne au mieux la qualité et l'utilité du résultat de la réparation nerveuse.

Résultats [4, 6, 8, 16, 27, 34, 41, 44, 54, 63, 65, 69, 71, 77, 78, 85, 89, 90] (tableaux 4 et 5)

Les résultats de la réparation directe des nerfs collatéraux sont connus comme meilleurs que ceux des nerfs mixtes et on peut admettre qu'environ 60 % des patients retrouvent une sensibilité entre S3+ et S4, c'est-à-dire une sensibilité fonctionnelle bonne ou acceptable, mais il est tout à fait exceptionnel que le test de Weber obtenu sur le doigt lésé soit égal à celui relevé sur le doigt équivalent de l'autre main [3, 90]. La qualité des résultats des différentes séries dépend pour beaucoup de l'âge moyen. Onne, en 1962, rapporte une série de huit réparations nerveuses chez des enfants dont l'âge était inférieur à 15 ans avec un retour à S4 dans tous les cas. À l'inverse, le même auteur, la même année ne retrouve aucun patient adulte classé à S4 dans une série de réparation de 14 nerfs collatéraux. Cette donnée est d'ailleurs

Tableau 1
Classification de la British Medical Council

	Weber Statique	Fonction
S0 pas de récupération	-	
S1 douleur	-	protection
S2 tact + hyperesthésie	-	protection
S3 tact – hyperesthésie	15–40 mm	prises grossières
S3+ discrimination utile	7–15 mm	reconnaissance d'objets
S4 normale	< 6 mm	normale

Tableau 2
Classification de Möberg

	Test de Weber statique
Bon	< 10 mm
Assez bon	12–15 mm
Médiocre	15–20 mm
Mauvais	> 20 mm

Tableau 3
Classification de J.Y. Alnot

O	Aucune sensibilité	S0
P	Protection	S1–S2
T	Tact, effleurement à la compresse	S3–S3+
D	Discrimination	S4

Tableau 4
Résultats des sutures primaires

	Nbr de cas	S2 (%)	S3 (%)	S3+ (%)	S4 (%)
Bunnel 1927	105	?	?	?	?
Larsen 1958	142	7	29	64	0
Weckesser 1961	12	0	16	42	25
Weckesser 1961	12	16	16	21	63
Onne 1962	8	0	0	0	100

(Suite)

Tableau 4 (Suite)

	Nbr de cas	S2 (%)	S3 (%)	S3+ (%)	S4 (%)
Onne 1962	14	28	29	43	0
Honner 1970	24	12	20	20	48
Honner 1970	50	28	28	28	16
Buncke 1972	18	0	22	28	50
Poppen 1979	62	10	16	55	19
Posh 1980	71	20	32	48	0
Young 1981	27	0	10	57	33
Sullivan 1985	42	26	28,5	28,5	17
Altissimi 1991	54	26	24	37	13
Chaise 1933	110	18	14	48	20
Total	731				
Moyenne		13,4	20,32	37,10	28,85
Écart-type		11,04	8,96	17,32	28,15
Minimum		0	0	0	0
Maximum		28	32	64	100

Tableau 5
Résultats des greffes fasciculaires

	Nb de cas	S0	S1 S2 S3	S3 + S4
Young 1980	33		20	13
Nunley 1989	14	1	7	6
Mac Farlane 1976	13	1	9	3
Greene 1985	15		5	10
Tenny 1984	42		10	32
Mac Kinnon 1988	33		2	31
Dumontier 1990	16	2	11	3
Total	166	4	64	98
Pourcentage moyen		2,5	38,5	59

soulignée par tous les auteurs qui ne signalent des résultats à S4 que dans des populations très jeunes [13]. « Après 50 ans, les résultats sont généralement mauvais, parfois bons, et presque jamais excellents » [90]. Le tableau 5 rapporte les principaux résultats retrouvés dans la littérature. Une autre donnée intéressante à souligner est l'absence de différence entre

les résultats des sutures épineurales et fasciculaires, qu'il s'agisse d'études de laboratoires ou de travaux cliniques. Young a bien insisté sur ce point dans une étude prospective publiée en 1981 [92, 93]. Ce phénomène est la conséquence de la structure même du nerf collatéral qui est paucifasciculaire et sensitif uniquement. Les progrès indiscutables obtenus dans

la réparation des nerfs collatéraux restent obscurs dans leur mécanisme : meilleure technique d'anastomose, agression tissulaire moins importante, réparation vasculaire associée qui améliore l'ambiance trophique régionale, ou rééducation de la sensibilité. Il est probable que ces facteurs jouent chacun un rôle peut-être variable d'un patient à l'autre. En ce qui concerne la rééducation de la sensibilité sur laquelle insiste Dellon, elle doit être adaptée à chaque période de la régénération nerveuse, d'abord désensitivation puis travail du toucher mobile, sans oublier la composante centrale comme l'utilisation ou non de la vue au cours des séances qui doivent être variées et fréquentes. L'idéal étant certainement une autorééducation surveillée par un rééducateur rompu à ces techniques et qui exploite au maximum les motivations des patients [20, 21].

Les résultats des greffes sont plus difficiles à analyser, car les séries sont à la fois plus rares et moins volumineuses. Un grand nombre de paramètres interfèrent dans la qualité des résultats : longueur de la perte de substance, délai avant la réalisation de la greffe, trophicité du lit receveur, vascularisation locorégionale. Il est donc illusoire de comparer les séries entre elles. L'âge joue ici un rôle équivalent à celui joué dans les sutures. Dans la série de Dumontier, seuls les patients de moins de 20 ans ont récupéré une sensibilité discriminative, huit patients ont récupéré une sensibilité de protection, neuf des patients excluent leur doigt dans les gestes fins, huit se disent peu gênés dans la vie quotidienne [28]. De plus, la maladie du froid ainsi que les douleurs apparaissent plus fréquentes (neuf fois sur 14 patients) que dans les sutures nerveuses primitives. Chaise ne retrouve que 2 % d'intolérance au froid dans une série de 110 nerfs collatéraux réparés en primaire [13, 14, 15]. L'imperfection de ces résultats conduit à penser qu'il ne faut pas systématiquement greffer tous les nerfs collatéraux interrompus mais réserver les indications aux nerfs contrôlant les pulpes dominantes ; tout en sachant que si les résultats en sont modestes, les greffes apportent une certaine protection pulpaire et valorisent ainsi un doigt ou une fonction parfois compromise.

Facteurs de pronostic des réparations nerveuses

Facteurs généraux de pronostic de la réparation nerveuse [37]

Une revue de la littérature concernant les réparations des nerfs périphériques, quel que soit le niveau de la

lésion et quel que soit le nerf en cause en particulier les nerfs collatéraux, fait apparaître quatre facteurs principaux de pronostic : le patient, le type de traumatisme, la technique chirurgicale, la rééducation post-opératoire.

Facteurs liés au patient

Les facteurs liés au patient dominent - à lésion équivalente - le pronostic, probablement par des phénomènes d'adaptation du cortex [52]. Il semble en effet qu'après une lésion d'un nerf périphérique, il existe une réorganisation du cortex central liée à la modification des influx. Cette adaptation peut être modifiée par la rééducation dans le sens d'un retour vers normale. Les excellents résultats obtenus chez l'enfant sont certainement liés à l'extrême plasticité du cortex à cet âge autorisant de nombreuses adaptations qui seraient impossible à obtenir chez l'adulte. Les travaux de Onne ont tenté de quantifier ce problème par l'établissement d'une courbe de prédictibilité du résultat en fonction de l'âge [65]. Les maladies à tropisme nerveux peuvent retentir aussi sur la qualité des résultats comme le diabète, l'alcoolisme, le tabagisme.

Facteurs liés au traumatisme

Les facteurs liés au traumatisme influencent aussi le résultat de plusieurs manières [32, 37].

Siège

Plus une lésion nerveuse est proximale, plus elle est grave par deux mécanismes : la proximité des corps cellulaires menace la vie même des cellules et le potentiel de repousse, ce facteur est certainement limité voire négligeable dans les lésions des nerfs collatéraux ; en revanche, l'éloignement des effecteurs sensitifs explique sans doute les meilleurs résultats observés dans les lésions des nerfs collatéraux par rapport aux lésions des nerfs interdigitaux.

Type de traumatisme

Les lésions d'étirement, de contusion, d'arrachement font coexister des lésions nerveuses, des lésions vasculaires, des lésions tendineuses et ostéo-articulaires qui portent en elles, pour chacune d'entre elles, un potentiel de fibrose et de mauvaise trophicité, toutes deux préjudiciable à la régénération nerveuse [32].

Technique chirurgicale [53, 54]

Elle influe directement sur le résultat. Un certain nombre de règles sont à observer d'un façon stricte : éviter toute tension et tout phénomène de télescopage au site d'anastomose, la résistance d'un fil de 9/0 paraît une limite à ne pas dépasser. Les travaux de Millesi ont montré la proportionnalité entre la tension au siège de la suture et la fibrose réactionnelle, qui peut aboutir à un véritable écran fibreux empêchant le passage du bourgeon axonal de repousse et conduisant ainsi à un névrome [57]. Il est aussi souhaitable de mieux répartir les tensions au site de réparation, l'utilisation des agents chimiques de collage agissent en ce sens plus que la multiplication des fils de suture eux-mêmes source de granulomes inflammatoires et de fibrose. Quand elles sont nécessaires (contusion), les recoups nerveuses doivent être minimales, peu agressives, limitées aux groupes fasciculaires extrus de la tranche de section. La technique de congélation segmentaire contrôlée proposée par l'équipe de Nancy rend les recoups simples et apporte une réponse à ce difficile problème [25, 26]. L'utilisation des lames de V. Meyer permet aussi une coupe aisée du nerf dont les tranches apparaissent macroscopiquement plus satisfaisantes que lorsque l'on utilise les ciseaux ou les lames de bistouri traditionnelles [56]. Les anastomoses doivent certainement être étanches pour éviter la fuite axonale responsable de névromes, l'utilisation des colles réalise de véritables chambres de repousse favorables à la régénération nerveuse. Bien entendu, les anastomoses doivent être suffisamment solides pendant la période de cicatrisation nerveuse, quelques échecs sont certainement dus à une rupture. Une immobilisation de 10 à 15 jours en position de détente de l'anastomose est une précaution à respecter pour éviter de tels incidents.

Rééducation post-opératoire

La rééducation post-opératoire est essentielle, notamment dans les lésions bipédiculaires ou dans les lésions des nerfs collatéraux contrôlant les pulpes dominantes, les travaux de Dellon plaident en ce sens [21].

Indications opératoires

Faut-il réparer tous les nerfs collatéraux ?

Cette question longtemps posée trouvait une réponse dans la notion de zone dominante dont il fallait réparer les nerfs sensitifs et de zones non dominantes que l'on pouvait abandonner. L'amélioration des techniques microchirurgicales, et la meilleure

fiabilité des résultats a permis de modifier ce raisonnement dans le sens des réparations de tous les éléments lésés en urgence c'est le concept du « tout en un temps », auquel un travail de Chow [17] a apporté un soutien.

Cet auteur compare le résultat de 36 nerfs réparés à 36 nerfs non réparés. La qualité des résultats est significativement supérieure dans le premier groupe. Il ne faut certainement pas attendre des phénomènes spontanés de neurotropismes qu'ils soient suffisants pour induire et orienter une repousse axonale, pas plus qu'il ne faut compter sur une prise en charge par les nerfs collatéraux voisins qui pourraient alors suppléer les déficiences liées à un abandon thérapeutique. L'ensemble de ces effets reste aléatoire et leur résultat imprédictible. En urgence ou en secondaire précoce, les pédicules collatéraux doivent donc être réparés.

En revanche dans certains cas vus tardivement, il apparaît licite d'abandonner toute réparation directe notamment en présence de troubles trophiques majeurs, pour des lésions distales, ou lorsqu'il s'agit d'un échec itératif de reconstruction nerveuse. Il faut s'orienter alors vers la translocation des névromes douloureux soit dans les muscles interosseux, soit dans le canal carpien. En cas de pulpe dominante insensible, des transferts palliatifs devront être associés (lambeau sensible, apport trophique) et ce d'autant qu'il s'agit du pouce ou de l'index [60].

Quand faut-il réparer les nerfs collatéraux ?

Tous les travaux concordent pour affirmer ou confirmer que la précocité des réparations nerveuses est un facteur de pronostic important. Les travaux de Kallio [40, 54], appuyant les résultats rapportés par Dumontier [28], mettent bien en évidence la supériorité des sutures sur les greffes, greffes qui deviennent souvent nécessaires en secondaire en raison de la rétraction des extrémités nerveuses et de leur fibrose terminale, qui impose une recoupe. Cet argument ajouté à la nécessité de la réparation en urgence des artères collatérales plaide en faveur de la reconstruction primaire, en urgence des pédicules nerveux. Cette attitude peut être modulée en fonction du caractère souillé d'une plaie qui peut nécessiter alors un parage soigneux en urgence et une suture secondaire précoce dont les résultats sont alors généralement bons [93], mais il faut limiter la pratique systématique des greffes aux cas où la réparation directe n'est techniquement pas possible, ce qui reste globalement assez rare en matière de traumatologie des nerfs collatéraux.

Faut-il réparer les artères collatérales en cas de lésions unipédiculaires ?

Si un certain nombre d'auteurs ont vu dans la reconstruction des artères lésées un des principaux facteurs de progrès dans les résultats de la réparation des nerfs périphériques [47, 76], ce geste reste discuté. Dans notre expérience, la réparation des artères lésées ne se discute pas pour les gros troncs, les artères interdigitales et les lésions bipédiculaires. En revanche dans le cadre des lésions unipédiculaires, il semble que la réparation diminue le degré et la fréquence des intolérances au froid, sans modifier directement la qualité du résultat neurologique du moins dans les plaies isolées unipédiculaires. Des travaux récents utilisant le laser-Doppler permettent d'objectiver une amélioration significative de la perfusion pulpaire après la reconstruction artérielle dans les lésions unipédiculaires. On peut donc penser que le rôle trophique des réparations artérielles n'est peut-être pas théorique. En outre, l'artère reconstruite joue un rôle de tuteur mécanique pour le nerf réparé, ce qui est un élément important dans les anastomoses par fibrinocollage qui restent toujours fragiles [13, 14, 15].

Conclusion

Les résultats des réparations primaires des plaies des nerfs collatéraux ne sont pas parfaits et des progrès sont encore certainement souhaitables. Les principaux nous paraissent être de trois ordres : amélioration des propriétés mécaniques des colles biologiques, utilisation des inducteurs de repousse axonale et de facteurs limitant la fibrose locale.

Néanmoins un certain nombre de règles doivent toujours guider notre conduite en matière de réparation des nerfs collatéraux :

- réparation en urgence ;
- recoupe nerveuse minimale pour éviter au maximum l'utilisation des greffes ou des procédés d'interposition d'autre nature dont les résultats ne sont jamais aussi favorables que les réparations primaires directes ;
- suture microchirurgicale épi-périneurale, sans tension ni télescopage des fascicules, associée à un fibrinocollage. Ce procédé a notre préférence pour sa facilité de mise en œuvre et la qualité de ses résultats ;
- réparation artérielle systématique pour l'apport trophique local ;
- surveillance principalement sur deux signes cliniques : signe de Tinel qui permet de suivre la régénération axonale et test de Weber statique, dont la valeur nous semble corrélée au mieux la qualité des résultats.

RÉFÉRENCES

- 1 Allieu Y, Alnot JY. Résultats des sutures nerveuses sous microscope. *Rev Chir Orthop* 1978 ; 64 : 276-83.
- 2 Almquist FE. Nerve repair by laser. *Orthop Clin North Am* 1988 ; 19 : 201-8.
- 3 Alnot JY, Benfrech E. Les autogreffes nerveuses. Problèmes techniques actuels. *Ann Chir Main* 1989 ; 8 : 291-95.
- 4 Altissimi M, Mancini GB, Azzara A. Results of repair of digital nerves. *J Hand Surg* 1991 ; 16B : 546-7.
- 5 Bertelli JA, Mira JC. Nerve repair using freezing and fibrin glue wrapping. Immediate histologic improvement of axonal coaptation. *Microsurgery* 1993 ; 14 : 135-40.
- 6 Boswick JA. Evaluation of peripheral nerve repairs below the elbow. *Arch Surg*, 1965 ; 90 : 50-65.
- 7 Bourrel P, Ferro RM, Lorthioir JM. Résultats cliniques comparés des sutures nerveuses "mixtes" épipérineurales et nevrilemmatiques. À propos d'une série de 109 cas. *Sem Hôpitaux Paris* 1981, 57 : 2015-23.
- 8 Buncke HJ. Digital nerve repairs. *Surg Clin North Am* 1972 ; 52 : 1267-85.
- 9 Bunnell S. Surgery of the nerves of the Hand. *Surg Gynecol Obstet* 1927 ; 44 : 145-52.
- 10 Cabaud HE, Rodkey WG, Mc Caroll HR. Epineural and perineural fascicular nerve repairs: A critical comparison. *J Hand Surg* 1976 ; 1 : 131-7.
- 11 Cabaud HE, Rodkey WG, Nemeth TJ. Progressive ultrastructural changes after peripheral nerve transection and repair. *J Hand Surg* 1982, 7 : 353-65.
- 12 Calteux N, Binsely J, Schoofs M, De Coninck A. Utilisation d'un segment veineux dans la réparation des nerfs périphériques. *Ann Chir.Main* 1984 ; 2 : 149-55.
- 13 Chaise F, Friol JP, Gaisne E. Résultats de la réparation en urgence des plaies des nerfs collatéraux palmaires des doigts. *Rev Chir Orthop* 1993 ; 79 : 393-7.
- 14 Chaise F. Les plaies des nerfs collatéraux palmaires des doigts. Cahier d'enseignement de la Société Française de Chirurgie de la main. Paris : Elsevier, 2000, p. 67-80.
- 15 Chaise F. Les plaies des nerfs collatéraux palmaires des doigts. In : Lésions traumatiques des nerfs périphériques. Cahiers d'enseignement de la SOFCOT, n° 64. Paris Expansion Scientifique Publications, 1997, p. 106-14.
- 16 Chow SP, Ngai YY, Hwang JC. Immediate return of sensation after digital nerve repair. *Austr NZ J Surg* 1980 ; 50 : 228-32.
- 17 Chow SC, NG C. Can a divided digital nerve on one side of the finger be left unrepaired? *J Hand Surg* 1993 ; 18B : 629-30.
- 18 Comtet JJ. La sensibilité : physiologie, examen, principes de la rééducation de la sensation. *Ann Chir Main* 1987 ; 6 : 230-8.

- 19 Dean SL, Thomas LG, Kurt EJ, Rasmussen C, Kolowitch P. Evaluation of normal values for stationary and moving two-point discrimination in the hand. *J Hand Surg* 1984; 9A : 552-5.
- 20 Dellon AL, Kallman CM. Evaluation of functional sensation in the hand *J Hand Surg* 1983; 8 : 865-70.
- 21 Dellon AL. Evaluation of sensibility and reeducation of sensation in the hand. Baltimore, Williams and Wilkins, 1981.
- 22 Dellon AL. The moving two-point discrimination test: clinical evaluation of the quickly-adapting fiber/receptor system. *J Hand Surg* 1978; 3 : 478-81.
- 23 Dellon AL. The vibrometer. *Plast Rec Surg* 1983; 71 : 427-31.
- 24 Dellon AL, Mackinnon SE. Reliability of two-point discrimination measurements. *J Hand Surg* 1987; 12A : 693-6.
- 25 De Medinaceli L, Merle M. Applying "cell surgery" to nerve repair: a preliminary report on the first ten human cases. *J Hand Surg* 1991; 16B : 499-504.
- 26 De Medinaceli L, Merle M. How exact should nerve stump coaptation be? A new answer given by "cell surgery" *J Hand Surg* 1991; 16B : 495-7.
- 27 Dubert T, Dinh A, Osman N. Évaluation des résultats après prise en charge d'une plaie de la main. In : *Cahiers d'enseignement de la SOFCOT*, n° 93. Paris Elsevier, 2006. p. 234-41.
- 28 Dumontier C, Kloos M, Dap F, Merle M. Greffes nerveuses des collatéraux des doigts. À propos d'une série de 16 cas revus. *Rev Chir Orthop* 1990; 76 : 311-6.
- 29 Diamond J, Cooper E, Turner C, Macintyre L. Trophic regulation of nerve sprouting. *Science* 1976; 193 : 371-7.
- 30 Edward E, Almquist MD. Nerve repair by laser. *Orthop Clin North Am* 1988; 19 : 201-8.
- 31 Egloff DV, Narakas A. Anastomoses nerveuses par fibrino-collage. Rapport préliminaire. *Ann Chir Main* 1983; 2 : 101-15.
- 32 Gelberman R, Urbaniak J, Bright D, Levin L. Digital sensibility following replantation. *J Hand Surg* 1978; 3 : 313-9.
- 33 Gilbert A. Les colles biologiques. Arguments expérimentaux et cliniques. *Ann Chir Main* 1989; 8 : 300-1.
- 34 Goldie BS, Coates CJ, Birch R. The long term results of digital nerve repair in no man's land. *J Hand Surg* 1992; 17B : 75-77.
- 35 Greene TL, Steichen JB. Digital nerve grafting using the dorsal sensory branch of the ulnar nerve. *J Hand Surg* 1985; 10B : 37-40.
- 36 Guinard D. Substituts des nerfs utilisés comme greffons. In : *Cahier d'enseignement de la Société Française de Chirurgie de la main*. Paris : Elsevier, 2000. p. 65-79.
- 37 Honner R, Frigiadakis FG, Lamb W. An investigation of factors affecting the results of digital nerve division *Hand* 1970; 2 : 21-31.
- 38 Houzé de l'Aulnoit S, Schoofs M, Leps P. Les neurotubes applications et résultats. À propos de 11 cas. *Ann Chir Plast Esthét* 1999; 44 : 132.
- 39 Igoo A. Cutaneous receptor and their sensory functions. *J Hand Surg* 1984; 9B : 7-10.
- 40 Kallio PK. The results of secondary repair of 254 digital nerves. *J Hand Surg* 1993; 18B : 327-330.
- 41 Kankaanpää U, Balakim G. Peripheral nerve injuries of the upper extremity. Sensory return of 137 neurotaphies. *Acta Orthop.Scandinavica* 1976; 47 : 41-45.
- 42 Katz D, Alnot JY, Henin D. Allogreffes nerveuses congelées. Étude expérimentale chez le rat. *Ann. Chir Main* 1989; 8 : 329-333.
- 43 Kayikçioğlu A, Karamürsel S, Agaoglu G, Sargon MF, Keçik A. A new experimental nerve repair technique: oblique nerve coaptation. *Ann Plas Surg* 1999; 43 : 506-12.
- 44 Khuc T, Leclercq D, Carlier A, Depierreux L, Lejeune G. Réparation microchirurgicale de 110 nerfs collatéraux. *Acta Chir Belg* 1982; 3 : 271-80.
- 45 Kinnman E, Aldskogius H. Collateral sprouting of sensory axon after chronic sciatic nerve lesion in adult and neonatal rats. A morphological study. *Brain Research* 1986; 377 : 73-82.
- 46 Larsen RD, Posch JL. Nerve injuries in the upper extremity. *Arch Surg* 1958; 77 : 469-82.
- 47 Leclercq DC, Carlier AC, Khuc T, Depierreux L, Lejeune GN. Improvement in the results in 64 ulnar nerve sections associated with arterial repair. *J Hand Surg* 1985; 10A : part 2 : 997-9.
- 48 Lesavoy MA, Duhrow TJ, Fisenhauer DM, Korzelios JM, Sehvartz RJ, Lipshutz CS. A new nerve pedicle for finger sensibility: the dorsal digital sensory nerve. *Plast Reconstr Surg* 1993; 91 : 295-8.
- 49 Lundborg G. Neurotrophism, frozen muscle grafts and other conduits. *J Hand Surg* 1991; 16B : 473-6.
- 50 Lundborg G. The intrinsic vascularization of human peripheral nerve. *J Hand Surg* 1979; 4 : 34-41.
- 51 MacFarlane RM, Mayer JR. Digital nerve grafts with the lateral antebrachial cutaneous nerve. *J Hand Surg* 1976; 1 : 169-173.
- 52 Mackinnon SE, Dellon LA. *Surgery of the peripheral nerve*. Thieme Ed, New York, 1988.
- 53 Marsh D, Barton N. Does the use of the operating microscope improve the results of the peripheral nerve suture? *J Bone Joint Surg* 1987; 69B : 625-630.
- 54 Merle M, Amend P, Foucher G, Michon J. Plaidoyer pour la réparation primaire microchirurgicale des lésions des nerfs périphériques. *Chirurgie* 1984; 110 : 761-771.
- 55 Merle M, Dautel G. Vascularized nerve graft. *J Hand Surg* 1991; 16B : 483-487.
- 56 Meyer VE, Namoli B, Lassmann H. The surgical cut-surface of peripheral nerves. *Int J Microsurg* 1980; 2 : 187-92.
- 57 Millesi H. *Peripheral nerve surgery* *Hand Clinics*. Philadelphia, Saunders W.B, 1986.
- 58 Möberg E. Objective methods for determining the functional value of sensibility of the skin. *J Bone Joint Surg* 1958; 40B : 454-76.
- 59 Narakas A. The use of fibrin glue in repair of peripheral nerves. *Orthop Clin North Am* 1988; 19 : 187-99.
- 60 Nonnenmacher J, Rapp L. La main neurologique périphérique. *Rev Fr Dommage Corp* 2004; 4 : 289-304.
- 61 Norris RW, Glasby MA, Gattuso JM, Bowden REM. Peripheral nerve repair in humans using muscle autografts. *J Bone Joint Surg* 1988; 70B : 530-3.
- 62 Nunley JA, Ugino MR, Regan N, Urbaniak JR. Use of the anterior branch of the medial antebrachial cutaneous nerve for the repair of defects in digital nerves. *J. Bone Joint Surg* 1989; 71A : 563-567.
- 63 Omer GE. Injuries to nerve of the upper extremity. *J Bone Joint Surg* 1974; 56A : 1615-24.
- 64 Omer GE. Report of the committee for evaluation in the clinical result of peripheral nerve injury. *J Hand Surg* 1983; 8[2] : 754-9.
- 65 Onne L. Recovery of sensibility and sudomotor activity in the hand after nerve suture. *Acta Chir Scand (Suppl)* 1962; 300 : 1-70.
- 66 Orgel MG, Terzis JK. Epineurial versus perineurial repair: an ultrastructural and electrophysiological study of nerve regeneration. *Plast Reconstr Surg* 1977; 60 : 80-81.
- 67 Pereira JH, Bowden REM, Gattuso JM, Norris RW. Comparison of results of repair of digital nerves by denatured muscle graft and end-to-end sutures. *J Hand Surg* 1991; 16B : 519-23.
- 68 Politis MJ, Ederle K, Spencer PS. Tropism in nerve regeneration, in vivo attraction of regenerating axons by diffusible factors derived from cells in distal nerve stumps of transected peripheral nerve. *Brain Res* 1982; 253 : 1-12.

- 69 Poppen NK, Mc Carrol HR, Doyle JR, Niebauer JJ. Recovery of sensibility after suture of digital nerves. *J Hand Surg* 1979; 4 : 212-226.
- 70 Posch JL, de la Cruz-Saddul F. Nerve repair in trauma surgery. A ten year study of 231 peripheral injuries. *Orthop Rev* 1980; 9 : 35-45.
- 71 Rath S, Green CJ. Lack of topographical specificity in sensory nerve regeneration through muscle graft in rats. *J Hand Surg* 1991, 16B : 524-530.
- 72 Seddon H. Surgical disorders of the peripheral nerves. London, Williams and Wilkins Ed., 1972.
- 73 Schoofs M. L'usage de la colle biologique en microchirurgie de la main. *Ann Chir Plast Esthét* 1999; 44 : 132.
- 74 Seekel BR, Chiu TH, Nyilas E, Sidman RL. Nerve regeneration through synthetic biodegradable nerve guides: regulation by the target organ. *Plast Reconstr Surg* 1984; 74 : 173-81.
- 75 Sherk H. The use of lasers in orthopedic procedures. *J Bone Joint Surg* 1993; 75A : 768-776.
- 76 Starkweather RJ, Neviaser RJ, Adams JP, Parsons DB. The effect of devascularisation on the regeneration of lacerated peripheral nerves. *J Hand Surg* 1978; 3 : 163-7.
- 77 Sunderland S. Nerve injuries and their repair. A critical appraisal. London, Churchill Livingstone, 1991.
- 78 Sullivan DJ. Results of digital neuroraphy in adults. *J Hand Surg* 1985; 10B : 4-44.
- 79 Swain ID, Wilson GR, Crook SC. A simple method of measuring electrical resistance of the skin. *J Hand Surg* 1985; 10B : 319-23.
- 80 Tang JB. Vein conduits with interposition of nerve tissue for peripheral nerve defects. *J Reconstr Microsurg* 1995; 11 : 21-6.
- 81 Tenny RJ, Lewis RC. Digital nerve grafting for traumatic defects. *J Bone Joint Surg* 1984; 66A : 1375-1379.
- 82 Terzis JK. Clinical microsurgery of the peripheral nerve. The state of the art. *Clin Plast Surg* 1979; 6 : 247-67.
- 83 Terzis JK, Faibisoff B, William HB. The nerve gap: suture under tension vs graft. *Plast Reconstr Surg* 1975; 56 : 166-70.
- 84 Travers V, Apoil A. La suture laser. Étude expérimentale. *Ann Chir Main* 1989; 8 : 312.
- 85 Tropet Y. Réparation des nerfs digitaux: techniques, résultats et indications. In : Cahier d'enseignement de la Société Française de Chirurgie de la main. Paris : Elsevier, 2000. p. 47-63.
- 86 Tupper JW, Crick JC, Mattek LR. Fascicular nerve repairs. A comparative study of epineural and fascicular techniques. *Orthop Clin North Am* 1988; 19 : 57-69.
- 87 Viterbo P, Trindade JC, Hoshino K, Mazzooi Neto A. End-to side neurorraphy with removal of the epineural sheath: an experimental study in rats. *Plast Reconstr Surg* 1994; 94 : 1038-42.
- 88 Voche P, Ouattara D. End-to-side neurorraphy for defects of palmar sensory digital nerves. *Br J Plast Surg* 2005; 58 : 239-44.
- 89 Weckesser EC. The repair of nerves in the palm and the fingers. *Clin Orthop* 1961; 19 : 200-7.
- 90 Weeks PM, Wray RC. Management of hand acute injuries - A biological approach. 2nd ed., Saint-Louis, CV Mosby, 1980.
- 91 Wilgis EFS, Maxwell RC. Digital nerve grafts: clinical and anatomical studies. *J Hand Surg* 1979; 4 : 439-43.
- 92 Young L, Wray RC, Weeks PM. A randomized prospective comparison of fascicular and epineural digital nerve repairs. *Plast Reconstr Surg* 1981; 68 : 89-93.
- 93 Young VL, Wray RC, Weeks PM. The results of nerve grafting in the wrist and the hand. *Ann Plast Surg* 1980; 5 : 212-5.

Lésions traumatiques du nerf sciatique

Traumatic sciatic nerve injuries and their treatments

R. BLETON¹

RÉSUMÉ

Les tableaux cliniques d'atteinte sciatique et leur traitement diffèrent selon le siège et l'origine de l'atteinte. À la cuisse, les lésions du nerf sciatique succèdent à une plaie, ou plus rarement à un étirement par une fracture du fémur, voire à une lésion balistique qui combine les deux phénomènes. Les réparations primaires par suture microchirurgicale des plaies franches donnent chez les sujets jeunes des bons résultats. Les lésions par rupture prises en charge secondairement ont un pronostic réservé du fait de l'importance de la perte de substance nerveuse et du délai de la réparation. Les résultats sont modestes, mais permettent de retrouver une certaine sensibilité, gage de prévention des troubles trophiques sur un membre inférieur paralytique. Les modalités pratiques susceptibles d'améliorer les résultats relèvent de centres très spécialisés. Les résultats des sutures, face aux réparations secondaires par greffes, justifient donc l'exploration de toute plaie pénétrante sur un trajet nerveux. Au niveau du genou, seul le nerf péronier est habituellement lésé. L'atteinte est gênante mais non invalidante, accessible à un traitement palliatif qui donne des résultats rapides et constants. La suture directe microchirurgicale des plaies donnent souvent d'excellents résultats et sera toujours privilégiée. En cas de paralysies persistantes au-delà de trois mois, notamment dans le cas des entorses graves du genou, le pronostic et les indications sont dépendants des lésions anatomiques. Les lésions continues bénéficieront d'une neurolyse qui donne de bons résultats. Les pertes de substances nerveuses de moins de six cm, traitées par greffe peuvent espérer 75 % de bon résultat, mais au-delà le pronostic chute. Celles-ci relèvent alors d'un transfert palliatif d'emblée en raison de la très faible probabilité de résultat positif.

Mots clés : Nerf sciatique. – Lésion du nerf péronier. – Greffe nerveuse.

SUMMARY

Sciatic nerve injuries are managed differently in function of aetiologies and site of lesions. At the calf, sciatic nerve is usually cut during open wound or severed by stretch/contusion during femoral fractures or missile induced lesions which combine both mechanisms. When possible, direct microsurgical sutures give good results in young people. Results of nerves grafts after rupture have poor prognosis of recovery because of the size of the substance loss. However, it is worthwhile to recover sensibility even slight to avoid trophic ulcers. Techniques of nerve grafts are controversial. These results justify exploring in emergency all wound with sciatic palsy.

At the level of the knee, only the common peroneal nerve is severed. Such palsy can be treated by posterior tibialis tendon transfer. It is a safe and constant procedure, but direct microsurgical sutures, when possible, give good results and must be preferred. Closed injuries associated with persistent palsy after 3 months or more need surgical exploration. When the peroneal nerve is continuous with good nerve action potential at electro stimulation, neurolysis give good results. In complete ruptures associated with severe knee sprain, nerve substance loss are often larger than 6 cm and do not worth nerve graft.

Key words: Sciatic nerve. – Common peroneal nerve injury. – Nerve graft repair.

Introduction

L'intérêt des réparations microchirurgicales par suture ou greffe nerveuse des nerfs du membre supérieur n'est plus discuté, alors que les lésions nerveuses du membre inférieur ont fait l'objet d'un nombre restreint de publications.

Les publications de référence sont peu fréquentes, souvent réalisées au décours des conflits majeurs, qui apportent leurs vastes cohortes de lésions balistiques peu fréquentes dans la pratique civile [4, 5, 16, 18]. Les travaux récents sont peu nombreux, issus de quelques centres très spécialisés dans la chirurgie nerveuse [7, 8, 9, 10, 12].

¹ Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, hôpital Foch, 40, rue Worth, 92150 Suresnes, France

Les tableaux cliniques d'atteinte sciatique et leurs traitements sont fondamentalement différents selon le siège et selon l'origine de l'atteinte.

Nous mettrons d'emblée à part les atteintes liées aux complications de la chirurgie de hanche, les traumatismes du bassin, et notamment les luxations – fractures postérieures du cotyle. En effet, à côté de quelques cas où une cause locale, responsable d'une atteinte tronculaire, peut être retrouvée, la plupart de ces paralysies sciatiques semblent pouvoir être attribuée à un étirement des racines du nerf sciatique. Les arguments pour une atteinte plexique sont les suivants :

- la prédominance des atteintes sciatiques avec paralysie des releveurs et des extenseurs du pied. Cette topographie, trop souvent prise pour une paralysie du nerf péronier (NP), correspond en fait à celle des racines L4 et L5 plus vulnérables aux traumatismes en traction que les racines sacrées;
- l'absence fréquente de lésions constatées lors des explorations précoces et systématiques;
- la diffusion des atteintes neurologiques qui entre dans le cadre d'atteinte plexuelle et non plus tronculaire et qui a bien été objectivée par les études électromyographiques;
- les facteurs de risque qui semblent ne pouvoir jouer que dans les lésions d'étirement.

Pour les atteintes tronculaires plus distales, il faut individualiser les différents grands tableaux selon la localisation et le traumatisme causal.

Il faut différencier les atteintes à la cuisse de celles du genou.

– À la cuisse, le nerf sciatique est le plus gros nerf de l'organisme, ce qui pose des problèmes de « capital nerveux » lors des greffes. C'est aussi le plus long, avec des lésions qui siègent à distance des effecteurs moteurs ou sensitifs, ce qui explique des délais importants de récupération, voire une récupération incomplète en raison d'un certain épuisement de la repousse axonale. Les atteintes à la cuisse posent le double problème de l'importance de la perte de substance nerveuse et celui du délai de récupération en raison de la distance séparant la lésion des effecteurs. Le problème est centré sur la récupération de la sensibilité plantaire.

– Au genou, l'atteinte intéresse presque exclusivement le NP. Le déficit est principalement limité au steppage. La lésion du NP est assez proche des effecteurs et il s'agit d'un nerf principalement moteur, dont la réparation devrait être gratifiante. Paradoxalement, le pronostic des réparations est très incertain avec des délais importants. Les causes semblent maintenant précisées, ce qui permet de mieux cerner les indications respectives des greffes et des transferts palliatifs. Ceux-ci ont en effet des résultats rapides et réguliers.

– Il faut également individualiser les lésions par plaies souvent diagnostiquées et traitées précocement, souvent nettes et donc faciles à traiter par suture ou greffe; et les lésions par traumatisme fermé, notamment les entorses graves et les luxations du genou souvent de diagnostic et de traitement retardés posant par contre un problème de perte de substance nerveuse, de pronostic plus réservé. Les traumatismes balistiques associent tous les inconvénients : des lésions d'étirement par le blast, une section éventuelle et fréquemment des lésions ostéo-articulaires associées qui aggravent le pronostic et passent au premier plan.

L'expérience exposée dans cet article repose sur une série de 117 cas de paralysie sciatique traumatique revus dans la thèse de l'auteur [2, 3] et de 40 cas de paralysie du NP opérés dans le service de chirurgie orthopédique de l'hôpital Bichat (Pr. Alnot) entre 1983 et 1993 revus dans la thèse d'Atchabahan [1], complétée par les données de la bibliographie récente [7, 8, 9, 16, 11].

Historique

L'histoire des paralysies du nerf sciatique et de leur traitement se confond avec celle du traitement des paralysies et de la chirurgie nerveuse en général. On peut décrire plusieurs périodes qui se sont succédées depuis la deuxième moitié du 19^e siècle à nos jours.

Dans une première période prenant fin avec la Première Guerre mondiale, le problème essentiel est celui du diagnostic étiologique des paralysies et des séquelles douloureuses au cours de la guerre de 1870.

La deuxième période correspond aux deux conflits mondiaux qui ont fourni leur quota de paralysies traumatiques. De grandes séries ont été publiées par Seddon [4, 5] et Sunderland [18], et les principes thérapeutiques généraux ont été décrits.

Le progrès essentiel va venir avec la diffusion des techniques microchirurgicales qui améliorent considérablement la réalisation des sutures nerveuses et surtout avec la technique des greffes nerveuses proposée par Millesi [12] qui permet de combler les pertes de substances nerveuses sans tension.

Anatomie

Le nerf sciatique est composé du nerf tibial (NT) et du NP qui sont réunis habituellement dans une même gaine jusqu'au milieu de la cuisse.

Origine

Le nerf grand sciatique est formé de la réunion des branches terminales du tronc lombo-sacré et des branches terminales des 1^{re}, 2^e et 3^e racines sacrées.

Les racines d'origine du plexus sacré sont situées à la partie moyenne de la queue de cheval entre les plexus lombaire et honteux. Les racines L4 et L5 présentent un trajet à double sinuosité en S italique dans leur trou de conjugaison, alors que les racines sacrées ont un trajet beaucoup plus rectiligne. Les quatre premiers nerfs lombaires s'enroulent d'arrière en avant autour de l'axe que constitue L5, tandis que les trois premiers nerfs sacrés passent derrière le dernier nerf et se disposent en arrière les uns des autres. Il existe une rotation du plexus sacré due à la station érigée et à l'embryogenèse.

Les branches supérieures antérieures de L4 et de L5 s'anastomosent pour former le tronc lombo-sacré qui va lui-même s'anastomoser avec la branche antérieure de S1. Les branches antérieures de S2 et de S3 s'anastomosent enfin à ceux-ci et l'ensemble forme, au-dessus de l'épine sciatique, le tronc du nerf sciatique. Celui-ci reçoit alors la branche antérieure de la racine S4.

Trajet

Le tronc sciatique sort de la cavité pelvienne par la grande échancrure sciatique, généralement sous le muscle pyramidal. Il descend ensuite verticalement dans la fesse, puis dans la région postérieure de la cuisse. D'abord aplati, il s'arrondit dans la dernière partie de son trajet et se termine en général à la partie haute du creux poplité.

À la fesse, le nerf descend dans la région située entre l'ischion et le grand trochanter, séparé de l'articulation coxo-fémorale par les muscles pelvi-trochantériens et du tissu adipeux, plus près de l'ischion que du grand trochanter.

L'extension du genou et la flexion de la hanche mettent le nerf en tension.

À la cuisse, le nerf sciatique est contenu dans une coulée cellulo-graisseuse, croisée par le chef du muscle biceps-fémoral, limitée en dedans par le sartorius et par le demi-membraneux, en dehors par le chef court du biceps. Il est séparé de la diaphyse fémorale par le muscle grand adducteur.

Dans cette loge, chemine le réseau anastomotique de la cuisse : rameaux profonds des vaisseaux fémoraux médians, vaisseaux perforants. Ils s'anastomosent en dehors du nerf et donnent des branches musculaires qui le croisent en avant ou en arrière.

Terminaison

Les deux branches terminales sont le nerf tibial (NT) et le nerf péronier (NP). Sur le plan neurophysiologique, la séparation en deux contingents de fascicules distincts se fait très haute au niveau de l'échancrure sciatique.

Nerf tibial

Son trajet

La plus volumineuse des deux terminaisons. Il poursuit le trajet du nerf grand sciatique, vertical et médian dans le creux poplité.

Il s'enfonce en avant des gastrocnémiens (muscles jumeaux) sous l'arcade du soléaire et se place entre les deux groupes musculaires postérieurs de la jambe. Il se dirige en dedans à la partie inférieure de la jambe pour se loger en dedans du tendon d'Achille. Il se place derrière la malléole interne, puis dans la gouttière calcaneenne où il se divise en nerf plantaire médial et latéral.

Son territoire

Moteur, il est :

- fléchisseur accessoire du genou par les gastrocnémiens (jumeaux);
- fléchisseur plantaire et inverseur du pied et fléchisseur des orteils par les muscles extrinsèques;
- fléchisseur plantaire des orteils par les muscles intrinsèques qui assurent également le maintien de la statique du pied.

Sensitif, il assure de façon exclusive la sensibilité de la plante du pied à l'exception du bord latéral innervé par le nerf sural (qui est issu partiellement du NT) et à l'exception du bord interne du pied innervé par le nerf saphène, branche du nerf fémoral.

Nerf péronier

C'est la plus petite des deux branches de division.

Son trajet

Depuis le creux poplité, il suit le bord interne du biceps, doublé d'une forte aponévrose, selon un axe oblique en bas et en dehors. Il contourne le col de la fibula, dont il est séparé par le gastrocnémien latéral et l'insertion latérale du soléaire. À ce niveau, il est superficiel, séparé de la peau par l'aponévrose jambière. Au niveau de la fosse postéro-latérale du genou, il existe une bandelette fibreuse unissant le long péronier latéral et l'aponévrose du soléaire. Cette bandelette forme parfois une véritable pince avec une branche antérieure et une branche postérieure qui peut parfois être responsable d'un syndrome canalaire.

Après avoir contourné la tête et le col de la fibula, il se porte ensuite, en perforant la cloison intermusculaire latérale, dans la loge des péroniers entre les insertions du long péronier latéral où il bifurque en deux branches terminales.

Le NP est littéralement amarré aux aponévroses musculaires.

Son territoire

Moteur, il innervé la flexion dorsale et l'éversion du pied par l'innervation des loges latérale et antéro-latérale (muscles extrinsèques du pied) et par l'innervation du court extenseur des orteils (seul muscle intrinsèque dorsal du pied).

Sensibilité. Il innervé les téguments de :

- la face antéro latérale du genou et de la jambe ;
- le dos du pied à l'exception du bord latéral du dernier orteil qui est innervé par le nerf sural. Celui-ci est issu principalement du NT mais reçoit un contingent parfois important issu du péronier, qui s'anastomose à la partie moyenne de la jambe.

Systématisation

Il est toujours intéressant de replacer le rôle du nerf sciatique et du plexus sacré dans son contexte qui est la fonction motrice du membre inférieur : selon Singer, le plexus lombaire et sacré assure l'innervation du membre inférieur et l'on peut proposer, lors de la marche, une répartition fonctionnelle des racines lombosacrées suivantes : projection de la cuisse en avant par les adducteurs (L3, L4), puis extension de la jambe par le muscle fémoral (L3 essentiellement), flexion dorsale du pied par les extenseurs des orteils et le muscle tibial antérieur (JA) (L4, L5).

Les actions motrices principales des muscles postérieurs dépendent des racines sacrées : extension de la cuisse (S1, S2) associée à la flexion de la jambe et flexion plantaire du pied par le triceps (S1).

Il est donc possible de dire avec Lazorthes que le plexus sacré se compose d'un plan antérieur fléchisseur qui innervé les muscles postérieurs de la cuisse par l'intermédiaire du NT, et d'un plan postérieur extenseur destiné aux muscles antéro-latéraux de la jambe par l'intermédiaire du NF. Cette rotation du plexus est d'origine embryogénique et est liée à la station érigée.

Ceci explique la possibilité de confondre une atteinte plexique haute du tronc lombo-sacré L4 – L5 avec une atteinte péronière après fracture du bassin ou PTH.

Pour Seddon, les fibres nerveuses se disposent en deux plans :

- un plan antérieur ou ventral pour les fascicules destinés aux muscles latéraux et au NT ;
- un plan postérieur ou dorsal pour les fascicules destinés au NF.

Il semblerait également que les fibres destinées au plan antérieur soient issues essentiellement des racines L4

et L5, alors que les fibres du plan postérieur seraient issues des racines S1 et S2.

Ceci expliquerait la difficulté de discerner les paralysies du NP et celles trouvant leur origine dans une atteinte radiculaire de L4 et L5.

Anatomie intraneurale

Topographie fasciculaire intrasciatique

Il n'y a aucun échange de fibre nerveuse entre le NT et le NP qui peuvent être séparés par dissection jusqu'à l'échancrure sciatique.

Particularité histologique du nerf sciatique

Dans le NT, le tissu conjonctif est plus important (60 à 70 %) et surtout les groupes fasciculaires sont plus nombreux et de diamètres respectifs plus petits dans un tissu conjonctif par ailleurs plus abondant.

Dans le NF, les groupes fasciculaires sont moins nombreux et de diamètre plus important dans un tissu conjonctif par ailleurs moins abondant. Certains en ont conclu une « plasticité » des fascicules dans leur gaine plus grande du NT que pour le NF, ce qui expliquerait la plus grande vulnérabilité de ce dernier.

Aspects cliniques

Paralysie du nerf péronier

Déficit sensitif

Le déficit sensitif touche théoriquement la région antéro-latérale de la jambe, la région dorsale du pied à l'exclusion de son bord latéral et de son bord interne, la face dorsale des orteils à l'exclusion de la phalange unguéale.

En fait, la zone autonome du NP est beaucoup plus réduite. L'hypoesthésie se limite en général à une étroite bande au dos du pied du fait des suppléances opérées par les autres nerfs voisins.

Déficit moteur

Le NP innervé les muscles de l'extension des orteils et du pied, ainsi que les muscles éverseurs du pied. Ces muscles appartiennent aux loges antérieure et antéro-latérale de la jambe et au dos du pied. Leur contraction peut être facilement palpée au cours de l'examen clinique. Leurs tendons sont facilement visibles.

Cette paralysie associe les paralysies suivantes :

- l'éversion du pied, par paralysie des péroniers latéraux, le long péronier latéral étant de plus responsable du creusement de l'arche plantaire interne par l'intermédiaire de son insertion sur la base du 1^{er} métatarsien, qu'il abaisse vers le sol ;
- l'extension du pied par le muscle tibial antérieur ;
- l'extension des premières phalanges des orteils par les extenseurs commun et propre des orteils. Un simulacre d'extension peut cependant être réalisé par effet ténodèse lors de la flexion plantaire forcée de la cheville et après relâchement des fléchisseurs des orteils.

Cette paralysie est responsable d'une attitude caractéristique lors de la marche, le steppage, qui se manifeste de la façon suivante : le patient lève le pied beaucoup plus haut du côté lésé et jette son pied en avant pour faire passer la pointe de son pied tombant et éviter que celui-ci ne frotte sur le sol. En position debout, il ne peut relever la pointe du pied ou battre la mesure. Spontanément, son pied se met en varus équin, sous l'influence de la gravité.

Enfin, le patient se plaint d'user la pointe de ses chaussures, de se « prendre » souvent les pieds lors de la montée des escaliers ou des trottoirs.

Une plainte fréquemment rapportée concerne les entorses récidivantes de la cheville qui ne sont pas améliorées par les orthèses et qui sont liées à la paralysie des péroniers latéraux. Ceci pose par ailleurs un problème étiologique dans certaines paralysies incomplètes du NF, sans cause évidente et dont l'histoire est inaugurée par des entorses. Est-ce l'entorse de cheville en varus qui provoque l'étirement du NP ou est-elle secondaire ?

Paralysie du nerf tibial

Déficit sensitif

Le NT innervait théoriquement la face plantaire du pied, à l'exception du bord interne qui est innervé par le nerf saphène, branche du nerf fémoral, ainsi que la face postérieure de la jambe. L'anesthésie plantaire dans les atteintes isolées est très rarement source de maux perforants et de nécrose localisée.

Déficit moteur

Le NT innervait les muscles de la loge postérieure de la jambe qui sont essentiellement fléchisseurs et inverseurs du pied, fléchisseurs des orteils et les muscles intrinsèques du pied à l'exception du court extenseur des orteils.

Seuls le triceps et l'abducteur de l'hallux sont accessibles à la palpation, les autres muscles devant être appréciés sur les mouvements qu'ils commandent.

L'action de flexion plantaire du triceps peut être simulée par le long péronier latéral. Les orteils en marteau sont secondaires à la paralysie des muscles intrinsèques. Sur le plan fonctionnel, le déficit se manifeste par l'impossibilité pour le malade de se mettre sur la pointe des pieds, de faire des « pointes ».

Il ne peut fléchir les orteils, il existe une attitude en griffe des orteils et un affaissement relatif de la voûte plantaire. Les trois malades de la série présentant une paralysie isolée distale du NT se plaignaient essentiellement d'une perte de « grip » des orteils. Le malade le plus gêné par ce déficit est un professeur de gymnastique, dont la pratique de la planche à voile a pâti de ce handicap.

Troubles trophiques

Ils sont limités dans les atteintes pures du NT. Il en est autrement lorsque le nombre de branches terminales lésées augmente.

Paralysie totale du nerf sciatique

Les paralysies totales du nerf sciatique touchant les deux composants interne et latéral associent les troubles moteurs et sensitifs rencontrés respectivement dans les deux types de paralysies.

Sur le plan fonctionnel, les attitudes vicieuses sont moins marquées, l'attitude en varus équin est plus discrète, le tonus des muscles fléchisseurs est supprimé et seule la gravité entretient cette position.

L'attitude en griffe des orteils est discrète voire absente en raison de la disparition du tonus des extenseurs.

La perte de la sensibilité du pied trouve toute sa gravité dans la survenue des troubles trophiques avec leur cortège d'ulcérations chroniques et de maux perforants plantaires, voire d'ostéo-arthrite.

Ceux-ci ne surviennent qu'en cas d'atteinte étendue : atteinte plexique étendue, atteinte complète et proximale d'une sciatique associée à une atteinte du nerf saphène, branche du fémoral.

La récupération, même modeste, d'une réparation nerveuse du sciatique a toujours permis de contrôler ou d'éviter les troubles trophiques. Ceci souligne l'importance de ménager le nerf saphène en cas d'atteinte plexique. Cette complication trophique est rarement retrouvée dans l'état actuel des orientations thérapeutiques.

Autres aspects

Les atteintes du nerf sciatique, comme pour les autres nerfs, peuvent induire une symptomatologie douloureuse.

Le membre fantôme douloureux et les causalgies se caractérisent par des douleurs spontanées dans le membre dénervé dépassant souvent le territoire intéressé avec des douleurs de type brûlure, sensation électrique exacerbée par les émotions. Elles sont particulièrement fréquentes dans les lésions très proximales du plexus lombo-sacré, notamment dans les fractures complexes du bassin. Elles relèvent essentiellement du traitement médical antalgique de fond.

Les névromes douloureux se retrouvent dans deux circonstances. Sa manifestation la plus invalidante et la plus fréquente est la survenue d'un névrome sur les branches terminales de la jambe. Le névrome est le mode de cicatrisation habituel de tout nerf et il n'est pas, par définition, douloureux. Il le devient lorsque l'information sensitive est trop intense avec irritation permanente. Ceci survient particulièrement lorsque le névrome est situé dans une zone scléreuse cicatricielle, fréquemment stimulée. Il peut survenir sur un nerf en continuité partielle ou sur un nerf interrompu. Les localisations les plus fréquentes sont les branches terminales sous-cutanées, notamment à la cheville et au pied sur le nerf sural ou sur les branches terminales du NF. Les atteintes du nerf sural compliquent notamment les interventions de la région rétromalléolaire latérale de la cheville. L'autre tableau clinique est celui de l'atteinte du NT postérieur dans le canal tarsien, dans la gouttière rétromalléolaire médiale ou au niveau de l'arche plantaire médiale. La stimulation permanente, au cours de la marche et par le chaussage, liée à la perte de glissement par la cicatrice post-traumatique ou post-chirurgicale a été, dans cinq cas de notre expérience, à l'origine de douleurs très importantes, supérieures à ce que représenterait une paralysie haute du NT. Elle peut être responsable de l'absence d'appui. Elle survenait soit par plaie, soit par traumatisme, notamment dans les luxations astragaliennes. Ce névrome, même sur des lésions en continuité, est peu accessible à une neurolyse. La fibrose périneurale récidive en effet fréquemment, et est responsable de récidives douloureuses.

La solution chirurgicale efficace consiste à reporter le névrome de cicatrisation dans une zone profonde non traumatisée, souple, où le névrome deviendra non douloureux. Cette solution chirurgicale, bien connue pour les branches terminales du nerf radial à l'avant-bras, est tout à fait efficace sur les branches terminales sensibles comme celles du musculo-cutané ou du nerf sural, comme en témoigne l'absence de séquelle douloureuse sur les prélèvements de nerf sural, cas chirurgical très fréquent. Pour les névromes douloureux sur le NT postérieur dans la gouttière rétromalléolaire, le sacrifice peut paraître plus mutilant. Il est néanmoins la seule solution possible pour supprimer

les phénomènes douloureux invalidants et rendre possible la marche. La résection proximale doit se faire en zone profonde sous aponévrotique intramusculaire, en général à la partie moyenne ou proximale de la jambe. Elle nous a donné régulièrement des résultats satisfaisants dans notre expérience.

Lésions du nerf sciatique à la cuisse

Les lésions traumatiques du nerf sciatique à la cuisse succèdent en général à une plaie, le plus souvent par verre ou arme blanche, soit plus rarement à un étirement avec des lésions de grade IV ou V de Sunderland [18] compliquant une fracture du fémur. Les lésions balistiques réalisent des lésions mixtes associant section et étirement par le blast du projectile ou de la chambre de cavitation.

Le nerf tibial et le nerf péronier sont individualisés, dès la grande échancrure sciatique même si leur séparation macroscopique se fait à une hauteur variable de la cuisse. Il est possible que les plaies partielles du tronc du nerf sciatique puissent donner un déficit très systématisé, n'intéressant que le nerf péronier ou le nerf tibial. L'évaluation des résultats est appréciée sur la force musculaire cotée de M0 à M5 pour chacun des groupes musculaires paralysés, la sensibilité cotée de S0 à S4 et l'existence de troubles trophiques, selon les données du Research Medical Council. Un résultat excellent correspond à une force supérieure ou égale à M4 pour tous les groupes musculaires principaux, une sensibilité supérieure ou égale à S3, un bon résultat à une force M4 ou M3, avec une sensibilité à S3. Le mauvais résultat correspond à une récupération incomplète au mieux égale à M3 et une sensibilité à S2.

Plaies nerveuses traitées en urgence

Les plaies nerveuses traitées en urgence relèvent de la suture microchirurgicale. Celle-ci n'a pas de particularité par rapport aux techniques déjà exposées avec des points épi-périneuraux. Au décours de cette chirurgie, comme après les différentes greffes exposées ultérieurement, les patients sont immobilisés pour une période de 21 jours par une attelle cruro-pédieuse pour les plaies du tiers inférieur de la cuisse et du genou, ou par une attelle pelvi-pédieuse pour les lésions plus proximales. Un traitement anticoagulant est systématique. Les réparations primaires par suture microchirurgicale des plaies franches ont toujours donné, dans notre série chez les sujets jeunes, des résultats bons ou excellents quel que soit le niveau de la lésion (figure 1). Les mauvais résultats obtenus correspondent à des



Figure 1. Patient ayant présenté une section complète du sciatique à la cuisse traitée par suture directe. La récupération du galbe du mollet atteste de la bonne récupération musculaire. Les extenseurs des orteils restent paralytiques comme l'atteste la position du gros orteil et quelques troubles trophiques discrets au niveau des ongles d'orteils gauche.

sujeux âgés et aux réimplantations de cuisse. Les résultats de ces réimplantations sont modestes mais souvent utiles, avec récupération d'une mobilité active au niveau du genou et d'une sensibilité plantaire. La qualité des résultats des sutures primaires, face aux réparations secondaires par greffes, justifie donc l'exploration de toute plaie pénétrante sur un trajet nerveux.

Greffes nerveuses

Les plaies ou les ruptures opérées secondairement relèvent des greffes nerveuses. La longueur de la perte de substance et les délais avant la réparation sont différents selon l'origine de la lésion. Les plaies opérées secondairement sont opérées peu après l'accident, avec une perte de substance moyenne. Les ruptures, associées à des fractures du fémur, ont été opérées en moyenne très tardivement après l'accident, avec une perte de substance étendue. Les greffes nerveuses à orientations fasciculaires (figure 2), selon Millesi [12], en utilisant le nerf sural controlatéral ne sont donc pas toujours suffisantes en raison de l'importance de la perte de substance nerveuse. Nous avons du parfois y ajouter le nerf sural homolatéral, lorsque la longueur de la perte de substance le nécessitait. Néanmoins, nous ne recommandons pas ce greffon pour deux raisons. En cas de lésions partielles, le prélèvement en bordure du territoire paralytique



Figure 2. Exemple de greffe de petite taille du tronc du nerf sciatique. Le nombre de torons atteste de la quantité de greffons qui seraient nécessaires en cas de perte de substance importante.

majoré les séquelles sensibles importantes. Dans les lésions totales, le territoire du nerf prélevé est définitivement exclu et les axones qui repoussent dans cette direction sont gaspillés. La seule solution logique serait de court-circuiter l'origine du nerf prélevé, ce qui augmenterait souvent la longueur de la greffe.

Les greffes nerveuses ont toujours donné au moins une sensibilité plantaire de protection, permettant d'éviter des troubles trophiques sévères.

En cas de pertes de substance de plus de 10 cm sur le tronc du nerf sciatique, le capital de greffons nerveux disponibles ne permet pas de réaliser une greffe de l'ensemble du nerf sciatique et nous avons alors choisi de greffer de manière sélective le contingent destiné au nerf tibial en utilisant le nerf péronier. La réparation de ce dernier est sacrifiée au profit de la réparation du nerf tibial afin de restituer, ce qui nous semble primordial, la sensibilité plantaire pour éviter les troubles trophiques. De plus la récupération dans le territoire du nerf péronier est plus aléatoire. Nous l'avons observé et Matecejik [11] le confirme. La greffe tronculaire du nerf péronier ne doit pas être utilisée en raison de l'absence de revascularisation centrale qui conduit à l'échec par nécrose de cette greffe tronculaire volumineuse. Cette raison nous amène à conseiller une greffe vascularisée du nerf péronier, pédiculée sur son arcade vasculaire (figure 3), selon la technique décrite par

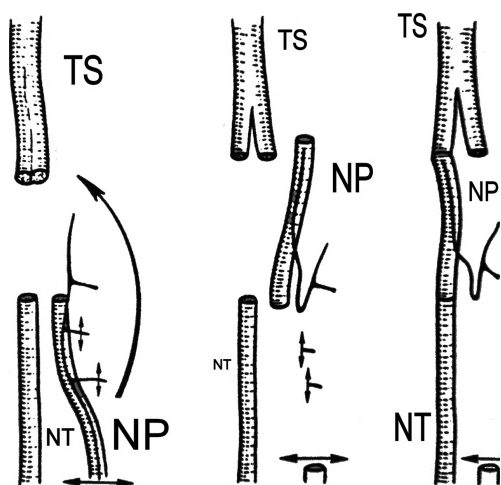


Figure 3. Schéma de la réalisation d'une greffe de nerf péronier vascularisé (NP). Le NP est prélevé dans sa partie distale restant pédiculée sur une arcade vasculaire proximale qui est constante sur le cercle périvasculaire du genou. Le greffon est basculé, la tranche de section distale est alors suturée à la zone de section proximale de la composante tibiale du nerf sciatique (TS). Ceci est possible grâce à la systématisation haute du nerf sciatique en ses deux composantes tibiale et péronière. La tranche de section proximale du greffon est suturée au nerf tibial (NT).

Oberlin [14]. Les greffes vascularisées ont toujours permis d'obtenir au minimum une sensibilité de protection évitant les troubles trophiques invalidants, un triceps à M4 et un tibial post à M3, mais trop faible pour envisager un transfert secondaire pour pallier au pied tombant, lié à l'absence de réparation du nerf péronier. Ces résultats sont limités mais utiles considérant la gravité des lésions initiales. La récupération dans la loge postérieure n'a jamais été suffisante pour autoriser un transfert du muscle tibial postérieur. Au niveau de la cuisse, toutes les séries rapportées [11, 16] convergent pour affirmer que les résultats des greffes sont moins bons que ceux des sutures. Elles soulignent encore l'importance de la prise en charge rapide de ce type de lésions par des équipes compétentes. Au stade de la greffe nerveuse, l'indication de la réparation nerveuse, même si ses résultats sont parfois modestes, ne se discute pas car elle ne peut être que bénéfique. Elle a en effet toujours permis de retrouver une certaine sensibilité, gage de prévention des troubles trophiques chez ces patients présentant une atteinte complète du tronc du nerf sciatique avec un membre inférieur paralytique, parfois insensible avec des troubles trophiques invalidants. Les modalités pratiques susceptibles d'améliorer les résultats restent par contre au centre

du débat. En effet, la taille du nerf et la longueur de la perte de substance vont limiter les possibilités de réparation. La distance séparant la lésion des effecteurs et la longueur de la greffe vont limiter les possibilités de récupération.

Lésions balistiques

Les séries modernes sont peu fréquentes et rapportent l'expérience de quelques centres comme Ragonavic [16]. Même si les lésions balistiques qui associent lésions d'étiement par le blast et sections par le projectile ne correspondent pas à la pratique civile, quelques renseignements peuvent être extrapolables. Les lésions en continuité associées à une paralysie persistante sont un véritable dilemme : faut-il réséquer la lésion au risque de sacrifier une lésion Sunderland 3 en voie de récupération ou faut-il prendre le risque de l'attentisme ? La longueur du nerf sciatique et la lenteur de l'apparition des signes de récupération rendent la décision per-opératoire difficile. Ragonavic [16] utilise l'électro-stimulation per-opératoire pour poser l'indication de résection lorsque aucun potentiel n'est détecté à la stimulation électrique. Il n'immobilise pas ses patients en post-opératoire mais préconise une reprise précoce des complications comme les hématomes. Elles correspondent chez lui à un lâchage des sutures. Il précise les facteurs de mauvais pronostic : lésions associées, localisation proximale de la lésion, taille de la perte de substance (supérieure à 4 cm) et délai (supérieur à 3 mois). Dans son expérience, une perte de substance supérieure à 8 cm, à la racine de la cuisse prise en charge après un délai de sept mois n'a aucune chance de réussir. À l'inverse, une greffe de moins de 4 cm prise en charge dans les trois mois à la partie basse de la cuisse a toutes chances de donner un résultat satisfaisant. Il recommande donc un rapprochement des extrémités du nerf sciatique lors du parage initial pour réduire la taille de la perte de substance. En tout état de cause, l'extension des orteils n'est jamais obtenue. L'appréciation subjective des patients est inférieure à l'analyse objective des résultats.

Lésions au niveau du genou

Au niveau du genou, l'atteinte intéresse le plus souvent le nerf péronier, avec une atteinte certes gênante mais modérément invalidante, accessible à un traitement palliatif qui donne des résultats rapides et constants. La discussion est celle des indications respectives de la chirurgie nerveuse directe et des transferts palliatifs [6, 17, 19, 20]. Deux grandes étiologies se répartissent de façon équivalente : les plaies et les lésions par étirement de grade IV ou V, survenues au décours d'entorses ou luxations du genou [3, 17]. Les

publications sont nombreuses, assez concordantes sur l'essentiel.

Plaies nerveuses au genou

Les plaies sont souvent complètes au col de la fibula, celui-ci faisant billot devant l'objet tranchant. Les plaies vues en urgence, ce qui est malheureusement rarement le cas, relèvent de la suture directe microchirurgicale et donnent souvent d'excellents résultats (tibial antérieur et péroniers à M4). La récupération de l'extension des orteils n'est pas constante (figures 4 et 5). Kim [8, 9] rapporte l'expérience du centre chirurgical de l'université de Louisiane. Sur 302 cas, 14 sutures directes ont donné 82 % de bons et excellents résultats dans les cas de plaies nettes par couteaux, verres ou armes blanches. La suture est facilitée par la résection de la partie proximale de la fibula qui raccourci le trajet du nerf et diminue l'angulation de son trajet. Les plaies par scie, tronçonneuse ou hélice de bateaux assez fréquentes sont responsables de pertes de substance relevant de greffes en câble.

Les plaies, vues secondairement, se sont compliquées de rétraction des extrémités nerveuses nécessitant une greffe en câble en utilisant le nerf sural controlatéral. Néanmoins, le délai de prise en charge est souvent court. La perte de substance est en générale courte et les tissus environnant sont trophiques, expliquant les résultats satisfaisants.

Ruptures nerveuses par étirement du nerf péronier au genou

Le problème des lésions du NP au genou est très problématique. Il s'agit en effet parfois de ruptures complètes. Les lésions ligamentaires du genou associées (figures 6 et 7) sont en majorité des pentades externes [13, 15].

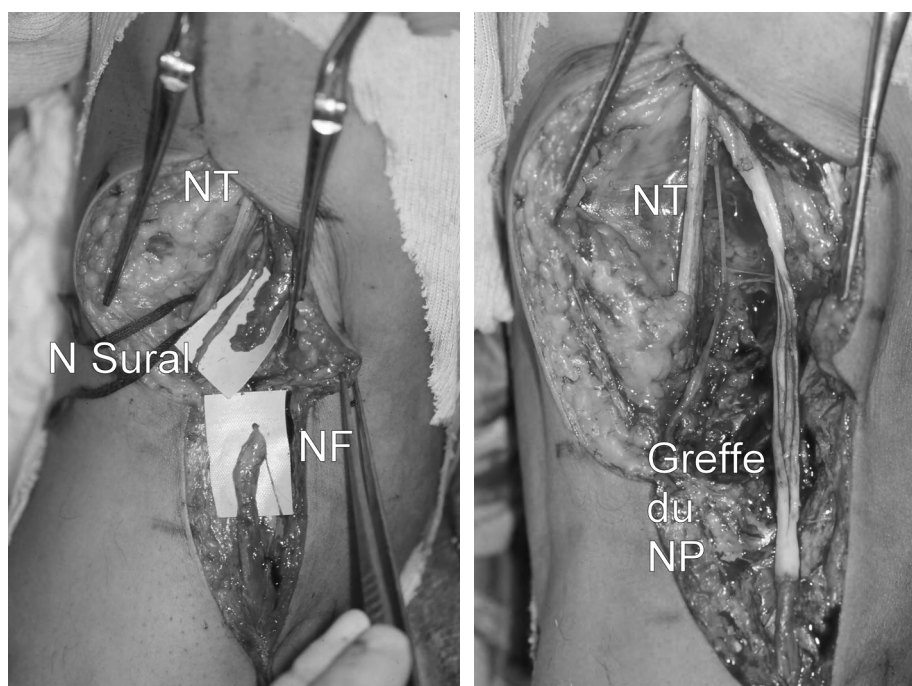
Nous n'avons jamais vu de rupture du nerf péronier dans les suites d'entorse bénigne. Ces ruptures n'intéressent que le nerf péronier. En effet, lorsqu'il existait des troubles dans le territoire du nerf tibial, ceux-ci ont toujours récupéré sans chirurgie nerveuse. La prise en charge de la lésion nerveuse est souvent tardive du fait de l'attentisme ou du traitement premier des lésions ligamentaires [15]. Les lésions nerveuses sont souvent beaucoup plus graves et étendues. Le nerf péronier se rompt en général sur le billot que forme le condyle latéral sur un genou en extension. La rupture siège donc dans le creux poplité. Le bout distal du nerf est retrouvé au niveau de l'interligne articulaire du genou, alors que le bout proximal remonte plus ou moins haut dans le creux poplité, selon les lésions et le délai de prise en charge. La rupture est étagée, irrégulière et dilacérée, responsable de l'étendue de la perte de substance nerveuse (figures 8 et 9).



Figures 4 et 5. Patient ayant présenté une section nette du nerf péronier par un care de ski, la cicatrice est visible à la face latérale du col du péroné. Suture micro-chirurgicale en urgence. Excellent résultat avec une fonction musculaire à M4 y compris des extenseurs des orteils.



Figures 6 et 7. Testing clinique et radiographique d'une pentade externe responsable d'une rupture complète du nerf péronier.



Figures 8 et 9. Exemple de rupture du nerf péronier. On remarque le nerf sural continu au milieu de la diapositive. La rupture siège en amont de l'interligne articulaire marqué par l'incision horizontale de la voie d'abord. Les lésions nerveuses de ces lésions par traction sont toujours très étendues, bien au-delà de la solution de continuité proprement dite. La résection en zone saine aboutit comme ici à des greffes très longues, de pronostic très réservé. Un transfert du muscle tibial postérieur se discute conjointement ou à la place de cette greffe.

L'indication d'exploration chirurgicale de ce type de lésion fait l'objet d'un certain consensus : absence de signe de récupération clinique et électromyographique dans un délai de trois à six mois après le traumatisme. Le délai est raccourci en cas de nerf rompu exploré lors de la réparation ligamentaire initiale du genou. Ce type de chirurgie doit donc se conduire sur un patient en décubitus ventral. Les lésions anatomopathologiques peuvent recouvrir celui d'un névrome en pseudo continuité. L'utilisation de l'électro-stimulation est fondamentale pour Kim *et coll* [9, 10]. L'enregistrement de potentiel d'action distal à une lésion en continuité justifiait une neurolyse et une libération simple du nerf. Ce traitement simple a permis d'obtenir 89 % de récupération sur 80 cas. Dans le cas contraire, la recoupe s'impose. Elle ne retrouve que du tissu fibreux impropre à la repousse axonale. Ce qui caractérise ces lésions est leur étendue, avec parfois une perte de substance nerveuse dépassant 20 cm. Pour Kim, la longueur de la greffe est supérieure à 6 cm dans 102/141 cas. Les résultats sont très décevants dans notre expérience avec seulement un excellent résultat sur quinze. Il est à noter que les meilleurs résultats sont liés au repérage et à la fixation des extrémités nerveuses au moment de la chirurgie ligamentaire réalisée en urgence. Kim retient l'importance pronostique de la longueur de la greffe. Les greffes de moins de 6 cm peuvent espérer 75 % de bon résultat, mais il ne s'agit que d'une minorité de ses cas (26 %). Le taux de récupération utile tombe à 38 % pour les greffes de 6 à 12 cm et à 16 % pour les greffes de 12 à 24 cm. Celles-ci relèvent alors d'un transfert palliatif d'emblée en raison de la très faible probabilité de résultat positif. Il est donc impératif de prévenir le patient de cette éventualité avant toute chirurgie nerveuse. La plupart des séries confirment le facteur péjoratif de la longueur de la greffe [15]. Le service de neurochirurgie de l'hôpital de Rovigo [7] propose même un transfert systématique conjointement à la greffe nerveuse. L'argument repose sur une meilleure disposition des muscles de la loge antéro-latérale à être réinnervés. Le pied tombant est selon eux responsable de tiraillement préjudiciable à la réinnervation. Le résultat de la greffe en serait significativement amélioré (85 % de résultat fonctionnel), mais il s'agit d'une expérience isolée. Il est déconseillé d'utiliser le nerf sural homolatéral comme greffon. Le prélèvement du nerf sural, branche du NT, aggrave le déficit sensitif. Le dernier problème est celui de l'appréciation de la qualité de la recoupe nerveuse, qui est particulièrement difficile et qui peut également expliquer les résultats.

Autres causes de lésions du nerf péronier au genou

Les étiologies moins fréquentes de lésions du NP sont ensuite par ordre de fréquence :

- entorses du genou associées à une fracture ;
- compression après coma thérapeutique ou toxique ;
- atteintes iatrogènes lors de la chirurgie du genou endoscopique ou à ciel ouvert, éveinage ;
- lésions par armes à feu.

Les lésions anatomopathologiques sont variées : lésions en continuité, ruptures. Les indications thérapeutiques se calquent sur les autres étiologies : exploration en urgence en cas de plaies nécessitant un parage et un traitement ; exploration avec électro-stimulation per-opératoire à partir du 3^e mois post-traumatique ; neurolyse simple en cas de réponse à l'électro-stimulation ; greffe dans les autres cas.

Conclusion

Les résultats des réparations microchirurgicales des sections du nerf sciatique justifient dans tous les cas une chirurgie nerveuse directe. Les sutures nerveuses en urgences donnent de meilleurs résultats que les greffes. Le problème des ruptures du nerf sciatique survenant à la suite d'un traumatisme fermé est plus préoccupant. L'importance de la perte de substance nerveuse explique le pronostic plus réservé de ces lésions. L'amélioration des résultats passe par une meilleure prise en charge notamment en milieu spécialisé. Nous proposons donc ces protocoles stratégiques pour le traitement des lésions fraîches.

Fracture du fémur et paralysie sciatique totale

Il s'agit de traumatisme à haute énergie et grand déplacement, chez des sujets fragiles souvent polytraumatisés. Nous préconisons l'ostéosynthèse en urgence, le plus souvent par enclouage centromédullaire verrouillé, puis l'exploration systématique du nerf sciatique entre la 3^e semaine et le 2^e mois. Une simple neurolyse est réalisée sur les nerfs sciatiques continus, pleins à la palpation, avec passage de potentiel à l'électro-stimulation. Dans le cas contraire, une suture directe est parfois possible car dans ces ruptures il existe un allongement relatif qui autorise une suture directe après recoupe.

Entorse du genou et paralysie du nerf péronier

Le nerf est lésé sur le billot du condyle latéral qui est responsable de lésions de dilacération qui peuvent aboutir à la dilacération étendue.

– L'examen sous anesthésie confirme la laxité et l'indication à une réparation ligamentaire. Lors de cette chirurgie, le nerf est exploré. En cas de rupture, les extrémités sont fixées afin d'éviter la rétraction. Le patient sera alors adressé en milieu spécialisé (microchirurgien exerçant dans un service de chirurgie orthopédique, de chirurgie plastique ou de la main, ou service de neurochirurgie selon les situations locales). La greffe nerveuse microchirurgicale sera réalisée secondairement avec une greffe plus courte.

– En cas de paralysie persistante clinique et électromyographique au-delà de trois mois, après traumatisme fermé du genou, le patient sera adressé à un service spécialisé pour exploration chirurgicale, électro-stimulation per-opératoire et neurolyse ou greffe selon les cas.

Un certain nombre de problèmes reste malheureusement encore en suspend.

– Intérêt de l'IRM : la bibliographie est étonnement silencieuse sur l'apport décisionnel de cet examen, par ailleurs performant sur les tumeurs nerveuses.

– La réalisation simultanée d'une greffe nerveuse et d'un transfert palliatif. Millesi [12] ainsi que l'équipe de Rovigo [7] préconisent de réaliser la chirurgie nerveuse en association avec le transfert. Dans les greffes courtes, la réalisation simultanée du transfert semble intempestive. Celui-ci permet d'obtenir rapidement le résultat sur le pied tombant et la greffe nerveuse peut obtenir une certaine récupération sur les péroniers. Il ne semble pas que la récupération d'un muscle tibial antérieur après un transfert du muscle tibial postérieur ait posé des problèmes. En cas de perte de substance supérieure à 12 cm, l'indication d'un transfert palliatif se pose d'emblée. Le transfert du muscle tibial postérieur corrige le pied tombant, mais pose parfois des problèmes d'intégration cérébrale et ne corrige pas l'instabilité latérale de la cheville liée à la paralysie des muscles péroniers. Faut-il y associer une greffe systématique, qui peut s'avérer inutile, pour améliorer le résultat fonctionnel du transfert ?

RÉFÉRENCES

- 1 Atchabahian A. Thèse pour le doctorat en Médecine, Traitement des solutions de continuité du nerf fibulaire au genou par suture ou greffe. 1996, Paris.
- 2 Bleton R. Thèse pour le doctorat en Médecine, Les paralysies traumatiques du nerf sciatique. 1988, Paris.
- 3 Bleton R, Alnot JY, Oberlin C. Les lésions traumatiques du tronc du nerf sciatique et de ses branches terminales. *Rev Chir Orthop* 1993; 79 : 205-217.
- 4 Clawson DK, Seddon HJ. The results of repair of the sciatic nerve. *J Bone Joint Surg. (Br)* 1960; 42 : 205-212.
- 5 Clawson DK, Seddon HJ. The late consequences of sciatic nerve injury. *J Bone Joint Surg. (Br)* 1960; 42 : 213-225.
- 6 Demuynek M, Zuker RM. The peroneal nerve : is repair worthwhile? *J Reconstr Microsurg* 1987; 3 : 193.
- 7 Garozzo D, Ferraresi S, Buffatt P. Surgical treatment of common peroneal nerve injuries: indications and results. A series of 62 cases. *J Neurosurg-Sci* 2004; 48(3) : 105-12.
- 8 Kim DH, Line DG. Management and results of peroneal nerve lesions. *Neurosurgery* 1996 AUG; 39(2) : 319-329.
- 9 Kim DH, Murovic JA, Tiel RL, Line DG. Management and outcomes in 318 operative common peroneal nerve lesions at the Louisiana State University Health Sciences Center. *Neurosurgery* 2004, JUN.; 54(6) : 142-148.
- 10 Kline DG. Operative management of major nerve lesions of the lower extremity. *Surg Clin N Am* 1972; 52 : 12-47.
- 11 Matejick V, Benetin J, Hulin I Jr. Our experience with surgical treatment of ischial nerve injuries. *Bratisl Leklisty* 2001; 102(10) : 462-6.
- 12 Millesi H. Lower extremity nerve lesions. In: Tersis Jk, *Microreconstruction of nerve injuries*; Philadelphia, Saunders WB, 1987, 239.
- 13 Niall DM, Nutton RW, Keating JF. Palsy of the common peroneal nerve after traumatic dislocation of the knee. *J Bone Surg Br* 2005 May; 87(5) : 64-7.
- 14 Oberlin C, Alnot JY. Utilisation du nerf sciatique poplitée externe comme greffe vascularisée. *Rev Chir Orthop* 1985; 71, Suppl II : 93-98
- 15 Piton C, Fabre T, Lasseur E, Andre D, Geneste M, Durandeau A. Common fibular nerve lesions. Etiology and treatment. A propos of 146 cases with surgical treatment. *Rev Chir Orthop*; 83(6) : 515-21.
- 16 Roganovic Z. Missile caused complete lesions of the peroneal nerve and peroneal division of the sciatic nerve: results of 157 repairs. *Neurosurgery* 2005 Dec.; 57(6) : 1201-12.
- 17 Sedel L, Nizard RS. Nerve grafting for traction injuries of the common peroneal nerve. A report of 17 cases. *J Bone Joint Surg (Br)* 1993; 75 : 772.
- 18 Sunderland S. *Nerves and nerve injuries*. Churchill Livingstone, Edinburgh, London, 1978.
- 19 White J. The results of traction injuries to the common peroneal nerve. *J Bone Joint Surg (Br)* 1968; 50 : 346.
- 20 Wood MB. Peroneal nerve repair. Surgical results. *Clin Ortop* 1991; 267 : 206.

Nerfs sensitifs à ne pas réparer en secondaire

Situations curtailing sensory nerve secondary stage repairs

J.-Y. ALNOT¹

RÉSUMÉ

La décision de réparation ou non d'un nerf sensitif lésé doit prendre en compte plusieurs facteurs que sont la trophicité locale et l'importance du retentissement fonctionnel. Ne pas réparer une lésion nerveuse vue en secondaire doit faire partie de l'arsenal thérapeutique, et un certain nombre de nerfs sensitifs entrent dans ce cadre, qu'il s'agisse de nerfs utilisés dans les autogreffes ou de nerfs sensitifs non utilisés comme greffon. Cette attitude ne doit pas faire oublier la prévention de ces problèmes par le respect de certains principes lors de la chirurgie initiale.

Mots clés : Nerf sensitif. – Névrome douloureux.

SUMMARY

Repairing or not to repair: the decisional process to repair or not a damaged sensory nerve requires to assess numerous parameters among which the local tissues vital status as well as the severity of the nerve functional impairment. When dealing with a secondarily diagnosed nerve lesion, a non operative decision can be considered a valid option in the treatments armamentarium: a definite number of sensory nerve lesion situations enters this decisional category whether these nerves are used as material for nerve-autograft or are sensory nerves without intended graft use. The availability of this non-operative option should not undermine the only valid therapeutic attitude regarding these lesions, which is prevention: a strict respect of specific principles at the time of the primary surgical procedure.

Key words: Sensory nerve. – Painful neuroma.*

La réparation chirurgicale en urgence est l'orientation thérapeutique univoque face à une plaie nerveuse récente. En revanche, l'attitude devant une lésion nerveuse vue secondairement, c'est-à-dire au-delà de la sixième semaine, est plus controversée. Si la réparation secondaire ne se discute pas pour un nerf mixte (nerf médian, nerf cubital) ou pour certains nerfs musculaires purs tels que la branche postérieure du nerf radial ou le nerf spinal, la discussion reste ouverte pour les nerfs sensitifs purs, car les inconvénients de cette réparation peuvent être supérieurs aux avantages.

On peut être confronté à des troubles de la sensibilité en rapport avec un nerf sensitif :

- soit réparé à l'occasion d'une intervention précédente, car l'apport de la microchirurgie, bien que considérable, n'a pas résolu tous les problèmes [18];
- soit initialement lésé sans qu'une réparation ait été effectuée.

Le trouble de la sensibilité entraîné par l'échec ou l'absence de réparation du nerf lésé associe plusieurs symptômes :

– le déficit sensitif, dont le retentissement dépend de l'importance fonctionnelle du territoire concerné et du caractère intact ou non des nerfs des territoires adjacents; ce déficit s'associe parfois à une hyperesthésie souvent prédominante;

– la douleur névromateuse, qui se présente sous la forme d'un signe irritatif intense au siège de la lésion initiale. Il faut préciser à ce sujet que le névrome est le mode de cicatrisation habituel d'un nerf lésé, et que la douleur névromateuse est l'expression douloureuse d'un névrome exposé à la moindre sollicitation mécanique.

Notre propos est de rapporter notre attitude devant l'échec ou l'absence de réparation d'une lésion nerveuse initiale, en essayant de préciser quels sont les nerfs sensitifs qu'il ne faut pas réparer en secondaire.

La décision de réparation du nerf lésé doit prendre en compte plusieurs facteurs. Avant tout, la trophicité locale influence la décision, mais aussi l'importance du retentissement fonctionnel du déficit sensitif, et la connaissance que nous avons des mauvais résultats de réparation de certains nerfs, même réalisée dans des

¹ Ancien chef du service de chirurgie orthopédique et traumatologique de l'hôpital Bichat, chirurgien consultant

* Remerciements au Docteur C. Msika pour la traduction en anglais du résumé

conditions satisfaisantes. Enfin, il est indispensable de savoir quelle est la qualité de l'innervation sensitive des territoires adjacents [12, 20].

On peut distinguer alors trois types de nerfs sensitifs purs :

- les nerfs utilisés habituellement dans les autogreffes ne posent généralement pas de problème. Le territoire autonome est de petite taille, et le retentissement fonctionnel du déficit est minime tant que leur atteinte est isolée. On n'effectue pas de réparation secondaire, mais une résection systématique proximale du nerf en zone protégée. Il s'agit du nerf saphène externe, de la branche médiale du nerf musculocutané (cutané latéral antébrachial), et de la branche terminale du nerf brachial cutané interne (antébrachial cutané médial) ou du nerf interosseux au poignet ;
- certains nerfs sensitifs qui ne sont pas utilisés pour des greffes peuvent être responsables de troubles, mais la réparation secondaire n'est pas l'attitude que nous avons adoptée. C'est le cas des nerfs sensitifs purs au niveau du poignet et du quart inférieur de l'avant-bras : branche superficielle du nerf radial, branche cutanée palmaire du nerf médian. D'autres nerfs s'apparentent à cette catégorie, tels que la branche cutanée du nerf péronier superficiel (musculocutané), le nerf péronier profond (tibial antérieur), le nerf saphène interne au genou, etc. ;
- les nerfs digitaux et collatéraux doivent au contraire être réparés dans la majeure partie des cas, car leur importance fonctionnelle est majeure. Cependant, cette réparation doit être discutée dans certains cas particuliers.

Nerfs utilisés dans les autogreffes

Nerf saphène externe ou nerf sural

Le nerf sural naît du nerf tibial (sciatique poplité interne), 25 mm au-dessus du pli de flexion du genou. Après un trajet sous-aponévrotique, il perfore l'aponévrose à la hauteur de la jonction tendinomusculaire des jumeaux [19], soit 16 cm au-dessus de la malléole latérale. Huit fois sur dix environ, le nerf est anastomosé au nerf accessoire du saphène externe (nerf saphène péronier), toujours en zone sous-cutanée. Le territoire sensitif du nerf sural est fonctionnellement peu important, c'est pourquoi il s'agit d'un nerf très utilisé dans les greffes nerveuses.

La lésion du nerf sural se voit principalement dans trois cas :

- les plaies postérieures du tiers inférieur de la jambe et de la région rétro et sous-malléolaire latérale ;
- l'abord chirurgical sous-malléolaire latéral trop bas dans la chirurgie du tarse postérieur ;

– les prélèvements pour greffe nerveuse mal effectués. Il faut souligner à cet égard que tout prélèvement de nerf sural, quelle que soit la longueur de la greffe exigée, doit emporter le nerf jusqu'en région sous-aponévrotique, sous peine de voir apparaître un névrome douloureux.

Si le déficit sensitif du nerf saphène externe est minime, lorsqu'il s'agit du seul nerf touché, le névrome est très gênant, car le signe irritatif engendré gêne le chaussage, et parfois le port de chaussettes.

L'attitude est univoque, il faut réséquer le nerf afin de positionner le névrome en zone sous-aponévrotique, c'est-à-dire au tiers proximal de jambe, en rappelant que la résection du nerf au niveau du creux poplité, trop proximale, peut être néfaste en raison de l'apparition de troubles en position assise.

Cette résection est simple, sans électrocoagulation du moignon nerveux, ni suture épineurale et fibrinocollage, comme certains auteurs l'ont proposé [6]

Nerf brachial cutané interne et nerf musculocutané

Ces deux nerfs, utilisés pour greffer les nerfs collatéraux, sont rarement responsables de troubles secondaires invalidants, mais un névrome à l'avant-bras sur le brachial cutané interne peut être douloureux au frottement. Le recours à une résection proximale de la branche nerveuse concernée est alors utile, en sachant que ces nerfs deviennent sous-aponévrotiques, donc mécaniquement protégés, quelques centimètres au-dessus de l'interligne articulaire du coude.

Nerfs sensitifs non utilisés comme greffe

De nombreux nerfs sensitifs superficiels ne sont pas prélevés pour des greffes nerveuses, car leur valeur fonctionnelle est plus importante. Nous envisagerons plus particulièrement les nerfs cutanés situés autour du poignet, car les troubles secondaires sont relativement fréquents, en raison de leur situation superficielle et hypermobile, avec névrome douloureux plus que gêne due aux troubles sensitifs.

Branche superficielle du nerf radial

[1, 4, 5, 6]

La branche superficielle naît de la bifurcation du nerf radial entre les muscles *brachioradialis* (long supinateur) et le *brachialis* (brachial antérieur) au niveau ou juste en dessous de l'épicondyle latéral. Après un trajet profond, le nerf devient sous-cutané entre *brachioradialis* et *extensor carpi radialis longus* (ECRL), 7 à 11 cm au-dessus de

la styloïde radiale. C'est au niveau de son point d'émergence sous-aponévrotique, point de fixité relative, qu'il existe des forces de cisaillement considérables.

La branche superficielle entretient des anastomoses avec les nerfs sensitifs voisins, dont le nerf interosseux postérieur et le nerf musculocutané.

Le nerf peut être touché à l'avant-bras, ou après sa bifurcation au niveau du poignet et de la main. Ces lésions se rencontrent essentiellement dans deux circonstances : – la lésion iatrogène chirurgicale (embrochage percutané de l'extrémité inférieure du radius, ténosynovite de De Quervain, chirurgie de la première colonne, fiche de fixateur externe dans le bord latéral du radius, exérèse d'un kyste synovial dorsoradial du poignet); – les traumatismes latéraux du tiers inférieur de l'avant-bras et de la partie dorsolatérale de la main.

De nombreuses méthodes ont été proposées [14, 17] pour traiter le névrome de la branche sensitive du nerf radial. La neurolyse simple, avec plastie cutanée en Z pour apporter un bon tissu environnant, est l'attitude la plus conservatrice.

La greffe est discutable, car elle peut entraîner l'apparition d'un syndrome douloureux sur chaque suture. Certains auteurs ont proposé d'y associer la résection du nerf interosseux postérieur [13], et de réaliser la greffe à l'aide du nerf ainsi réséqué [6].

Enfin, certains ont préconisé la résection simple du nerf avec enfouissement intraosseux [2, 8, 15], intramusculaire ou sous-musculo-aponévrotique.

Pour notre part, nous pensons que la réparation secondaire de la branche superficielle du nerf radial n'apporte pas de résultat satisfaisant. La situation superficielle du nerf, la petite taille du territoire autonome sensitif et sa faible valeur fonctionnelle, les forces considérables de traction qui s'exercent sur la suture sont des éléments facteurs d'échec d'une réparation secondaire.

Il faut différencier deux cas distincts, selon que le nerf est lésé en amont ou en aval de sa division.

Névrome sur la branche superficielle du nerf radial

L'attitude est univoque, la résection haute du nerf met le névrome en situation sous-musculaire. En pratique, le nerf abordé au tiers distal de l'avant-bras est réséqué jusqu'en amont de la fourche constituée par les bords des *brachioradialis* et ECRL. Nous n'associons pas systématiquement de résection du nerf interosseux postérieur, mais il faut aussi réséquer les branches distales du nerf.

Il faut chercher systématiquement un second névrome sur une branche du nerf cutané antébrachial

latéral, car l'atteinte concomitante de ces deux nerfs est possible [17].

Névrome sur une des branches de division distale du nerf radial

Très fréquemment, ce type de névrome évolue favorablement avec le temps et un traitement physiothérapique. C'est le cas de petits névromes englobés dans une cicatrice fibreuse.

Dans le cas d'une persistance des troubles, la résection de la branche superficielle même du nerf radial peut sembler un geste trop radical. C'est pourquoi, dans un premier temps, la simple résection de la branche lésée peut se justifier. Celle-ci est effectuée au ras du tronc nerveux plus proximal, en espérant que le nouveau névrome sera mécaniquement plus protégé.

En cas d'échec itératif, il faut alors faire une résection proximale de la branche superficielle du nerf radial, comme nous l'avons décrit précédemment.

Branche cutanée dorsale du nerf ulnaire

Naissant 5 à 10 cm au-dessus de la styloïde cubitale, la branche cutanée dorsale contourne l'extrémité inférieure du cubitus pour apporter la sensibilité à la partie dorsomédiale de la main.

Bien que moins soumise que la branche superficielle du nerf radial aux forces de cisaillement en raison de l'absence de point proximal de fixité au plan profond, elle n'en reste pas moins superficielle et exposée aux traumatismes directs du bord ulnaire du poignet et située dans une zone très mobile. Le déficit sensitif à la main est en général bien toléré, parce que partiellement pris en charge par les nerfs voisins; c'est la raison pour laquelle certains auteurs ont proposé d'utiliser cette branche dans les greffes nerveuses [7], ce que nous proscrivons formellement.

Le signe irritatif domine la symptomatologie. Le bord médial du poignet ne peut plus avoir un appui normal, ce qui empêche l'exécution de nombreux gestes, dont l'écriture. Le port de bracelet est gênant, voire impossible.

Lorsqu'il s'agit d'un névrome douloureux faisant suite à la chirurgie (ostéotomie ou ostéosynthèse du cubitus, chirurgie du carrefour radiocubital inférieur...), l'exploration peut être suivie dans un premier temps d'une simple neurolyse en cas de nerf continu. En revanche, s'il existe une solution de continuité ou si le nerf a déjà fait l'objet d'une suture, nous réalisons une résection haute de la branche nerveuse, qui mettra le névrome en profondeur, à la face profonde

du *flexor carpi ulnaris*, dans l'épinèvre du nerf ulnaire lui-même.

Branche cutanée palmaire du nerf médian [3, 10, 16]

Cette branche, située sur la face palmaire du quart inférieur de l'avant-bras et du poignet, est fréquemment lésée dans les plaies antérieures. C'est également une des causes de troubles faisant suite à la décompression du canal carpien [4].

Elle naît du bord radial du nerf médian, 3 à 7 cm au-dessus du pli de flexion du poignet, chemine entre le *palmaris longus* et le *flexor carpi radialis*, perce l'aponévrose antébrachiale pour passer en avant du ligament annulaire antérieur du carpe. Son arborisation terminale se situe dans l'éminence thénar. On retrouve dans 8 % des cas des anastomoses avec une branche du nerf radial, qui expliquent les troubles dysesthésiques sur le dos de la première colonne dans la chirurgie ou dans les traumatismes antérieurs du poignet.

Lorsqu'elle est nécessaire, la résection de la branche cutanée palmaire du nerf médian se fait donc à sa naissance du nerf médian, tout en sachant qu'elle présente un trajet intraneural sur quelques centimètres [10].

Cas particuliers

Nerfs digitaux et collatéraux [7, 9, 11, 21]

Ces nerfs sont fréquemment le siège de lésions en raison de leur anatomie superficielle et du caractère exposé des doigts aux traumatismes. Si la réparation secondaire est le plus souvent nécessaire, il faut savoir reconnaître les quelques cas où cette réparation n'est pas indiquée.

Entre l'origine du nerf digital et l'arborisation terminale, du nerf collatéral à la pulpe, on distingue quatre zones :

- le nerf digital proprement dit, branche terminale du nerf médian dans la partie distale du canal carpien. Son trajet est profond, se terminant à la hauteur du pli palmaire distal ;
- le nerf collatéral entre son origine et l'interphalangienne proximale (IPP) dans sa zone proximale, le nerf est profond, mécaniquement à l'abri des sollicitations ;
- la zone intermédiaire entre l'IPP et sa terminaison. Cette bi ou trifurcation se fait au-delà de l'interphalangienne distale (IPD) dans 78 % des cas pour les doigts longs et après l'interphalangienne dans 60 % des cas pour le pouce [12] ;

– la zone distale de trifurcation, le plus souvent en aval de l'articulation IPD.

L'indication thérapeutique dans les cas vus secondairement doit prendre en compte plusieurs facteurs :

- l'analyse du trouble sensitif : névrome et/ou déficit ? Il est bien évident qu'aucune intervention n'est, en règle générale, nécessaire pour un déficit sensitif sur une hémi-pulpe mineure sans névrome douloureux ;
- le niveau de la lésion. Si la réparation secondaire d'un nerf digital ou collatéral en zone proximale est toujours justifiée, l'attitude est moins univoque lorsque l'on est en présence d'une lésion au-delà de l'IPP ;
- l'état trophique du doigt atteint, sa mobilité, le squelette, le système tendineux, l'état artériel ;
- l'importance fonctionnelle du doigt atteint, en sachant que les lésions nerveuses concernant le pouce doivent être plus que toute autre réparées ;
- le terrain, travail, motivation, main dominante ou non ;
- le côté atteint (pour une lésion sur un nerf collatéral) avec la notion de pulpe dominante. Pour une hémi-pulpe non dominante, l'indication est portée uniquement sur la présence d'un névrome douloureux ;
- les antécédents chirurgicaux ; la ou les réparations nerveuses effectuées, les gestes associés, l'état des doigts voisins.

Nous distinguons en fait deux situations, selon que l'état trophique est satisfaisant ou non.

Trophicité digitale correcte

Quels que soient le côté et le doigt, la réparation doit être effectuée, excepté dans les cas suivants :

- lésions du nerf collatéral à partir de sa division terminale. La limite de la réparation secondaire se situe donc lorsque la lésion siège au-delà de la tête de la deuxième phalange. Au-delà de ce niveau, les résultats d'une réparation secondaire deviennent incertains, et la discussion sur l'attitude à avoir reste ouverte ;
- plusieurs tentatives de réparation secondaire ont déjà été faites. Lorsqu'une ou deux greffes ont déjà été effectuées, le succès d'une réparation secondaire n'est plus envisageable et, dans ce cas, on s'oriente vers une résection du nerf.

Pour un nerf collatéral, cette résection peut se faire avec enfouissement dans le muscle interosseux, ou en intraosseux, ou alors être très proximale avec clivage microchirurgical du nerf digital.

Pour le nerf digital, la résection se fait dans le canal carpien, au niveau de la terminaison du nerf médian protégé par le ligament annulaire.

Trophicité digitale médiocre

La trophicité peut être mauvaise pour plusieurs raisons : gravité du traumatisme initial, multiplicité des lésions, multiplicité des interventions antérieures, sepsis.

Les indications de réparation nerveuse secondaire deviennent alors très rares, car le lit de la greffe sera de mauvaise qualité. L'attitude dépend du caractère dominant ou non de la pulpe atteinte.

En cas de pulpe non dominante, nous préconisons la résection haute du nerf collatéral, précédemment évoquée, s'il existe une douleur névromateuse.

Si l'hémipulpe est dominante, il faut traiter à la fois la douleur névromateuse et apporter une sensibilité et une trophicité correctes ; on associe donc à la résection proximale du névrome l'apport d'un tissu sensible et de bonne trophicité (transfert de l'hémipulpe opposée, lambeau de Littler...). L'indication est d'autant plus large qu'il s'agit du pouce ou de l'index.

Nerf tibial postérieur

Sa lésion dans la gouttière rétromalléolaire interne pose un problème difficile, et les greffes nerveuses réalisées à ce niveau donnent fréquemment des résultats médiocres, avec des douleurs qui rendent parfois impossible le port de chaussure.

La résection haute du nerf doit alors être discutée. Les troubles sensitifs plantaires sont en règle générale

bien supportés si les nerfs adjacents (saphène externe, saphène interne, musculocutané) sont intacts.

Conclusion

Ne pas réparer une lésion nerveuse vue en secondaire doit faire partie de l'arsenal thérapeutique. Solution simple, rapide dans son exécution et immédiate dans les résultats, elle doit toujours s'associer à la mise en place du névrome dans une atmosphère mécaniquement protégée.

À chaque nerf incriminé correspond une technique de résection adaptée, dont la stricte réalisation minimisera les troubles sensitifs séquellaires.

Il faut enfin insister sur la prévention de ces problèmes nerveux secondaires par le respect de certains principes lors de la chirurgie initiale :

- il faut rechercher systématiquement la lésion nerveuse lors des traumatismes pris en charge en urgence et toujours effectuer la suture microchirurgicale lors de ce premier temps. C'est le cas en particulier des plaies du quart inférieur de l'avant-bras, où peuvent se développer des névromes sur la branche cutanée palmaire du médian, sur une branche sensitive du nerf radial ou du nerf cutané antébrachial latéral ;

- toute intervention chirurgicale doit épargner certains nerfs sensitifs dont la lésion est susceptible d'entraîner des névromes redoutables, pouvant aggraver considérablement le résultat final. Dans le cas où l'intervention crée par définition une lésion nerveuse (prise de greffon par exemple), les précautions doivent être prises pour que le névrome, inévitable, ne soit pas douloureux.

RÉFÉRENCES

- 1 Abrams RA, Brown RA, Botte MJ. The superficial branch of the radial nerve; an anatomic study with surgical implications. *J Hand Surg (Br)* 1992; 17 : 1037-41.
- 2 Boldrey E. Amputation neuroma in nerves implanted in bone. *Ann Surg* 1943; 118 : 1052-7.
- 3 Carroll LE, Green DP. The significance of the palmar cutaneous nerve at the wrist. *Clin Orthop* 1972; 83 : 24-8.
- 4 Dellon AL, McKinnon SE. Susceptibility of the superficial sensory branch of the radial nerve to form painful neuromas. *J Hand Surg* 1984; 9B : 42-5.
- 5 Dolene V. Radial nerve lesions and their treatment. *Acta neurochir (Wien)* 1976; 34 : 235-40.
- 6 Foucher G, Grenat P, Sammut D, Buch N. Névrites et névromes des branches sensitives du nerf radial. *Ann Chir Main* 1991; 10 : 108-12.
- 7 Greene TL, Streichen JB. Digital nerve grafting using the sensory branch of the ulnar nerve. *J Hand Surg (Br)* 1985; 10 : 37-40.
- 8 Hemmy DC. Intermedullary nerve implantation in amputation and the other traumatic neuromas. *J Neurol Surg* 1981; 54 : 842-3.
- 9 Herndon JH, Eaton RG, Littler JW. Management of painful neuromas in the hand. *J Bone Joint Surg* 1976; 3 : 369-73.
- 10 Hobbs RA, Magnussen PA, Tonkin MA. Palmar cutaneous branch of the median nerve. *J Hand Surg (Am)* 1990; 15 : 38-43.
- 11 Iselin F, Mazars G. Moignon douloureux après amputations digitales. *Ann Chir Main* 1984; 3 : 156-9.
- 12 Jabaley ME, Wallace WH, Heckler FR. Internal topography of major nerves of the forearm and arm : a current view. *J Hand Surg* 1980; 5 : 1-18.
- 13 Lluch L, Beasley RW. Treatment of dysesthesia after injuries to the superficial branch of the radial nerve by posterior interosseous neurectomy. *J Hand Surg (Am)* 1989; 14 (1) : 121-4.
- 14 Martini A, Fromm B. A new operation for the prevention and treatment of amputation neuromas. *J Bone Joint Surg (Br)* 1989; 71 : 379-82.
- 15 Masquelet AC, Bellivet C, Nordin JY. Traitement des neuromes douloureux à la main par enfouissement intraosseux. *Ann Chir Main* 1987; 6 : 64-6.
- 16 McDonald R, Lichtman DM, Hanlon JJ, Wilson JN. Complications of surgical release for carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg* 1978; 3 : 70-6.

- 17 Mc Kinnon SE, Dellon AL. The overlap pattern of the lateral antebrachial cutaneous nerve and the superficial radial nerve. *J Hand Surg (Am)* 1985; 10 : 522-6.
- 18 Merle M. Les plaies des nerfs périphériques : une véritable urgence chirurgicale. In : *Cahiers d'enseignement de la Sofcot*, n° 28. Paris : Expansion scientifique française; 1987. p. 371-80.
- 19 Moura W de, Gilbert A. Surgical anatomy of the sural nerve. *J Reconstr Microsurg* 1984; 1 : 31-9.
- 20 Sunderland S. Nerve and nerve injuries. Edinburgh : Churchill Livingstone; 1972.
- 21 Zenn MR, Hoffman L, Latrente G, Hotchkiss R. Variations in digital nerve anatomy. *J Hand Surg (Am)* 1992; 17 : 1033-6.

Syndrome douloureux par névrome post-traumatique

Post traumatic painful neuroma

F. MARIN BRAUN¹

RÉSUMÉ

La survenue d'un syndrome douloureux par névrome post-traumatique est fréquente et parfois désastreuse sur le plan fonctionnel. Pour traiter ce problème, le chirurgien se doit de connaître les bases neurophysiologiques qui permettent de comprendre pourquoi une même lésion peut guérir rapidement sans douleur ou aboutir à des douleurs invalidantes rebelles à tout traitement. Nous insisterons tout particulièrement sur la prévention, car si toute section nerveuse aboutit à la formation d'un névrome, la plupart ne deviennent pas douloureux grâce à quelques règles simples de chirurgie d'urgence suivies de manœuvres de désensibilisation. En revanche, si des douleurs par excès de nociception se compliquent de douleurs neuropathiques, il est indispensable d'avoir recours à l'avis d'un centre spécialisé dans l'évaluation et le traitement de la douleur avant toute indication chirurgicale. La chirurgie est rarement indiquée seule et il est illusoire de vouloir proposer une technique universelle pour tous les névromes douloureux. En pratique c'est surtout le nerf et son importance fonctionnelle qui importe. Les gros troncs comme le nerf médian et le nerf ulnaire sont fonctionnellement indispensables et doivent être réparés. Pour les petits nerfs fonctionnellement accessoires, la réparation n'est pas impérative et le traitement de la douleur prime. Certains territoires sensitifs sont primordiaux et peuvent justifier les lambeaux les plus sophistiqués allant jusqu'au transfert libre à partir d'un orteil.

Mots clés : Névrome. – Douleur.

SUMMARY

The painful neuroma is frequent and sometimes functionally disastrous. For the treatment of this problem the surgeon must have the knowledge of the neurophysiologic bases to be able to understand why a similar lesion can quickly heal without pain or lead to debilitating pains rebel to all therapy. We will specially stress on prevention because if every nerve section leads to neuroma formation, most of them remains without pain thanks to several basic rules of emergency surgery followed by desensibilization maneuver. On the other hand if nociceptive pain becomes complicated by neuropathic pain it is essential to consult a center specialized in the pain evaluation and treatment before any surgical indication. Surgery is rarely recommended alone and it is an illusion to propose a universal technique to all cases. Practical experience show that it depends on the nerve and on his functional importance. Big trunks like median and ulnar nerves which are functionally essential have to be repaired. For small accessory nerves, repair is not essential and treatment of the pain comes first. Some sensitive territory is so critical that they justify the realization of sophisticated flaps going up to free flaps from the toe.

Key words: Neuroma. – Pain.

Introduction

La survenue d'une douleur dans les suites d'un traumatisme nerveux est un problème quotidien surtout au niveau de la main, particulièrement exposée et vulnérable. Parfois, ce syndrome douloureux domine le tableau et certains patients n'hésitent pas à demander une amputation dans l'espoir de voir cesser leur douleur ! Longtemps, les chirurgiens ont traité seuls les conséquences désastreuses de ces traumatismes avec difficulté comme en attestent

les 150 techniques différentes utilisées et les résultats, souvent décevants, obtenus [42, 43].

La définition de la douleur acceptée par l'Association internationale pour l'étude de la douleur montre que le problème de son diagnostic et de son traitement est loin d'être simple et ne peut en aucun cas être dévolu au seul chirurgien : « La douleur est une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable, associée à une lésion tissulaire potentielle ou réelle, ou décrite en termes d'une telle lésion. » De plus la douleur chronique

¹ Centre de la main, clinique du Parc, 2-4, rue Sainte-Elisabeth 67000 Strasbourg, France

est « définie par une durée supérieure à trois mois, altère la personnalité du patient ainsi que sa vie familiale, sociale et professionnelle » [4].

Ainsi, le chirurgien, en plus de la réparation des structures anatomiques, doit acquérir les bases neuro-physiologiques des douleurs, apprendre à les évaluer et savoir partager les possibilités thérapeutiques avec des intervenants de spécialité différentes.

Anatomopathologie

Toute lésion d'un nerf périphérique avec axonotmesis ou neurotmesis de Seddon est suivie du phénomène de dégénérescence wallerienne distale et rétrograde.

Un axonotmesis ou une réparation nerveuse « parfaite » aboutit à une régénération des fibres nerveuses myélinisées à partir du corps cellulaire vers les effecteurs ou les récepteurs périphériques.

Un neurotmesis non réparé entraîne un échec de réhabilitation du bout distal et les fibres sectionnées du bout proximal prolifèrent de façon anarchique aboutissant à la formation du névrome : masse constituée de fibres C, de fibroblastes et myofibroblastes, de cellules de Schwann, de macrophages et de capillaires. Quant au bout distal, dépourvu de corps cellulaire, il ne peut régénérer et aboutit à la formation d'un gliome plus petit que le névrome et sans fibres nerveuses [41].

Une réparation « imparfaite » entraîne une absence de repousse d'une partie des fibres qui n'ont pas trouvé leur cible avec formation d'un névrome, une maturation incomplète de certaines fibres qui restent de type C et des erreurs d'aiguillage.

Histologiquement rien ne différencie les névromes douloureux (20 à 30 % des cas) des autres si ce n'est la présence de myofibroblastes [1].

Seul les névromes sur nerfs sensitifs ou mixtes peuvent devenir douloureux.

Classification de névromes (tableau 1)

Sunderland puis Herndon on pu classer les névromes en névromes en continuité, névromes sur nerf totalement sectionné et névromes sur moignon d'amputation [25, 41].

Névromes en continuité

Névromes en continuité à périnèvre intact ou pseudo-névromes : un traumatisme local répété entraîne une augmentation locale du tissu interstitiel avec compression sans prolifération nerveuse. Le nerf digital ulnaire du pouce chez le joueur de bowling, le nerf interosseux postérieur au poignet, le névrome de Morton au pied, la meralgie paresthésique en sont les principaux exemples [11, 35].

Tableau 1
Classification de Sunderland modifiée par Herndon

ions H ⁺
ions K ⁺
bradykinine
sérotonine
histamine
adrénaline
cytokines
peptides

Névromes en continuité à périnèvre partiellement lésé ou névrome latéraux : ils surviennent après une plaie partielle d'un nerf facile à traiter en urgence mais très difficile à explorer secondairement, une intraneurodissection microchirurgicale risquant de favoriser la formation de fibrose et de blesser les fibres intactes. Selon la longueur de la perte de substance une suture en oméga ou un greffe fasciculaire sera indiquée.

Névromes en continuité à périnèvre totalement sectionné et réparé : une plaie totale d'un nerf doit bénéficier d'une suture microchirurgicale en urgence suivie d'une immobilisation de trois semaines. Une réparation grossière, l'absence d'immobilisation favorisent l'arrêt de la repousse, la fuite d'axones et/ou la maturation incomplète des fibres caractéristiques du névrome en continuité [35].

Névrome sur nerf sectionné non réparé

Non réparée, une section nerveuse aboutit invariablement à la formation d'un névrome sur le bout proximal rétracté. C'est la situation la plus fréquente pour le chirurgien.

Sa taille sera proportionnelle au calibre du nerf (nombre de fibres nerveuses important) et au siège proximal de la section (forte capacité de repousse nerveuse à partir du corps cellulaire).

La perte de substance sera fonction de la rétraction entre les deux extrémités et du délai écoulé.

Névrome sur moignon d'amputation

Cas particulier redoutable pour trois raisons :

- la repousse nerveuse est impossible ;
- le névrome est piégé dans la cicatrice ;
- il est soumis en permanence aux contacts.

On peut inclure dans cette catégorie les «névromes intracutanés» qui présentent les mêmes caractéristiques [14, 28].

Bases neurophysiologiques de la douleur

Ce chapitre complexe fait l'objet d'études et de progrès constants. Sans entrer dans les détails qui ont abouti à la création d'une nouvelle spécialité mise en œuvre dans les centres d'évaluation et de traitement de la douleur, le chirurgien se doit de connaître les bases neurophysiologiques qui permettent de comprendre pourquoi une même lésion peut guérir rapidement sans douleur ou aboutir à des douleurs invalidantes rebelles à tout traitement [4].

En effet, après une lésion nerveuse tout un système d'alerte et de protection de l'organisme se met en marche. On distingue successivement un système de détection, un système de transmission et d'intégration segmentaire, un système d'analyse et de mémorisation central, des systèmes de contrôle et des systèmes effecteurs [4].

Détection

À partir des tissus lésés est sécrétée une «soupe inflammatoire» de substances algogènes et/ou sensibilisatrices des nocicepteurs (tableau 2).

Transmission et intégration segmentaire

Deux groupes de fibres fines et peu myélinisées conduisent lentement le message douloureux vers le système nerveux central par la racine rachidienne postérieure. Les fibres Delta sont responsables de la sensation douloureuse immédiate et bien localisée. Les fibres C sont en charge de la douleur tardive, diffuse.

Tableau 2
La «soupe inflammatoire»

1	Névrome en continuité : à périnèvre intacte à périnèvre partiellement lésé à périnèvre totalement lésé
2	Névrome sur nerf totalement sectionné
3	Névrome sur moignon d'amputation

Après avoir parcouru les nerfs périphériques, les fibres nociceptives comme toutes les fibres sensibles rejoignent le système nerveux central par la racine postérieure et la corne postérieure de la moelle.

Ils sont dénommés neurones convergents pour trois raisons :

- convergence d'influx de provenance somatique, viscérale et cutanée expliquant le phénomène des douleurs référées;
- convergences d'influx nociceptifs et tactiles support de la théorie de la porte;
- convergences d'informations périphériques et centrales support des contrôles centraux facilitateurs et inhibiteurs.

Des neurones intersegmentaires relient les neurones convergents vers la corne antérieure de la moelle, ils sont le support des contractures musculaires réflexes à la douleur.

À partir de la moelle, les voies ascendantes nociceptives sont extralemniscales par opposition aux fibres discriminatives et proprioceptives conscientes qui forment les voies ascendantes lemniscales.

Analyse et intégration centrale

les voies nociceptives extralemniscales vont rejoindre les noyaux du thalamus qui renvoient l'information vers le cortex afin de coder, identifier et localiser la douleur, mettre en alerte, mémoriser, modifier le comportement...

Systèmes de contrôle

Ils sont puissants et agissent à plusieurs niveaux.

Au niveau spinal les afférences nociceptives sont bloquées par l'activation des fibres abêta de gros calibre. Cette «théorie de la porte» de Melzack et Wall date de 1965 [33].

Un système équivalent s'exerce au niveau du thalamus et au niveau cérébral [23].

Systèmes effecteurs

À l'échelon spinal un réflexe moteur de retrait et une activation du système sympathique dont le dérèglement serait en cause dans la survenue d'un syndrome régional douloureux complexe de type 1 (SRDC1), survenant après une lésion des tissus mous, ou une fracture (anciennement : algodystrophie) ou SDRC2, survenant dans les suites d'une lésion nerveuse (anciennement : causalgie).

Le versant général de la réponse est double par la réponse au stress et son cortège de réactions neuro-

végétatives et neuroendocriniennes d'une part, et par des plaintes et des comportements douloureux d'autre part.

En résumé, ce système sophistiqué de protection de l'organisme est plastique (capacité d'adapter son fonctionnement au degré de sollicitation). Le revers de la médaille est qu'un dysfonctionnement des voies nociceptives peut être à l'origine de douleurs en l'absence de stimulation nociceptive. Cette notion est capitale dans la pratique clinique : « est douleur ce que le patient dit être une douleur ». Il la ressent toujours dans son corps charnel quelle que soit son origine, et il insistera toujours pour que la cause soit identifiée afin de pouvoir l'éradiquer. On voit immédiatement ici le danger qu'il y a à diagnostiquer en consultation un « névrome douloureux » qui sera responsable de la douleur et dont l'ablation par voie de conséquence apportera la guérison ! Cette version optimiste et attendue par le patient ne correspond pas toujours à la réalité... [2]

Mécanismes des douleurs

On distingue schématiquement trois types qui peuvent s'intriquer : les douleurs nociceptives, les douleurs neuropathiques et les douleurs sine materia [4].

Douleur nociceptive

Elle résulte de la sollicitation des voies nociceptives décrites et constitue un signal d'alarme protecteur.

Elle est due à la libération de substances algogènes par les tissus et à des lésions nerveuses (fibrose cicatricielle, névrome, repousse avec maturation incomplète).

Elle est typiquement aiguë, localisée, insomnante, à composante sensorielle dominante et facilement décrite par le patient. Des douleurs référées et des manifestations neurovégétatives sont possibles et il reste toujours une trace mnésique de l'épisode douloureux.

Les antalgiques et les blocs sont efficaces (tableau 3).

Douleur neuropathique

Elle résulte d'un dysfonctionnement des voies nociceptives et constitue une maladie inutile et destructrice.

Après un intervalle libre apparaît typiquement une douleur fulgurante survenant spontanément sur fond continu. Sa description par le patient est difficile avec une composante émotionnelle dominante. Elle est déprimante mais pas insomnante. Elle s'accompagne de signes déficitaires (hypoesthésie, anesthésie) et de signes irritatifs (hyperalgésie, allodynie, hyperpathie) et parfois de signes sympathiques.

Elle reste insensible aux antalgiques alors que les antidépresseurs tricycliques, les antiépileptiques et la neurostimulation sont efficaces (tableau 3).

Tableau 3
Classification des douleurs

1. Douleurs par excès de nociception
aiguë
insomnante
facile à décrire
exprimée par le patient
composante sensorielle ++
localisée
2. Douleurs neuropathiques
chronique
(continues + paroxysmes)
fatigante
difficile à décrire
à rechercher par le médecin
composante émotionnelle ++
diffuse
s. déficitaires (hypoesthésie, anesthésie)
s. irritatifs (allodynie, hyperalgésie, hyperpathie)
antidépresseurs, antiépileptiques, neurostimulation
3. Douleurs sine materia
fonctionnelle
psychopathologique
4. Douleurs mixtes
fréquentes ++

Douleurs *sine materia*

Elles ne peuvent être expliquées par une atteinte organique.

Elles résultent d'une pathologie rare, d'une pathologie fonctionnelle ou d'une psychopathologie.

Douleurs mixtes

Mais notion capitale ces types sont fréquemment intriqués. La douleur aiguë persistante fait le lit de la douleur chronique et le tableau clinique fait coexister des douleurs nociceptives avec des douleurs neuropathiques rendant le diagnostic difficile [2].

Diagnostic

Il est avant tout clinique; l'examen doit être méthodique et doit répondre à trois questions :

Y a-t-il un névrome? Quelles sont les caractéristiques de la douleur? Existe-t-il une relation formelle entre la douleur et le névrome?

Y a-t-il un névrome?

On retrouve facilement dans les antécédents un traumatisme nerveux (plaie ou contusion) ou une amputation. La palpation révèle une tuméfaction libre et mobile particulièrement douloureuse qui signe le diagnostic.

Celui-ci est plus difficile devant un névrome diffus piégé dans une cicatrice ou en face d'un névrome intracutané.

Caractéristiques de la douleur?

Typiquement « le névrome seul donne une douleur par excès de nociception » [14] avec un point douloureux localisé précis, déclenché par la pression et la percussion (signe de Tinel), alors qu'une infiltration d'anesthésique local fait disparaître la douleur. Le patient peut avoir trouvé une stratégie d'évitement du contact qui à l'extrême aboutit à l'exclusion d'un doigt de la gestuelle.

Ailleurs, le tableau clinique est très différent surtout si la douleur évolue depuis plus de trois mois. En plus de la douleur, le retentissement sur la personnalité du patient et sur sa vie domine le tableau. Des signes évocateurs d'une douleur neuropathique doivent alors être recherchés, car ils ne sont pas toujours mis en avant par le patient. S'ils existent, il est temps pour le chirurgien de recourir à une consultation pluridisciplinaire qui s'attache à préciser les composantes de la douleur, le degré d'incapacité, le contexte familial et socio-économique.

Les composantes de la douleur sont au nombre de quatre :

- sensori-discriminative ou pour simplifier « ce que sent le patient » qui décrit des douleurs nociceptives et/ou neuropathiques bien sur mais aussi parfois des douleurs mémorisées ou des douleurs d'origine sympathique;
- affective et émotionnelle ou « comment il sent » : simple gêne ou particulièrement pénible voire déprimante? La dépression est retrouvée dans 30 % des cas et une consultation psychiatrique sera indispensable à la recherche de troubles de la personnalité associés;
- cognitive ou « quelle signification y accorde le patient ». Il est toujours instructif de découvrir comment celui-ci se représente la cause de sa douleur et

son traitement. Comment il a vécu les avis successifs discordants...;

– comportementale ou « manifestation de la douleur » par des mots, des attitudes, des mimiques qui peuvent à la longue devenir un mode de communication avec l'entourage.

Le niveau d'incapacité est important à déterminer précisément et il faut entrer dans les détails de la vie courante et professionnelle. Il s'agit d'un point de départ à partir duquel on pourra établir un objectif raisonnable.

Le contexte familial est révélateur. S'agit-il de soutien ou au contraire de rejet? d'un excès de sollicitude, d'une surprotection qui viennent polluer les soins? de conseils inopportuns?

Le contexte socioprofessionnel est capital à connaître. La règle est : « l'abstention chirurgicale tant qu'un contentieux avec une assurance ou un employeur est en cours ».

Existe-t-il une relation formelle entre le névrome et la douleur?

Plusieurs situations constituent des pièges diagnostiques qu'il faut savoir déjouer.

– Une repousse après réparation nerveuse s'accompagne de dysesthésies et de paresthésies parfois très désagréables. Leur diffusion limitée au territoire sensitif du nerf blessé et un deuxième signe de Tinel de « repousse » permettent de faire le diagnostic [42].

– Un moignon douloureux n'est pas synonyme de névrome. Son examen attentif permet d'éliminer une esquille osseuse ou un séquestre, un corps étranger, un kyste épidermoïde, un résidu unguéal. Il est plus difficile de différencier une cicatrice défectueuse palmaire fine et adhérente d'un névrome diffus et sur un moignon d'amputation la règle est d'examiner le nerf controlatéral [14].

– L'association à une neuropathie est une cause classique d'échec diagnostic. Une compression nerveuse proximale (nerf médian au canal carpien, nerf ulnaire au coude...) est systématiquement recherchée en particulier devant un moignon ou une cicatrice qui devient douloureuse après un intervalle libre de plusieurs années. Insistons également sur le cas de la « chéiralgie paresthésique de Wartenberg » (compression de la branche sensitive du nerf radial sous le tendon du brachio-radialis) associée à une cicatrice douloureuse en regard de la styloïde radiale. La recherche d'un signe de Tinel, 8 à 10 cm en amont, aide au diagnostic entre une plaie partielle du nerf radial, une compression du nerf en amont ou une névrite au niveau de la cicatrice. Dans le même ordre d'idée, il faut insister sur la nécessité de rechercher systématiquement en pré-opératoire une chéiralgie paresthésique devant une ténosynovite de De Quervain ou un syndrome de l'intersection [7, 14].

Examens complémentaires

Leur place est limitée par rapport à l'examen clinique.

Retenons l'électromyogramme qui permet de retrouver une compression nerveuse, une section nerveuse ou de suivre une repousse.

La scintigraphie au TC99 est utile au diagnostic de syndrome régional douloureux complexe.

L'échographie et l'IRM peuvent visualiser des névromes profonds.

Traitement

Prévention

Durant la période aiguë du traumatisme et de l'acte opératoire, l'accord est unanime sur l'importance du soulagement des douleurs. En réalité, les praticiens pêchent trop souvent par manque de temps, manque de connaissances et manque de vigilance ! S'il ne fallait retenir qu'une chose, c'est qu'une évaluation systématique de la douleur facilite la prescription d'antalgiques adaptée à l'intensité de la douleur. C'est le seul moyen d'éviter l'établissement progressif et irréversible du circuit d'une douleur chronique [2].

Dans le même ordre d'idée, le développement (justifié) de l'anesthésie locorégionale n'autorise pas à commencer une intervention avant que le bloc soit efficace. Combien de blessés ont eu ainsi un premier contact désastreux avec le monde médical ? Il ne faut parfois pas chercher plus loin la cause d'une appréhension exagérée et l'établissement d'un état d'hyperexcitabilité du système nerveux.

Il n'y a pas de chirurgie mineure et l'anatomie chirurgicale doit être connue. Combien de branches sensitives du nerf radial ont ainsi été blessées au cours du traitement d'une ténosynovite de De Quervain ou lors de l'ablation d'une broche ? Combien de branches cutanées palmaires du nerf médian lors de l'ouverture d'un canal carpien ? de branches du nerf cutané anté-brachial médial lors de la décompression d'un nerf ulnaire au coude ? de nerf calcanéen lors de l'abord du talon ? [7, 14]

Un parage soigneux évite la formation d'un bloc fibreux autour du nerf et un dessin pré-opératoire de l'incision permettra de décaler celle-ci par rapport au trajet du nerf afin d'éviter de le piéger dans la cicatrice [7].

La suture primaire en urgence sous microscope de toute plaie nerveuse et artérielle est la meilleure façon d'obtenir une repousse nerveuse de qualité. Un cas particulier fréquent est celui réalisé par une plaie pulpaire distale et profonde chez un patient de plus de 50 ans ; une suture microchirurgicale dans ce cas est de mauvais

pronostic pour deux raisons : l'âge et la fibrose cicatricielle inévitable. Dans ces conditions il vaut mieux exciser en urgence la pulpe distale insensible qui sera remplacée par un lambeau d'avancement [16].

Les amputations bénéficient au mieux d'une réimplantation avec suture nerveuse microchirurgicale qui va atteindre la pulpe rapidement. Si la réimplantation est impossible, l'amputation ne doit pas être vécue comme un échec mais au contraire bénéficier de toute l'attention du chirurgien qui se doit de réaliser un moignon de qualité ou de préparer une reconstruction secondaire [17].

Au niveau des phalanges P2 et P3, la solution la plus souvent utilisée reste la traction modérée suivie de la résection « a minima » des nerfs collatéraux. Le nerf se rétracte et va se placer naturellement à distance de la cicatrice et à l'abri des chocs dans une zone matelassée [43].

Lorsque la longueur et la sensibilité du moignon doivent être préservées, ou devant une amputation à sifflet palmaire, cette technique est inadaptée et il convient alors de recourir à un lambeau local d'avancement (Hueston, O'Brien, Möberg, Littler, Atazoy, Venkataswami). Le but est d'avancer une peau sensible et épaisse dans la zone de prise alors que l'extrémité nerveuse et la cicatrice sont transloquées en dorsal loin de la zone d'appui [16].

Devant une amputation proximale, seul le nerf doit être mis à l'abri en urgence par un enfouissement dans un espace interosseux, dans un muscle ou dans un os, techniques que nous développerons au chapitre des méthodes chirurgicales [3, 9, 25].

Traitement médical

Les antalgiques

Nous n'insisterons pas plus sur la nécessité de prescrire des antalgiques (paracétamol, AINS, salicylés, association paracétamol-dextropropoxyphène ou codéine, morphiniques) devant toute douleur par excès de nociception. Des blocs anesthésiques plexiques sont rarement indiqués pour la réalisation de certains pansements, mais il faut savoir y penser.

Les douleurs neuropathiques ne réagissent pas aux antalgiques. On a recours aux antidépresseurs tricycliques pour le fond douloureux chronique et aux antiépileptiques pour les décharges fulgurantes avec une efficacité partielle et des effets secondaires très gênants [4].

La désensibilisation

Elle est capitale et il faut la comprendre comme une véritable « rééducation de la douleur » [7]. Son but

est d'augmenter graduellement la tolérance du patient au contact. Il doit apprendre à filtrer et à éliminer les informations douloureuses au profit des informations sensibles normales [47].

En pratique, toutes les cicatrices et tous les moignons sans exceptions doivent bénéficier de massages profonds, percussions et martelages par le patient lui-même. Ces manœuvres commencées à travers le pansement et répétées plusieurs semaines sont généralement suffisantes pour améliorer la trophicité, assouplir les cicatrices et pour activer les fibres de la sensibilité superficielle discriminative fermant ainsi la porte de la douleur. Les cas plus sévères bénéficieront en plus de séances de physiothérapie par ionisation et ultrasons très efficaces sur les cicatrices douloureuses et/ou indurées [38].

Compression

Réalisée par l'intermédiaire d'un doigtier ou un gant, elle n'améliore pas seulement les cicatrices. Elle diminue aussi la douleur et permet de débiter la kinésithérapie plus tôt. Mais son utilisation prolongée favorise l'exclusion d'un doigt de la gestuelle quotidienne.

Neurostimulation électrique transcutanée (TENS)

Comme la désensibilisation, elle ferme la porte de la douleur. Indiquée en cas de douleurs neuropathiques et pratiquée sur une peau saine, elle consiste en l'administration d'impulsions électriques régulières de faible intensité. Après une période de stimulation test et d'apprentissage, l'appareil est prescrit au patient qui peut l'utiliser de façon autonome [4].

Rééducation de la sensibilité

Toutes les sutures nerveuses doivent bénéficier d'un programme de rééducation de la sensibilité. Il s'agit d'un progrès inestimable permettant de reconnaître et d'intégrer progressivement les influx sensitifs altérés provenant des récepteurs périphériques. Le chirurgien doit en expliquer son principe et le rééducateur doit l'enseigner au patient qui doit la mettre en œuvre durant 10 mn, cinq fois par jour [10, 47].

On distingue deux périodes qu'il convient de respecter afin de ne pas décourager le patient :

- la période précoce où il faut apprendre à faire la différence entre un contact statique et un contact mobile et reconnaître les erreurs de localisation avec le contrôle de la vue puis les yeux fermés ;

- la période tardive améliore la discrimination à l'aide de séries d'objets de tailles, de formes et de textures différents qu'il faut reconnaître yeux ouverts puis yeux fermés.

L'utilisation systématique de ce programme a permis d'obtenir une meilleure discrimination dans un délai plus court [10].

Kinésithérapie

La kinésithérapie se doit d'être peu douloureuse. Une prescription d'antalgiques avant une séance et l'association du patient au programme par des explications claires le motiveront pour la recherche du résultat.

Ergothérapie

Elle favorise l'intégration de la main ou d'un doigt dans le schéma corporel et diminue les douleurs par la concentration qu'elle demande au patient, d'une part, et par la stimulation des voies nerveuses sensibles normales, d'autre part.

Traitements à visée psychologique

Tout commence en réalité par la qualité de la relation avec le chirurgien. Une attitude d'écoute, d'explication et de soutien est le seul moyen d'établir une relation de confiance.

Le recours à des thérapies comportementales ou à une psychothérapie est surtout destiné aux douleurs intenses et prolongées associées à une importante détresse émotionnelle.

Hypnose

L'hypnose est utilisée dans certains centres chirurgicaux principalement par les anesthésistes et dans les centres de la douleur comme complément de l'approche pharmacologique classique. Elle induit une modification de l'état de conscience pendant lequel le sujet se concentre sur des représentations mentales propres. Les expériences les plus récentes de neuro-imagerie prouvent que l'hypnose modifie le comportement cérébral (cortex cingulaire antérieur) qui régule les interactions entre cognition, perception et émotion permettant de mieux gérer la douleur [12].

Ces mesures de prévention et les techniques non invasives précédemment décrites sont réellement efficaces et heureusement la plupart des névromes (96 %) ne sont finalement pas douloureux ou pour le moins compatibles avec une vie normale [26].

Traitement chirurgical

Il existe des névromes dont les douleurs par excès de nociception sont rebelles à toutes les méthodes non invasives. Ils constituent l'indication chirurgicale idéale.

Ailleurs, la situation est bien différente devant ces patients en plein désarroi, ayant déjà consulté plusieurs médecins, qui se présentent avec une longue histoire de douleurs chroniques et ne comprennent pas pourquoi on ne trouve pas « la solution ». L'indication opératoire est lourde de conséquences et l'on doit toujours avoir à l'esprit le caractère imprévisible des résultats et le risque réel d'aggravation des douleurs. En clair, l'indication chirurgicale sur un névrome douloureux chronique ne peut être posée que dans le cadre d'une approche pluridisciplinaire ou le traitement chirurgical n'est qu'un aspect du projet thérapeutique dont le but ne sera peut-être pas la guérison mais plutôt une amélioration et un comportement adapté vis-à-vis de la douleur ! [2]

Un catalogue complet des multiples techniques déjà décrites est inutile ; nous ne parlerons que des techniques les plus utilisées actuellement.

Traitement chirurgical des névromes sur moignon

Un certain nombre de techniques prétendent bloquer la repousse des axones

Il est logique qu'elles n'aient pas d'effet sur la prévention de l'apparition d'un nouveau névrome, car tant que le corps cellulaire reste actif la repousse des axones et la formation d'un névrome est inéluctable pendant plusieurs années [41].

Citons pour mémoire la coagulation physique (par le froid, le chaud, l'électricité, la radioactivité, le laser...) et la coagulation chimique (alcool, acide osmique, acide chlorhydrique, pepsine, phénol, formol, acide tannique, acide chromique, acide picrique, violet de gentiane.).

L'écrasement, la section nerveuse étagée, la ligature, la fermeture épineurale, l'encapuchonnement (par polyéthylène, os, fascia, cellophane, verre, placenta, plasma séché, polyéthylène, or, argent, artère, veine, méthyl-méthacrylate, silicone...) [5].

Les infiltrations de corticoïdes sont populaires mais leur efficacité très discutable [39].

Résection nerveuse reste utile, on l'a vu surtout en urgence

Son but n'est pas d'empêcher la formation du névrome mais de le déplacer.

Après une dissection « a minima », une traction douce puis une section permet au nerf de remonter à distance de la cicatrice et de la zone d'appui [26, 43].

Une résection trop généreuse va entraîner une insensibilité du moignon avec son corollaire, l'exclusion.

Les moignons sur P3 et P2 en sont la meilleure indication ; à partir de P1, il faut la rejeter, car on se rapproche dangereusement de la bifurcation [5].

L'implantation nerveuse

La suture terminoterminal d'un nerf étant la meilleure façon de permettre une repousse et une maturation des fibres, certains ont imaginé la suture de deux nerfs entre eux ou la suture à lui-même d'un nerf divisé en deux.

Bien entendu la repousse ne progresse pas et l'espoir de la bloquer par augmentation de la pression intraneurale a été vite déçu, avec apparition d'un névrome en continuité [37].

L'utilisation de la microchirurgie [21] ou l'interposition d'une greffe autologue [22] n'a pas complètement réglé ce problème.

Implantation musculaire

Le but est de placer l'extrémité recoupée du nerf dans un tissu sain et d'en limiter la taille. L'enfouissement musculaire réduit la taille du névrome [9, 37] et a donné des résultats cliniques variés [29].

Il convient de choisir un muscle volumineux pour le mettre à l'abri des chocs et à faible course, afin d'éviter la traction lors de la contraction musculaire (pronator quadratus pour la branche cutanée du nerf médian, brachio radialis pour la branche sensitive du nerf radial, soleus pour le nerf sural).

Implantation intra osseuse

Dès 1943, Boldrey a l'idée de protéger le névrome et de limiter sa croissance par implantation dans le canal médullaire [3].

La technique ne souffre aucune imprécision sous peine de créer une irritation du nerf au contact du canal osseux ou une traction sur le nerf lors des mouvements. Ainsi, on réalisera dissection proximale étendue du nerf pour obtenir une large boucle et un canal osseux large et oblique situé loin d'une articulation.

Ce principe peut être utilisé au cours d'une amputation proximale de l'index ou les nerfs peuvent facilement être retournés et implantés dans le fût diaphysaire [18, 24].

Translocation du névrome sans résection

Littler en 1967 propose de traiter non pas le névrome mais son environnement dans les cas où le rétablissement de la continuité est impossible. Le but est de déplacer le névrome intact en tissu sain et loin des zones de contact [25].

Pour ce faire, il faut successivement libérer le nerf sur une grande distance afin d'obtenir un arc de rotation sans tension suffisant. Le nerf est mobilisé par un fil tracteur passé dans la capsule fibreuse du névrome. Ce fil sera en fin d'intervention extériorisé à la peau durant 15 jours, délai suffisant pour la fixation du névrome dans son nouveau site. Celui-ci est soigneusement choisi à la demande mais toujours loin des zones d'appui, à distance de la peau, dans un espace inter-musculaire ou dans une commissure [26, 5].

Lambeaux sur moignon d'amputation

L'objectif est de réaliser un moignon sensible, bien matelassé au niveau de la prise, avec des extrémités nerveuses reportées en dorsal à distance de la zone d'appui. Au mieux réalisée en urgence, cette technique peut l'être secondairement. Il y a intérêt à la réaliser rapidement avant une exclusion du doigt toujours difficile à récupérer. Tous les lambeaux sensibles décrits peuvent théoriquement être utilisés, mais nous décrivons les plus fréquemment utilisés [16].

Les lambeaux à pédicule sous-cutané en V-Y de Tranquili ou Kutler ne permettent qu'un avancement limité à quelques millimètres [16].

Le lambeau de Hueston modifié par Souquet est un lambeau d'avancement-rotation pédiculé sur les pédicules digitaux. Il avance de 1,5 cm du côté du névrome et s'adapte bien au pouce et aux amputations proximales des doigts longs [27, 41].

Le lambeau de Möberg est un lambeau d'avancement de 1,5 cm bi-pédiculé sur les deux pédicules collatéraux. Disséqué en îlot bi-pédiculé par O'Brien il avance alors de plus de 2 cm en combinant la traction et la flexion du doigt. Ces deux lambeaux sont destinés au pouce, moins souvent à l'auriculaire grâce à leur réseau artériel palmaire et dorsal indépendants. Leur utilisation sur les autres doigts risque d'ajouter une nécrose cutanée dorsale au névrome ! [34, 36]

Le lambeau en îlot hétéro-digital de Littler sacrifie l'hémi-pulpe ulnaire de l'annulaire pour celle du pouce. Il expose au risque de séquelles sur le doigt donneur sain et entraîne une sensibilité croisée très difficile à rééduquer. Pour éviter cet inconvénient, Deconinck et Foucher l'ont modifié avec la technique du « débranchement-rebranchement » [30, 6, 19].

Le lambeau homodactyle en îlot de Venkataswami avance une hémi-pulpe de 2 cm. Il nécessite en post-opératoire le port d'une orthèse d'extension pour éviter le flectum du doigt. On l'utilise sur tous les doigts longs sauf sur l'index où il génère souvent une exclusion de la fonction [44].

Le lambeau d'échange pulpaire de Littler permet de redistribuer la sensibilité sur la pulpe d'appui, alors que le névrome est déplacé vers la pulpe secondaire. Ce principe a bénéficié de quelques améliorations techniques comme sa dissection en îlot et le « débranchement-rebranchement » microchirurgical du nerf réalisable avant 40 ans afin d'éviter les problèmes d'orientation [30, 19].

Le lambeau « cerf-volant » levé en îlot sur l'artère intermétacarpienne dorsale du premier espace permet de recouvrir toute la face palmaire du pouce. Même innervé par une branche sensitive du nerf radial, sa discrimination reste médiocre et il reste réservé au sujet âgé chez lequel des techniques microchirurgicales sont contre-indiquées [13].

Les lambeaux libres microchirurgicaux sensibles se font surtout à partir des orteils et sur mesure. Selon la perte de substance, on aura recours à un transfert de pulpe seule, de pulpe + os, de pulpe + os + appareil unguéal. Toutes les combinaisons sont possibles techniquement sur le plan vasculaire ; la limite d'âge à 40 ans dépendant surtout des possibilités de récupération nerveuse. Ces techniques sont plus difficiles à réaliser et exposent au risque d'échec par thrombose vasculaire (0-2 %). Elles devront être réalisées rapidement après le traumatisme (< 3 mois) et si possible déjà préparée chirurgicalement et annoncées au patient dès l'urgence [20].

Traitement des névromes sur nerf totalement sectionnés

Gros troncs nerveux

Il y a unanimité en faveur de la réparation microchirurgicale des gros troncs nerveux sectionnés afin de rétablir la fonction nerveuse d'une part et d'éviter la formation d'un névrome d'autre part [7].

Idéalement, une recoupe en zone saine des extrémités nerveuses permet une suture microchirurgicale directe sans tension.

Le débat entre les tenants de la suture épineurale, de la suture périneurale et de la suture épi-périneurale reste ouvert. L'idéal est de réaliser une suture atraumatique, sans tension, sans erreur d'aiguillage et sans fuite d'axones ! [26]

Si la perte de substance est trop importante, une autogreffe nerveuse (n. saphène ext, n. inter-osseux

postérieur, n. brachial cut int) ou un tube (vasculaire ou artificiel) permettent de combler la perte de substance au prix de deux lignes de suture [7].

Nerf collatéral digital

Un cas particulier courant est un névrome sur un nerf collatéral d'un doigt dans la suite d'une plaie non réparée. Foucher a trouvé la solution élégante qui fait d'une pierre deux coups en réalisant le lambeau « lasso ».

Ce lambeau homodactyle en îlot permet de combler la perte de substance nerveuse, de réaliser une micro-suture directe et de placer la suture dans une bonne ambiance trophique loin des cicatrices [14].

Petits nerfs sensitifs de la main

Les petits nerfs sensitifs de la main ont la particularité d'être souvent sectionnés et sources de douleurs. Un rétablissement de la continuité est impossible ou décevant.

Après avoir retrouvé et disséqué le nerf, celui-ci est « avulsé ». Cette technique barbare part de la constatation clinique de l'absence de névrome douloureux dans les « arrachements par bague » où l'on retrouve constamment sur le doigt amputé des nerfs très longs et effilochés. La rupture du nerf, se faisant à des niveaux différents et à distance de la cicatrice, aboutit à la formation de petits névromes étagés situés à l'abri des traumatismes.

Cette opération est utile sur la branche cutanée palmaire du nerf médian, sur les très petites branches terminales du nerf radial ou du nerf ulnaire au dos de la main [14].

Névromes intracutanés

Citons également les névromes intracutanés qui seront traités par résection-suture de la cicatrice suivie de désensibilisation.

Branche sensitive du nerf radial

Le névrome sur les branches sensitives du nerf radial mérite d'être développé plus longuement en raison de sa fréquence, des problèmes diagnostiques et des difficultés thérapeutiques qu'il pose :

Le nerf radial est au niveau du poignet superficiel et largement divisé, exposé aux traumatismes et aux chirurgiens qui abordent cette région très régulièrement pour le traitement chirurgical d'une ténosy-

novite de De Quervain, de l'ablation d'une broche, d'une trapézectomie ou lors d'une arthroscopie... En post-opératoire, des douleurs de la région cicatricielle peuvent être dues à une adhérence du nerf, une plaie nerveuse, ou une compression de la branche sensitive du nerf radial (syndrome de Wartenberg). Le diagnostic entre ces trois possibilités est difficile et peut engager la responsabilité du chirurgien et ce d'autant plus qu'une association peut exister. La règle de rechercher systématiquement une compression de la branche sensitive du nerf radial à l'avant-bras avant toute intervention pour une ténosynovite de De Quervain, un syndrome du croisement ou une rhizarthrose permet d'éviter bien des errances diagnostique après l'intervention [8, 15].

En effet, dans les suites d'une plaie traumatique ou chirurgicale au poignet, le nerf radial peut être « collé » dans la cicatrice et étiré entre deux points fixes : un point fixe proximal à l'émergence du nerf entre les tendons de l'ECRL et du BR et un point fixe distal au niveau de la cicatrice. Une neurolyse associée à une plastie en Z permet de retrouver un plan de glissement naturel lors des mouvements du poignet en flexion et inclinaison ulnaire [5].

Le nerf radial peut aussi être sectionné. Le territoire sensitif étant accessoire, le traitement de la douleur prime sur celui du déficit sensitif. Les toutes petites branches, on l'a vu, pourront être avulsées [14]. Si la branche est de calibre et de longueur suffisants, une suture ou une greffe microchirurgicale est possible mais elle donne des résultats souvent médiocres [15]. Dellon la déconseille et insiste sur une autre particularité anatomique importante à connaître : le chevauchement des territoires des nerfs radial et du nerf cutané antébrachial latéral retrouvé dans 75 % des cas. Dellon et Mackinnon conseillent de réaliser des blocs sélectifs préopératoires avant toute intervention afin de déterminer quel nerf (radial ou cutané latéral antébrachial) active le névrome. Si ce test fait disparaître les douleurs, une résection suivie d'un enfouissement dans le muscle brachio radial (BR) est alors réalisée [7, 8]. La théorie de Lluch affirme qu'en cas de lésion isolée de la branche sensitive du nerf radial, des influx provenant du nerf interosseux postérieur (NIOP) demeuré intact continuent à activer les douleurs du névrome. Il se contente après un test par anesthésie locale sélective du NIOP de réaliser sa résection sur 2 cm en amont du tubercule de Lister [31]. D'autres utilisent le NIOP réséqué pour greffer le nerf radial sectionné [15]. En présence d'une perte de substance importante, un bloc du NIOP positif fait l'indication de la résection de celui-ci. Par contre, un bloc négatif fera préférer un enfouissement du nerf radial et parfois du nerf cutané latéral antébrachial dans le muscle BR ou dans le radius [7].

Traitement chirurgical des névromes en continuité

Une section nerveuse passée inaperçue doit bénéficier d'une suture ou d'une greffe microchirurgicale dans les meilleurs délais [7].

Une situation particulièrement difficile est celle réalisée par un névrome en continuité dans les suites d'une suture nerveuse. S'agit-il d'une repousse normale en cours avec des dysesthésies douloureuses où il faut s'abstenir ? S'agit-il d'une bonne suture située dans une ambiance cicatricielle défavorable où il faut apporter un lambeau d'aide trophique ? S'agit-il d'une suture comprimée dans la cicatrice qu'il faut neurolyser avec épineurotomie ? S'agit-il d'une suture médiocre avec absence de repousse satisfaisante et erreur d'aiguillage qu'il faut reprendre ? S'agit-il d'une plaie partielle avec un contingent de fascicules intact à préserver et un contingent sectionné qu'il faut réparer par une suture en oméga ? On le voit, il faut ici pas mal d'expérience et un bon examen électromyographique afin de poser une indication opératoire à temps. Au cours de l'intervention, le choix entre une neurolyse simple, une endoneurolyse, une résection-suture, une résection-greffe est un exercice chirurgical des plus ardues [5].

Après une plaie nerveuse de la face antérieure du poignet, certains de ces patients (souvent multi-opérés) présentent en plus une hyperalgésie de la peau. Dellon a proposé des lambeaux musculaires en îlot pour recouvrir le névrome en continuité. Le muscle protège le névrome en continuité des chocs et empêche la réinnervation anormale du revêtement cutané cicatriciel et dénervé par « absorption » des fibres perdues. Le lambeau de pronator quadratus est utilisé dans la zone proximale du poignet, le lambeau d'abductor digiti quinti pour la zone distale [7].

Traitement chirurgical des « pseudonévromes »

- Le « *bowler's thumb* » résistant au traitement conservateur (strapping, modification technique) réagit souvent bien à la neurolyse avec épineurotomie simple.
- Le névrome de Morton est dans un premier temps traité par des semelles orthopédiques plantaires avec appui rétro-capital associées aux infiltrations de corticoïdes. Dans les formes rebelles, la résection de la tête du 4^e métatarsien préconisée par Morton n'a plus qu'un intérêt historique [35]. La résection du nerf inter-métatarsien du 3 ou 4^e espace en amont du ligament inter-métatarsien a encore beaucoup de

partisans [7]. Cependant, cette opération est à risque puisqu'elle ajoute à l'anesthésie des orteils le risque de transformer un pseudo-névrome en névrome douloureux bien réel, et on a pu y associer une implantation du nerf dans le muscle adducteur du gros orteil [7]. Une approche plus moderne est celle de Gauthier qui a présenté une importante série de 304 cas traités par résection de ligament inter-métatarsien associée à une épineurotomie avec seulement 3 % d'échecs [7]. Notre technique de base comporte la transposition du nerf en dorsal associée à la reconstitution du ligament inter-métatarsien. Elle a l'avantage d'éviter une cicatrice plantaire, de préserver la continuité du nerf, de le sortir de sa position vulnérable et de permettre sa neurolyse.

- Le pseudo-névrome du nerf interosseux postérieur (NIOP) à la face dorsale du poignet se traite par infiltration et orthèse de repos. La résection de 2 cm de NIOP par une petite voie d'abord transversale en amont du tubercule de Lister règle généralement le problème des cas rebelles sans séquelles [26].

- La cheiralgia paresthetica de Wartenberg, décrite dès 1932, a été remise au premier plan par Dellon et Mackinnon en 1984 [7, 15, 45]. Le diagnostic est suspecté devant des douleurs du bord radial du poignet. Les paresthésies sont inconstantes en raison du chevauchement entre les territoires des nerfs ulnaires, radial et latéral cutané ante-brachial ; et l'électromyogramme difficile pour la même raison. Son traitement conservateur associe infiltration et orthèse de repos du poignet. Après trois mois sans résultat, la neurolyse du nerf radial à la jonction tiers moyen-tiers inférieur de l'avant-bras est réalisée au mieux par une voie transversale ou une voie en Z. La section du fascia qui pont le extenseur radial long du carpe et le brachio-radialis suffit généralement. L'épineurotomie est réalisée en cas de pseudo-névrome visible et la réalisation d'une échancrure pour détendre le bord tranchant du tendon du BR est réalisée à la demande.

- Le syndrome du bracelet montre [32] est une compression avec irritation chronique du nerf radial au poignet par un bracelet, un élastique ou un vêtement trop serré. La disparition du facteur compressif est généralement suffisante.

- Le nerf médian au canal carpien, le nerf ulnaire au tunnel ulnaire et le nerf radial au bras peuvent être le siège de pseudonévrome en amont du site de compression réalisant une déformation en diabolito visible à l'œil nu. La neurolyse avec une épineurotomie est alors indiquée en évitant toute intraneurodissection. En effet, celle-ci majore la fibrose cicatricielle et risque de blesser les plexus intranerveux.

Techniques privilégiées

Il est illusoire de vouloir proposer une technique universelle pour tous les névromes douloureux. En pratique, c'est surtout le nerf et son importance fonctionnelle qui importe.

Les gros troncs, comme le nerf médian et le nerf ulnaire, sont fonctionnellement indispensables. Leur suture ou greffe fait l'unanimité.

Pour les petits nerfs fonctionnellement accessoires, la réparation n'est pas impérative et le traitement de la douleur prime. Selon le nerf on choisira l'avulsion simple, l'implantation musculaire, la translocation ou la technique de Lluch.

Certains territoires sensitifs sont primordiaux et peuvent justifier les lambeaux les plus sophistiqués allant jusqu'au transfert libre à partir d'un orteil.

Conclusion

La prévention reste primordiale et si une bonne connaissance de l'anatomie semble évidente, n'oublions pas que les manœuvres de désensibilisation et la rééducation de la sensibilité sont d'une efficacité considérable.

Secondairement les syndromes douloureux chroniques sur névrome sont un problème médico-chirurgical comme en atteste la longueur des chapitres « médicaux » dans un article de chirurgie. Après être passé dans le « filtre » de la prise en charge pluridisciplinaire, le candidat au traitement chirurgical de névrome doit être bien informé et capable de comprendre que l'objectif du traitement n'est pas forcément la « guérison ».

Quelques règles et aphorismes méritent d'être rappelés :

– « Les douleurs de névrome par excès de nociception sont exprimées par le patient alors que les douleurs neuropathiques doivent être recherchées. »

– « La douleur aiguë fait le lit de la douleur chronique et le patient reste le meilleur expert de sa douleur. »

– « Il n'y a pas d'opération constamment et totalement efficace pour prévenir la formation d'un névrome. » [41]

– La règle est : « L'abstention chirurgicale tant qu'un contentieux avec une assurance ou un employeur est en cours. »

– « Il n'y a pas d'indication opératoire pour un névrome douloureux chronique sans une consultation multidisciplinaire. »

RÉFÉRENCES

- Badalamente MA, Hurst LC, Ellstein J, MacDewitt CA. The pathobiology of human neuromas: an electron microscopic and biochemical study. *J Hand Surg* 1985 ; 10B : 49-53.
- Besson JM. La douleur, éditions Odile Jacob, Paris, 1992.
- Boldrey E. Amputation neuroma in nerves implanted in bone. *Ann Surg* 1943 ; 118 : 1052-1057.
- Boureau F. Douleurs aiguës, douleurs chroniques, doigts palliatifs. MED LINE éditions, 2^e éd., 2004.
- Dap F. Les névromes douloureux au poignet et à la main. Expansion Scientifique Publication, Cahier d'enseignement de la société française de chirurgie de la main 1997 ; 9.
- De Coninck A. Transplantation hétérodigitale avec réinnervation locale. *Acta Orthop Belg* 1975 ; 41 : 170-176.
- Dellon AL, Mackinnon SE. *Surgery of the Peripheral Nerve*. Thieme Medical Publishers Inc, New York, 1988.
- Dellon AL, Mackinnon SE. Susceptibility of the superficial sensory branch of the radial nerve to form painful neuromas. *J Hand Surg* 1984 ; 1 : 42-45.
- Dellon AL, Mackinnon SE. Treatment of the painful neuroma by neuroma resection and muscle implantation. *Plast Reconstr Surg* 1986 ; 3 : 426-436.
- Dellon AL, Curtis RM, Edgerton MT. Reeducation of sensation following nerve injury *Plast Reconstr Surg* 1974 ; 53 : 297-308.
- Dobyns JH, O'Brien ET, Linscheid RL, Farrow GM. Bowler's Thumb: Diagnostic and treatment, A review of seventeen cases. *J Bone J Surg* 1972 ; 54A : 751-755.
- Feymonville M. La recherche. 2005 ; 923 : 44-49.
- Foucher G, Braun J.B. A new island flap in surgery of the hand. *Plast Rec Surg* 1979 ; 63 : 28-31.
- Foucher G. Le névrome douloureux. In : Tubiana R., *Traité de chirurgie de la main*. Masson, Paris, 1991, t.4, 769-780.
- Foucher G, Gréant P, Sammut D, Buch N. Névrites et névromes des branches sensitives du nerf radial ; à propos de quarante-quatre cas. *Ann Chir Main* 1991 ; 10 : 108-112.
- Foucher G, Sammut D, Gréant P, Marin Braun F, Ehrler S, Buch N. Indications and results of skin flaps in painful digital neuroma. *J Hand Surg* 1991 ; 16B : 25-29.
- Foucher G, Henderson HR, Maneaud M, Merle M, Braun FM. Distal digital replantation: one of the best indications for microsurgery *Int J Microsurg* 1981 ; 3 : 263-270.
- Foucher G, Merle M, Braun FM, Thomas M, Michon J. La chirurgie de l'index, Attitude de « tout ou rien ». *Ann Chir Plast* 1982 ; 27 : 581-583.
- Foucher G, Braun FM, Merle M, Michon J. La technique du « débranchement-rebranchement » du lambeau en îlot pédiculé. *Ann Chir Main* 1981 ; 35 : 301-303.
- Foucher G, Merle M, Maneaud M, Michon J. Microsurgical free partial to transfert in hand reconstruction: a report of 12 cases. *Plast Reconstr Surg* 1980 ; 65 : 616-627.
- Fourrier P, Papot G, Cayrol M. Intérêt de la méthode de Samii dans le traitement des névromes digitaux. *Ann Chir Main* 1986 ; 5 : 253-255.
- Gorkirsch K, Boese-Landraf J., Vaubel E. Treatment and prevention of amputation neuromas in hand surgery. *J Plast Reconstr Surg* 1984 ; 2 : 293-296.

- 23 Head H, Holmes G. Sensory disturbances from cerebral lesions. *Brain* 1911 ; 34 : 102-254.
- 24 Hemy DC. Intermedullary nerve implantation in amputation and other traumatic neuromas. *J Neuro surg* 1981 ; 54 : 842-843.
- 25 Herndon JH, Eaton RG, Littler JW. Management of painful neuromas in the hand. *J Bone Jt Surg* 1976 ; 3 : 369-373.
- 26 Herndon JH. Neuromas. In : Green D. *Operative hand surg.* Churchill Livingstone, Edinburgh, 1999 ; 4th Ed., vol. 2, pp. 1469-1480.
- 27 Hueston JT. Local flap repair in fingertip injuries. *Plast Reconstr Surg* 1966 ; 37 : 349-350.
- 28 Khoo CT, Herrick RT, Ebans DM. Intracutaneous neuroma following division of digital nerves. *Br. J. Plast. Surg.* 1980 ; 33 : 190-194.
- 29 Laborde KJ, Kalisman M, Tsai TM. Results of surgical treatment of painful neuromas of the hand. *J. Hand Surg* 1982 ; 2 : 190-193.
- 30 Littler JW. Neurovascular skin island transfer in reconstructive hand surgery. E.S Livingstone Ltd., Edinburgh, 1963.
- 31 Lluch AL. Treatment of neuromas in the sensory branch of the radial nerve by posterior interosseous neurectomy. *J Hand Surg* 1981 ; 6 : 288.
- 32 Matzdorf P. Zwei seltene Falle von peripherer sensibler ahmung. *Klin Wochenschr* 1926 ; 1 : 1187-1189.
- 33 Melzack R, Wall P.D. – Pain mechanism : a new theory. *Science* 1965 ; 150 : 971-979.
- 34 Moberg E. Aspect of sensation in reconstructive surgery of the upper extremity. *J. Bone Jt Surg* 1964, 46A : 817-819.
- 35 Morton TG. A peculiar and painful affection of the fourth metatarsophalangeal articulation. *Am J Med Sci* 1876 ; 71 : 37-45.
- 36 O'Brien B. Mc. Neurovascular island pedicle flap for terminal amputations and digital scars. *Br. J. Past. Surg* 1968, 21 : 258-261.
- 37 Petropoulos PC., Stefanko S. Experimental observations on the prevention of neuroma formation. *J. Surg. Res* 1961, 1 : 235-244.
- 38 Russel WR. Painful amputation stumps. Treatment by percussion. *Br. Med. J* 1949, 1 : 1024-1026.
- 39 Smith JR., Gomez NH. Local injection therapy of neuromata of the hand with triamcinolone acetonide. *J. Bone Jt Surg* 1970, 1 : 71-83.
- 40 Souquet R. Le lambeau d'avancement artériel asymétrique dans les pertes de substances de la pulpe digitale. *Ann. Chir. Main* 1985, 4 : 233-238.
- 41 Sunderland S. – Neuromas and nerve injuries, London : 2nd ed. Churchill Livingstone ; 1978.
- 42 Synder EC., Knowles R.P. Traumatic neuromas. *J. Bone Jt Surg* 1965, 47A : 641-643.
- 43 Tupper JW, Booth DM. Treatment of painful neuromas of sensory nerves in the hand : a comparison of traditional and newer methods. *J. Hand Surg* 1976, 1 : 144-151.
- 44 Venkatswani R., Subramanian N. Oblique traingular flap : a new methof of repair for oblique amputation of the fingertip ang thumb. *Plast. Reconstr. Surg* 1980, 66 : 296-300.
- 45 Wartenberg, Cheralgia paresthetica (Isolierte neuritis des ramus superficialis nervi radialis). *Z Ger Neurol Psychiatr* 1932, 141 : 145-155.
- 46 Wood VE, Mudge MK. Observation on neuromas, with cases and histories of the disease. *Trans Med-ChirSoc Edimburg* 3 : 68, 1828-1829
- 47 Wynn Parry C.B. Rehabilitation of the hand, 3rd ed. Butterworths, 1973.

Perspectives et voies de recherche dans le traitement des lésions nerveuses périphériques

Advances in research for peripheral nerve repair

M. CHAMMAS¹, B. COULET¹, F. LACOMBE¹, C. LAZERGUES¹,
F. BACOU², J.-P. MICALLEF³

RÉSUMÉ

Malgré les progrès actuels, essentiellement liés à l'amélioration des indications chirurgicales, des techniques opératoires utilisées et des techniques de rééducation, de nombreux facteurs limitants persistent expliquant les résultats fonctionnels le plus souvent incomplets après réparation nerveuse périphérique chez l'adulte : insuffisance de la régénération axonale, manque de spécificité par erreur d'orientation de la régénération axonale, perte cellulaire proximale, perte axonale au site de la réparation nerveuse, dégénérescence des plaques motrices, involution des effecteurs musculaires et sensitifs suite à la dénervation prolongée, perturbations des zones de commande au niveau du système nerveux central, importance de certains syndromes douloureux post-dénervation. Les voies de recherche pour améliorer les résultats des réparations nerveuses périphériques sont abordées.

Mots clés : Régénération nerveuse. – Chambre de régénération. – Allogreffe nerveuse.

SUMMARY

Despite recent advances in peripheral nerve repair, functional results remain incomplete due to several limiting factors: slow, insufficient, and misdirected axonal outgrowth, motor and sensory neuronal cell loss, loss of axons at the site of nerve repair, motor end plates and sensory receptors degeneration, changes in the central nervous system, patient's experience of pain and allodynia in the injured hand. The different fields of research in peripheral nerve repair are analyzed.

Key words: Axonal regeneration. – Nerve conduits. – Nerve allograft.

Introduction

La réparation des lésions traumatiques des nerfs périphériques a bénéficié de l'apport des techniques microchirurgicales depuis la fin des années 60. Malgré les progrès actuels, essentiellement liés à l'amélioration des indications chirurgicales, des techniques opératoires utilisées et des techniques de rééducation, de nombreux facteurs limitants persistent expliquant les résultats fonctionnels le plus souvent incomplets après réparation nerveuse périphérique chez l'adulte :

- lenteur ou insuffisance de la régénération axonale ;
- manque de spécificité par erreur d'orientation de la régénération axonale ;
- perte cellulaire proximale ;
- perte axonale au site de la réparation nerveuse ;
- dégénérescence des plaques motrices ;
- involution des effecteurs musculaires et sensitifs suite à la dénervation prolongée ;
- perturbations des zones de commande au niveau du système nerveux central ;
- importance de certains syndromes douloureux post-dénervation.

¹ Service de chirurgie de la main et du membre supérieur, hôpital Lapeyronie, CHU de Montpellier, 34295 Montpellier cedex 5, France

² UMR 866 différenciation cellulaire et croissance, INRA, place Pierre Viala, 34060 Montpellier cedex 1, France

³ INSERL ADR 08, parc euromédecine, 99, rue Puech Villa, 34197 Montpellier cedex 5, France

De nombreuses voies de recherche existent pour améliorer les résultats des réparations nerveuses périphériques. Nous en aborderons les principales.

Amélioration de la quantité et de la spécificité de la régénération nerveuse

Facteurs neurotrophiques et autres composés

Un certain nombre de facteurs trophiques ont été étudiés comme notamment le *nerve growth factor* (NGF), le *brain-derived neurotrophic factor* (BDNF), le *fibroblastic growth factor* (FGFs), le *ciliary neurotrophic factor* (CNTF), le *vascular endothelial growth factor* (VEGF), et l'interleukine 6 [7, 13, 34, 42]. Leur rôle ainsi que celui de cytokines n'est que partiellement compris. Nombre de ces facteurs trophiques et cytokines sont retrouvés dans les tissus adjacents à la lésion nerveuse. Certains semblent avoir un rôle plus spécifique sur la régénération des fibres sensibles et sympathiques [7, 40], d'autres sur la régénération des fibres motrices comme le *brain-derived neurotrophic factor* ou le *ciliary neurotrophic factor* [1, 33]. De nombreuses incertitudes demeurent quant au moment où ces facteurs doivent intervenir et pour quelle durée dans le cas des réparations nerveuses périphériques primaires ou secondaires.

La propriété de certaines glycoprotéines de la membrane axonale pour attirer les axones moteurs ou sensitifs a aussi été étudiée pour faciliter le guidage de la régénération axonale [32].

Électrostimulation nerveuse et champs électromagnétiques

Bien que les études précédentes aient montré que l'électrostimulation n'améliorait pas la régénération nerveuse, des travaux plus récents sur l'électrostimulation du nerf proximal ont révélé une augmentation de la quantité d'axones moteurs régénérés avec une efficacité variable sur la vitesse de régénération et ceci par le biais d'une augmentation de la production du *brain-derived neurotrophic factor* [1, 2, 8]. Des constatations équivalentes ont été faites avec l'utilisation de champs électromagnétiques [22].

Réduction de la perte cellulaire proximale

Après lésions nerveuse périphérique, et ce d'autant plus que la lésion est proximale, un certain nombre de

cellules seront détruites au niveau du ganglion spinal postérieur pour les neurones sensitifs ou au niveau de la corne antérieure de la moelle pour les motoneurones. Une réduction de cette perte cellulaire a été obtenue grâce à l'administration d'acetyl-L-carnitine ou N-acetyl-cysteine [18, 35].

Atténuation de la dégénérescence des plaques motrices

Dès 12 à 14 mois de dénervation, les plaques motrices commencent à dégénérer. Même s'il y a régénération lors de la repousse axonale, cela représente l'un des facteurs limitants de la réinnervation musculaire. Dans la résorption de plaques motrices intervient notamment une protéase comme médiateur. L'administration d'un inhibiteur de cette protéase semble réduire cette dégénérescence des plaques motrices [5, 6].

Réduction de l'involution des effecteurs musculaires et sensitifs suite à la dénervation prolongée

Dans le cadre des lésions nerveuses périphériques, un muscle qui subit une période de dénervation prolongée, soit du fait d'une réparation nerveuse différée, soit du fait d'une distance importante le séparant de la lésion nerveuse réparée, est le siège d'importantes altérations conduisant à la dégénérescence des fibres musculaires et leur remplacement par un tissu fibreux voire adipeux. Ces modifications structurales du muscle constituent un frein à sa réinnervation et par voie de conséquence altèrent le résultat fonctionnel après réparation nerveuse périphérique. Dans le cas de muscles dénervés puis réinnervés (après section suture nerveuse) chez le lapin, le transfert de cellules souches (cellules satellites) après dégénérescence préalable des muscles améliore de façon significative les caractéristiques morphologiques (poids, trophicité, types de fibres) et fonctionnelles musculaires (force, fatigabilité) [4, 24]. Cette voie de recherche est poursuivie pour en permettre la faisabilité chez l'homme [11].

Nouvelles techniques d'anastomose nerveuse

Chambres de régénération

En cas de perte de substance nerveuse et de non possibilité de coaptation directe, la technique encore de référence est l'autogreffe nerveuse conventionnelle

avec comme facteur limitant principal la quantité de greffons disponibles et comme inconvénient les séquelles au site de prélèvement. Seuls des nerfs de petit calibre revascularisés précocement par le lit receveur sont utilisés. Les greffes nerveuses vascularisées, essentiellement le nerf ulnaire, dont les indications sont très limitées peuvent permettre dans certains cas de transférer un gros tronc nerveux sans nécrose centrale de celui-ci.

Des conduits ou chambres de régénération ont été développés, qu'ils soient biologiques ou synthétiques, pour pallier aux inconvénients des autogreffes nerveuses.

Conduits biologiques

Le plus utilisé est la greffe veineuse autologue inversée [10, 43]. C'est une alternative pour les pertes de substances de moins de 3 cm. Les processus de prolifération des cellules de Schwann, de bourgeonnement axonal, de myélinisation sont les mêmes que pour les autogreffes nerveuses [48]. Au-delà de 3 cm, la régénération axonale est rare et limitée. Le collapsus pourrait être un frein à la régénération nerveuse. Les résultats cliniques sont ou égaux ou inférieurs aux autogreffes nerveuses. L'efficacité dans les lésions anciennes est controversée. Les indications préférentielles sont représentées par les petites pertes de substance de nerfs sensitifs à la main non essentiels. D'autres supports biologiques possédant une lame basale ont été étudiés comme la greffe de muscle congelé-décongelé [16, 17]. Les résultats expérimentaux dans ce cas n'ont pas été suivis de résultats cliniques concluants [36, 38]. L'adjonction de facteurs neurotrophiques et de cellules de Schwann pourrait en améliorer l'efficacité.

Conduits synthétiques

Le concept de tube synthétique comme chambre de régénération pour ponter une perte de substance nerveuse date de 1982 [28]. Du point de vue expérimental, il a été démontré une régénération axonale chez le rat en cas de perte de substance inférieure ou égale à 10 mm, pontée par un tube de silicone [26]. Ce modèle expérimental a permis aussi d'améliorer la connaissance et la compréhension des mécanismes d'action des facteurs neurotrophiques retrouvés dans la chambre de régénération [13, 29]. Les applications de ce tube en silicone sont limitées par la tolérance locale du produit et l'imperméabilité de celui-ci.

D'autres conduits ont été étudiés à base de collagène [3], laminine, fibronectine [50] acide polyglycolique [30]. Adhésion, prolifération des cellules de Schwann et migration axonale ont là aussi été démontrées.

Dans un travail expérimental sur le nerf sciatique du rat [44], les tubes de collagène montraient en termes de poids de muscle tibial antérieur et de nombre d'axones régénérés, des résultats supérieurs aux tubes en acide polyglycolique et aux autogreffes nerveuses. Du point de vue clinique, une étude multicentrique, où les promoteurs de la technique ne participaient pas [49], utilisant un tube résorbable en acide polyglycolique ou une autogreffe pour ponter une perte de substance nerveuse à la main, avait montré des résultats supérieurs aux autogreffes pour des pertes de substances inférieures ou égales à 4 mm ou supérieures à 8 mm. Dans une étude clinique comparative entre tube de collagène, tube d'acide polyglycolique pour réparer la branche superficielle du nerf radial, les résultats étaient comparables avec retour d'une sensibilité de protection [44]. Des problèmes de tolérance cutanée ou de cicatrisation différée ont été rencontrés avec le tube en acide polyglycolique placé superficiellement. L'adjonction du point de vue expérimental à ces conduits de facteurs neurotrophiques plus ou moins incorporés dans des gels ou dans de la fibrine fait l'objet d'importants travaux expérimentaux de recherche et pourra constituer l'une des voies d'avenir de la chirurgie nerveuse périphérique.

Allogreffes nerveuses

Une allogreffe nerveuse supporte la régénération axonale si une immunosuppression systémique est maintenue. En cas d'arrêt de l'immunosuppression, les cellules de l'allogreffe sont rejetées [46, 47]. Plusieurs possibilités expérimentales ont été étudiées :

- réduction de l'immunogénicité par extraction cellulaire permettant la colonisation par les cellules de Schwann et la régénération axonale [20]. Dans ces cas, cellules de Schwann et repousse axonale ont pu être stimulés par des facteurs de croissance;
- amélioration de l'histocompatibilité donneur-receveur [45].

Il est intéressant aussi de suivre les résultats du point de vue récupération sensitive des patients ayant fait l'objet d'une allogreffe de mains [19]. Dans ce contexte, l'utilisation du FK 506 ou Tacrolimus semble montrer une amélioration de la repousse axonale [14, 41]. Les possibilités de cryoconservation [39] et les quantités importantes de greffons susceptibles d'être théoriquement à disposition en font une alternative thérapeutique aux autogreffes. Toutefois, les complications de l'immunosuppression ne sont pas à négliger et la technique d'allogreffe nerveuse ne semble utilisable qu'en cas d'immunosuppression transitoire ou non nécessaire si l'immunogénicité est désactivée.

Anastomoses termino-latérales

Ce type d'anastomose a été proposé en cas de large perte de substance comme alternative aux greffes nerveuses ou lorsque le bout proximal du nerf est inutilisable. Imaginée dès le XIX^e siècle, cette technique a été réintroduite en 1992 [15]. Bien qu'un bourgeonnement collatéral ait été mis en évidence, de récentes investigations ont montré que celui-ci était trop limité pour permettre un résultat fonctionnel [21]. L'origine du bourgeonnement, la nécessité d'une fenêtre épineurale et périneurale sont controversées, ainsi que la nécessité de lésions axonales. Il semble que le bourgeonnement des axones sensitifs ne nécessite pas de lésion pariétale et axonale du nerf donneur, alors qu'une lésion pariétale et axonale est nécessaire pour la régénération collatérale des axones moteurs [23]. Les résultats expérimentaux sont discordants [21, 31], l'anastomose termino-latérale montre des résultats aléatoires chez le singe [23]. Cette technique n'a pas montré des résultats suffisants du point de vue expérimental et clinique pour remplacer les techniques conventionnelles [37]. Nous employons cette technique pour réparer un nerf sensitif en cas d'absence d'autre possibilité thérapeutique.

Nouvelles techniques de rééducation

L'amélioration des techniques de rééducation, leur caractère précoce visant à limiter les changements au niveau du système nerveux central, qui surviennent très tôt dès les premières minutes après le traumatisme, et, semble-t-il, le caractère bilatéral de la rééducation [27] apparaissent comme essentiels en matière de rééducation de la sensibilité [12, 25].

Conclusion

Encore actuellement, du point de vue clinique, les constatations faites en 1995 par Brushart demeurent toujours valables. La meilleure régénération nerveuse nécessite une coaptation étroite des extrémités nerveuses et un alignement correct [9]. Toutefois, nous sommes à la veille de « l'ère biologique » de la chirurgie nerveuse périphérique. À l'avenir, l'amélioration et l'uniformisation des méthodes d'évaluation des résultats expérimentaux et cliniques sont nécessaires afin que les progrès annoncés ne soient pas sujets à controverse.

RÉFÉRENCES

- 1 Al-Majed AA, Brushart TM, Gordon T. Electrical stimulation accelerates and increases expression of BDNF and trkB mRNA in regenerating rat femoral motoneurons. *Eur J Neurosci* 2000; 12 : 4381-4390.
- 2 Al-Majed AA, Neumann CM, Brushart TM, Gordon T. Brief electrical stimulation promotes the speed and accuracy of motor axonal regeneration. *J Neurosci* 2000; 20(7) : 2602-8.
- 3 Archibald SJ, Shefner J, Krarup C, Madison RD. Monkey median nerve repaired by nerve graft or collagen nerve guide tube. *J Neurosci* 1995; 15(5 Pt 2) : 4109-23.
- 4 Bacou F, El Andaloussi RB, Daussin PA, Micallef JP, Levin JM, Chammas M, Casteilla L, Reyne Y, Nougues J. Transplantation of adipose tissue-derived stromal cells increases mass and functional capacity of damaged skeletal muscle. *Cell Transplant* 2004; 13(2) : 103-11.
- 5 Badalamente MA, Hurst LC, Stracher A. Neuromuscular recovery after peripheral nerve repair: effects of an orally-administered peptide in a primate model. *J Reconstr Microsurg* 1995; 11(6) : 429-37.
- 6 Badalamente MA, Hurst LC, Stracher A. Recovery after delayed nerve repair: influence of a pharmacologic adjunct in a primate model. *J Reconstr Microsurg* 1992; 8(5) : 391-7.
- 7 Bothwell M. Functional interactions of neurotrophins and neurotrophin receptors. *Annu Rev Neurosci* 1995; 18 : 223-253.
- 8 Brushart TM, Hoffman PN, Royall RM, Murinson BB, Witzel C, Gordon T. Electrical stimulation promotes motoneuron regeneration without increasing its speed or conditioning the neuron. *J Neurosci* 2002; 22(15) : 6631-8.
- 9 Brushart TM, Mathur V, Sood R, Koschorke GM. Dispersion of regenerating axons across enclosed neural gaps. *J Hand Surg* 1995; 20A : 557-564.
- 10 Chiu DT, Strauch B. A prospective clinical evaluation of autogenous vein grafts used as a nerve conduit for distal sensory nerve defects of 3 cm or less. *Plast Reconstr Surg* 1990; 86(5) : 928-34.
- 11 Coulet B, Lacombe F, Lazerges C, Daussin PA, Rossano B, Micallef JP, Chammas M, Reyne Y, Bacou F. Short- or long-term effects of adult myoblast transfer on properties of reinnervated skeletal muscles. *Muscle Nerve* 2006; 33(2) : 254-64.
- 12 Dahlin L. Nerve injury and repair: from molecule to man. In : *Peripheral nerve surgery*. Edited by Slutsky DJ, Hentz V. Philadelphia : Churchill Livingstone Elsevier; 2006. p. 1-22.
- 13 Danielsen N, Varon S. Characterization of neurotrophic activity in the silicone-chamber model for nerve regeneration. *J Reconstr Microsurg* 1995; 11(3) : 231-5.
- 14 Doolabh VB, Mackinnon SE. FK506 accelerates functional recovery following nerve grafting in a rat model. *Plast Reconstr Surg* 1999; 103(7) : 1928-36.
- 15 Dvali L, Mackinnon S. The role of microsurgery in nerve repair and nerve grafting. *Hand Clin* 2007; 23(1) : 73-81.
- 16 Glasby MA, Gschmeissner S, Hitchcock RJ, Huang CL. Regeneration of the sciatic nerve in rats. The effect of muscle

- basement membrane. *J Bone Joint Surg Br* 1986; 68(5) : 829-33.
- 17 Glasby MA, Gschmeissner SE, Huang CL, De Souza BA. Degenerated muscle grafts used for peripheral nerve repair in primates. *J Hand Surg Br* 1986; 11(3) : 347-51.
 - 18 Hart AM, Wiberg M, Youle M, Terenghi G. Systemic acetyl-L-carnitine eliminates sensory neuronal loss after peripheral axotomy: a new clinical approach in the management of peripheral nerve trauma. *Exp Brain Res* 2002; 145(2) : 182-9.
 - 19 Herzberg G, Parmentier H, Erhard L. Assessment of functional outcome in hand transplantation patients. *Hand Clin* 2003; 19(3) : 505-9.
 - 20 Hu J, Zhu QT, Liu XL, Xu YB, Zhu JK. Repair of extended peripheral nerve lesions in rhesus monkeys using acellular allogenic nerve grafts implanted with autologous mesenchymal stem cells. *Exp Neurol* 2007; 204(2) : 658-66.
 - 21 Jaber FM, Abbas BP, Nezhad ST, Tanideh N. End-to-side neurorrhaphy: an experimental study in rabbits. *Microsurgery* 2003; 23(4) : 359-62.
 - 22 Kanje M, Rusovan A, Siken B, Lundborg G. Pretreatment of rats with pulsed electromagnetic fields enhances regeneration of the sciatic nerve. *Bioelectromagnetics* 1993; 14(4) : 353-9.
 - 23 Kelly EJ, Jacoby C, Terenghi G, Mennen U, Ljungberg C, Wiberg M. End-to-side nerve coaptation: a qualitative and quantitative assessment in the primate. *J Plast Reconstr Aesthet Surg* 2007; 60(1) : 1-12.
 - 24 Lazerges C, Daussin PA, Coulet B, Boubaker el Andalouisi R, Micallef JP, Chammas M, Reyne Y, Bacou F. Transplantation of primary satellite cells improves properties of reinnervated skeletal muscles. *Muscle Nerve* 2004; 29(2) : 218-26.
 - 25 Lundborg G. A 25-year perspective of peripheral nerve surgery: evolving neuroscientific concepts and clinical significance. *J Hand Surg Am* 2000; 25(3) : 391-414.
 - 26 Lundborg G. *Nerve Injury and Repair*. Edinburgh : Churchill Livingstone; 1988.
 - 27 Lundborg G, Richard P. Bunge memorial lecture. Nerve injury and repair - a challenge to the plastic brain. *J Peripher Nerv Syst* 2003; 8(4) : 209-26.
 - 28 Lundborg G, Dahlin LB, Danielsen N, Gelberman RH, Longo FM, Powell HC, Varon S. Nerve regeneration in silicone chambers: influence of gap length and of distal stump components. *Exp Neurol* 1982; 76(2) : 361-75.
 - 29 Lundborg G, Longo FM, Varon S. Nerve regeneration model and trophic factors in vivo. *Brain Res* 1982; 232(1) : 157-61.
 - 30 Mackinnon SE, Dellon AL. Clinical nerve reconstruction with a bioabsorbable polyglycolic acid tube. *Plast Reconstr Surg* 1990; 85(3) : 419-24.
 - 31 Manasseri B, Raimondo S, Geuna S, Risitano G, d'Alcontres FS. Ulnar nerve repair by end-to-side neurorrhaphy on the median nerve with interposition of a vein: an experimental study. *Microsurgery* 2007; 27(1) : 27-31.
 - 32 Martini R, Schachner M, Brushart TM. The L2/HNK-1 carbohydrate is preferentially expressed by previously motor axon-associated Schwann cells in reinnervated peripheral nerves. *J Neurosci* 1994; 14 : 7180-7191.
 - 33 McCallister WV, Tang P, Smith J, Trumble TE. Axonal regeneration stimulated by the combination of nerve growth factor and ciliary neurotrophic factor in an end-to-side model. *J Hand Surg* 2001; 26A : 478-488.
 - 34 McCallister WV, Tang P, Smith J, Trumble TE. Axonal regeneration stimulated by the combination of nerve growth factor and ciliary neurotrophic factor in an end-to-side model. *J Hand Surg Am* 2001; 26(3) : 478-88.
 - 35 McKay Hart A, Wiberg M, Terenghi G. Exogenous leukaemia inhibitory factor enhances nerve regeneration after late secondary repair using a bioartificial nerve conduit. *Br J Plast Surg* 2003; 56(5) : 444-50.
 - 36 Norris RW, Glasby MA, Gattuso JM, Bowden RE. Peripheral nerve repair in humans using muscle autografts. A new technique. *J Bone Joint Surg Br* 1988; 70(4) : 530-3.
 - 37 Pannucci C, Myckatyn TM, Mackinnon SE, Hayashi A. End-to-side nerve repair: Review of the literature. *Restor Neurol Neurosci* 2007; 25(1) : 45-63.
 - 38 Pereira JH, Bowden RE, Gattuso JM, Norris RW. Comparison of results of repair of digital nerves by denatured muscle grafts and end-to-end sutures. *J Hand Surg Br* 1991; 16(5) : 519-23.
 - 39 Ruwe PA, Trumble TE. A functional evaluation of cryopreserved peripheral nerve autografts. *J Reconstr Microsurg* 1990; 6(3) : 239-44.
 - 40 Schattelman GC, Langer T, Lanahan AA, Bothwell MA. Distribution of the 75-kD low-affinity nerve growth factor receptor in the primate peripheral nervous system. *Somatosens Mot Res* 1993; 10 : 415-432.
 - 41 Snyder AK, Fox IK, Nichols CM, Rickman SR, Hunter DA, Tung TH, Mackinnon SE. Neuroregenerative effects of preinjury FK-506 administration. *Plast Reconstr Surg* 2006; 118(2) : 360-7.
 - 42 Sondell M, Lundborg G, Kanje M. Vascular endothelial growth factor has neurotrophic activity and stimulates axonal outgrowth, enhancing cell survival and Schwann cell proliferation in the peripheral nervous system. *J Neurosci* 1999; 19(14) : 5731-40.
 - 43 Strauch B. Use of nerve conduits in peripheral nerve repair. *Hand Clin* 2000; 16(1) : 123-30.
 - 44 Trumble TE, Archibald S, Parisi D, Allan CH. Synthetic nerve conduits. In : *Peripheral nerve surgery*, Edited by Slutsky DJ, Hentz VR. Philadelphia : Churchill Livingstone Elsevier; 2006. p. 121-128.
 - 45 Trumble TE, Gunlikson R, Parvin D. Systemic immune response to peripheral nerve transplants across major histocompatibility class-I and class-II barriers. *J Orthop Res* 1994; 12(6) : 844-52.
 - 46 Trumble TE, Parvin D. Cell viability and migration in nerve iso-grafts and allografts. *J Reconstr Microsurg* 1994; 10(1) : 27-34.
 - 47 Trumble TE, Shon FG. The physiology of nerve transplantation. *Hand Clin* 2000; 16(1) : 105-22.
 - 48 Tseng CY, Hu G, Ambron RT, Chiu DT. Histologic analysis of Schwann cell migration and peripheral nerve regeneration in the autogenous venous nerve conduit (AVNC). *J Reconstr Microsurg* 2003; 19(5) : 331-40.
 - 49 Weber RA, Breidenbach WC, Brown RE, Jabaley ME, Mass DP. A randomized prospective study of polyglycolic acid conduits for digital nerve reconstruction in humans. *Plast Reconstr Surg* 2000; 106(5) : 1036-45; discussion 1046-8.
 - 50 Zhang J, Oswald TM, Lineaweaver WC, Chen Z, Zhang G, Zhang F. Enhancement of rat sciatic nerve regeneration by fibronectin and laminin through a silicone chamber. *J Reconstr Microsurg* 2003; 19(7) : 467-72.

Principes généraux des transferts musculotendineux

General principles in tendon transfers

C. FONTAINE ^{1,2}, G. WAVREILLE ^{1,2}, M.-Y. GRAUWIN ¹, C. CHANTELOT ¹

RÉSUMÉ

Les transferts tendineux sont nécessaires quand la chirurgie nerveuse de réparation n'a pas donné de résultats suffisants. Les données de physiologie musculaire indispensables à la compréhension de ces transferts sont rappelées. Les conditions à réunir pour obtenir les meilleures chances de succès sont expliquées. Les grands principes de réalisation, d'immobilisation et de rééducation des transferts sont précisés.

Mots clés : Paralyse. – Transfert. – Chirurgie palliative. – Biomécanique.

SUMMARY

Tendon transfers are necessary when direct nerve repair surgery has not given sufficient results. Muscular physiology data required for a correct understanding of these transfers are reminded. Conditions to fill to get the best chances of success are explained. Great principles of realization, immobilization and rehabilitation are clarified.

Key words: Paralysis. – Transfer. – Palliative surgery. – Biomechanics.

Avant de se lancer dans un transfert tendineux, il est capital d'avoir compris et de posséder la physiologie musculaire et la biomécanique articulaire, et d'appliquer cette connaissance à chaque cas, car chaque patient est un cas particulier. C'est le seul moyen d'offrir au patient la meilleure utilisation des ressources (parfois limitées) qu'il possède.

Un transfert tendineux utilise :

- un muscle moteur (dit donneur), dont l'insertion proximale reste en général attachée à son point d'origine (mais pas toujours : ce point peut aussi être déplacé, ou le muscle peut – rarement – être utilisé libre avec suture microchirurgicale de son pédicule vasculaire et de son nerf [25]), qui garde sa vascularisation et son innervation, et dont on déplace le point de terminaison ; il est indispensable qu'il ait une puissance suffisante ;
- parfois une poulie de réflexion pour changer la direction initiale du muscle et donner à son tendon une direction plus adaptée à l'effet que l'on attend de lui ;
- un point d'attache distal, en général le tendon distal d'un muscle paralysé (dit receveur) ou directement sur le squelette.

Le choix du muscle dans un transfert tendineux nécessite :

- de connaître les caractéristiques du muscle à remplacer (ou de la fonction à pallier) et celles des muscles transférables ;
- et de choisir le muscle transféré pour qu'il ait des caractéristiques aussi proches que possible de celles du muscle à pallier.

Muscle et ses annexes : définitions

Ce que l'on entend habituellement sous le nom de muscle comprend plusieurs composants aux caractéristiques biomécaniques très différentes :

- la partie charnue, faite de fibres musculaires, la seule qui soit contractile, et donc motrice ;
- la ou les parties tendineuses, organes de transmission par lesquels la partie contractile transmet le résultat de sa contraction aux pièces osseuses sur lesquelles elle s'attache ; ces tendons sont très peu extensibles ; ils s'étendent très loin à l'intérieur de la masse

¹ Laboratoire d'anatomie, faculté de médecine Henri-Warembourg, place de Verdun, 59045 Lille cedex, France

² Service d'orthopédie B, hôpital Roger-Salengro, CHRU de Lille, boulevard Émile-Laine, 59045 Lille cedex, France

charnue; on appelle *aponévrose* un tendon aplati et *tendon* un élément de section circulaire ou ovale; on appelle *insertion* ou *origine* l'attache proximale, et *terminaison* l'attache distale;

– les gaines conjonctives d'enveloppe ou *fascias*.

Avant d'étudier les muscles en tant qu'unités transférables, il faut se souvenir qu'un muscle est fait de fibres musculaires isolées et que le comportement biomécanique du muscle découle directement de celui de la fibre musculaire.

Caractéristiques anatomiques du muscle

Il s'agit de :

- la surface de section physiologique (*physiological cross-sectional area*);
- la longueur des fascicules musculaires;
- la longueur de la partie musculaire;
- la masse musculaire;
- l'angle de pennation, c'est-à-dire l'angle que font les fascicules musculaires avec le vecteur longitudinal représentant la direction du tendon.

Les caractéristiques des muscles du membre supérieur ont été étudiées en détail par Loren et Lieber [17, 18, 19, 20] et Jacobson et al. [15]. Les plus utiles d'entre eux peuvent être présentés sous forme d'histogrammes (figures 1 et 2). Ces données sont plus récentes, plus complètes et plus complexes à utiliser que celles de Brand [7, 27] (tableau 1).

Ces données de base peuvent être rapportées les unes aux autres, permettant la comparaison des différents muscles entre eux, au niveau de l'avant-bras (figure 1) et de la main (figure 2).

Ces caractéristiques anatomiques élémentaires sont responsables des caractéristiques fonctionnelles :

- force, liée à la *cross-sectional area*;
- vitesse de contraction;
- excursion.

Ces caractéristiques entreront pour une grande part dans les critères de sélection des transferts, à côté d'autres plus contingents, comme la disponibilité, la morbidité, l'intégrité, la synergie, le trajet à donner au transfert, l'expérience et les préférences du chirurgien.

Caractéristiques fonctionnelles du muscle

Force développée

La force développée est liée à la *cross-sectional area* du muscle. Plus la *cross-sectional area* est grande, plus la force développée par le muscle est importante. La

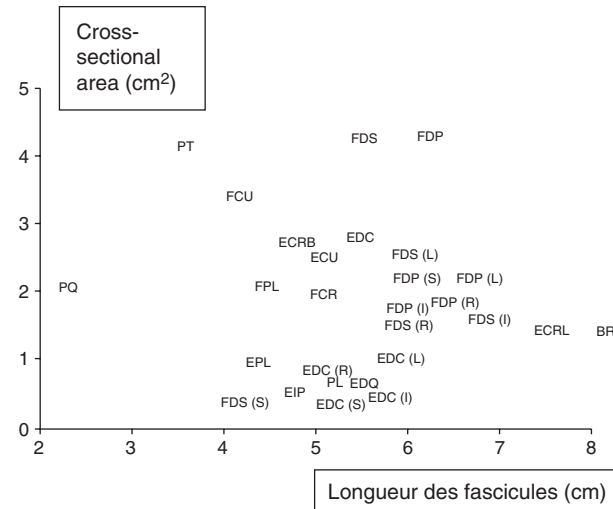


Figure 1. Relation «longueur des fascicules/cross-sectional area» des principaux muscles antébrachiaux, permettant de croiser les capacités d'excursion et la puissance. En bas, les muscles faibles (chaque extenseur de chaque doigt, fléchisseur superficiel du petit doigt), en haut les muscles puissants (rond pronateur PT, fléchisseur superficiel des doigts dans son ensemble FDS, extenseur commun des doigts dans son ensemble FDP), à gauche les muscles à faible excursion (carré pronateur PQ), à droite les muscles à grande excursion (brachio-radial BR, long extenseur radial du carpe ECRL). Le meilleur transfert serait un des muscles les plus proches de celui à remplacer (d'après Lieber et al. [17]).

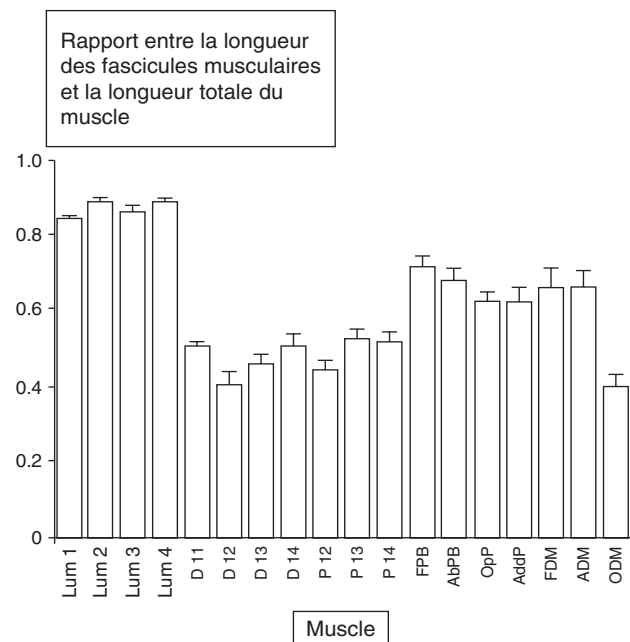


Figure 2. Rapport entre la longueur des fascicules musculaires et la longueur totale du muscle (d'après Jacobson et al. [15]).

Tableau 1

Les muscles de l'avant-bras. Longueur moyenne des fibres musculaires au repos (L, en cm), masse musculaire (M, en %) et force relative (FR, en %), mesurées sur 15 mains adultes (d'après Brand [7]), force absolue (FA, en kgf, d'après Fick [14] et Ketchum et al. [16]) et excursion maximale des tendons (E, en cm, d'après Boyes [6])

Muscle	L	M	FR	FA	E
Rond pronateur	5,1	5,6	5,5	1,2	5
Fléchisseur radial du carpe	5,2	4,2	4,1	0,8	4
Palmaire long	5	1,2	1,2		
Fléchisseur ulnaire du carpe	4,2	5,6	6,7	2	3,3
Fléchisseur superficiel du II	7,2	2,9	2	6,91	6,4
Fléchisseur superficiel du III	7	4,7	3,4	7,63	6,4
Fléchisseur superficiel du IV	7,3	3	2	6,21	6,4
Fléchisseur superficiel du V	7	1,3	0,9	3,77	6,4
Fléchisseur profond du II				6,18	7
Fléchisseur profond du III	6,6	4,4	3,3	5,77	7
Fléchisseur profond du IV				5,54	7
Fléchisseur profond du V				5,27	7
Long fléchisseur du pouce	5,9	3,2	2,7	1,2	5
Brachioradial	16,1	7,7	2,4	1,9	1,3
Long extenseur radial du carpe	9,3	6,5	3,5	1,1	3,6
Court extenseur radial du carpe	6,1	5,1	4,2	0,9	3,7
Extenseur des doigts	6	2,2	1,9	1,7	4,5
Extenseur du petit doigt	5,9	1,2	1		
Extenseur ulnaire du carpe	4,5	4-4,2	4,1-4,5	1,1	3,3
Long abducteur du pouce	4,6	2,8	3,1	0,1	2,8
Court extenseur du pouce	4,3	0,7	0,8	0,1	2,8
Long extenseur du pouce	5,7	1,5	1,3	0,1	5,8
Extenseur propre de l'index	5,5	1,1	1		

cross-sectional area est mesurée perpendiculairement aux fascicules musculaires, ce qui permet de prendre en compte l'angle de pennation.

Elle a été précisée par Ketchum et al. [16] (tableau 1) en valeur absolue et Fick [14] (tableau 1), et par Brand [8] (tableau 1) en valeur relative.

Excursion et vitesse de contraction

L'excursion et la vitesse de contraction sont liées à la longueur des fascicules. Plus les fascicules sont longs,

plus l'excursion et la vitesse de contraction (pour une fibre musculaire de même nature) seront importantes.

L'excursion est l'amplitude de la course qu'autorise le glissement tendineux.

Il apparaît évident que le transfert d'un muscle à courte excursion sur un tendon à longue excursion va limiter le mouvement que l'on cherche à restaurer. D'où le souci constant du chirurgien de chercher à transférer un tendon de course voisine de celle du tendon paralysé. Ainsi (tableau 1) le transfert de l'extenseur propre de l'index est-il un excellent transfert

pour réanimer le long extenseur du pouce, mais la réanimation de l'extenseur commun des doigts par l'un des extenseurs radiaux du carpe risque de limiter la fermeture du poing (course inférieure de 1 cm). La course des tendons est différente selon le mouvement considéré (tableau 2).

Tension musculaire

Tension du sarcomère : courbes de Brand et de Blix

Chaque fibre musculaire est caractérisée par la succession de sarcomères. Les sarcomères sont composés de molécules d'actine et de myosine qui glissent les unes sur les autres (figure 3); lorsque l'imbrication des molécules d'actine et de myosine est maximale, la fibre musculaire ne peut plus se raccourcir, sa contraction a atteint sa limite; lorsque l'imbrication des molécules d'actine et de myosine est minimale, la fibre musculaire est étirée, elle a sa plus grande longueur possible.

La courbe tension-longueur d'un sarcomère isolé (Elftman [13]) traduit la tension (force) développée par un sarcomère à différents degrés de contraction et d'étirement (figure 4).

Une courbe presque identique peut représenter le fonctionnement d'une fibre musculaire, qui n'est somme toute que la succession de sarcomères, de son origine à son insertion sur le tendon; l'échelle verticale devra simplement être adaptée au nombre de sarcomères en parallèle et l'échelle horizontale au nombre de sarcomères en série.

La ligne pointillée indique la longueur de repos du sarcomère; c'est la longueur à laquelle chaque fibre du muscle est en équilibre avec les autres fibres et c'est aussi la longueur où elle peut produire la tension maximale. La tension qu'un sarcomère peut développer diminue au fur et à mesure qu'il se raccourcit et atteint zéro, avant qu'il se soit raccourci de la moitié de la longueur de repos. Mais la tension diminue aussi

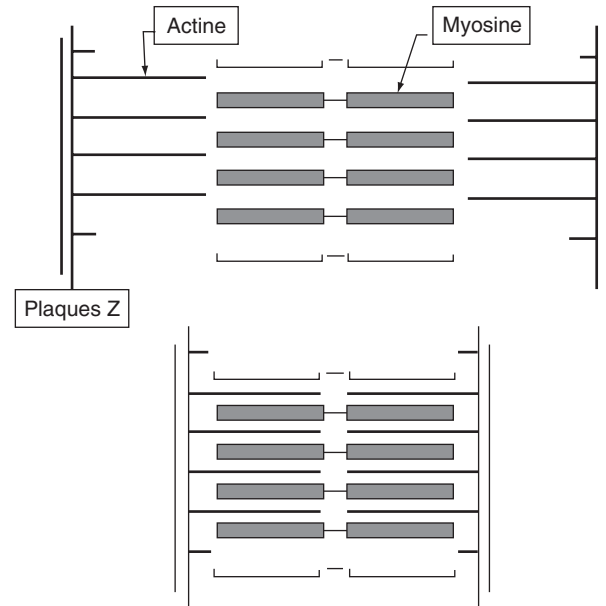


Figure 3. Disposition des sarcomères lorsque le muscle est étiré (en haut) et lorsque le muscle est contracté (en bas).

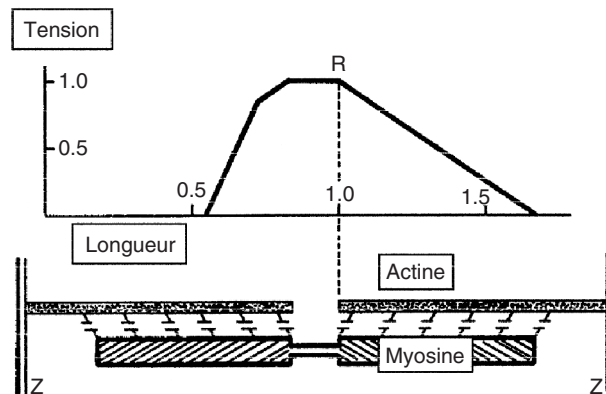


Figure 4. A. Courbe tension-longueur d'un sarcomère isolé. R, longueur de repos physiologique. B. Diagramme d'un sarcomère présentant une paire de ligaments d'actine et de myosine entre une paire de plaques Z (d'après Elftman [13]).

Tableau 2
Course des tendons (en mm) selon la position du poignet (d'après Bonnel [4])

Muscle	Flexion	Extension	Inclinaison radiale	Inclinaison ulnaire
Fléchisseur radial du carpe	20	20	2	4
Fléchisseur ulnaire du carpe	13	20	6	9
Long extenseur radial du carpe	16	21	8	16
Court extenseur radial du carpe	16	21	4	12
Extenseur ulnaire du carpe	14	4	3	22

au fur et à mesure que le sarcomère est étiré et atteint zéro peu après qu'il a été étiré de 50 % de la longueur de repos.

Il s'ensuit qu'un muscle transféré avec une tension insuffisante ou trop forte ne sera pas placé dans la position idéale pour développer sa puissance maximale.

Par expérience, nous savons que les muscles peuvent exercer une bonne tension quand ils sont étirés, mais il est important de réaliser qu'il s'agit pour l'essentiel d'un rappel élastique passif, pas d'une contraction active. Cela signifie que plus la fibre musculaire s'éloigne de sa longueur de repos, moins la tension dans laquelle elle se trouve est due à sa contraction active et est sous le contrôle de son nerf moteur.

Nous voyons enfin que l'excursion d'un sarcomère (et donc d'une fibre musculaire), entre l'étirement maximal et la contraction maximale, est à peu près égale à sa longueur de repos; cela signifie que, si l'on mesure la longueur d'une fibre musculaire in situ, le membre au repos, cette mesure représente l'excursion potentielle théorique de ce muscle.

L'excursion au cours de laquelle le muscle peut exercer au moins 50 % de sa contraction active maximale représente environ les deux tiers de l'excursion potentielle, soit les deux tiers de la longueur de repos (figure 5).

L'excursion d'un muscle est proportionnelle à la longueur des fibres musculaires, car chaque fibre est faite de sarcomères en série. La tension musculaire est proportionnelle à la surface de section de toutes les fibres musculaires, cette surface de section est faite de sarcomères parallèles.

Puisque le travail musculaire est le résultat de la tension multiplié par la distance parcourue au cours

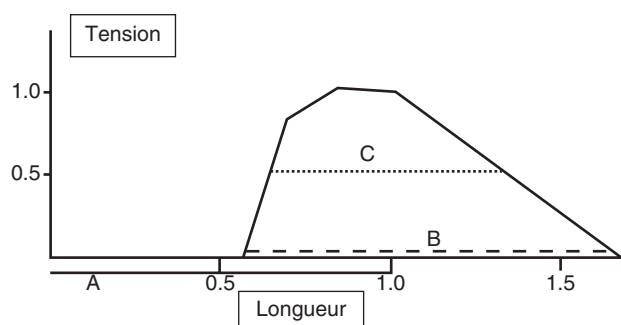


Figure 5. Courbe tension-longueur d'un sarcomère isolé, ne prenant en compte que la tension active (à l'exclusion de l'étirement passif). En condition d'utilisation extrême, l'amplitude d'une fibre musculaire (B, tirets) est à peu près égale à sa longueur de repos (A). La ligne pointillée (C) montre qu'une tension au moins égale à 50 % de la tension maximum peut être maintenue sur environ les deux tiers de la longueur de repos (d'après Elftman [13]).

du travail, il est proportionnel au produit de la longueur de ses fibres par la surface de section de toutes les fibres, c'est-à-dire le volume musculaire. La relation entre ces trois variables peut être représentée schématiquement par le schéma de Brand (figure 6), montrant trois muscles simplifiés faits de quatre fibres longues de 1 cm chacune, pouvant développer une tension de 1 g chacune; si les quatre fibres musculaires sont placées l'une à côté de l'autre, en parallèle (figure 6A), elles peuvent développer une tension de 4 g et ont une excursion de 1 cm; si elles sont disposées en deux paires de deux fibres musculaires (figure 6B), elles peuvent développer une tension de 2 g et ont une excursion de 2 cm; si les quatre fibres musculaires sont placées l'une après l'autre, en série (figure 6C), elles peuvent développer une tension de 1 g et ont une excursion de 4 cm. La masse de chacun de ces muscles est la même, et le travail accompli par chacun d'entre eux est le même.

Il est possible d'augmenter la surface de section d'un muscle par l'exercice et le travail, mais il n'est pas possible de changer la longueur des fibres musculaires avant l'opération; en revanche, comme le corps humain maintient la tension de repos de toutes les fibres musculaires au même niveau, si l'on coupe le tendon et qu'on le rattache sous une plus grande tension, le muscle va fabriquer de nouveaux sarcomères jusqu'à ce que le muscle retrouve la tension d'équilibre avec les autres muscles.

Il n'est pas suffisant de regarder superficiellement le muscle pour en déduire ses capacités. Les deux muscles présentés à la figure 7 ont la même forme, la même taille, la même masse, mais le muscle A est

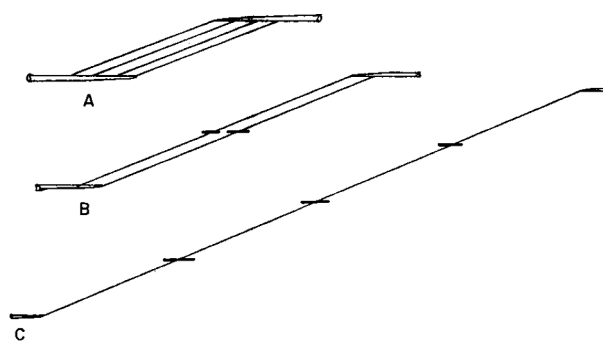


Figure 6. Effets différents sur la physiologie musculaire de la disposition en série ou en parallèle des fibres musculaires. A, quatre fibres musculaires en parallèle. B, deux paires en série de deux fibres musculaires en parallèle. C, quatre fibres musculaires en série, ou une fibre musculaire quatre fois plus longue que les fibres présentées en A. La disposition A exerce une tension quatre fois supérieure à celle développée dans la disposition C. Les trois dispositions sont capables de développer la même quantité de travail (d'après Brand [8, 9]).

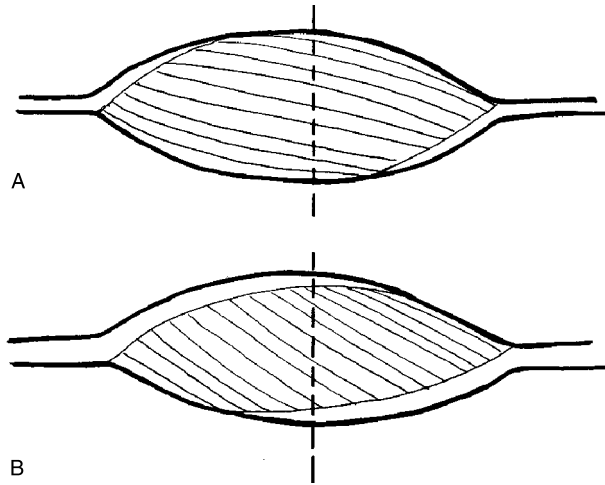


Figure 7. Les deux muscles A et B se ressemblent et ont la même masse. Le tendon du muscle A est plus fin que celui du muscle B et court dans ou à la surface du muscle sur une distance plus courte; ses fibres musculaires sont longues et peu nombreuses. Le tendon du muscle B est court sur presque toute la longueur du muscle et son origine recouvre son insertion; ses fibres musculaires sont courtes et nombreuses. Une section perpendiculaire au ventre du muscle (tirets) coupe toutes les fibres musculaires du muscle A et la surface de section représente la somme de la section de toutes les fibres. Pour le muscle B, la section n'intéresse que la moitié des fibres; pour sectionner toutes les fibres musculaires, il faudrait réaliser une coupe oblique longue. A est plus faible que B et a une longue excursion; B est plus fort que A et a une courte excursion; mais les deux sont capables de la même quantité de travail.

fait de fibres longues peu nombreuses, et le muscle B est fait de nombreuses fibres courtes. Le muscle A est faible, mais il a une longue excursion (muscle fusiforme), le muscle B est fort, mais il a une excursion limitée (muscle penniforme). Tous deux peuvent faire le même travail. Brand a fourni un tableau des propriétés de différents muscles du membre supérieur.

Biomécanique d'une fibre musculaire dans un environnement tissulaire normal

Toutes les qualités mécaniques que nous venons de décrire sont modifiées par les qualités mécaniques des tissus mous qui entourent et soutiennent le muscle lui-même.

Le diagramme le plus connu d'interaction entre les composantes passive et active du comportement musculaire est la courbe de Blix (figure 8A). Elle montre que la capacité totale de tension d'un muscle ne dimi-

nue pas lorsqu'il est étiré, mais reste environ au même niveau que celui de la fibre au repos. Plus le muscle est étiré, moins sa tension contractile est due à sa contraction active et plus elle est due au rappel élastique.

La courbe de la composante passive de Blix (figure 8) présente un long profil bas dans la première moitié de la courbe, et une montée de tension abrupte près de la fin de la capacité d'étirement. Cela est typique des courbes stress/effort des tissus biologiques destinés au mouvement, dont la matrice a une structure permettant le déplissement ou le réarrangement des fibres qui les constituent. Il faut un très petit stress pour augmenter la longueur apparente d'une fibre par déplissement ou déroulement, mais beaucoup plus de stress pour étirer réellement sa substance. Ce type de comportement du tissu aréolaire péri-tendineux est similaire à celui des bas en nylon (Brand, 1985) : quand on enfle le bas et qu'il se moule sur la jambe, les fibres de nylon se déplissent d'abord sans difficulté, puis, quand le déplissement est complet, les fibres commencent à s'allonger, et cela nécessite plus de tension. À l'inverse, dans un tendon, un ligament ou un fascia, qui ne doivent pas s'allonger sous tension, les fibres sont parallèles les unes aux autres et rectilignes; aucun réarrangement des fibres entre elles n'est possible, et leur courbe tension longueur est abrupte presque dès le départ.

Cela a deux conséquences pratiques. La première concerne le remplacement d'un tissu compliant par un tissu cicatriciel moins compliant après l'intervention; on en verra l'intérêt dans le chapitre suivant. La seconde concerne les modifications qui suivent les schémas d'utilisation normale et pathologique. Les fibres musculaires changent leur longueur rapidement en raccourcissant et en allongeant leurs sarcomères. Elles peuvent changer lentement leur longueur par addition ou résorption de sarcomères en réponse à des modifications permanentes de la position de repos du muscle. Elles ne changent probablement pas leur longueur en fonction des schémas d'utilisation normale et pathologique. D'autre part, les tissus conjonctifs péri-musculaires semblent répondre beaucoup plus aux schémas d'utilisation normale et pathologique. Quand les coureurs se préparent à une course, ils disent qu'ils étirent les muscles de leurs mollets; en fait, ils étirent les tissus conjonctifs intra et péri-musculaires. À l'inverse, quand un membre est immobilisé pendant plusieurs mois, les fibres musculaires qui ne bougent pas ne deviennent pas plus courtes en réponse à une diminution de leur excursion, mais la peau et les tissus conjonctifs se rétractent et deviennent plus courts, ce qui rend difficile la restauration du mouvement à l'ablation du plâtre.

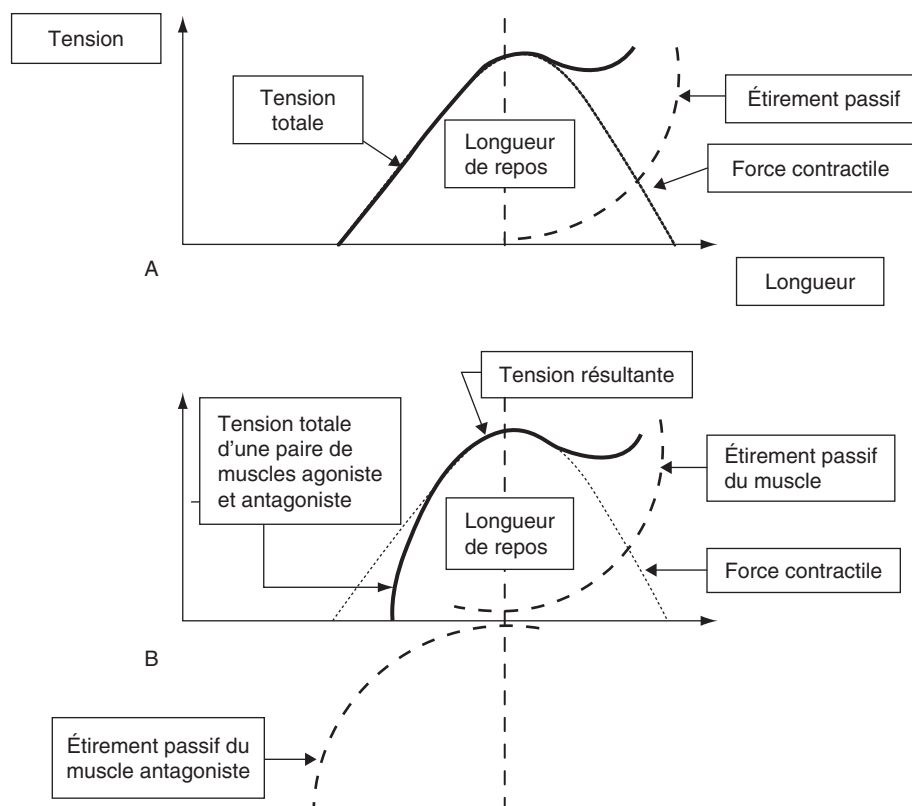


Figure 8. A. Courbe de Blix. La ligne grasse est la somme algébrique de la contraction active (ligne pointillée) et du rappel dû à l'étirement passif (tirets). B. Courbe de Brand intégrant non seulement la contraction active (ligne pointillée) et du rappel dû à l'étirement passif (tirets), mais aussi la courbe soustraite de l'activité primaire du muscle (tirets).

Biomécanique d'un muscle total dans un membre normal

Muscles agonistes et antagonistes

On ne peut se contenter d'étudier un muscle isolé. Il faut reconnaître combien chaque muscle doit à son « antagoniste » et combien cela leur est mutuellement bénéfique. Blix [1-3] avait déjà montré que la plus grande partie de la tension qu'un muscle étiré peut exercer est due à la libération de l'énergie potentielle qu'il a emmagasinée pendant son étirement. Mais, dans sa courbe, il ne tenait pas compte du muscle « antagoniste » qui génère cette tension. En fait, les muscles agissent plus en partenaires qu'en antagonistes ; quand l'un avance, l'autre recule, comme des partenaires qui dansent ; ensemble, ils peuvent maintenir des postures qu'ils ne pourraient pas produire seuls.

Sur la figure 8B, Brand (1986) a modifié la courbe de Blix en y incluant l'effet négatif (c'est-à-dire à sous-

traire) de la mise en tension passive du muscle antagoniste (tirets). La ligne grasse représente la somme de la contraction active, de l'étirement passif du muscle considéré M et la tension passive du muscle antagoniste O .

Chaque muscle dans un membre intact se sert de son antagoniste quand il est étiré et lui retourne son aide en donnant sa tension à la fin de son excursion.

Il est important que le chirurgien regarde des deux côtés du membre qu'il veut opérer et évalue la balance globale avant tout transfert musculaire : il ne faut pas transférer un muscle fort s'il ne dispose pas d'antagoniste assez fort pour l'amener à un point où il puisse commencer son action réelle.

Cette balance n'est pas toujours équilibrée, et il n'est pas nécessaire de rétablir une égalité des forces là où elle n'existe pas. Ainsi, les fléchisseurs des doigts sont constitutionnellement plus forts que les extenseurs des doigts ; ainsi, pour Ketchum [16], les fléchisseurs superficiel et profond des doigts développent respecti-

vement 7,63 et 5,77 kg, l'extenseur des doigts seulement 4,47 kg.

Muscles synergiques

La synergie est la contraction simultanée de plusieurs muscles, qui permet d'accroître l'efficacité de chacun d'eux. Ainsi, il y a parfaite synergie entre les fléchisseurs des doigts et les extenseurs du poignet d'une part, entre les extenseurs des doigts et les fléchisseurs du poignet. Le transfert d'un muscle synergique à celui que l'on veut remplacer est a priori plus facilement intégrable par l'opéré.

Muscles mono et polyarticulaires

Il faut distinguer :

- les muscles *monoarticulaires*, qui ne croisent qu'une articulation et n'agissent directement que sur celle-ci : leur mode de fonctionnement est facilement compréhensible;
- les muscles *polyarticulaires*, qui croisent plusieurs articulations et peuvent agir sur toutes celles-ci : leur mode de fonctionnement est plus difficilement compréhensible.

L'action prédominante et initiale d'un muscle polyarticulaire s'exerce sur l'articulation la plus distale, puis, lorsque celle-ci a atteint son développement maximal ou que l'articulation en question est bloquée, elle agit sur les articulations d'aval.

L'action d'un muscle polyarticulaire sur l'articulation distale est conditionnée par la position de l'articulation proximale; ainsi, le brachioradial et le long extenseur radial du carpe, qui prennent leur insertion sur le bord latéral de l'humérus au-dessus de l'épicondyle latéral, perdent une partie de leur action lorsque le coude est fléchi.

- le moment fléchissant, qui dépend de :
 - la puissance déployée,
 - le bras de levier;
 - l'excursion ou course.

Puissance ou force déployée

Elle dépend, on l'a vu, de la *cross-sectional area*.

Bras de levier

Le bras de levier (*moment arm*, en anglais) est la longueur du segment perpendiculaire qui sépare le tendon du centre de rotation de l'articulation (figure 9).

Moment fléchissant MF

Il s'agit du produit de la puissance déployée P par le bras de levier H : $MF = P \times H$.

Par exemple, une force de 1 kg avec un bras de levier de 10 cm a le même moment fléchissant qu'une force de 0,5 kg avec un bras de levier de 20 cm.

Lors d'un transfert tendineux, on peut optimiser le moment fléchissant du transfert en augmentant son bras de levier, par exemple en choisissant son point d'insertion et/ou sa poulie de réflexion. Mais, en faisant cela, on accepte de limiter la mobilité articulaire; en effet, en augmentant le bras de levier, on augmente l'excursion nécessaire pour produire le même mouvement; comme l'excursion est limitée, la mobilité autorisée est ainsi limitée (figure 9). Cela est illustré par l'opération de Steindler : le transfert des muscles épicondyliens médiaux fléchisseurs-pronateurs en un point plus proximal de l'humérus augmente leur bras de levier, donc leur moment fléchissant : la flexion du coude est plus puissante, mais son amplitude est diminuée.

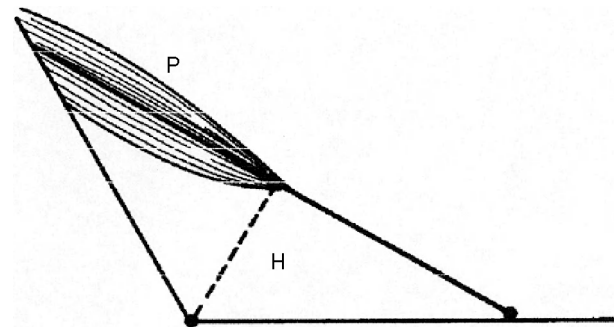


Figure 9. Le moment fléchissant (moment, torque, en anglais) est le produit de P, la puissance du muscle, par H, le bras de levier, c'est-à-dire la perpendiculaire du tendon au centre de rotation de l'articulation.

Biomécanique du muscle transféré dans sa nouvelle position

On dit classiquement qu'un muscle transféré s'affaiblit. Dans la cotation internationale, où les muscles normaux sont cotés à 5 et les muscles paralysés à 0, on dit que le muscle perd un point après son transfert. Si c'est vrai, ce n'est pas dû à la perte de la capacité de tension du muscle transféré. Le muscle est probablement aussi bon qu'il l'était avant son transfert.

Son mode de fonctionnement est caractérisé par plusieurs paramètres physiques :

Excursion

C'est l'amplitude de la course qu'autorise le glissement tendineux. Il apparaît évident que le transfert d'un muscle à courte excursion sur un tendon à longue excursion va limiter le mouvement que l'on cherche à restaurer. D'où le souci constant du chirurgien de chercher à transférer un tendon de course voisine de celle du tendon paralysé. Ainsi le transfert de l'extenseur propre de l'index est-il un excellent transfert pour réanimer le long extenseur du pouce, mais la réanimation de l'extenseur commun des doigts par l'un des extenseurs radiaux du carpe risque de limiter la fermeture du poing (course inférieure de 1 cm).

La course des tendons entraîne des effets non linéaires sur les articulations croisées, comme l'ont bien montré Brunelli et al. [10, 11] sur les tendons fléchisseurs.

Rôle préalable du transfert

Il ne s'agit pas seulement de dresser la liste des muscles paralysés et celle des muscles « disponibles », comme s'il s'agissait seulement de pallier une faiblesse spécifique par le transfert d'une force équivalente, comme si le muscle « disponible » que l'on envisageait de transférer n'avait aucun rôle et que son déroutage ne pouvait pas créer d'effet parasite.

Il est indispensable de vérifier que le prélèvement de l'un d'entre eux ne supprime pas le dernier moteur d'un mouvement élémentaire. Par exemple, l'utilisation de l'extenseur ulnaire du carpe dans la réanimation radiale supprime le dernier muscle adducteur du poignet, puisque l'extenseur ulnaire du carpe est déjà paralysé.

Au total, le bon transfert est celui qui n'affaiblit pas complètement un groupe musculaire, dont la course est voisine et la force égale ou supérieure au tendon qu'il cherche à remplacer. Quand son trajet n'est pas identique à celui du tendon d'origine, une poulie de réflexion permettra de lui donner un angle d'attaque approprié.

Considérations à prendre en compte avant tout transfert tendineux [5, 12, 21-24, 26]

– L'état du patient est stabilisé, il n'y a plus d'espoir d'amélioration (ni d'aggravation), notamment au prix d'autres opérations (décompression, suture, greffe, neurotisation sur les nerfs, suture tendineuse ou mus-

culaire secondaire). On considère habituellement un transfert tendineux au terme d'un an en l'absence de réparation nerveuse, à la fin de la période estimée de repousse nerveuse (1 mm par jour dans les premiers mois, plus lente ensuite).

– La mobilité des articulations à réanimer est maximale; si nécessaire, une correction des rétractions cutanées, musculaires ou capsulaires doit être réalisée avant le transfert (kinésithérapie, attelles de position, arthrolyse). En effet, la raideur préopératoire ne pourra qu'augmenter à la faveur de l'immobilisation postopératoire et le transfert, habituellement moins puissant que le muscle primitif, aura des difficultés à vaincre la résistance surajoutée par la raideur.

– Les antagonistes ne doivent pas être trop puissants.
– Le lit de parties molles, dans lesquelles le transfert doit passer, doit être de bonne qualité; elles ne doivent plus être dans un état inflammatoire, comme celui qui suit pendant quelques mois une intervention récente; il peut être nécessaire de l'améliorer avant le transfert tendineux par un lambeau de bonne qualité, ou de choisir un autre transfert passant par un meilleur lit de parties molles. Il faut éviter le passage sous des greffes de peau, sur une surface osseuse irrégulière, qui peuvent développer des adhérences, ou de croiser du matériel d'ostéosynthèse, sur lequel il pourrait se fragiliser et se rompre.

– La fonction du muscle transféré est prise en charge par un autre muscle (fonction « en double »).

– La rééducation postopératoire peut être faite et suivie correctement.

Choix du tendon à transférer

[5, 12, 21-24, 26]

– Faire la liste des grandes fonctions à pallier.
– Faire la liste des tendons disponibles, en privilégiant des muscles dont l'absence peut être palliée par d'autres muscles actifs.
– Choisir un muscle de la force appropriée. On considère qu'un muscle transféré perd un point sur l'échelle internationale de cotation musculaire qui va de 0 à 5. Il ne faut donc transférer que des muscles dont la contraction permet un mouvement d'amplitude complète contre résistance partielle (cotation 4) ou totale (cotation 5).

S'il y en a plusieurs, choisir celui dont le trajet sera le plus efficace, dont les caractéristiques fonctionnelles seront proches du muscle à remplacer, synergiques, et dont le prélèvement aura la morbidité la plus réduite possible.

Grands principes de réalisation pratique

Dissection [5, 12, 21-24, 26]

La dissection doit respecter le ou les pédicules vasculo-nerveux du muscle à transférer.

Il faut libérer le muscle à transférer depuis son tendon distal jusqu'à son pédicule vasculonerveux, en excisant les fascias et les septums intermusculaires sur lesquels il s'insère.

Trajet

Il doit être le plus direct possible, en évitant au maximum les changements de direction importants, sauf quand une poulie de réflexion est nécessaire pour donner au tendon transféré une direction qu'il ne pourrait pas avoir autrement; en effet, ces angulations sont la source d'adhérences et de perte d'efficacité.

Deux écoles s'affrontent encore : 1) ceux qui font l'essentiel du trajet par tunnellisation sous-cutanée, avec l'espoir que l'absence de dissection étendue évite les adhérences [7-9]; et 2) ceux qui préfèrent réaliser de grandes voies d'abord sur tout le trajet du transfert, tendons et muscles compris, croisant le trajet du transfert plutôt que de le suivre ou de lui être parallèle [25].

Prolongation

Chaque fois que cela est possible, il faut éviter les greffes tendineuses qui prolongent un tendon transféré trop court, cela est également générateur d'adhérences, nécessaires à la survie vasculaire de la greffe intercalée, habituellement non vascularisée.

Tension du transfert

C'est un point capital, car, si le transfert est insuffisamment tendu, la contraction musculaire s'épuisera jusqu'à sa mise en tension et dans les adhérences post-opératoires, et, s'il est trop tendu, il limitera le jeu articulaire, voire ne permettra pas le raccourcissement du corps charnu.

Il est communément admis que le transfert tendineux se détend pendant la période d'immobilisation et de rééducation, aussi est-il recommandé de le tendre un peu plus que la tension naturelle du tendon remplacé. Celle-ci peut être appréciée par comparaison avec le côté opposé (par exemple la position des doigts longs

et du pouce, appréciée en position neutre, et en légère extension).

S'il faut réanimer une fonction paralysée, il ne faut pas pour autant brider la fonction antagoniste. Sous tension maximale du transfert, cette dernière doit encore être possible; ainsi un transfert réanimant la flexion des doigts doit-il permettre l'ouverture complète de la main et des doigts, et un transfert réanimant l'extension des doigts doit-il permettre la fermeture du poing.

Lors du transfert d'un muscle biarticulaire, la tension sera donnée sur l'articulation distale en maintenant l'articulation proximale dans une position telle que le transplant y soit mis en tension. La détente qui suivra automatiquement l'immobilisation du transfert sera récupérée lors de la mobilisation de l'articulation proximale.

Technique de suture

Chaque fois que cela sera possible, une grande surface d'affrontement sera recherchée, en passant plusieurs fois le tendon transplanté dans le tendon receveur selon la technique de Pulvertaft. Les sutures seront réalisées par des points en X, de préférence au monofil non résorbable non tressé de calibre 2/0 ou 3/0, parfaitement inertes, de façon à éviter les adhérences que pourrait générer l'usage d'un fils tressé résorbable.

Immobilisation

Une immobilisation est indispensable pendant trois ou quatre semaines, dans une position de relâchement maximum des tendons transférés. Lorsqu'elle est possible, la mobilisation passive du ou des tendon (s) transféré (s), sous couvert de l'immobilisation, est souhaitable pour éviter ou limiter au maximum les adhérences dans le foyer opératoire. L'appareil d'immobilisation est un appareil circulaire, bien rembourré, confectionné en résine et fendu immédiatement.

Rééducation

Elle comporte une première phase de récupération des amplitudes articulaires et de réentraînement des muscles transférés à la contraction, guidée par le kinésithérapeute, puis une deuxième phase de sollicitations dans les mouvements de la vie courante, contrôlée par l'ergothérapeute, pour que l'utilisation du transfert devienne inconsciente et automatique.

RÉFÉRENCES

- 1 Blix M. Die Länge und die Spannung des Muskels. Skand Arch Physiol 1891; 3 : 295-318 (cité par Brand).
- 2 Blix M. Die Länge und die Spannung des Muskels. Skand Arch Physiol 1893; 4 : 399-409 (cité par Brand).
- 3 Blix M. Die Länge und die Spannung des Muskels. Skand Arch Physiol 1894; 5 : 149-206 (cité par Brand).
- 4 Bonnel F, Péruchon E. Bases biomécaniques des transferts musculotendineux. In : Tubiana R. Traité de chirurgie de la main. Paris : Masson; 1991. p. 67-81.
- 5 Botte MJ, Pacelli LL. Basic principles in tendon transfer surgery. In : Frieden J. Tendon transfers in reconstructive surgery. London, New York (NY) : Taylor & Francis; 2005. p. 29-49.
- 6 Boyes JH. Tendon transfer for radial palsy. Bull Hosp Joint Dis 1960; 21 : 97.
- 7 Brand PW. Biomechanics of tendon transfer. Orthop Clin N Am 1974; 5 : 205.
- 8 Brand PW, Beach RB, Thompson DE. Relative tension and potential excursion of muscle in the forearm and hand. J Hand Surg 1981; 6 : 209-19.
- 9 Brand PW. Biomechanics of tendon transfer. In : LAMB DW. The paralysed hand. Edinburgh, London, Melbourne, New York (NY) : Churchill Livingstone; 1987. p. 190-213.
- 10 Brunelli F, De Bellis U, Haerl M. Étude sur les rapports entre la course des tendons fléchisseurs et l'enroulement digital. Proposition d'un test peropératoire dans la ténolyse des fléchisseurs. Main 2001; 2B : 284.
- 11 Brunelli F, De Bellis U, Sanguina M, Papalia I, Serra MP. An anatomical study of the relationship between excursion of the flexor tendons and digital mobility : proposition of an intraoperative test for flexor tendon tenolysis. Surg Radiol Anat 2001; 23 : 243-8.
- 12 Bunnell S. Surgery of the hand. Philadelphia (PA) : Lippincott; 1951.
- 13 Elftman H. Biomechanics of muscle. J Bone Joint Surg 1966; 48A : 363-7.
- 14 Fick R. Handbuch der anatomie und mechanik der gelenke unter berücksichtigung der bewegenden muskeln. Vol. 3 : Spezielle gelenk- du muskel-mechanik. Jena : G Fischer; 1911.
- 15 Jacobson MD, Raab R, Fazeli BM, et al. Architecture of selected muscles of the arm and forearm : anatomy and implication for tendon transfer. J Hand Surg (Am) 1992; 17A : 787-798.
- 16 Ketchum L, Brand P, Thompson D. The determination of moments for extension of the wrist generated by muscles of the forearm. Hand Surg 1978; 3 : 205-210.
- 17 Lieber RL, Jacobson MD, Raab R, Fazeli BM, et al. Architecture design of the human intrinsic hand muscles. J Hand Surg 1992; 17 : 804-9.
- 18 Lieber RL, Brown CG. Quantitative method for comparison of skeletal muscle architectural properties. J Biomech 1992; 25 : 557-60.
- 19 Loren GJ, Lieber RL. Tendon biomechanical properties enhance human wrist muscle specialization. J Biomech 1995; 28 : 791-9.
- 20 Mayer L. The application of the physiological principle to tendon transfer. Am J Surg 1918; 32 : 1.
- 21 Merle M. Transferts tendineux dans la main paralytique. In : Simon L, Allieu Y, éd. Paralysies nerveuses périphériques du membre supérieur. Paris : Masson; 1991. p. 125-36.
- 22 Merle M. Principes des transferts tendineux à la main. Cahier d'enseignement de la Société française de chirurgie de la main n° 3. Paris : Expansion scientifique; 1991. p. 37-47.
- 23 Moutet F. La réanimation de l'extension de la main et des doigts en dehors des lésions plexiques. Cahier d'enseignement de la Société française de chirurgie de la main n° 11. Paris : Expansion Scientifique; 1999. p. 61-76.
- 24 Revol M, Servant JM. Paralysies de la main et du membre supérieur. Analyse et principes thérapeutiques. Paris : MEDSI; 1987.
- 25 Revol M, Servant JM. Chirurgie palliative motrice des paralysies de la main. (I) Principes et méthodes palliatives des fonctions élémentaires. Encycl Méd Chir (Elsevier SAS, Paris). Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie, 44-420. 1987. Techniques chirurgicales-Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, 45-750. 2005.
- 26 Tubiana R. Anatomic and physiologic basis for the surgical treatment of paralysis of the hand. J Bone Joint Surg (Am) 1969; 51A : 643.
- 27 Yamada H. In : Evans FG, ed. Strength of biological materials. Baltimore (MD) : Williams & Wilkins; 1970 (cité par Brand).

Lésions anciennes des nerfs suprascapulaire, axillaire, accessoire et thoracique long

Interventions palliatives : transferts musculaires,
ostéotomie de dérotation et arthrodèse

*Late lesions of the suprascapular nerve, axillary nerve,
accessory nerve and long thoracic nerve*

Palliative surgery: muscles transfers, osteotomy, derotation and arthrodesis

C. CHANTELOT¹, G. WAVREILLE¹

RÉSUMÉ

La mobilité de l'épaule est assurée par un ensemble de muscles innervés principalement par les racines C5 et C6 du plexus brachial. Lorsqu'il existe des avulsions radiculaire très étendues, intéressant l'ensemble des racines du plexus brachial, le pronostic est mauvais et la chirurgie de transfert devient peu utile. Les lésions C5-C6 du plexus brachial sont de loin les plus fréquentes. Le transfert des muscles trapèze et triceps brachial peut restaurer une abduction et une antépulsion actives. La dérotation de l'humérus reste une intervention relativement simple permettant de rétablir une rotation latérale passive du bras. Dans les atteintes nerveuses partielles de l'épaule, un potentiel musculaire transférable persiste, la réanimation est souvent possible. Cette chirurgie intervient dans une prise en charge globale du membre supérieur sans négliger la flexion du coude et la mobilité digitale.

Mots clés : Épaule. – Paralyse. – Chirurgie palliative.

SUMMARY

The mobility of the shoulder is ensured by a unit of muscles innervated mainly by the roots C5 and C6 of the plexus brachial. When there are very wide radicular avulsions, interesting the whole of the roots of the plexus brachial, the prognosis is bad and the surgery of transfer becomes not very useful. Lesions C5-C6 of the plexus brachial are most frequent by far. The transfer of the trapezius muscles and triceps brachial can restore an active abduction and an antepulsion. The derotation of the humerus remains a relatively simple procedure making it possible to restore a passive rotation of the arm. In the nervous attacks partial of the shoulder, a transferable muscular potential persists, the reanimation is often possible. This surgery intervenes in a total assumption of responsibility of the upper limb without neglecting the inflexion of the elbow and digital mobility.

Keys words: Shoulder. – Palsy. – Palliative surgery.

Introduction

La mobilité du complexe articulaire de l'épaule est assurée par 18 muscles [10]. L'innervation de l'ensemble de ces muscles est assurée principalement par les racines C5 et C6 du plexus brachial. Les traumatismes sont variés, mais les lésions par étirement radiculaire sont majoritaires. Ces

gestes ostéomusculaires palliatifs ne sont utilisés qu'après une éventuelle chirurgie nerveuse, dont les progrès n'ont pas cessé ces dernières décennies. Nous allons développer ici différentes techniques chirurgicales palliatives telles que les arthrodèses du complexe articulaire de l'épaule, la dérotation humérale et les transferts musculaires.

¹ Service d'orthopédie B, département de chirurgie de la main et du membre supérieur, hôpital Roger Salengro, CHRU de Lille, 2, avenue Oscar Lambret, 59037 Lille cedex 5, France

Principes généraux des transferts musculaires

Un transfert musculaire doit être proposé lorsque l'on ne peut plus espérer de récupération nerveuse [7]. Il s'agit de compléter ou de remplacer un groupe fonctionnel musculaire déficitaire [13]. Chaque transfert a pour but de rétablir une fonction : antépulsion de l'épaule, abduction... Les muscles transférés doivent être classés au minimum à M4, selon la classification internationale. Chaque muscle perdra inévitablement une partie de sa force après le transfert. Avant tout transfert musculaire, une rééducation intensive doit être prescrite. Cette chirurgie doit être réalisée sur une épaule souple dont les amplitudes articulaires passives sont bonnes voire normales. Le principe du geste opératoire, les suites post-opératoires (immobilisation, rééducation...) doivent être expliqués au patient. Celui-ci doit être motivé et acteur principal de sa récupération fonctionnelle.

Lésion étendue des nerfs suprascapulaire, axillaire...

Ce tableau clinique est caractérisé par une épaule paralytique, seul le muscle trapèze reste fonctionnel (innervation par la branche externe du nerf accessoire : C2-C3-C4). L'avant-bras et la main restent fonctionnels, la flexion du coude est touchée [1]. La chirurgie palliative a pour but principal de stabiliser l'épaule et de proposer éventuellement des réanimations par transfert musculaire.

L'arthrodèse scapulo-humérale permet de stabiliser l'épaule et d'améliorer la fonction du membre supérieur au-delà du coude (figure 1) [11]. Cette intervention est toutefois de moins en moins proposée; la fusion scapulo-humérale est souvent difficile, le risque de pseudarthrodèse symptomatique est important. La fragilité osseuse, dans ce contexte paralytique, favorise les fractures humérales par hyper-sollicitation ou par traumatisme. Le réglage positionnel per-opératoire de l'arthrodèse est difficile à apprécier. Idéalement, le bras doit être antépulsé de 20°, en abduction à 30° et en rotation interne de 30° [2]. Il est important de souligner que c'est l'articulation scapulo-thoracique qui permet de mobiliser la racine du membre. Cette mobilité est réduite puisque seul le trapèze est fonctionnel.

La suspension isolée de l'épaule, comme la décrite Ovesen et Soejbjerg en 1988, n'a d'intérêt que si le patient désire conserver une mobilité passive en rota-



Figure 1. Arthrodèse de l'articulation gléno-humérale avec fixation externe complémentaire.

tion [22]. Elle consiste en une ligamentoplastie utilisant le ligament acromio-coracoïdien. Celui-ci est transposé sur la tubérosité mineure de l'humérus. Alnot propose de transférer en même temps le processus coracoïde sur la tubérosité mineure de l'humérus, positionnant ainsi le bras en légère rotation latérale [2]. Cette intervention est particulièrement intéressante dans les ptôses algiques du bras. La chute du moignon de l'épaule contribue à étirer le plexus et la suspension permet de soulager les douleurs.

La tendance actuelle est de proposer des transferts musculaires afin de réanimer l'abduction et l'antépulsion du bras [5, 24]. Dans les lésions C5-C6 seuls deux muscles sont respectés : le trapèze et le triceps brachial.

– Le transfert du muscle trapèze proposé par Mayer en 1927, puis par Lange en 1930, a été redécouvert dans les années 1980 par Bateman [6, 17, 19]. Ce geste consiste à transférer le chef acromio-claviculaire du trapèze sur l'humérus. Le prélèvement emporte une barrette cortico-spongieuse acromiale. Le deltoïde traversé par la voie d'abord est fermé comme un livre ce qui renforce la stabilité du transfert (figure 2). La fixation doit se faire le plus bas possible sur l'humérus, mais la course du trapèze est limitée [20, 23]. Une libération trop extensive de la fosse supra-épineuse peut entraîner une dénervation musculaire par lésion du nerf accessoire. Le positionnement idéal se fait au

niveau de la portion verticale de la tubérosité majeure de l'humérus. Devant la mauvaise qualité osseuse, la fixation doit être suffisamment solide (une à deux vis); nous recommandons un simple avivage de la partie antérolatérale de l'humérus en respectant la corticale latérale. Un haubanage complémentaire peut être utile. La fixation du transfert est réalisée en abduction du bras à 90°. Pour éviter une éventuelle ascension de la tête humérale et conserver un point fixe, nous préservons la partie postérieure de l'acromion. L'immobilisation : bras à 90° d'abduction, est maintenue six semaines. La particularité de ce transfert est de modifier le bras de levier du trapèze et de créer un moment articulaire vis-à-vis de l'articulation scapulo-humérale [3]. Sa course réduite rend difficile la quantification de son action. Il permet une ascension de la tête humérale et agit comme starter de l'abduction et de l'antépulsion. Nous avons l'habitude de l'associer au transfert de Sloaman [2].

– Le transfert du chef long du muscle triceps brachial sur l'acromion a été proposé par Sloaman en 1916.

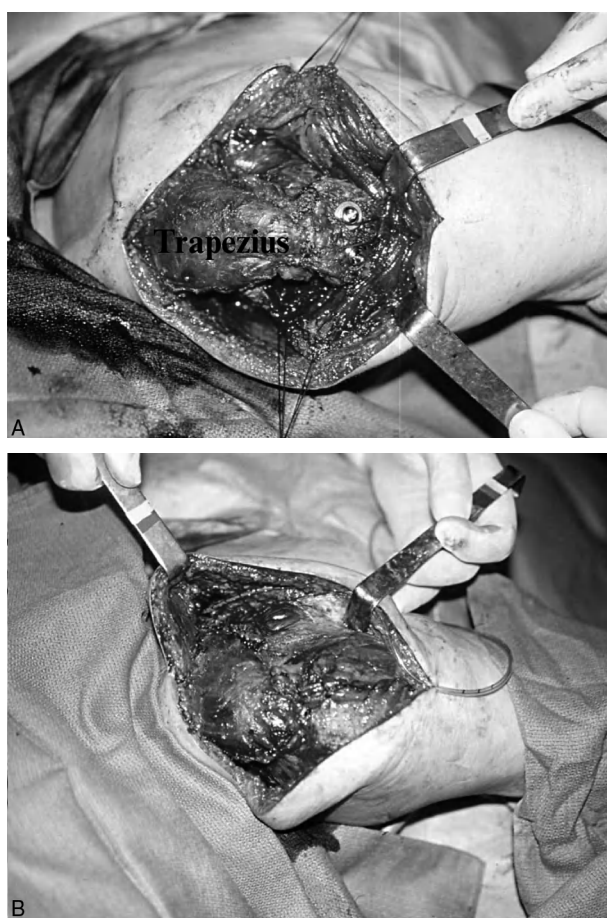


Figure 2. Transfert de Bateman assuré par une fixation par deux vis et fermeture du deltoïde sur le transfert.

Cette technique chirurgicale est indiquée lorsqu'il existe une rétropulsion du bras lors de la flexion du coude. La difficulté de cette intervention est la section du chef long du muscle triceps brachial au plus près de la cavité glénoïde scapulaire. Sa libération difficile permet de le détourner vers la face postérieure de l'acromion. Nous avons l'habitude de le faire passer sous le muscle deltoïde et de le fixer par des points trans-osseux. Un faufilage de la portion tendineuse du chef long du muscle triceps brachial évite toute dilacération musculaire (figure 3). La fixation du transfert est réalisée bras en abduction à 90° et coude en extension. L'immobilisation est maintenue pendant six semaines de façon stricte.

Le déficit de rotation externe du bras rend particulièrement difficile la préhension d'objets [4]. Lorsque la flexion du coude est normale, ce trouble fonctionnel est très mal toléré. Dans les lésions C5-C6 du plexus brachial, la réanimation de la flexion du coude est presque toujours obtenue depuis que nous réalisons une neurotisation du nerf du biceps brachial par un fascicule moteur du nerf ulnaire destiné au muscle fléchisseur ulnaire du carpe selon Oberlin. Dans le cadre d'une paralysie complète de l'épaule associée à une raideur importante en rotation externe, l'indication d'ostéotomie de dérotation humérale est idéale. Nous utilisons cette technique également lorsque l'épaule est souple. Ce geste est simple, et doit permettre une correction de 30° à 40° en rotation latérale. L'ostéosynthèse doit être impérativement réalisée par une plaque. Nous avons souvent constaté un retard de consolidation; le risque de pseudarthrose n'est pas négligeable. L'immobilisation pendant six à huit semaines est impérative. La rééducation n'est pas nécessaire, car la rotation se fait de façon automatique.

Le transfert du muscle grand rond et du grand dorsal, comme l'a décrit Episcopo en 1939, n'est pas réalisable puisque l'innervation de ces deux muscles est touchée.

Paralysie isolée du muscle dentelé antérieur (nerf thoracique long C5-C6-C7)

Elle est caractérisée par une instabilité scapulo-thoracique liée à une atteinte du muscle dentelé antérieur. Les différentes techniques chirurgicales permettant de résoudre cette instabilité consistent à appliquer la scapula sur la paroi thoracique postérieure pour permettre une mobilisation correcte du membre. Il existe deux principales méthodes : la stabilisation dynamique par transfert musculaire et la stabilisation statique par

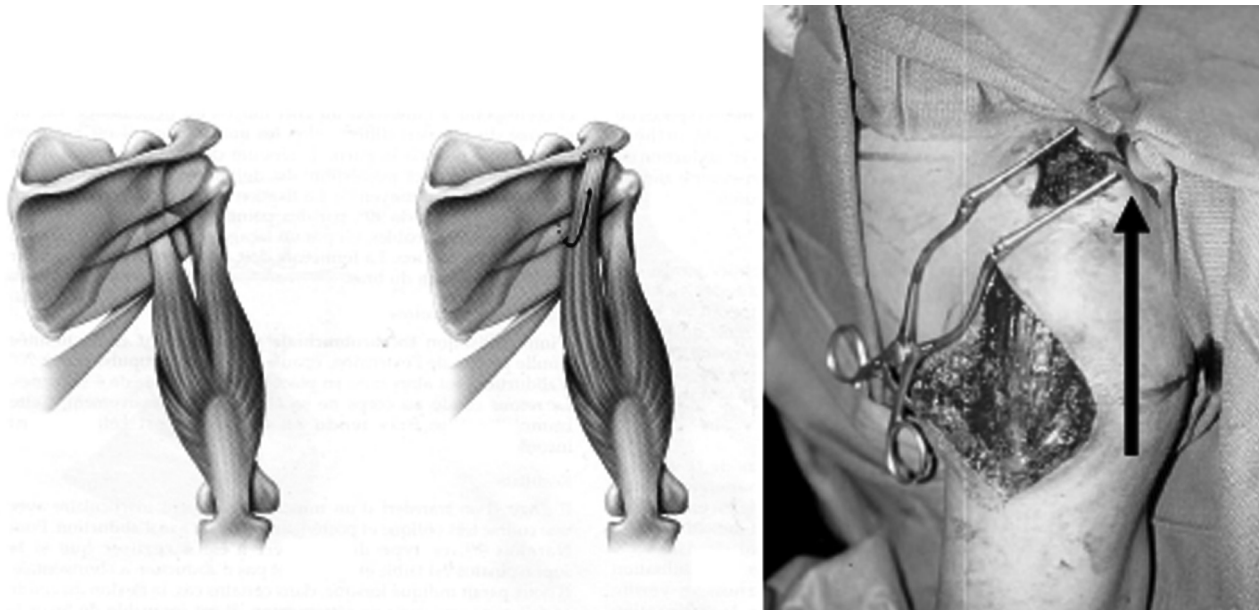


Figure 3. Transfert de Slooman avec fixation sur la partie postérieure de l'acromion coude en extension.

scapulopexie, scapulocostopexie ou arthrodèse scapulo-thoracique.

Transferts dynamiques

Ils ont pour but de remplacer le muscle grand dentelé paralysé. L'insertion coracoïdienne du muscle petit pectoral peut être fixée sur le bord spinal de la scapula en le prolongeant par une greffe tendineuse [27]. Le muscle grand rond peut être fixé sur les deux dernières digitations du muscle grand dentelé paralysé. Le muscle grand rhomboïde peut aussi être utilisé. La transposition du chef sternocostal du muscle grand pectoral semble être la plus utilisée [18]. Ces transferts subissent une perte d'efficacité inéluctable par allongement progressif. Cette technique ne peut être utilisée que lorsque l'atteinte du muscle grand dentelé est isolée.

Transferts statiques

La scapulopexie consiste à fixer la scapula aux côtes sans aviver des surfaces osseuses ni interposer de greffon, à l'aide de matériel autologue ou synthétique [5]. Elle a l'avantage de ne pas entraîner de syndrome restrictif pulmonaire. À plus ou moins long terme, il existe une détente de la fixation et une récurrence de l'instabilité.

La scapulocostopexie consiste à glisser la scapula sous certaines côtes que l'on aura sectionnées (quatrième ou septième); parfois on encastrera la pointe de la scapula sous l'arc postérieur des côtes [25]. Ce geste n'est pas dénué de risque pulmonaire et est souvent douloureux.

L'arthrodèse scapulo-thoracique reste la technique de choix et dont le résultat est stable dans le temps (figures 4 et 5). Le but est de fixer la scapula sur la paroi thoracique, par l'intermédiaire de vis ou de cerclages [9,16]. Nous utilisons systématiquement une greffe spongieuse inter- et costale. Cette greffe augmente la surface de contact entre la scapula et les arcs costaux postérieurs. L'avivage des surfaces est difficile et il se résout généralement en un simple déperiostage. Le risque de pneumothorax pendant le décollement de la plèvre pariétale est peu important. L'immobilisation doit être de six à huit semaines, la consolidation de cette arthrodèse est toujours difficile à confirmer. Les dystrophies musculaires fascio-scapulo-humérales en constituent la principale indication.

Paralysie isolée du muscle trapèze (branche externe du nerf accessoire C2-C3-C4)

La situation très superficielle de la branche externe du nerf accessoire la rend très vulnérable, notamment lors de plaie du cou. En pratique, il s'agit le plus souvent de lésions iatrogènes lors de biopsie ganglionnaire ou d'exérèse de tumeur bénigne. La douleur, ainsi que le sentiment d'épaule lourde représentent les plaintes principales des patients. Nous constatons une abduction douloureuse, allant difficilement au-delà de 90°. Il existe une perte de force lors de l'élévation et une rup-

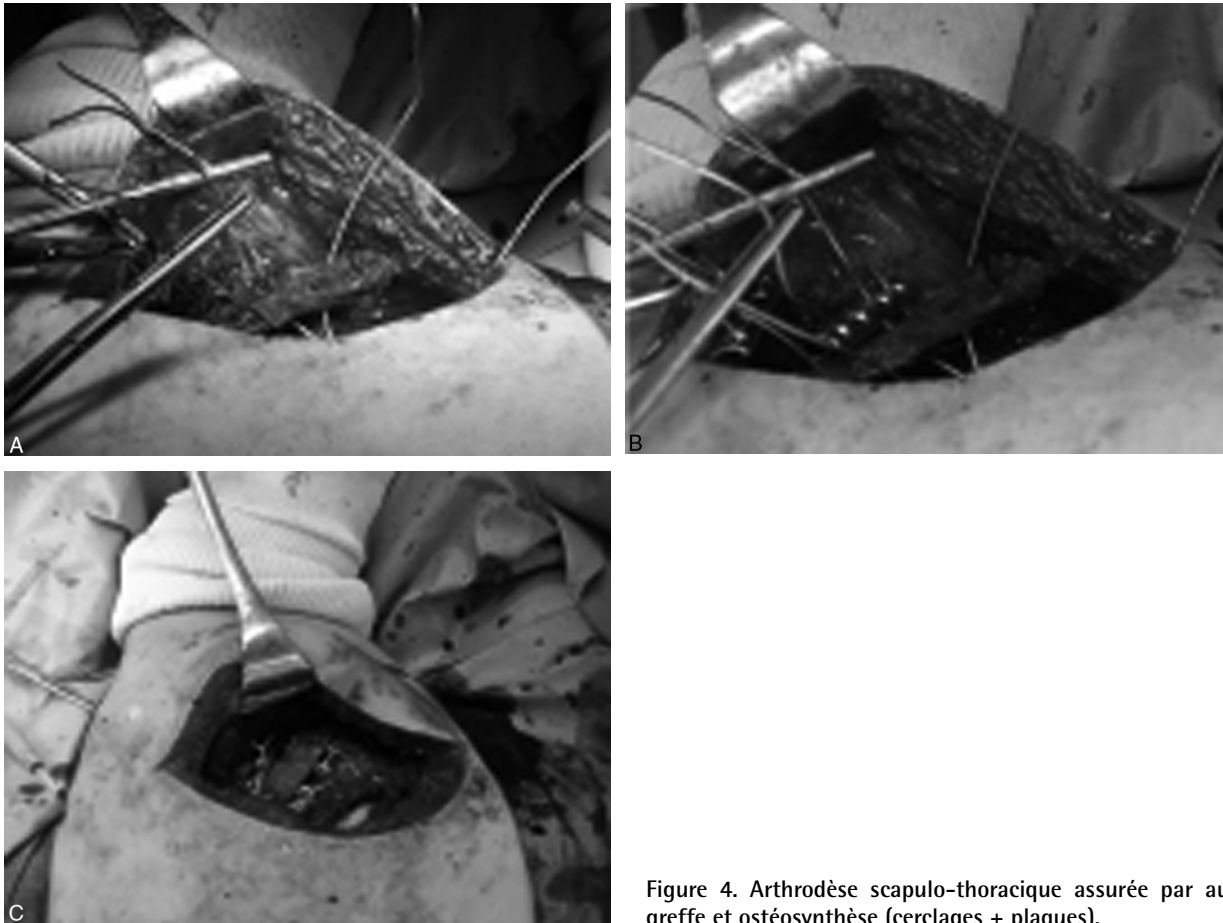


Figure 4. Arthrodèse scapulo-thoracique assurée par autogreffe et ostéosynthèse (cerclages + plaques).

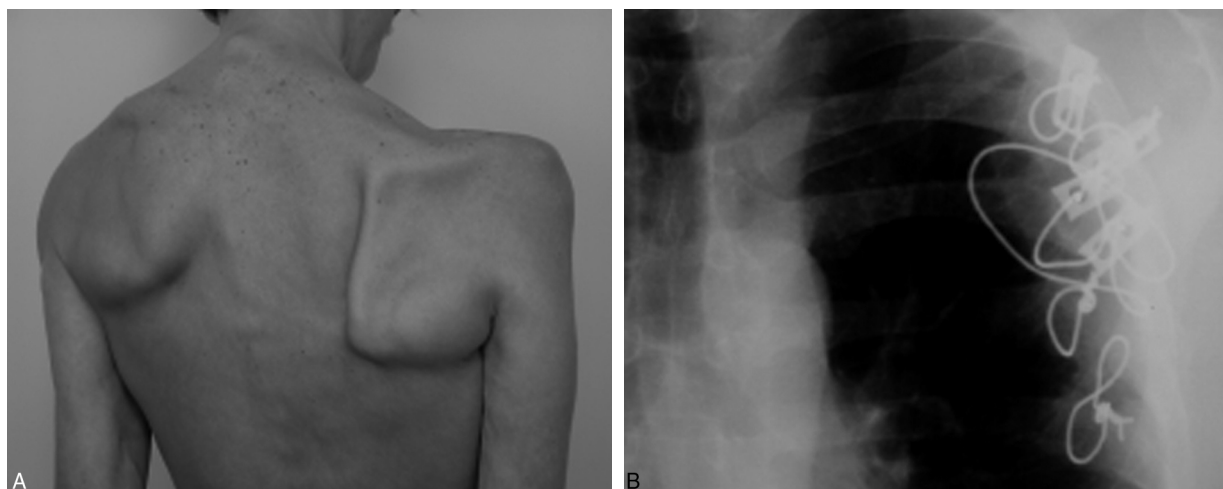


Figure 5. Scapula alata fixée par une arthrodèse scapulo-thoracique montée par cerclages appuyés sur des plaques, et une greffe est réalisée entre les espaces costaux et la scapula.

ture évidente du rythme scapulohuméral. Le diagnostic est souvent tardif (supérieur à deux ans). Ces patients sont généralement pris en charge pour une pathologie néoplasique, ce qui allonge encore la découverte de

ce déficit. Par conséquent, nous proposons d'emblée une chirurgie palliative lorsque les patients présentent une gêne fonctionnelle suffisante, car le délai de neurotisation est dépassé [8].

La chirurgie palliative consiste à transférer le muscle élévateur de la scapula du bord supéro-médial de la scapula sur l'acromion [26]. Ce transfert a pour but de remplacer le chef acromial du muscle trapèze. Pour stabiliser la scapula, Eden-Lange réalise un double transfert du grand et petit rhomboïde dans la fosse infra-épineuse [17]. Certains proposent une simple retente des muscles rhomboïdes mais les résultats de cette technique se dégradent progressivement.

Paralysie isolée du muscle deltoïde (nerf axillaire)

La stratégie thérapeutique dépend de l'âge du patient : pour les sujets âgés la fonction de la coiffe des rotateurs est privilégiée, on réalisera donc une réparation si nécessaire [2]. Chez les sujets jeunes, dont la paralysie est ancienne, la coiffe des rotateurs peut permettre une mobilisation acceptable de l'épaule. Une rupture de celle-ci pourra alors aggraver la fonction précaire de l'épaule. Lorsque la coiffe des rotateurs n'est pas réparable, la chirurgie palliative peut être une solution. Différents transferts peuvent être réalisés comme le transfert de Bateman, le transfert de Sloaman, qui ont déjà été décrits précédemment. Itoh a proposé un transfert bipolaire du muscle grand dorsal pour restaurer l'antépulsion et le galbe de l'épaule [15]. Après une libération musculaire complète en préservant son pédicule neurovasculaire, son tendon huméral est transféré par rotation sur l'insertion acromiale et claviculaire du muscle deltoïde. Son bord supérieur est alors fixé sur l'arche acromio-claviculaire. D'autres auteurs, comme Ober, ont proposé un double transfert de la courte portion du muscle biceps brachial et du chef long du muscle triceps brachial sur l'acromion [21]. Ce transfert était essentiellement indiqué chez les enfants présentant une paralysie du muscle deltoïde dans le cadre d'une atteinte poliomyélitique.

Paralysie isolée des muscles supra-épineux et infra-épineux (nerf suprascapulaire)

Cette atteinte est équivalente à une lésion de la coiffe des rotateurs avec conservation du muscle subscapulaire. Le tableau clinique est marqué par un déficit de la rotation latérale et de l'abduction du bras. Le déficit de la rotation latérale pourra être compensé par des transferts musculaires ou par une ostéotomie de dérotation humérale. Lorsque l'épaule est enraidie en rotation latérale, seule l'ostéotomie de dérotation

est indiquée. Si l'épaule est souple, les transferts musculaires seront privilégiés. Différentes techniques ont été décrites :

– Transfert simultané du muscle grand rond et du grand dorsal (Episcopo, 1939) :

Les tendons de ces deux muscles sont désinsérés de l'humérus et sont transférés en arrière et latéralement en contournant le muscle triceps brachial. La fixation est réalisée près de l'insertion du grand pectoral, au contact de celle du chef latéral du triceps brachial. Ces deux transferts ont la réputation de limiter la rotation latérale, ils semblent fonctionner d'avantage par effet ténodèse que par action directe. Alnot associe ce transfert à une dérotation humérale de 20 à 30° et fixe les deux muscles sur l'insertion du muscle infra-épineux [2].

Hoffer propose de transférer le muscle grand rond et le muscle grand dorsal sur la partie la plus haute de la coiffe des rotateurs [14]. Ce transfert est glissé sous le faisceau postérieur du muscle deltoïde, en prenant garde de ne pas traumatiser le nerf axillaire. Habituellement, ce transfert autorise une rotation latérale de 45° et améliore l'abduction de 60°. Son insertion haute sur la coiffe renforce son action.

– Transfert du muscle grand dorsal :

Gerber propose un transfert isolé du muscle grand dorsal dans les ruptures étendues non réparables de la coiffe des rotateurs. Ce transfert avait déjà été utilisé dans les séquelles de paralysie obstétricale du plexus brachial [12]. Le tendon est fixé très en avant dans une tranchée osseuse au sommet de la tubérosité majeure de l'humérus.

– L'ostéotomie de dérotation :

L'indication principale est un déficit de rotation latérale, associée à une raideur articulaire et à une flexion normale du coude. Il s'agit d'une intervention simple dont le résultat est prévisible [28]. La consolidation doit être surveillée car le risque de pseudarthrose est important.

Conclusion

La mobilité de l'épaule est complexe, sa réanimation également. À ce jour la chirurgie nerveuse dans les paralysies du plexus brachial permet une récupération satisfaisante [24]. Les neurotisations du nerf spinal sur le nerf suprascapulaire, du nerf du chef long du muscle triceps brachial sur le nerf axillaire semblent donner des résultats intéressants. Nous concevons la chirurgie de transfert musculaire afin d'améliorer les résultats des techniques de réparation nerveuse. La récupération fonctionnelle de l'épaule reste, bien entendu, soumise à l'étendue des lésions plexuelles.

RÉFÉRENCES

- 1 Alnot JY, Rostoucher P, Oberlin C. Les paralysies traumatiques C5-C6 et C5-C6-C7 du plexus brachial de l'adulte par lésions supra-claviculaires. *Rev Chir Orthop et Trauma* 1998; 84 : 113-123.
- 2 Alnot JY. L'épaule paralytique de l'adulte par lésions nerveuses périphériques post-traumatiques. *Acta orthop Belgica* 1999; 65 : 10-22.
- 3 Altmann S, Fansa H, Schneider W. Transfer of trapezius muscle for reconstruction of abduction of the shoulder. *Orthopade* 2006; 35 : 450-455.
- 4 Anderson KA, O'Dell MA, James MA. Shoulder external rotation tendon transfers for brachial plexus birth palsy. *Tech Hand Up Exterm Surg* 2006; 10 : 60-67.
- 5 Asfazadourian H, Teboul F, Oberlin C. Traitement chirurgical palliatif des paralysies de l'épaule. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale*, 2001, 44-286, 1-17.
- 6 Bateman JE. Nerve lesions about the shoulder. *Orthop Clin North Am* 1980; 11 : 307-326.
- 7 Bentolila V, Nizard R, Bizot P, Sedel L. Complete traumatic brachial plexus palsy: treatment and outcome after repair. *J Bone Joint Surg (Am)* 1999; 81 : 20-28.
- 8 Bigliani LU, Perez-Sanz JR, Wolfe IN. Treatment of trapezius paralysis. *J Bone Joint Surg (Am)* 1985; 67 : 871-877.
- 9 Bizot P, Teboul F, Nizard R, Sedel L. Scapulothoracic fusion for serratus anterior paralysis. *J Shoulder Elbow Surg*, 2003; 12 : 561-565.
- 10 Blaimont P, Taheri A. *Biomécanique de l'épaule : de la théorie à la clinique*. Springer, 2006.
- 11 Chammas M, Meyer G, Reckendorf ZU, Y. Allieu Y. Arthrode de l'épaule pour paralysie post-traumatique du plexus brachial: analyse d'une série de 18 patients. *Rev Chir Orthop et Trauma* 1996; 82 : 386-395.
- 12 Episcopo JB. Restoration of muscle balance in the treatment of obstetrical paralysis. *N Y State J Med* 1939; 39 : 357.
- 13 Guettler JH, Basamania CJ. Muscle transfers involving the shoulder. *J Surg Orthop Adv* 2006; 15 : 27-37.
- 14 Hoffer MM, Wickenden RW, Roper B. Brachial plexus palsy: results tendon transfert to the rotator cuff. *J Bone Joint Surg (Am)* 1978; 60 : 691-695.
- 15 Itoh Y, Sasaki T, Ishiguro T, Uchinishi K, Yabe Y, Fukuda H. Transfer of latissimus dorsi to replace a paralysed anterior deltoid: a new technique using an inverted pedicled graft. *J Bone Joint Surg (Br)* 1987; 67 : 647-651.
- 16 Krishnan SG, Hawkins RJ, Michelotti JD, Litchfield R, Willis RB, Kim YK. Scapulothoracic arthrodesis: indications, technique and results. *Clin Orthop Relat Res* 2005; 126-133.
- 17 Lange M. Die behandlung der irreparablen trapziuslähmung langenbeckcs. *Arch Klein Chir* 1951; 270 : 437-439.
- 18 Lindstrom N, Danielsson L. Muscular transposition in serratus anterior paralysis. *Acta Orthop Scand* 1962; 369-373.
- 19 Mayer L. Transplantation of the trapezius for paralysis of the abductor of the arm. *J Bone Joint Surg (Am)* 1954; 36 : 775.
- 20 Monreal R, Paredes L, Diaz H, Leon P. Trapezius transfer to treat flail shoulder after brachial plexus palsy. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj* 2007; 12 : 2.
- 21 Ober F. An operation to relieve paralysis of the deltoid. *JAMA* 1932; 113-154.
- 22 Ovesen J, Soejbjerg JO. Transposition du ligament acromioclaviculaire sur l'humérus pour traitement pour instabilité de l'épaule. *Rev Chir Orthop et Trauma* 1988; 74, Suppl II : 264.
- 23 Ruhmann O, Wirth CJ, Gosse F, Schmolke S. Trapezius transfer after brachial plexus palsy: indication, difficulties and complications. *J Bone Joint Surg (Br)* 1998; 80 : 109-113.
- 24 Ruhmann O, Wirth CJ, Gosse F, Schmolke S. Reconstruction operations for the paralyzed shoulder in brachial plexus palsy: concept of treatment. *Injury* 1999; 30 : 609-618.
- 25 Stromboni A. *La scapulo-costopexie dans les paralysies du grand dentelé et du trapèze (Thèse)*. Paris, 1967.
- 26 Teboul F, Bizot P, Kakkar R, Sedel L. Surgical management of trapezius palsy. *J Bone Joint Surg (Am)* 2005; 87 : 285-291.
- 27 Vastamaki M. Pectoralis minor transfert in serratus anterior paralysis. *Acta Orthop Scand* 1984; 55 : 293-295.
- 28 Waters PM, Bae DS. The effect of derotational humeral osteotomy on global shoulder function in brachial plexus birth palsy. *J Bone Joint Surg (Am)* 2006; 88 : 1035-1042.

Chirurgie palliative dans les lésions du nerf médian et du nerf ulnaire

Palliative surgery in median and ulnar nerve palsies

M. CHAMMAS¹, B. COULET¹, D. LUMENS¹, C. BELIN¹, C. LAZERGES¹,
M.-N. THAURY²

RÉSUMÉ

Les tableaux cliniques sont multiples en raison soit d'une récupération partielle, soit de variations anatomiques entre nerf ulnaire et nerf médian. La principale des séquelles des paralysies du nerf médian est la perte de sensibilité de la pince pouce index et la perte d'opposition du pouce. Pour le nerf ulnaire, c'est la perte de force de la main avec atteinte de toutes les autres fonctions intrinsèques. Les indications de chirurgie palliative ont diminué en raison des progrès de la chirurgie nerveuse périphérique. Toutefois, la chirurgie palliative garde une place en complément précoce ou plus tardif des techniques de réparation nerveuse afin de rendre le résultat optimal. Les indications chirurgicales, les techniques des principaux transferts, leurs avantages et leurs inconvénients sont détaillés.

Mots clés : Paralysie nerf médian nerf ulnaire. – Transferts tendineux. – Chirurgie palliative.

SUMMARY

Clinical presentation in case of median and ulnar nerve palsies is variable due to anatomical variations between the territories of each nerve or to incomplete recovery. The main sequelae for median nerve palsy are loss of sensibility of the thumb to index pinch and loss of opposition of the thumb. In case of ulnar nerve palsy the sequelae are represented by decrease of strength and loss of the other intrinsic functions. Indications for motor and sensory palliative surgery, technical aspects, pitfalls, advantages and disadvantages are detailed.

Key words: Median ulnar nerve palsy. – Tendon transfer. – Palliative surgery.

Introduction

Les paralysies du nerf médian et du nerf ulnaire sont consécutives le plus souvent sous nos latitudes à des plaies au poignet ou à l'avant-bras. Ces lésions peuvent être isolées mais le plus souvent sont associées à des sections tendineuses au niveau des tendons fléchisseurs des doigts longs et du pouce. La prise en compte de ces lésions tendineuses est indispensable dans l'appréciation des séquelles et dans la chirurgie palliative de ces paralysies. Nous excluons volontairement de notre propos les séquelles de lésions lépreuses et les

maladies neurodégénératives qui ont d'autres spécificités contextuelles et évolutives.

On peut dire, pour schématiser, que dans le cadre des paralysies par lésions basses au poignet les plus fréquentes, le nerf médian est le nerf de la sensibilité et de la motricité de la pince pollicidigitale. Le nerf ulnaire est le nerf de la force de la main. Dans les lésions hautes s'ajoute la paralysie de muscles longs fléchisseurs classiquement des trois premiers doigts pour le médian et des deux derniers pour l'ulnaire.

Les variations des territoires d'innervation des nerfs médian et ulnaire à l'avant-bras et à la main sont très

¹ Service de chirurgie de la main et du membre supérieur, Hôpital Lapeyronie, CHU Montpellier, 34295 Montpellier cedex 5, France

² Unité de rééducation de la main et du membre supérieur, Centre Ster, 9, avenue Jean Ster, Lamalou-les-Bains, France

fréquentes. Nous aborderons les principales. À cela, il faut ajouter les récupérations incomplètes notamment après chirurgie nerveuse initiale ou secondaire. Ainsi, de nombreux tableaux cliniques peuvent exister. Le retentissement fonctionnel de chacune des paralysies sera variable. Une analyse séméiologique précise est à la base des indications de la chirurgie palliative.

Il est très important que dès le début de l'évolution de la paralysie existe une prise en charge rééducative afin d'éviter l'enraidissement articulaire, la rétraction des parties molles, de travailler les compensations et maintenir intégrée la main dans le schéma corporel.

Un appareillage comme une orthèse MP-stop en cas de griffe des doigts dans les paralysies ulnaires, ou une orthèse d'écartement de première commissure de type C-barre dans les paralysies du nerf médian seront utiles.

Dans un but didactique nous analyserons successivement chacune des paralysies pour ensuite aborder les paralysies combinées.

Variation des territoires d'innervation des nerfs médian et ulnaire

Variations d'innervation motrice

Anastomose de Martin-Grüber [18]

L'anastomose de Martin-Grüber, retrouvée dans 15 % des cas [18], consiste en une communication anormale qui transporte des fibres motrices du nerf médian vers le nerf ulnaire au niveau de l'avant-bras soit à partir du tronc du médian, soit à partir du nerf interosseux antérieur. Cette communication peut se situer à n'importe quel niveau de l'avant-bras. Il s'agit de l'innervation à destination de certains muscles intrinsèques normalement innervés par le nerf ulnaire : 1^{er} interosseux dorsal, adductor pollicis, abductor digiti quinti et moins fréquemment, les 2^e et 3^e interosseux dorsaux.

Une anastomose de Martin-Grüber peut être suspectée :

- en cas de lésion haute du nerf médian, s'il y a un déficit de muscles intrinsèques innervés habituellement par le nerf ulnaire ;
- en cas de lésion haute du nerf ulnaire sans déficit intrinsèque alors que le fléchisseur ulnaire du carpe et le fléchisseur profond du 5^e doigt sont paralysés.

Anastomose de Riche-Cannie [18]

Il s'agit d'une communication classiquement entre la branche pour le chef superficiel du court fléchisseur

du pouce venant du rameau thénarien et la branche pour le chef profond du court fléchisseur du pouce venant de la branche profonde du nerf ulnaire. Cette communication contourne en profondeur le tendon du long fléchisseur du pouce. Il s'agit de fibres motrices. Harness et Sekeles l'ont retrouvée dans 77 % des dissections de préparations anatomiques conservées et virtuellement dans tous les cas de préparations fraîches. Des variations ont été décrites notamment passant dans le 1^{er} lombrical ou entre branche profonde du nerf ulnaire et un nerf digital du pouce ou de l'index. Cette communication explique l'innervation variable du court fléchisseur du pouce et le retentissement variable au niveau de l'opposition du pouce et du signe de Froment respectivement des lésions du nerf médian et du nerf ulnaire.

Une anastomose de Riche-Cannie peut être suspectée en cas :

- de persistance d'une opposition du pouce, en cas de section complète du nerf médian si le chef superficiel du court fléchisseur du pouce n'est pas paralysé ;
- d'absence de signe de Froment, en cas de section complète du nerf ulnaire si le chef profond du court fléchisseur du pouce est innervé par le médian.

Une double innervation existe fréquemment au niveau des muscles thénariens. Zancolli et Cozzi [44] l'ont retrouvée pour le chef superficiel du court fléchisseur du pouce dans 30 % des cas, pour son chef profond dans 79 % pour le faisceau oblique de l'adducteur du pouce dans 35 % des cas. Le chef profond de l'adducteur du pouce est par contre innervé seul par le nerf ulnaire dans 96 % des cas.

Du point de vue clinique, ces variations d'innervation se traduisent par :

- une innervation complète des muscles thénariens par le nerf ulnaire dans 2 % des cas et par le nerf médian dans 2 % des cas aussi [36]. ;
- le court fléchisseur du pouce reste fonctionnel dans 58 % des sections complètes du nerf ulnaire et dans 73 % des sections complètes du nerf médian [36].

Jensen [24] considère qu'un transfert d'opposition du pouce n'est justifié que dans 14 % des paralysies complètes isolées du nerf médian.

Innervation des lombricaux et des fléchisseurs profonds correspondants

Le lombrical est innervé par le même nerf médian ou ulnaire que le fléchisseur profond correspondant. Classiquement, dans 50 % des cas, les deux premiers lombricaux et les fléchisseurs profonds de l'index et du médus sont innervés par le nerf médian. Les deux derniers et les fléchisseurs profonds de l'annulaire et

de l'auriculaire sont innervés par le nerf ulnaire. De façon quasi constante, le 1^{er} lombriçal et le fléchisseur profond de l'index sont innervés par le nerf médian. Pour les autres de nombreuses variations existent. Le médian déborde plus souvent du côté ulnaire que le nerf ulnaire du côté médian.

Variations d'innervation sensitive

Anastomose de Berrettini [18] :

Cette branche de communication entre nerfs digital commun du 4^e espace provenant du nerf ulnaire et nerf digital commun du 3^e provenant du nerf médian immédiatement sous l'arcade palmaire superficielle est très fréquente, retrouvée entre 80 et 92 % des cas. Cela peut expliquer une sensibilité persistante du bord radial du 4^e doigt après section complète du nerf médian.

Fonctions du pouce et des doigts longs

Le pouce

Le pouce est de loin le doigt le plus important en raison de la liberté de ses mouvements permettant son opposition à la paume et aux autres doigts, de sa force et de la qualité de sa sensibilité [39]. Il joue un rôle dans l'immense majorité des prises. L'opposition du pouce est un mouvement complexe qui associe :

– l'action des muscles extrinsèques et intrinsèques du pouce (figure 1a). Le trajet des transferts va dépendre de l'action souhaitée. Ce trajet sera parallèle aux fibres musculaires du muscle à remplacer (figure 1b). Ce trajet sera matérialisé entre le point de fixation du transfert et soit la poulie de réflexion, soit le corps musculaire du muscle transféré. Ainsi, les transferts d'opposition antépulsion suivront-ils l'axe des fibres du court abducteur du pouce se projetant en proximal par rapport au pisiforme, les transferts d'adduction suivront l'axe des fibres de l'adducteur en se projetant en distal par rapport à cet os. Les transferts mixtes dans les paralysies de l'opposition-antépulsion et de l'adduction du pouce auront une position intermédiaire selon un axe passant au niveau du pisiforme (figure 1b);

– la physiologie toute particulière de l'articulation trapézo-métacarpienne. Il existe en effet une rotation longitudinale automatique au niveau de l'articulation trapézo-métacarpienne [44]. Lors de l'antépulsion et adduction, il y a mise en tension des ligaments trapézo-métacarpien dorsaux. Cette rotation est d'autant plus importante que l'amplitude de l'antépulsion et

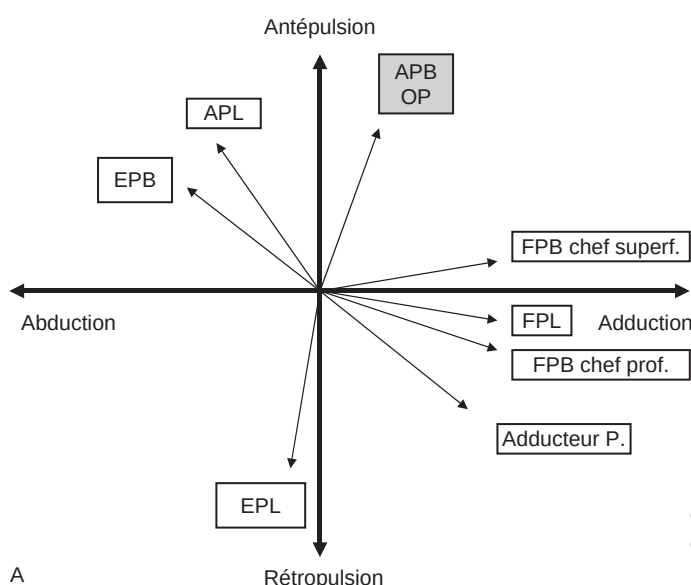


Figure 1. A. Action des muscles extrinsèques et intrinsèques sur l'articulation trapézo-métacarpienne.

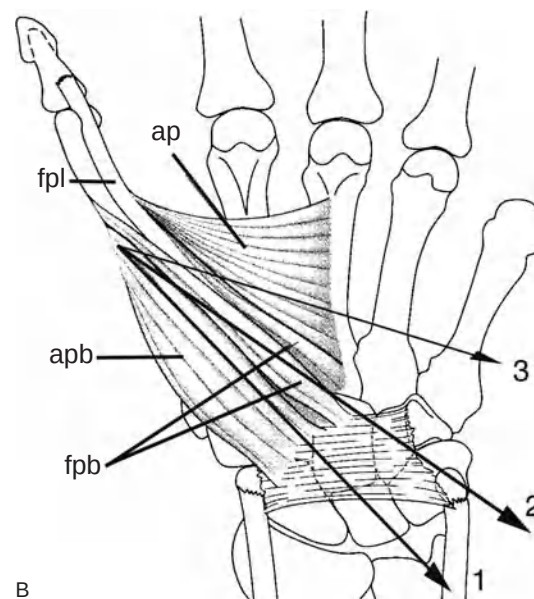


Figure 1. B. Poulie de réflexion des transferts de réanimation du pouce. Le trajet du transfert reproduit la direction des fibres du muscle à remplacer. 1 : transfert d'opposition-antépulsion avec poulie en amont du pisiforme. 2 : transfert mixte d'antépulsion et d'adduction avec poulie au niveau du pisiforme. 3 : transfert d'adduction avec poulie en aval du pisiforme. APB : abducteur pollicis brevis ou court abducteur du pouce ; fpb : flexor pollicis brevis ou court fléchisseur du pouce ; AP : adducteur pollicis ou adducteur du pouce ; FPL : flexor pollicis longus ou long fléchisseur du pouce.

de l'adduction le sont. À l'inverse, en rétropluion abduction, il y a mise en tension des ligaments trapézo-métacarpiens palmaires et rotation axiale en sens inverse. Le mouvement inverse de rétroposition et uniquement assuré par des muscles innervés par le nerf radial [44].

Flexion-extension des doigts longs

La mobilité des doigts longs est sous la dépendance de muscles extrinsèques fléchisseurs et extenseurs et de muscles intrinsèques. Les muscles intrinsèques des doigts comportent : sept interosseux (quatre dorsaux et trois palmaires), quatre lombricaux et trois hypothénariens (abducteur, court fléchisseur et opposant du 5^e doigt). À l'exception des deux premiers lombricaux, tous sont classiquement innervés par le nerf ulnaire. Ils commandent l'écartement et le rapprochement des doigts. Mais leur fonction principale est la flexion métacarpophalangienne et l'extension interphalangienne proximale et distale. Avec le système rétinaculaire de Landsmeer qui participe à la coordination entre fléchisseurs et appareil extenseur, les

intrinsèques sont responsables de l'harmonie de flexion digitale. En cas de paralysie surviennent une griffe (figure 10a) et une dysharmonie de flexion des doigts longs. La séquence de flexion commence au niveau des interphalangiennes gênant la prise des objets volumineux (figures 2a, b). La griffe est marquée par l'attitude spontanée du doigt avec hyperextension métacarpophalangienne et flexion interphalangienne proximale et distale.

Prérequis avant la chirurgie palliative

Aucun n'est à négliger et tous ces éléments sont à inclure dans le bilan préthérapeutique.

- Analyse des besoins du patient et de la manière dont la main est utilisée malgré la paralysie.
- Appréciation des capacités du patient à intégrer le transfert et à adhérer au programme de rééducation.
- Appréciation par le patient des objectifs, possibilités et limites du traitement chirurgical.
- Stabilisation tissulaire effective (consolidation osseuse obtenue, absence d'état inflammatoire ou infectieux, cicatrisation complète).
- État cicatriciel adéquat des zones susceptibles d'être traversées par le transfert.
- Souplesse articulaire de la main et du poignet garantissant un effet ténodèse, une bonne ouverture de la première commissure et une mobilité métacarpophalangienne et interphalangienne libre.

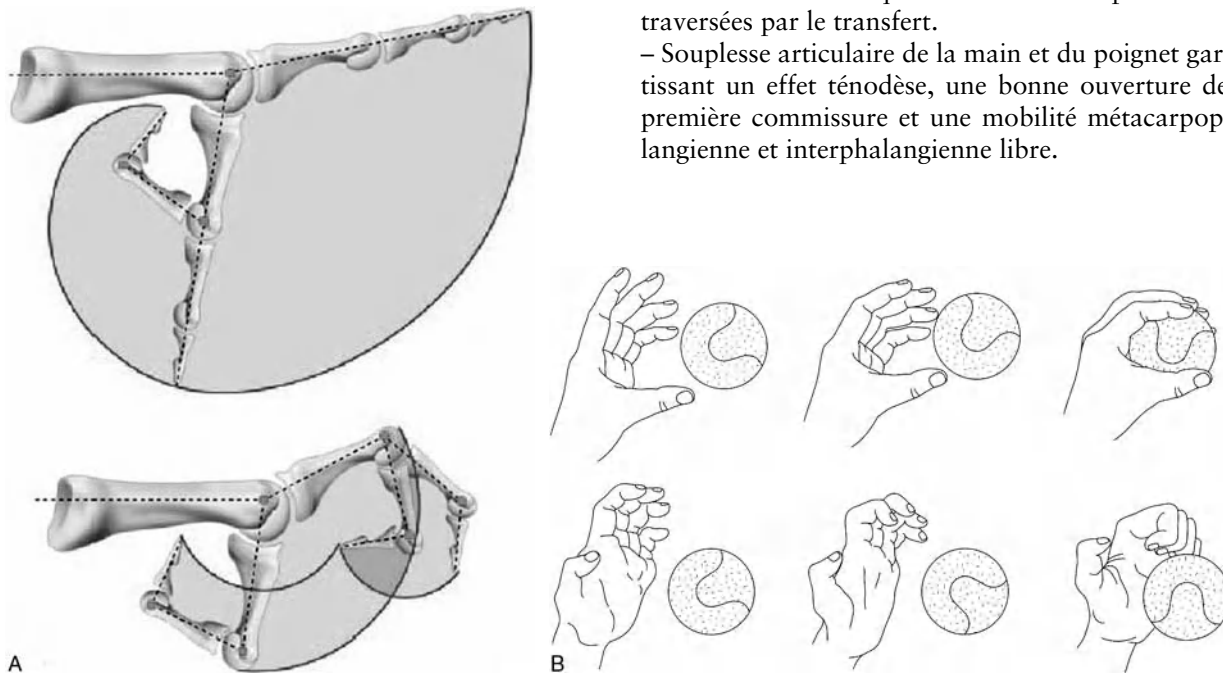


Figure 2. A et B. Dysharmonie de flexion des doigts en cas de paralysie ulnaire avec griffe et flexion métacarpophalangienne (d'après Revol in Revol M., Servant JM. Chirurgie palliative motrice des paralysies de la main (I) : principes et méthodes palliatives des fonctions élémentaires. EMC (Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie, 44-120, Techniques chirurgicales-Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, 45-750, 2005).

– L'absence de récupération d'une certaine sensibilité pulpaire n'est pas une contre-indication à un transfert d'opposition du pouce. En effet, le débordement sur les bords latéro-unguéaux pulpaire du pouce du territoire sensitif du nerf radial, la sensibilité « visuelle » peuvent suppléer le manque de sensibilité. L'état de la sensibilité sur les doigts ulnaires est moins primordial. Toutefois en cas de paralysie médio-ulnaire complète avec insensibilité, l'indication de transfert tendineux est discutable s'il y a des troubles trophiques et des douleurs.

– Analyse de l'importance des phénomènes douloureux pouvant conduire à l'exclusion fonctionnelle de la main.

– État des troubles trophiques et de l'intolérance au froid.

– Présence d'un ou plusieurs muscles transférables.

Il faut distinguer les paralysies non compliquées limitées aux intrinsèques ou étendues aux extrinsèques des paralysies compliquées de limitation de la mobilité passive par rétraction des parties molles et/ou raideur articulaire, d'instabilité articulaire, de troubles importants de la sensibilité alliant douleurs, anesthésie et troubles trophiques graves.

Délai opératoire

S'il y a eu réparation nerveuse, il faudra attendre un délai variable selon le niveau de la lésion, le type lésionnel, l'âge du patient, la qualité de la réparation nerveuse. Un transfert précoce jouant le rôle d'orthèse interne avait été proposé par Burkhalter [11] par exemple pour la fonction intrinsèque des doigts. En pratique, il est préférable de distinguer les lésions ayant un pronostic plutôt bon de régénération nerveuse de celles ayant un mauvais pronostic (lésions à double étage, délai important, sujet âgé, lésion proximale). Dans ce dernier cas de figure, une chirurgie palliative complète pourra être proposée précocement afin de ne pas faire attendre inutilement une récupération qui ne pourra pas survenir.

Paralysies du nerf médian

On distingue les paralysies basses épargnant les muscles longs fléchisseurs des doigts et du pouce des paralysies hautes les incluant. Nous prendrons comme type de description les paralysies complètes, mais de nombreuses formes existent, notamment après récupération incomplète après chirurgie nerveuse.

Aspects cliniques

Paralysies basses du nerf médian

Il s'agit de lésions du nerf médian en aval du nerf interosseux antérieur.

Le déficit sensitif comporte une anesthésie de la face palmaire des trois premiers doigts et de l'hémipulpe radiale du 4^e doigt et de l'éminence thénar si la branche cutanée palmaire du médian est intéressée. Il y a aussi une anesthésie de la face dorsale des 2^e et 3^e doigts et du bord radial du 4^e en aval de l'interphalangienne proximale. Le 4^e doigt peut avoir une sensibilité conservée.

Le déficit moteur comprend une paralysie des muscles thénariens externes avec des conséquences variables selon la répartition médian ulnaire :

– paralysie complète de l'opposition-antépulsion du pouce en cas de paralysie des muscles opposant, court abducteur, chef superficiel du court fléchisseur du pouce (figure 3a) ;

– paralysie complète de l'opposition-antépulsion du pouce à laquelle s'ajoute un signe de Froment en cas de paralysie des muscles opposant, court abducteur, chefs superficiel et profond du court fléchisseur du pouce ;

– absence de paralysie et l'opposition-antépulsion du pouce persistante de façon totale ou subtotale en cas d'innervation de la totalité du court fléchisseur du pouce par le nerf ulnaire ;

– l'amyotrophie est variable selon l'étendue du déficit.

La paralysie des deux premiers muscles lombricaux est sans traduction clinique.

Paralysie haute du nerf médian

Il s'agit de lésions du nerf médian au niveau ou en amont du nerf interosseux antérieur.

Le déficit sensitif est identique à la paralysie basse incluant le territoire de la branche cutanée palmaire.

Le déficit moteur inclut celui observé dans la paralysie basse auquel s'ajoute la paralysie (figure 4) :

– des muscles rond et carré pronateurs ;

– du palmaire long et du fléchisseur radial du carpe masquée par la présence du fléchisseur ulnaire du carpe ;

– du long fléchisseur du pouce ;

– des fléchisseurs profonds à destination des 2^e et 3^e doigts. Toutefois, le déficit du 3^e doigt est souvent masqué par les anastomoses entre fléchisseurs profonds au canal carpien ;

– des fléchisseurs superficiels des doigts.

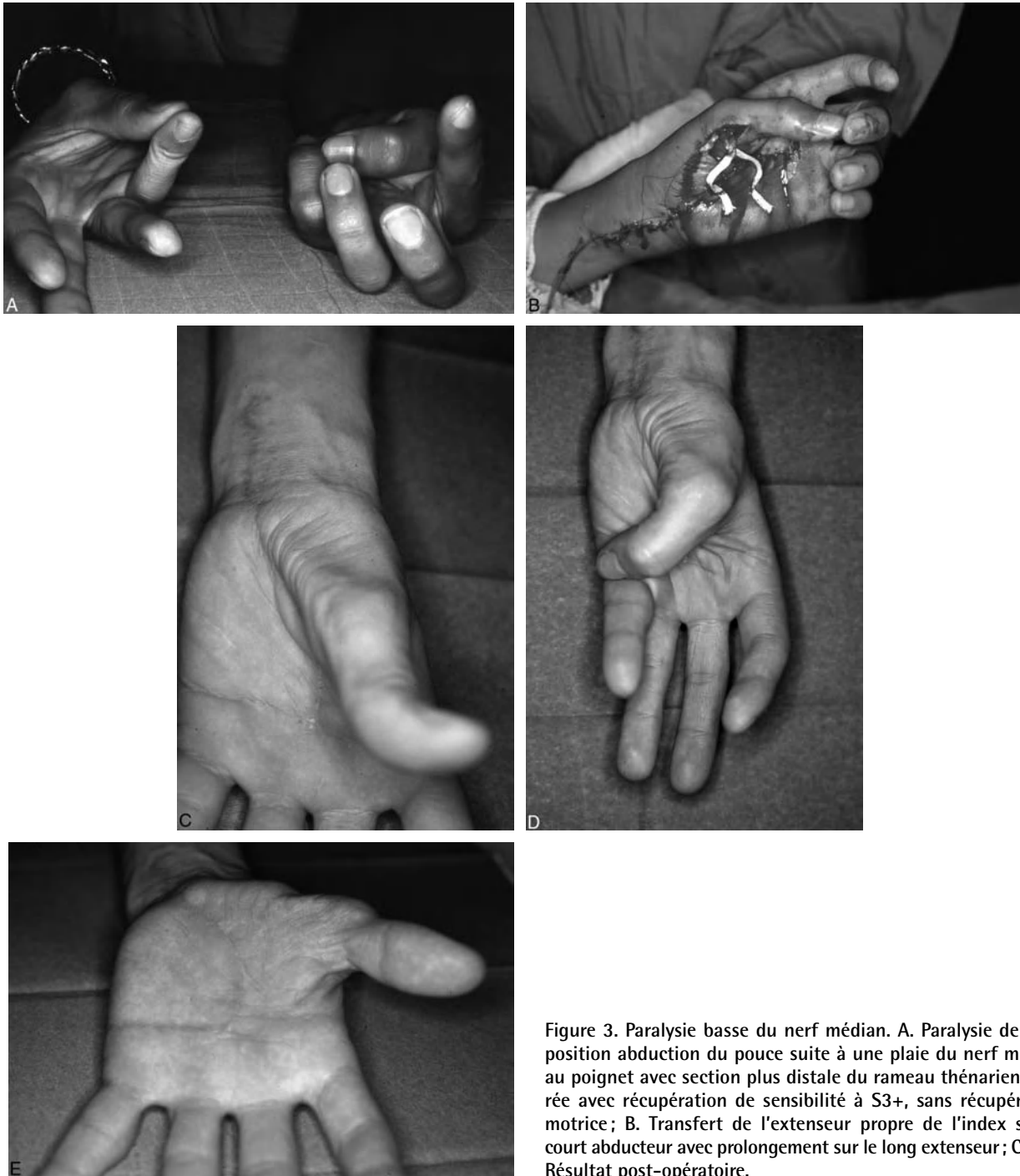


Figure 3. Paralysie basse du nerf médian. A. Paralysie de l'opposition abduction du pouce suite à une plaie du nerf médian au poignet avec section plus distale du rameau thénarien opérée avec récupération de sensibilité à S3+, sans récupération motrice; B. Transfert de l'extenseur propre de l'index sur le court abducteur avec prolongement sur le long extenseur; C, D, E. Résultat post-opératoire.

En cas d'anastomose de Martin-Grüber, il peut y avoir un déficit de muscles intrinsèques normalement innervés par le nerf ulnaire. Là aussi, le déficit moteur des muscles thénariens externes aura des conséquences variables selon la répartition médian ulnaire en cas d'anastomose de Riche-Cannieu.

Chirurgie palliative motrice

Besoins fonctionnels

En cas de paralysie basse du nerf médian, c'est l'opposition-antépulsion du pouce. Dans les paralysies hautes du nerf médian à l'opposition-antépulsion du pouce s'ajoute



Figure 4. Paralyse haute du nerf médian.

la flexion interphalangienne du pouce, la flexion interphalangienne distale et proximale du 2^e voire du 3^e doigt.

Chirurgie palliative en cas de paralysie basse du nerf médian pour paralysie de l'opposition antépulsion du pouce (tableau 1)

Les différents types de transfert se distinguent par le moteur utilisé. Direction, fixation distale, tension de réglage obéissent à des principes communs.

Direction du transfert

La direction est parallèle à celle des fibres du court abducteur du pouce (figure 2). Sa projection proximale à la partie distale de l'avant-bras se situe sur son bord ulnaire au dessus du pisiforme [34, 39].

Fixation distale

La fixation du transfert au niveau du tendon du court abducteur du pouce est indiquée quand il n'y a pas de signe de Froment associé, c'est-à-dire lorsque le chef profond du court fléchisseur du pouce n'est pas paralysé. En cas d'articulation métacarpophalangienne instable celle-ci est arthrodésée.

Quand il y a un « Froment », la fixation du transfert prolongé ou dédoublé se fait sur le tendon du court abducteur du pouce mais aussi sur l'appareil extenseur dorsal de façon à renforcer celui-ci face au long fléchisseur du pouce [35]. Le transfert participe alors à la dossière de l'extenseur.

Réglage de la tension du transfert

Tant que lors de la flexion passive du poignet le pouce conserve la possibilité d'extension rétropulsion com-

Tableau 1
Transferts tendineux pour paralysies isolées du nerf médian

	Fonction à restaurer	Moteur	Poulie	Insertion	Procédures alternatives
Paralysie basse	Opposition-antépulsion du pouce				
	Froment -	EIP	Circumulaire en amont pisiforme	APB	EPB FDS FPL ADM
	Froment +	EIP	Circumulaire en amont pisiforme	APB et EPL	
Paralysie haute	Opposition-antépulsion du pouce				
	Froment -	EIP	Circumulaire en amont pisiforme	APB	EPB ADM
	Froment +	EIP	Circumulaire en amont pisiforme	APB et EPL	
	Flexion IP pouce	BR	Circumradial	FPL	
	Flexion II et III	FDP IV, V		Anastomose latéro-latérale	

plète, le transfert peut être tendu de façon à obtenir, lors de l'extension progressive du poignet, le positionnement de la pulpe du pouce face à la base du 3^e doigt ongle parallèle au plan de la paume.

Immobilisation

L'immobilisation se fait poignet en demi-flexion pouce en opposition en regard du 3^e doigt pendant trois à quatre semaines.

Choix du moteur transférable

Ce choix répond à un certain nombre de critères : disponibilité, force, course, trajet et direction, longueur, synergie. Le choix du muscle transférable conditionne aussi le choix des incisions.

Transfert de l'extension propre de l'index [6, 12, 17]

C'est pour nous le transfert de choix dans les paralysies isolées du nerf médian avec déficit d'opposition-antépulsion. La technique opératoire comporte (figure 5) : Section du tendon distal de l'extenseur propre de l'index au dos de la métacarpophalan-

gienne par une courte voie d'abord. Repérage et récupération en aval du rétinaculum dorsal après l'avoir libéré des « adhérences » avec la juncta qui passe en pont au dessus de lui entre les tendons extenseurs communs des 2^e et 3^e doigts. Récupération en amont du rétinaculum par une voie en « V » à base ulnaire au travers d'une large fenêtre aponévrotique. Passage en sous-cutané au bord ulnaire de l'avant-bras juste au dessus de la tête ulnaire en veillant à ne pas léser la branche dorsale du nerf ulnaire. Réalisation du trajet sous-cutané reliant la zone poulie au bord ulnaire de l'avant-bras et une incision dorso-latérale en regard de la métacarpophalangienne du pouce exposant le tendon du court abducteur du pouce. Ce trajet peut rencontrer une zone cicatricielle à la face antérieure du poignet qui devra être bien libérée. Point de fixation, tension et immobilisation sont conformes à ce qui a été dit précédemment.

Les résultats de ce transfert (figure 3) sont jugés excellents [4, 12]. Toutefois ce transfert ne doit être utilisé que dans des mains souples. Dans le cas contraire, Anderson recommande le transfert d'un fléchisseur superficiel des doigts longs [4].

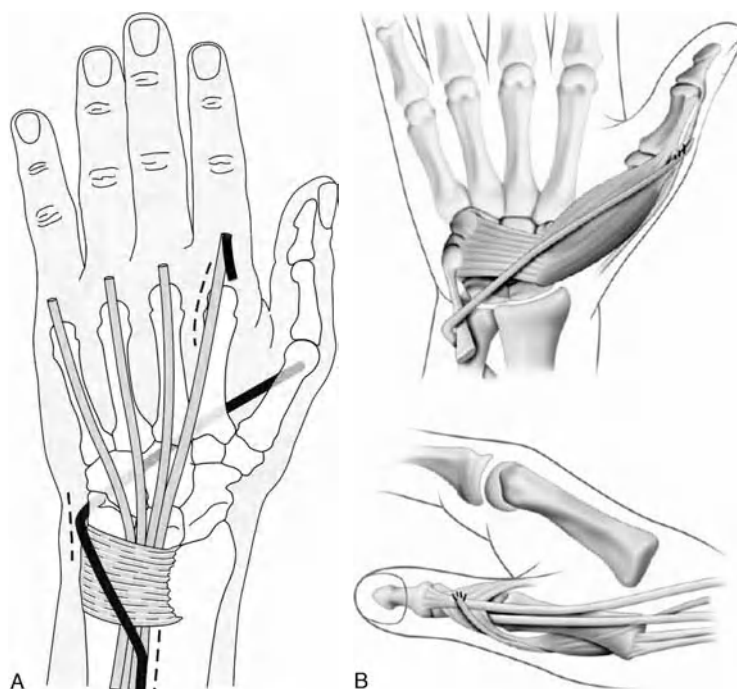


Figure 5. Réanimation de l'opposition antépulsion du pouce : A. Transfert de l'extenseur propre de l'index sur le court extenseur du pouce en circumlaire (d'après Alnot, [2]) ; B. Fixation du transfert d'opposition antépulsion prolongée au niveau du long extenseur du pouce selon Riordan (d'après Revol, in Revol M., Servant JM. Chirurgie palliative motrice des paralysies de la main (I) : principes et méthodes palliatives des fonctions élémentaires. EMC (Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie, 44-120, Techniques chirurgicales-Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, 45-750, 2005).

Autres transferts

Dans notre expérience, ils ne sont utilisés qu'en cas de non possibilité de transfert de l'extenseur propre de l'index.

– Transfert du court extenseur du pouce [2, 39, 40] (figures 6a, b).

Ce transfert est prélevé par l'incision qui permettra la fixation à l'abducteur. La dossière doit être parfaitement reconstituée et la métacarpophalangienne immobilisée en extension en post-opératoire. Pour certains ce transfert n'est utilisé que si la métacarpophalangienne doit être arthrodésée. Le tendon est récupéré par une voie d'abord au dos de l'avant-bras en amont du retinaculum. Le tendon est alors passé soit sous les vaisseaux radiaux et autour du fléchisseur radial du carpe qui sert de poulie juste en amont du ligament annulaire antérieur du carpe, soit au travers de la membrane interosseuse en amont du carré pronateur par une large fenêtre [19] et récupéré sur le bord ulnaire du fléchisseur radial du carpe en radial par rapport au nerf médian. Zancolli [43] passe autour du fléchisseur radial du carpe et d'une boutonnière du ligament annulaire antérieur reprochant au fléchisseur radial du carpe de se distendre. Le tendon est ensuite passé en sous-cutané jusqu'au tendon du court abducteur du pouce.

– Transfert du fléchisseur superficiel du 4^e doigt [10, 30, 38] (figure 7).

Le fléchisseur superficiel est prélevé en amont du chiasma entre poulies A1 et A2 comme le préconise North et Littler [30] pour préserver les vinculae et minimiser les séquelles fonctionnelles au niveau de l'interphalangienne proximale. Le fléchisseur superficiel est récupéré en amont du canal carpien. Les poulies utilisées sont la loge de Guyon [7], le fléchisseur ulnaire du carpe en créant une poulie [10, 24]. Le tendon fléchisseur superficiel est ensuite passé en sous-cutané vers la métacarpophalangienne du pouce.

Ce transfert ne peut être réalisé en cas de séquelles de section des fléchisseurs superficiels. Il diminue la force de fermeture des doigts et n'est pas exempt de complications au niveau de l'interphalangienne proximale. Aucune des poulies utilisées ne prévient d'une migration radiale du transfert [4]. Ce transfert est à privilégier dans les mains à tendance raide [4].

– Transfert du palmaire long [14, 20].

Ce transfert n'est pas recommandé après paralysie traumatique basse du médian du fait de la fréquence de sa lésion concomitante, de la faiblesse de sa force et sa course et de son moment d'action insuffisant. Il ne garde des indications aujourd'hui rares que dans les séquelles de paralysie des thénariens externes suite à un

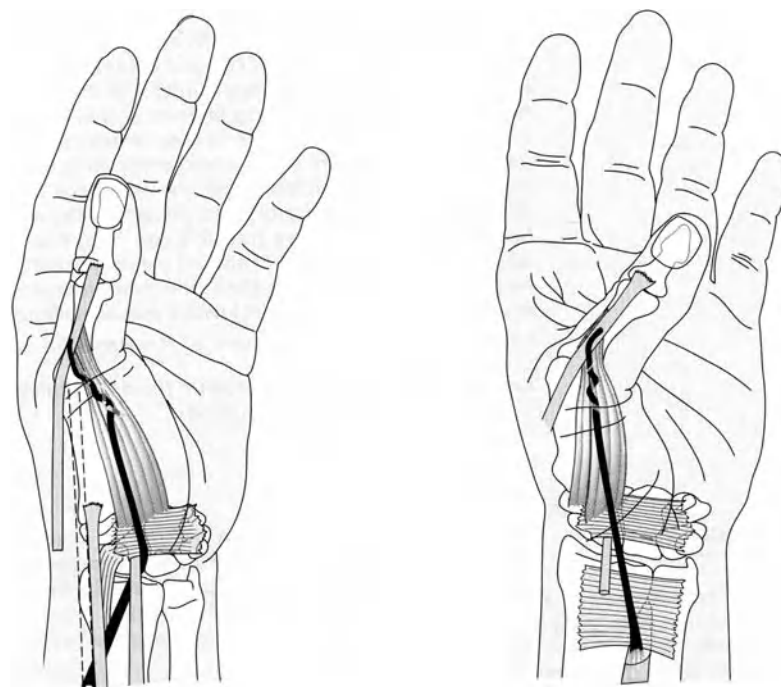


Figure 6. Réanimation de l'opposition antépulsion du pouce : Transfert du court extenseur du pouce avec poulie de réflexion autour du fléchisseur radial du carpe (A) ou au travers de la membrane interosseuse (B) (d'après Alnot, [2]).

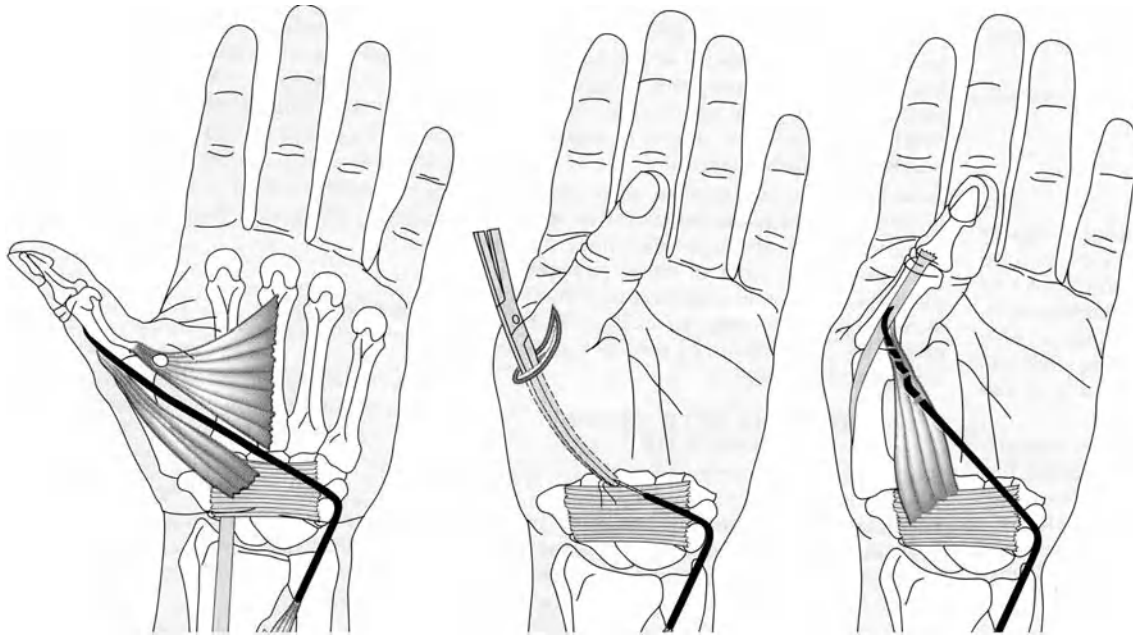


Figure 7. Transfert d'un fléchisseur superficiel sur le court abducteur et le long extenseur du pouce avec poulie de réflexion en regard du pisiforme à effet mixte (d'après Alnot, [2]).

syndrome du canal carpien évolué. Il peut être réalisé au cours de la libération nerveuse. Le palmaire long est prélevé, prolongé par une bandelette prétendineuse du 3^e rayon, récupéré au 1/3 distal de l'avant-bras et passé en sous-cutané vers le tendon du court abducteur du pouce. Il n'y a pas de poulie de réflexion (figure 8).

– Transfert de l'abducteur du cinquième doigt [26, 34].

Il n'est effectué qu'en cas de contre-indication des autres. Le muscle est prélevé par une incision ulno-palmaire au niveau de la paume en veillant à ne pas léser sa vascularisation et son innervation par une dissection disto-proximale. Afin de minimiser le risque compression du paquet ulnaire et d'augmenter la longueur, l'insertion proximale est détachée, puis soit laissée libre pour la constitution d'adhérences, soit fixée sur l'aponévrose palmaire [15]. Toutefois il y a un risque d'élongation du pédicule vasculaire et de dévascularisation du transfert. Les séquelles esthétiques sur le bord ulnaire de la main sont notables avec atrophie hypothénarienne. Les indications de ce transfert sont très limitées

– Transfert du long fléchisseur du pouce [27, 31].

La technique de Makin utilisant le tendon du long fléchisseur du pouce transféré en continuité passé au travers d'une ostéotomie oblique de la première phalange du pouce a été modifiée par Oberlin et Alnot [31] faisant passer le transfert au travers d'une arthro-dèse interphalangienne. Le tendon est passé sous l'ex-

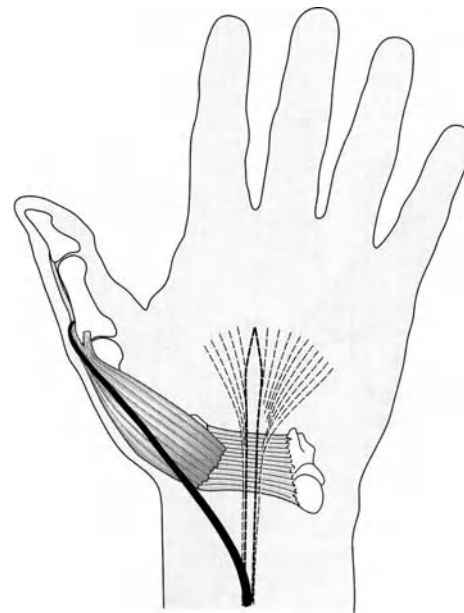


Figure 8. Réanimation de l'opposition antépulsion du pouce : Transfert du palmaire long (d'après Alnot, [2]).

tenseur puis au dos de la MP du pouce et non au dos de P1 pour éviter une déformation en flexion de cette articulation. Le tendon est aussi passé au travers du tendon du court abducteur du pouce. Cette technique n'est indiquée que dans les paralysies combinées avec

flexum non réductible de l'interphalangienne du pouce et absence d'autre muscle transférable. L'effet d'antépulsion est faible compte tenu du trajet du transfert.

Chirurgie palliative en cas de paralysie haute du nerf médian (tableau 1)

À la restauration de l'opposition antépulsion du pouce s'ajoute celle du long fléchisseur du pouce et celle du fléchisseur profond de l'index voire du majeur. Fléchisseur superficiel des doigts long, fléchisseur radial du carpe et pronateurs ne sont pas restaurés. Cette paralysie contre-indique l'utilisation d'un fléchisseur superficiel ou du palmaire long.

Le brachioradialis désinséré en distal et suffisamment libéré en proximal du fait de ses adhérences, est transféré sur le long fléchisseur du pouce [12, 22] par la même voie d'abord qui va servir à anastomoser en latéro-latéral le fléchisseur de l'index, voire celui du majeur, aux autres fléchisseurs profonds innervés par le nerf ulnaire. Si le territoire du nerf médian est débordant avec paralysie au-delà du 3^e doigt un transfert de l'extenseur radial long du carpe sur les fléchisseurs profonds des 2^e, 3^e, 4^e doigts peut être utilisé [34].

Chirurgie palliative sensitive

Les branches terminales de la branche superficielle du nerf radial peuvent prendre en charge une partie des bords latéraux et médiaux de la pulpe du pouce [33]. En cas de paralysie totale, non compensée, a été proposé le transfert des branches dorso-radiales et ulnaires de l'index et de la branche dorso-ulnaire du pouce sur respectivement le nerf digital radial de l'index et le nerf digital ulnaire du pouce dorsalisés [33] (figure 9).

Les résultats avec un délai post-opératoire moyen de cinq ans, chez sept patients opérés après un délai post-traumatique moyen de deux ans ont été évalués par Rapp et Foucher [33]. Une récupération d'une sensibilité de protection a été obtenue dans tous les cas; toutefois, une récupération de sensibilité avec un test de Weber entre 10 et 15 mm ne fut constatée que dans cinq cas sur sept. Le risque de cette intervention en cas d'échec est la perte d'une partie de la sensibilité dorsale du pouce et la totalité de celle de l'index.

D'autres nerfs ont été proposés, branche dorsale du nerf ulnaire, nerf digital commun du 4^e espace pour resensibiliser la première commissure. Aucun résultat n'a été documenté [42].

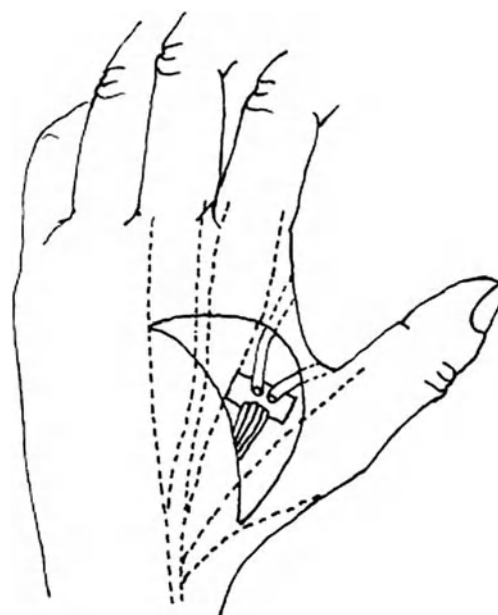


Figure 9. Transfert des branches dorso-radiales et ulnaires de l'index et de la branche dorso-ulnaire du pouce sur respectivement le nerf digital radial de l'index et le nerf digital ulnaire du pouce dorsalisés (d'après Foucher).

Paralysies ulnaires

On distingue les paralysies basses liées à une lésion du nerf ulnaire à la partie distale de l'avant-bras ou au poignet épargnant les muscles longs fléchisseurs des doigts et le fléchisseur ulnaire du carpe des paralysies hautes dues à une lésion plus proximales. Là aussi nous prendrons comme type de description les paralysies complètes.

Aspects cliniques

Paralysies basses du nerf ulnaire

Le déficit sensitif comprend une anesthésie de la face palmaire 5^e doigt, de la moitié ulnaire du 4^e doigt et du bord ulnaire de la main, ainsi qu'une anesthésie de la face dorsale de la main si la branche dorsale est intéressée avec anesthésie de la moitié ulnaire du 3^e doigt en amont de l'interphalangienne proximale, du 4^e doigt hormis sa moitié radiale en aval de l'interphalangienne proximale et de tout le 5^e doigt.

Le déficit moteur inclut une paralysie des muscles thénariens internes adducteur du pouce et chef profond du court fléchisseur du pouce. Cela se traduit par :

– le signe de Froment (Figure 10a) : c'est l'instabilité de l'interphalangienne du pouce qui fléchit lors des

prises de force pouce-index par paralysie de l'adducteur participant du côté ulnaire à la dossière de l'appareil extenseur. Le long extenseur du pouce aidé par le court abducteur et le faisceau superficiel du court fléchisseur participant à la dossière de l'extenseur n'est pas assez fort pour s'opposer au long fléchisseur du pouce ;

– le signe de Jeanne : c'est l'instabilité de la métacarpophalangienne qui se place en extension ou hyperextension lors des prises de force pollici-digiales par paralysie du court fléchisseur du pouce.

Il y a en plus une paralysie des muscles interosseux dorsaux et palmaires et des deux derniers lombricaux. Cela se traduit par :

- une amyotrophie de tous les espaces interosseux ;
- l'arche métacarpienne transversale devient plate ;
- une dysharmonie de flexion des 4^e et 5^e doigts [21] ;

– une griffe des 4^e et 5^e doigts, les deux premiers muscles lombricaux empêchant la griffe des 2^e et 3^e doigts. Le danger est que cette griffe s'enraidisse en flexion au niveau interphalangien et en extension au niveau métacarpophalangien (figure 10b). Si l'on empêche l'hyperextension métacarpophalangienne, en imposant une flexion passive de 30° à ces articulations, l'extension interphalangienne est possible. C'est la manœuvre de Bouvier (figure 10c). En cas de griffe dans le cadre d'une paralysie ulnaire, une orthèse MP-stop devra être placée pour éviter l'enraidissement interphalangien ;

– la perte des possibilités de rapprochement des 4 doigts longs et d'écartement des 2^e, 3^e et 4^e doigts. l'écartement du 5^e doigt est permis par l'abducteur du 5^e doigt. La perte d'abduction métacarpophalangienne de l'index est surtout préjudiciable lors de la pince pouce index pulpo-latérale où l'index ne peut résister

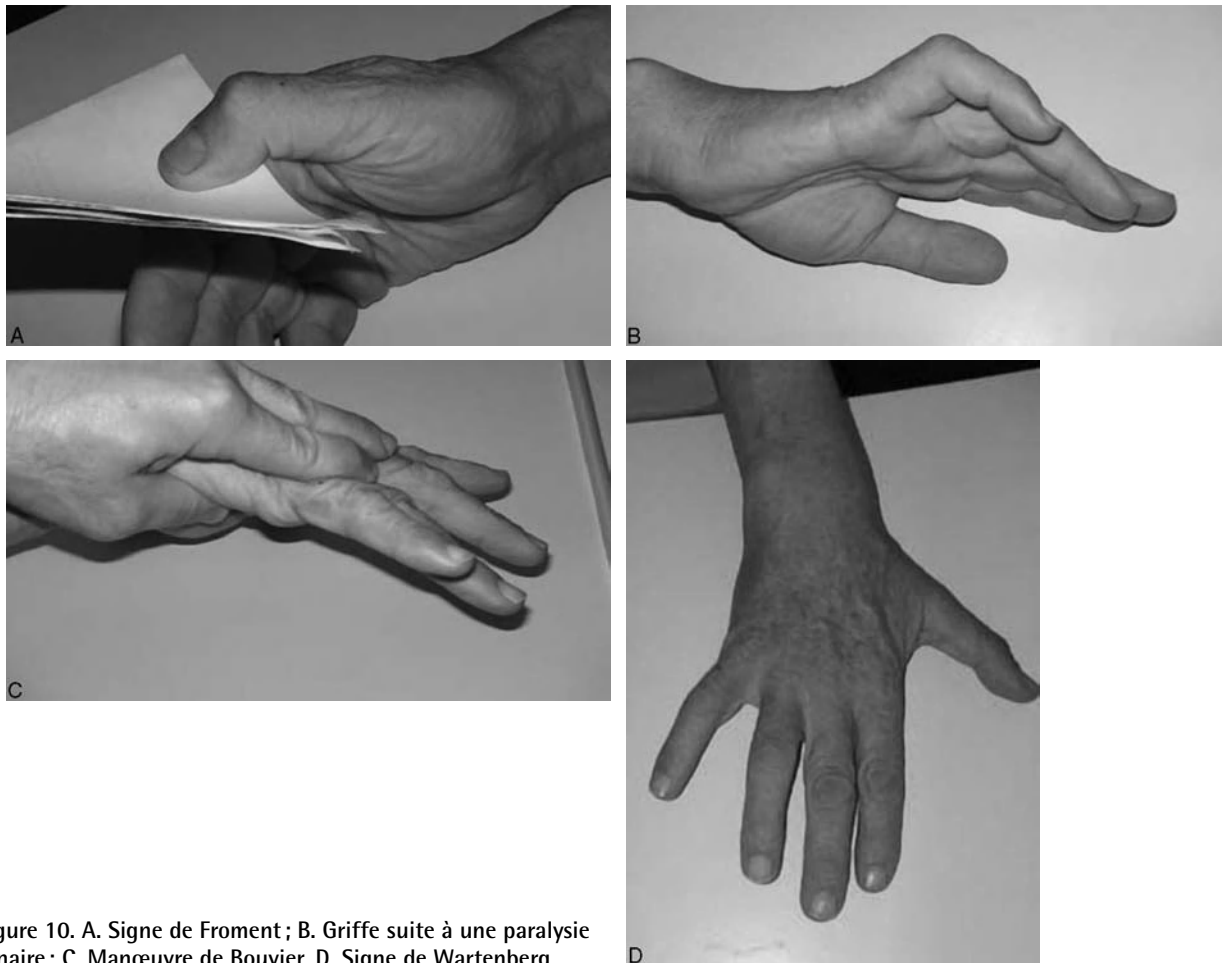


Figure 10. A. Signe de Froment ; B. Griffe suite à une paralysie ulnaire ; C. Manœuvre de Bouvier. D. Signe de Wartenberg.

et s'efface en déviant du côté ulnaire. Il peut toutefois prendre appui sur les doigts voisins eux aussi fléchis.

Le tableau complet comprend enfin une paralysie des muscles hypothénariens. L'abducteur du 5^e doigt est la contribution ulnaire à la dossière de l'extenseur de ce doigt. Les muscles hypothénariens participent à la flexion métacarpophalangienne. L'opposant concourt à rapprocher le 5^e rayon du pouce lors de l'opposition de ces deux doigts. L'absence de paralysie ou la récupération de l'abducteur du 5^e doigt alors que les interosseux sont paralysés provoque une abduction permanente de ce doigt qui peut être très gênante et qui est le signe de Wartenberg (figure 10d). La griffe du 5^e doigt diminue alors.

La paralysie ulnaire occasionne une diminution importante de la force des pinces pollicidigitale (– 75 à 80 %), interdigitales et palmodigitale (– 48 % dans les paralysies basses et – 60 à 80 % dans les paralysies hautes) [28].

Là aussi, le déficit moteur des muscles thénariens aura des conséquences variables selon la répartition médian ulnaire en cas d'anastomose de Riche-Cannieu, selon la répartition d'innervation des lombricaux entre médian et ulnaire, la griffe pourra être limitée ou plus étendue.

Paralysie haute du nerf ulnaire

Le déficit sensitif est celui observé dans la paralysie basse auquel s'ajoute obligatoirement le territoire de la branche cutanée dorsale.

Le déficit moteur inclut celui observé dans la paralysie basse auquel s'ajoute la paralysie :

- des fléchisseurs profonds à destinée des 4^e et 5^e doigts. La griffe des doigts longs est alors moins marquée que dans les paralysies basses du fait de la faiblesse des fléchisseurs ;
- du fléchisseur ulnaire du carpe.

En cas d'anastomose de Martin-Grüber, il peut ne pas y avoir de déficit de tous les muscles intrinsèques normalement innervés par le nerf ulnaire. Les mêmes variations que dans les paralysies basses peuvent se retrouver au niveau du déficit des intrinsèques du pouce. La répartition entre médian et ulnaire des lombricaux et fléchisseurs profonds peut aussi varier.

Chirurgie palliative

Chirurgie palliative motrice (tableau 2)

Paralysies ulnaires basses

Besoins fonctionnels

Ils sont d'importance variable selon la gravité de la paralysie et les besoins du patient. Il faudra considérer :

- le renforcement de la pince pollicidigitale sur les deux versants pouce et index ;
- la restauration de l'harmonie de flexion des doigts longs [21] et la correction de la griffe ;
- la correction éventuelle de l'abduction du 5^e doigt.

S'il est un domaine où l'imagination chirurgicale a été forte c'est bien celui de la chirurgie palliative des paralysies du nerf ulnaire ou apparentées. Notre propos ne sera pas d'en faire une liste exhaustive mais de proposer plutôt une approche simplifiée hiérarchisée.

Le renforcement de la pince pouce-index

Le pouce

En cas de paralysie de l'adducteur et du court fléchisseur du pouce, on retrouve un signe de Froment, la métacarpophalangienne est rarement instable en hyperextension sauf chez un patient hyperlaxe, l'interphalangienne est en général souple. Il y a deux grandes orientations soit restaurer l'adduction du pouce, soit renforcer la flexion métacarpophalangienne. Notre préférence va comme Revol [34] au renforcement de la flexion métacarpophalangienne selon Zancolli. La réanimation de l'adduction du pouce expose à un manque d'ouverture de la première commissure.

Transfert de réanimation du court fléchisseur du pouce [34, 43].

Le moteur utilisé est le fléchisseur superficiel du 4^e doigt (figure 11) en cas de paralysie basse sans lésion associée des fléchisseurs au poignet. Le tendon est prélevé avec les précautions déjà citées. Il est récupéré en amont du canal carpien, passé sous son contenu, récupéré au bord distal du canal par une incision oblique allant vers la base du pouce. La poulie de réflexion est le bord radial et distal du canal carpien. Le tendon suit le long fléchisseur du pouce en passant au-dessous de lui, puis en se dirigeant du côté radial sous les pédicules. Le point de fixation est le tendon du court abducteur du pouce avec prolongement jusqu'à la dossière de l'extenseur et le long extenseur du pouce. Ce transfert fléchit la métacarpophalangienne, participe à l'extension interphalangienne et par sa direction dont l'axe se projette en aval du pisiforme a une petite action d'adduction. La tension de réglage se règle poignet en rectitude, le pouce en antéposition moyenne, articulations MP et IP du pouce en rectitude. En cas d'absence de fléchisseur superficiel utilisable, l'extenseur propre de l'index peut être employé avec un trajet transmembranaire ou circumulnaire sous le fléchisseur ulnaire du carpe et le paquet ulnaire pour passer ensuite en profondeur au niveau du canal carpien.

Tableau 2
Transferts tendineux pour paralysies isolées du nerf ulnaire

	Fonction à restaurer	Moteur	Poulie	Insertion	Procédures alternatives
Paralysie basse	Flexion stabilisation MP pouce	FDS IV	Trapèze	APB, EPL	EIP Arthrodèse IP
	Adduction pouce	FDS IV	Bord ulnaire aponévrose superficielle	APB, EPL	
	Abduction index	EPB +/- arthrodèse MP		1 ^{er} IOD	
	Griffe				
	Bouvier +	FDS IV ou III « Lasso »	Poulie A2 proximale	FDS	Capsuloraphie
	Bouvier –	Palliatif à action distale si griffe raide		Dossière radiale extenseur	Arthrodèse IPP
	Adduction V	Moitié ulnaire EDM	Ligament inter-métacarpien profond	Ligament collatéral radial MP V ou dossière radial extenseur V	Moitié ulnaire EDC IV
Paralysie haute	Flexion stabilisation MP pouce	FDS III	Trapèze	APB, EPL	EIP
	Adduction pouce	FDS III	Bord ulnaire aponévrose superficielle	APB, EPL	
	Abduction index	EPB +/- arthrodèse MP		1 ^{er} IOD	
	Griffe				
	Bouvier +	Capsuloraphie			FDS III « Lasso »
	Bouvier –	Palliatif à action distale si griffe raide		Dossière radiale extenseur	Arthrodèse IPP
	Flexion IPD IV et V	FDP II, III		Anastomose latéro-latérale	

Transfert d'adduction du pouce [16, 38]

Le transfert le plus populaire est celui du fléchisseur superficiel du 4^e doigt selon Thompson qui a comme poulie de réflexion le bord ulnaire de l'aponévrose palmaire superficielle (figure 12). Le point de fixation est classiquement l'adducteur du pouce. Chaise le fixe sur l'extenseur en passant du côté radial de la MP par deux bandelettes sur l'extenseur,

l'une qui s'insère du côté radial, l'autre du côté ulnaire pour diminuer le risque de flexum métacarpophalangien. L'inconvénient de ce transfert très puissant, outre le risque de limitation de l'abduction, son manque de course, est représenté par l'angulation marquée au niveau de la poulie de réflexion. L'extenseur propre de l'index a aussi été utilisé en prenant comme poulie le deuxième espace intermétacarpien [1].

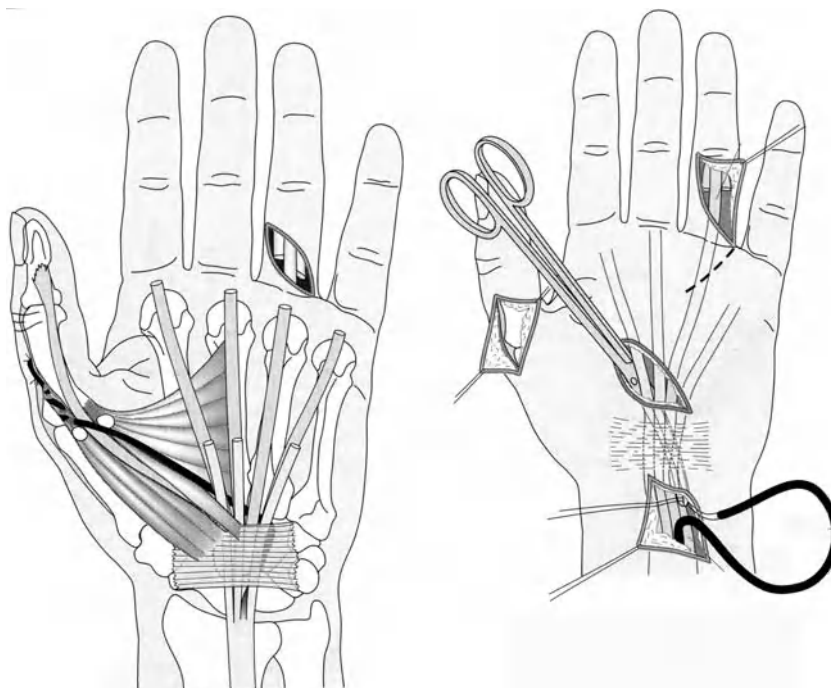


Figure 11. Transfert de réanimation du court fléchisseur du pouce sur le court abducteur et le long extenseur (d'après Alnot, [2]).

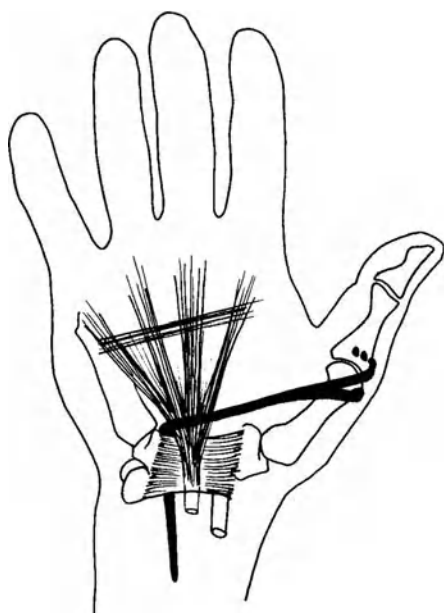


Figure 12. Transfert de réanimation de l'adduction du pouce par transfert du fléchisseur superficiel du 4^e doigt selon Thompson (d'après Revol in, Revol M., Servant JM. Chirurgie palliative motrice des paralysies de la main (I) : principes et méthodes palliatives des fonctions élémentaires. EMC (Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie, 44-120, Techniques chirurgicales-Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, 45-750, 2005).

Gestes associés

En cas d'instabilité de la métacarpophalangienne du pouce, une arthrodèse [7, 32] est effectuée ce qui permet l'utilisation du court extenseur du pouce pour réanimer le premier interosseux dorsal.

En cas de flexum interphalangien non réductible ou d'absence de possibilité de transfert pour le « Froment », une simple arthrodèse interphalangienne du pouce [39] peut permettre une amélioration fonctionnelle et un gain de force. Toutefois, la perte de mobilité de cette articulation peut être gênante [23]. On ne la réserve qu'au flexum important non réductible.

L'index

C'est la réanimation du premier interosseux dorsal. Le transfert du court extenseur du pouce [9] est pour nous la solution de choix (figure 13), car bien meilleur que le transfert de l'extenseur propre de l'index [8] dont l'angle d'attaque est quasi nul. Il faut veiller à bien reconstituer la dossière de l'extenseur pour ne pas risquer de déficit d'extension important car le tendon doit être assez long. Ce transfert est d'autant plus indiqué qu'une arthrodèse métacarpophalangienne du pouce est effectuée.

La restauration de l'harmonie de flexion des doigts longs et la correction de la griffe

Les indications thérapeutiques dépendent de la manœuvre de Bouvier. L'étude de la manœuvre de Bouvier permet de distinguer :

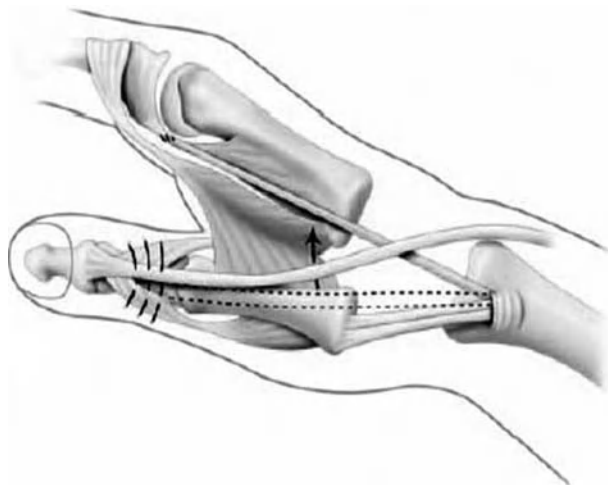


Figure 13. Transfert du court extenseur du pouce pour réanimation du premier interosseux dorsal (d'après Revol in, Revol M., Servant JM. Chirurgie palliative motrice des paralysies de la main (II) : principes et méthodes palliatives des fonctions élémentaires. EMC (Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie, 44-120, Techniques chirurgicales-Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, 45-750, 2005).

- d'une part, les griffes souples où la manœuvre de Bouvier est positive (figures 10b, c). L'extension active interphalangienne est possible si les métacarpophalangiennes sont placées passivement en flexion par l'examineur ;
- d'autre part, les griffes enraidies où la manœuvre de Bouvier est négative. L'extension active des interphalangiennes n'est pas possible soit par raideur en flexion interphalangienne, soit par raideur en extension métacarpophalangiennes.

Le traitement chirurgical a pour but :

- par une méthode passive de limiter passivement l'extension métacarpophalangienne par capsulodèse métacarpophalangienne qui aura le même rôle que le « Bouvier », ce qui peut suffire à permettre l'extension interphalangienne. Cette technique est efficace sur la griffe souple mais l'est moins sur l'harmonie de flexion digitale ;
- par une méthode active de restaurer les fonctions intrinsèques :
 - soit restaurer uniquement la flexion active métacarpophalangienne et par le tonus passif musculaire limiter l'extension métacarpophalangienne par un palliatif à action proximale. Ce sont les palliatifs à action proximale [34]. Cette technique est efficace sur la griffe et sur l'harmonie de flexion digitale,
 - soit restaurer en plus de la flexion métacarpophalangienne mais aussi l'extension des interphalangiennes. Ce sont les palliatifs à action distale [34]. Cette technique est efficace sur la griffe et sur l'harmonie de flexion digitale, mais le réglage est difficile et il y a un risque d'hypercorrection et de col de cygne à moyen terme.

Le choix entre ces techniques dépendra du type de griffe, de la souplesse de la main, des moteurs disponibles, du risque à prendre un fléchisseur superficiel (diminution de force, paralysie des fléchisseurs profonds, séquelles de section tendineuse), du profil du patient et des habitudes de chacun.

Méthode passive : La capsulodèse antérieure [34, 43]

Le principe en est un raccourcissement de la plaque palmaire métacarpophalangienne. La voie d'abord est palmaire au niveau du pli palmaire distal permettant en fin d'intervention une résection ovoïde cutanée pour faire une dermodèse qui ajoutera son effet de flexion métacarpophalangienne. On peut aussi faire des voies séparées longitudinales traversant le pli de flexion métacarpophalangien, ce qui pourra entraîner une cicatrice rétractile qui contribuera au flexum de cette articulation. Les bandelettes prétendineuses sont sectionnées et la poulie A1 est partiellement ouverte, ce qui permettra une augmentation du moment d'action des fléchisseurs sur les métacarpophalangiennes. Les fléchisseurs sont réclinés. La plaque palmaire est exposée. L'avancement et la fixation capsulaire peuvent se faire de diverses manières. Le raccourcissement capsulaire simple a été remplacé par une fixation au col du métacarpien moins sujette à récurrence. Nous incisons la capsule en U à base distale (figure 14).

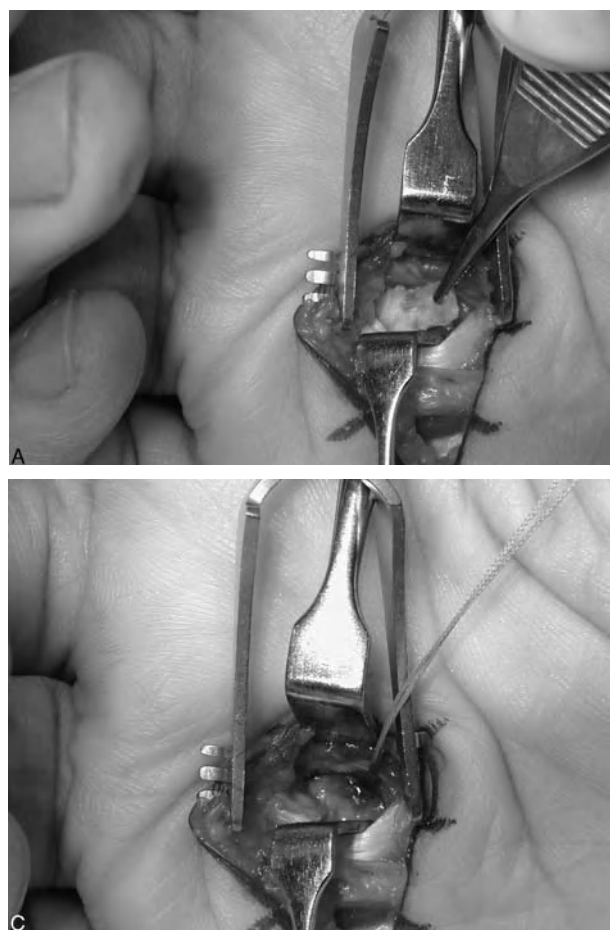
Nous incisons la capsule en U à base distale (figures 14A et 14B). Le lambeau capsulaire est progressivement déplacé en proximal jusqu'à fléchir la métacarpophalangienne à l'angle voulu déterminé par la manœuvre de Bouvier. Il vaut mieux toujours une certaine hypercorrection car une certaine détente est possible. Le procédé de Zancolli nécessitant de faire passer le fil de fixation au travers du col du métacarpien peut être simplifié par la mise en place d'une mini-ancre de Mitek® avec un fil non résorbable pour fixer le lambeau capsulaire proximal (figure 13c). En post-opératoire, les métacarpophalangiennes sont placées en flexion. Une orthèse MP-stop est gardée pendant au moins deux mois. La mobilisation active des fléchisseurs est commencée en post-opératoire immédiat pour éviter des adhérences des fléchisseurs.

Méthode palliative active à action proximale

Le principe repose sur un transfert actif cravatant une poulie du canal digital et se réfléchissant en val de l'axe de flexion métacarpophalangien. La technique de référence est l'intervention « lasso » de Zancolli [43].

Le moteur est le fléchisseur superficiel du 4^e doigt divisé en autant de bandelettes qu'il y a de rayon à corriger (figures 15d, e, f, g). L'alternative est celui du 3^e.

La zone d'attache et de réflexion au niveau du canal digital est soit la poulie A1, soit pour nous la partie



Figures 14. A, B. Capsulodèse antérieure de type Zancolli modifiée avec lambeau capsulaire rectangulaire à pédicule distal qui est avancé pour permettre un flexum métacarpophalangien; C. Une mini-ancre est placée au col du métacarpien pour y fixer le lambeau capsulaire.

proximale de la poulie A2 [13]. Ceci permet d'augmenter le moment d'action de ce transfert, d'effectuer une résection de la partie proximale de A1 qui a le même effet. Le fléchisseur superficiel est prélevé soit entre poulie A1 et A2, puis les bandelettes sont récupérées par une autre incision à l'union 1/3 proximal, 2/3 distaux de A2, soit prélevé au niveau de la zone de réflexion sur A2. Le tendon est ensuite suturé au niveau de la poulie et à lui-même. Zancolli insiste sur le caractère atraumatique de la dissection et l'absence de manipulation du fléchisseur profond avec des pinces pour minimiser le risque d'adhérences post-opératoires. Le réglage de la tension se fait poignet en rectitude et métacarpophalangiennes en flexion 45°.

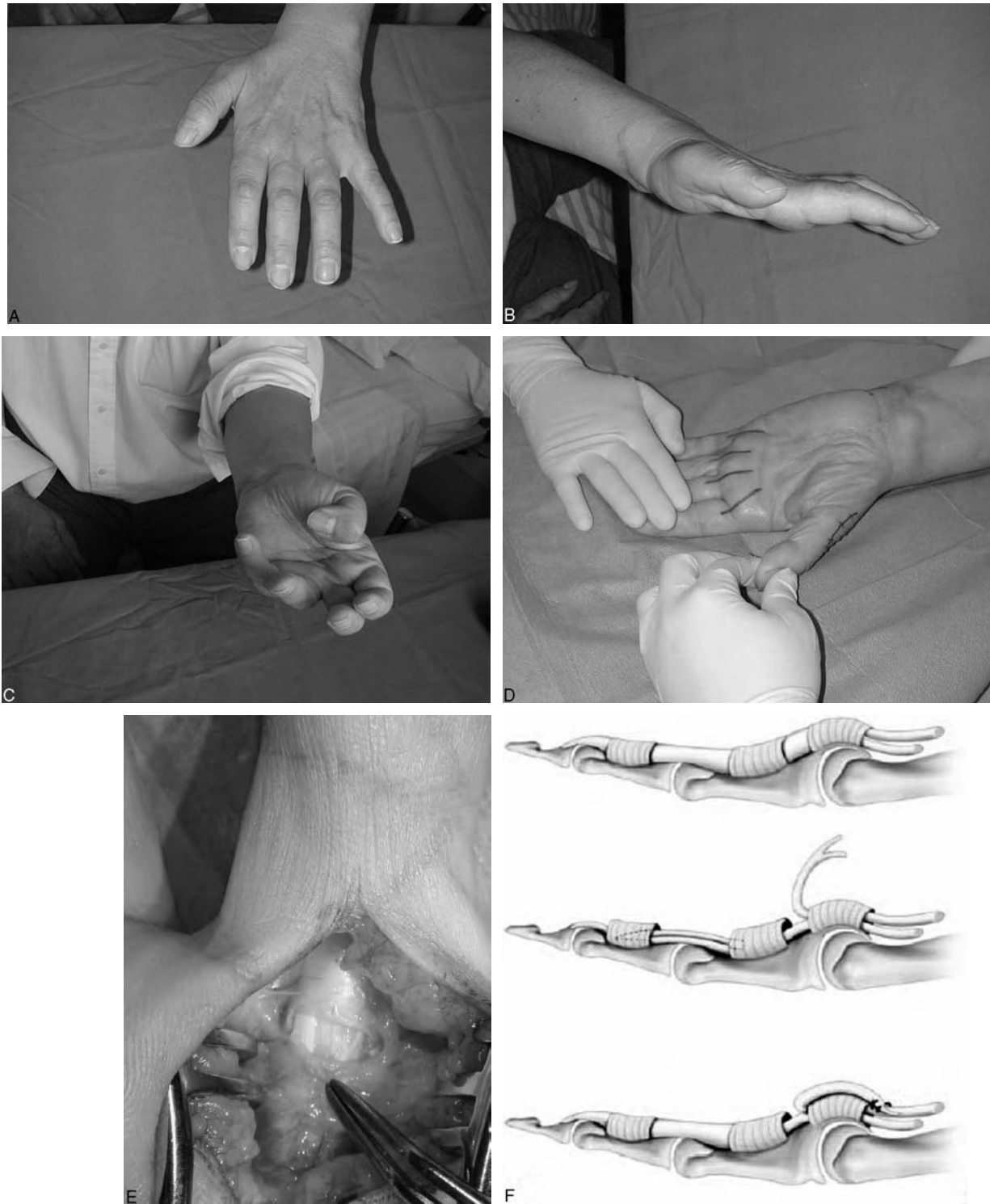
L'immobilisation post-opératoire se fait métacarpophalangiennes en flexion.

Méthode palliative active à action distale

Le principe est de réanimer à la fois la flexion métacarpophalangienne et l'extension interphalangienne proximale distale.

Le trajet du transfert sera palmaire par rapport à l'axe de flexion métacarpophalangien, donc en avant du ligament intermétacarpien au niveau du canal lombriçal du côté radial du doigt à traiter. Le point de fixation distal est au niveau de la bandelette latérale radiale de l'appareil extenseur en regard de la première phalange (figure 16). Le moteur utilisé peut être :

- dans l'intervention décrite par Littler [25] (figure 17), un fléchisseur superficiel divisé en autant de bandelette qu'il y a de doigts à corriger. S'il y a seulement deux doigts à corriger, il s'agit d'un transfert très fort avec risque important de col de cygne;
- dans l'intervention de Brand 1^{re} manière [7], l'extenseur radial court du carpe ou 2^e radial prolongé par une greffe et passé à la face dorsale du poignet puis au travers des espaces intermétacarpiens (figure 18). La flexion métacarpophalangienne est activée par la flexion du poignet, ce qui n'est pas synergique;
- dans l'intervention de Brand 2^e manière [7], l'extenseur radial long du carpe ou 1^{er} radial prolongé par une greffe



Figures 15. A, B, C : Paralysie médio-ulnaire basse avec pouce dans le plan de la paume, difficultés importantes pour les prises en raison de la griffe, du Froment spontané et de l'absence d'opposition antépulsion ; D, E, F, G. Intervention de « Lasso » de Zancolli avec voie d'abord longitudinale (d'après Revol, in Revol M., Servant JM. Chirurgie palliative motrice des paralysies de la main (I) : principes et méthodes palliatives des fonctions élémentaires. EMC (Elsevier SAS, Paris), Techniques chirurgicales-Orthopédie-Traumatologie, 44-120, Techniques chirurgicales-Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, 45-750, 2005. H. Transfert de l'extenseur propre de l'index à effet mixte. I, J, K, L : Résultats post-opératoires.

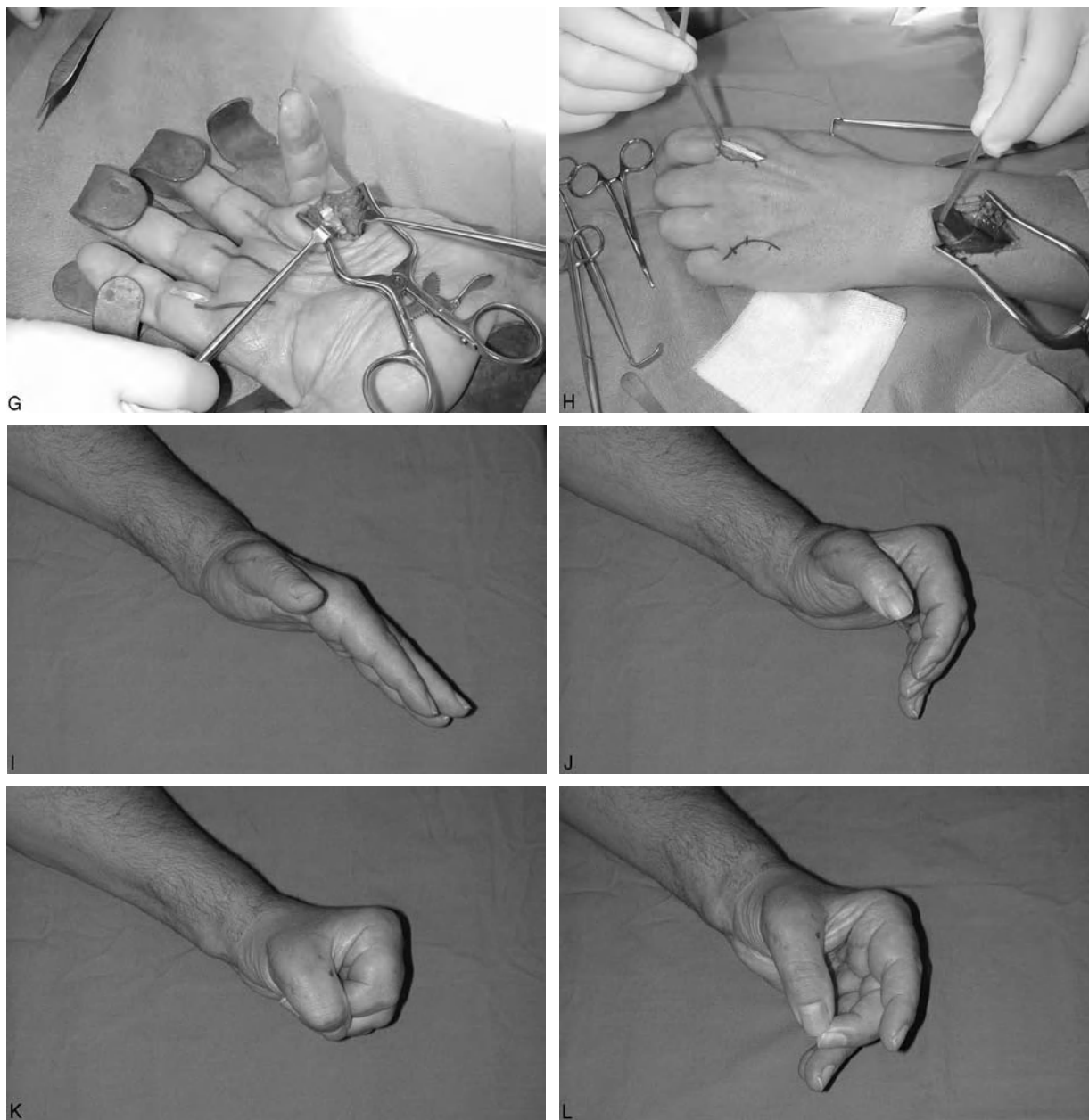


Figure 15. (Suite).

de palmaire long ou de plantaire grêle, en circumradial passant dans le canal carpien. La flexion métacarpophalangienne est activée par l'extension du poignet. Il y a un risque de compression du nerf médian au canal carpien ;
 – transfert du palmaire long [4] prolongé par des bandelettes de fascia lata ou des tendons d'extenseur court des orteils, passer au niveau du canal carpien en veillant à prendre des bandelettes fines et à placer les suture à distance du canal. Le point de fixation distal décrit par

Anderson cravate les tendons des interosseux adjacents au-delà du ligament intermétacarpien profond.

Indications chirurgicales

– En cas de manœuvre de Bouvier positive dans les griffes souples, peut être réalisé soit un lasso, soit une capsulodèse antérieure. La capsulodèse antérieure sera privilégiée en cas de contre-indication au lasso chez un patient laxo du fait du risque de col de cygne. En cas de

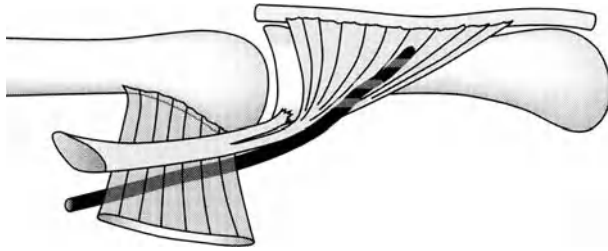


Figure 16. Transfert palliatif actif à action distale. Le trajet du transfert sera palmaire par rapport à l'axe de flexion métacarpo-phalangien donc en avant du ligament intermétacarpien au niveau du canal lombrical du côté radial du doigt à traiter. Le point de fixation distal est au niveau de la bandelette latérale radiale de l'appareil extenseur en regard de la première phalange (d'après Alnot, [2]).

paralysie haute, le fléchisseur superficiel du 4^e doigt est à respecter compte tenu de la paralysie du fléchisseur profond. L'alternative est l'utilisation du fléchisseur superficiel du 3^e doigt mais qui a des conséquences non négligeables sur la force de la poigne.

– En cas de manœuvre de Bouvier négative et de griffe enraidie, il faut essayer par une rééducation adaptée et spécialisée associée à des orthèses ou à des plâtres de posture de corriger l'enraidissement. S'il y a correction, stabilisation tissulaire et manœuvre de Bouvier positive, un lasso peut être proposé, voire un transfert à action distale si la main manque de souplesse. S'il n'y a pas correction, les résultats chirurgicaux sont modestes et il faudra discuter l'abstention thérapeutique, une arthrolyse interphalangienne proximale préalable à un éventuel transfert tendineux à action distale si la manœuvre de Bouvier se positive, soit une arthrodèse interphalangienne proximale.

Correction de l'abduction permanente du 5^e doigt [5, 41]

Cette attitude vicieuse se rencontre de façon transitoire dans le cadre de la récupération proximo-distale du nerf ulnaire puisque l'abducteur du 5^e doigt est réinnervé avant les interosseux. Le signe de Wartenberg

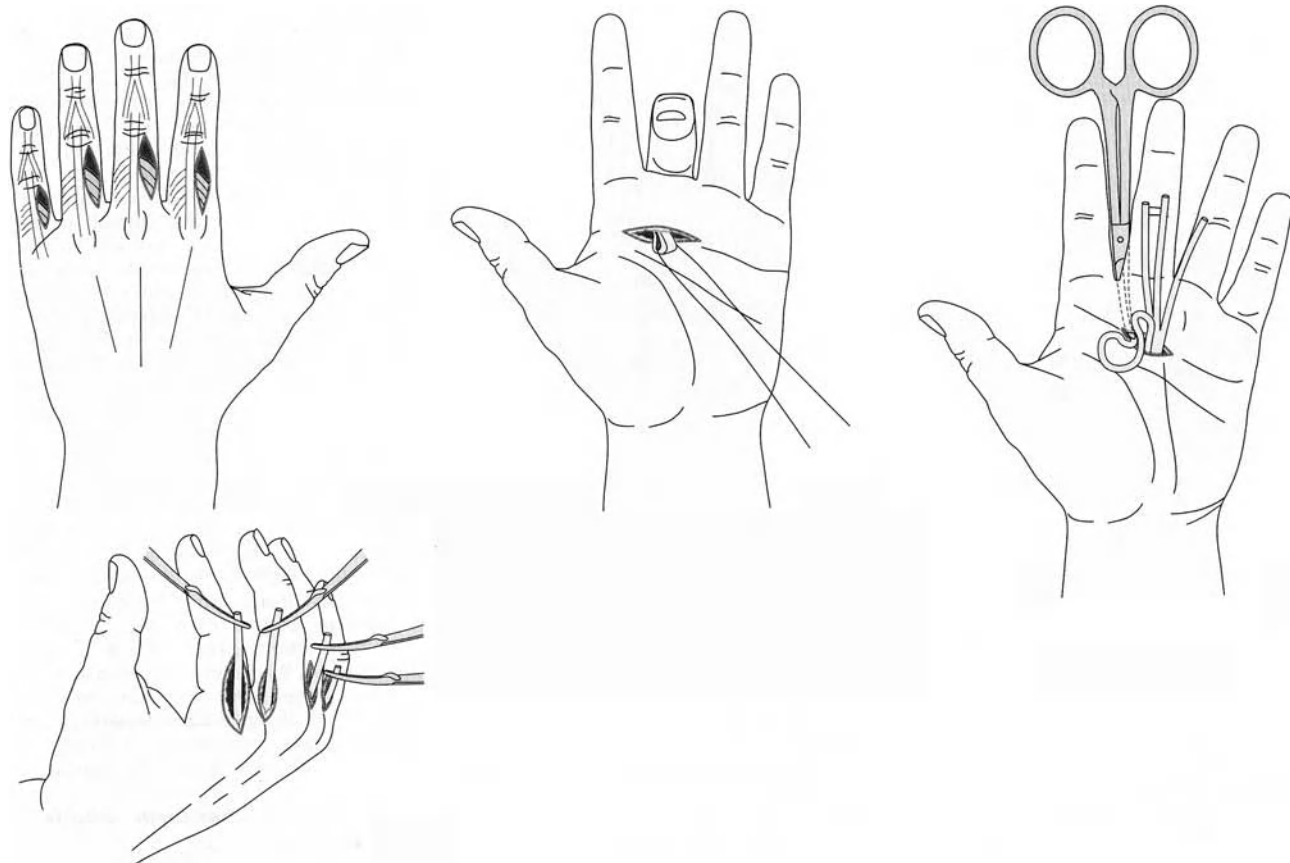


Figure 17. Transfert palliatif actif à action distale avec le fléchisseur superficiel selon Littler (d'après Alnot).

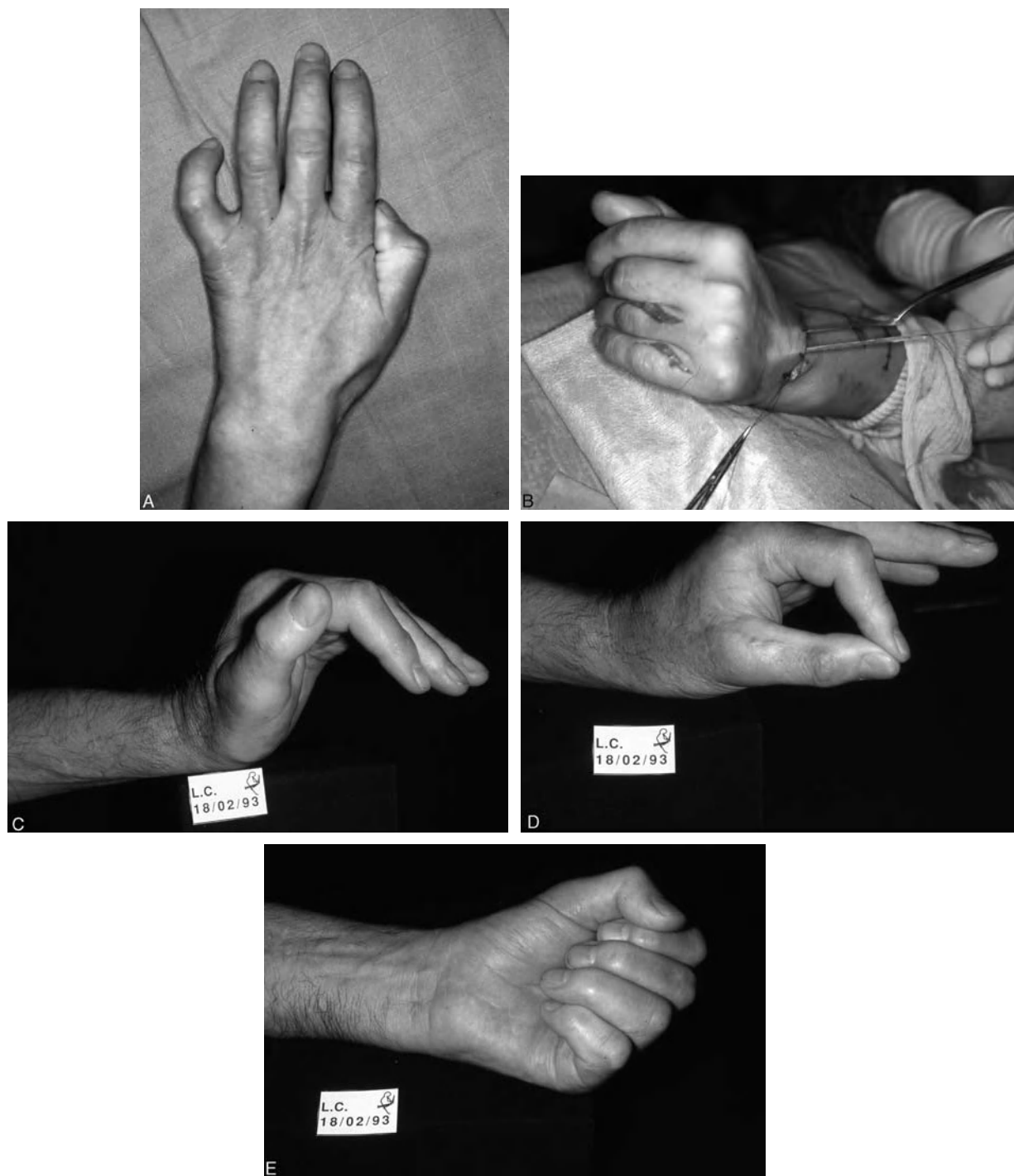


Figure 18. Transfert palliatif actif à action distale selon Brand 1^{re} manière utilisant l'extenseur radial long du carpe prolongé par des bandelettes tendineuses et résultat post-opératoire.

peut demeurer en cas de lésion ou de récupération partielles. La gêne peut être importante.

Le point de fixation est soit le ligament collatéral radial, si l'on ne veut corriger que l'abduction, soit la dossière du côté radial, si l'on veut corriger aussi la griffe.

Le trajet est en avant du ligament transverse inter-métacarpien profond.

Le moteur utilisé est soit la moitié ulnaire de l'extenseur propre du 5^e doigt [5] (figure 19), soit la moitié ulnaire de l'extenseur commun du 4^e [41] (figure 19).

Paralysies ulnaires hautes (tableau 2)

Aux gestes de renforcement de la pince pollicidigitale sur les deux versants pouce et index, à la restauration de l'harmonie de flexion des doigts longs [21] et la correction de la griffe, s'ajoute la restauration de la flexion interphalangienne distale des 4^e et 5^e doigts.

Pour cela, les fléchisseurs profonds du 4^e et du 5^e doigts sont anastomosés en latéro-latéral aux autres fléchisseurs profonds innervés par le nerf médian [32] (figure 20). Si le territoire du nerf ulnaire est débordant avec paralysie au-delà du 4^e doigt un transfert de l'extenseur radial long du carpe sur les fléchisseurs profonds peut être utilisé [34].

Chirurgie palliative sensitive

Celle-ci est exceptionnellement indiquée en cas de paralysie ulnaire. Un transfert nerveux du nerf collatéral ulnaire du 3^e doigt sur le nerf collatéral ulnaire du 5^e a été proposé par Stocks [37]. Huit patients sur quatorze ont récupéré une certaine sensibilité au moins à S3. Les patients opérés avant le 10^e mois post-traumatique avaient les meilleurs résultats. Plus récemment, Weber et Mackinnon [42] ont proposé d'anastomoser en termino-latéral, la branche sensitive du nerf ulnaire sur le nerf médian après simple épineurotomie de celui-ci. Les résultats n'ont pas été publiés.

Paralysies combinées médian ulnaire

Les paralysies combinées du nerf médian et du nerf ulnaire sont les plus fréquentes des paralysies combinées affectant la main. Sous nos latitudes, les lésions

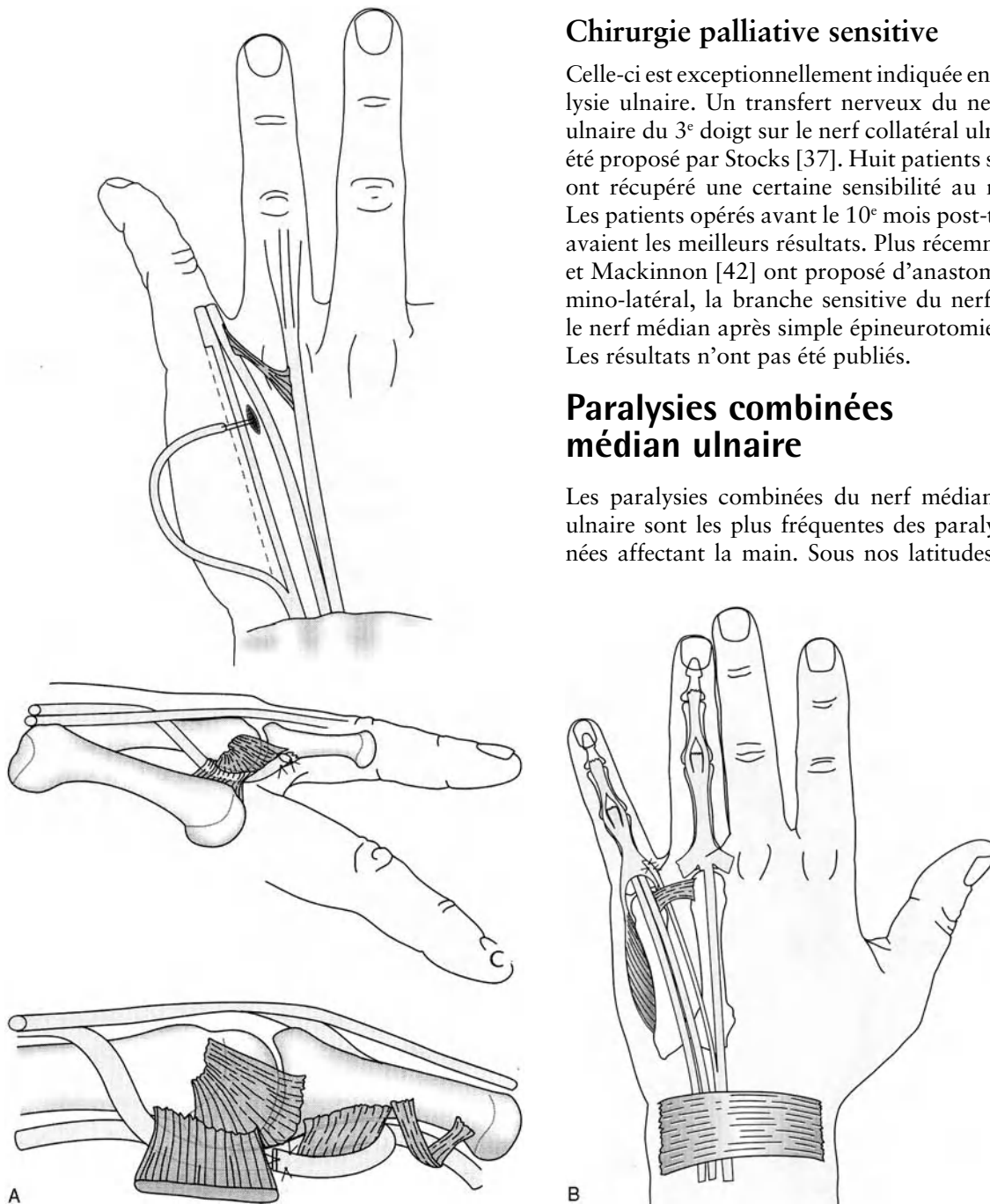


Figure 19. Correction du signe de Wartenberg par transfert : A. Soit de la moitié ulnaire de l'extenseur propre du 5^e doigt selon Blacker et Lister; B. Soit de la moitié ulnaire de l'extenseur commun du 4^e doigt selon Voche et Merle (d'après Alnot, [2]).

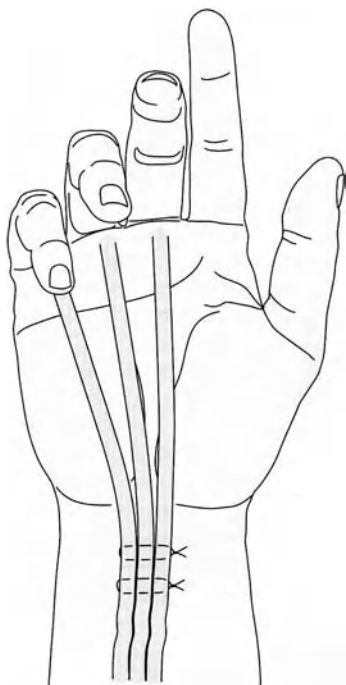


Figure 20. Anastomose latéro-latérale des fléchisseurs profonds des 4^e et 5^e doigts aux autres fléchisseurs profonds en cas de paralysie ulnaire haute. Notez la cascade des fléchisseurs et l'hypercorrection sur les deux derniers doigts (d'après Alnot, [2]).

traumatiques représentent l'étiologie principale. Ces paralysies seront caractérisées par la gravité du déficit sensitif et moteur, et de ses conséquences fonctionnelles et le moins grand nombre de moteurs disponibles. Comme pour les autres paralysies, chaque cas est un cas particulier et doit être analysé et expliqué avec grande attention. Nous décrirons les paralysies complètes.

Paralysies médio-ulnaires basses

Ces paralysies sont dues à une atteinte des nerfs médians et ulnaires à la face antérieure du poignet ou à la moitié distale de l'avant-bras.

Aspects cliniques

Dans la paralysie complète, l'aspect est celui d'une main avec amyotrophie globale et pouce dans le plan de la paume (figures 15a, b, c) comportant :

- paralysie de tous les intrinsèques palmaires du pouce. Le pouce est dans le plan de la paume, commissure fermée avec l'interphalangienne fléchie du fait de la tension du long fléchisseur du pouce. Il est fréquent qu'il y ait une instabilité ou une raideur trapézo-métacarpienne pouce en rétropulsion;

- paralysie des interosseux et des lombricaux. La griffe existe sur tous les doigts longs;
- paralysie de tous les muscles hypothénariens. Il y a un pseudo-signe de Wartenberg du fait du tonus des extenseurs et de la griffe;
- le déficit sensitif est majeur avec atrophie pulpaire globale et dystrophie unguéale;
- les douleurs et l'intolérance au froid seront évaluées.

Chirurgie palliative (tableau 3)

Besoins fonctionnels

- Restaurer la pince pollicidigitale.
- Traiter la dysharmonie de flexion des doigts longs et la griffe.

Moteurs utilisables

Seuls les muscles innervés par le radial et les muscles de l'avant-bras sont disponibles en dehors de toute séquelle d'atteinte tendineuse. Si des lésions tendineuses ont été contemporaines de la lésion nerveuse, il est fréquent de constater un syndrome adhérentiel qu'il conviendra de traiter par rééducation et appareillage.

Techniques utilisées

Pour la restauration de la pince pollicidigitale, le plus souvent on ne peut réanimer à la fois l'opposition antépulsion et l'adduction. Dans ce cas, sera choisi un transfert mixte, comme le transfert de l'extenseur propre de l'index en circumulnaire avec une poulie de réflexion en regard du pisiforme pour avoir un effet d'antépulsion et d'adduction et une fixation distale sur le court abducteur et le long extenseur selon Riordan (figure 15h).

L'interphalangienne sera soit arthrodésée en cas de flexum important, soit plutôt ténodésée par le biais d'une bandelette radiale du long fléchisseur du pouce laissée pédiculée en proximal et fixée au long extenseur du pouce [3, 16, 29].

La première commissure doit être libérée en cas de rétraction.

S'il y a une instabilité trapézo-métacarpienne, une libération du long extenseur du pouce, sorti de son compartiment, sera effectuée avec ou sans stabilisation ligamentaire trapézo-métacarpienne [16].

Le premier interosseux dorsal peut être réanimé par le court extenseur du pouce.

La dysharmonie de flexion interphalangienne et la griffe seront traités par la technique du lasso avec un seul fléchisseur, le 4^e si possible (figures 15d, e, f, g). En

Tableau 3

Transferts tendineux pour paralysies combinées du nerf médian et du nerf ulnaire

	Fonction à restaurer	Moteur	Poulie	Insertion	Procédures alternatives
Paralysie basse	Antépulsion adduction du pouce	EIP	Pisiforme	APB, EPL	Un transfert antépulsion et un transfert de flexion MP ou d'adduction
	Extension IP pouce	Ténodèse moitié radiale FPL		EPL	Arthrodèse IP
	Abduction index	EPB +/- arthrodèse MP		1 ^{er} IOD	
	Griffe	Lasso			Capsuloraphie antérieure Palliatif à action distale si griffe raide
Paralysie haute	Antépulsion adduction du pouce	EIP	Pisiforme	APB, EPL	Arthrodèse trapézo-métacarpienne
	Extension IP pouce	Ténodèse moitié radiale FPL		EPL	Arthrodèse IP
	Abduction index	EPB +/- arthrodèse MP		1 ^{er} IOD	
	Griffe	Capsuloraphie antérieure			Palliatif à action distale si griffe raide
	Flexion IP pouce	BR	Circumradial	FPL	
	Flexion doigts longs	ECRL	Circumradial	FDP	

ADM : abductor digiti minimi ou abducteur du 5^e doigt; APB : abductor pollicis brevis ou court abducteur du pouce; BR : brachioradialis ou huméro-stylo-radial; ECRL : extensor carpi radialis longus ou extenseur radial long du carpe; EDM : extensor digiti minimi ou extenseur propre du 5^e doigt; EIP : extensor indicis proprius ou extenseur propre du pouce; EPB : extensor pollicis brevis ou court extenseur du pouce; EPL : extensor pollicis longus ou long extenseur du pouce; FDP : flexor digitorum profundus ou fléchisseur profond des doigts; FDS : flexor digitorum superficialis ou fléchisseur superficiel des doigts; FPL : flexor pollicis longus ou long fléchisseur du pouce IP : interphalangien; IPD : interphalangien distal; 1^{er} IOD : 1^{er} interosseux dorsal; MP : Métacarpophalangien.

cas de non possibilité, une capsulorraphie antérieure sera indiquée. Si la main est assez raide, un palliatif à action distale sera préféré.

Un palliatif sensitif peut se discuter avec transfert de branches provenant de la branche superficielle du nerf radial.

Paralysie médio-ulnaires hautes

Ces paralysies sont consécutives à une lésion proximale moitié supérieure de l'avant-bras, lésion au coude ou au bras.

Aspects cliniques

En cas de paralysie complète, au déficit précédent s'ajoute une paralysie des longs fléchisseurs des doigts et du pouce ainsi que des fléchisseurs du poignet et des pronateurs. Le déficit des pronateurs est compensé dans une certaine mesure par l'action du brachioradialis et la pesanteur et l'abduction d'épaule. Le déficit équivaut à la main à une paralysie du plexus brachial de type C7, C8, T1, où seul le territoire du nerf radial est fonctionnel avec, dans ce cas, une main totalement insensible. Il n'y a pas de flexion active du poignet.

La justification d'un traitement palliatif doit être bien discutée en cas d'absence de récupération de sensibilité. Là aussi l'indication d'un palliatif de sensibilité peut être analysée.

Chirurgie palliative (tableau 3)

Les besoins fonctionnels peuvent amener à :

- restaurer la pince pollicidigitale ;
- restaurer la flexion du pouce et des doigts longs ;
- traiter la dysharmonie de flexion des doigts longs et la griffe.

Moteurs utilisables

Seuls les muscles innervés par le radial sont disponibles.

Techniques utilisées

Il est important de vérifier la souplesse du poignet pour garantir un effet ténodèse nécessaire au bon fonctionnement des transferts de flexion du pouce et des doigts longs.

La flexion des doigts est restaurée par transfert de l'extenseur radial long du carpe sur le fléchisseur profond.

La flexion du pouce est restaurée par transfert du brachioradialis.

La restauration de la fonction intrinsèque du pouce se fait grâce à un transfert mixte avec l'exten-

seur propre de l'index [17]. En cas d'instabilité trapézo-métacarpienne, s'ajoute une libération du long extenseur du pouce [16] voire une arthrodèse trapézo-métacarpienne, si l'instabilité trapézo-métacarpienne est sévère ou s'il n'y a pas de transfert disponible. L'interphalangienne sera ténodésée par le biais d'une bandelette radiale du long fléchisseur du pouce, laissée pédiculée en proximal et fixée au long extenseur du pouce. La première commissure doit être libérée en cas de rétraction.

La restauration de la fonction intrinsèque des doigts longs fait appel à une capsulodèse antérieure. Les indications de transfert palliatif à action proximale ou distale nous paraissent exceptionnelles, seulement réservées aux mains partiellement enraidies. Il est préférable d'utiliser le peu de muscle sain disponible pour les autres fonctions la pince pollicidigitale et les fonctions extrinsèques.

Conclusion

La chirurgie palliative est aujourd'hui moins fréquente en raison des progrès de la chirurgie nerveuse périphérique. Il s'agit d'une chirurgie très attachée à la séméiologie, qui peut apporter un bénéfice fonctionnel parfois immense au patient et où l'attention au détail prend toute sa place. Cette chirurgie ne doit pas être dénigrée, les résultats de la chirurgie nerveuse ne le permettent pas encore. Il est aussi dommage de ne pas la proposer à des patients insatisfaits de leur récupération neurologique.

RÉFÉRENCES

- 1 Alnot JY, Masquelet A. Restauration de la pince pouce-index par double transfert tendineux dans les séquelles de paralysie cubitale. *Ann Chir Main* 1983 ; 2(3) : 202-10.
- 2 Alnot JY, Osman N. Paralytic thumb: Tendon transfers for median and ulnar palsies. In: *Surgical techniques in orthopaedics and traumatology*. Edited, Paris, Editions scientifiques et médicales Elsevier, 2000.
- 3 Anderson GA. Ulnar nerve palsy. In: *Green's operative hand surgery*, Edited by Green DP, Philadelphia, Elsevier, 2005, 1161-1196.
- 4 Anderson GA, Lee V, Sundararaj GD. Opponensplasty by extensor indicis and flexor digitorum superficialis tendon transfer. *J Hand Surg [Br]* 1992 ; 17(6) : 611-4.
- 5 Blacker GJ, Lister GD, Kleinert HE. The abducted little finger in low ulnar nerve palsy. *J Hand Surg [Am]* 1976 ; 1(3) : 190-6.
- 6 Bourrel P, Courbil JL, Giraudeau P. Transplantation of the extensor indicis proprius for restoration of opposition of the thumb. A series of 15 cases. *Ann Chir* 1978 ; 32(9) : 597-600.
- 7 Brand PW. Tendon transfers for median and ulnar nerve paralysis. *Orthop Clin North Am*, 1970 ; 1(2) : 447-54.
- 8 Brown PW. Reconstruction for pinch in ulnar intrinsic palsy. *Orthop Clin North Am*, 1974 ; 5 : 323-342.
- 9 Bruner JM. Tendon transfer to restore abduction of the index finger using the extensor pollicis brevis. *Plast Reconstr Surg*, 1948 ; 3 : 197-201.
- 10 Bunnell S. Opposition of the thumb. *J Bone Joint Surg* 1938 ; 20 : 269-284.
- 11 Burkhalter WE. Early tendon transfer in upper extremity peripheral nerve injury. *Clin Orthop Relat Res* 1974 ; (104) : 68-79.
- 12 Burkhalter WE. Tendon transfer in median nerve palsy. *Orthop Clin North Am* 1974 ; 5(2) : 271-81.
- 13 Burkhalter WE. Ulnar nerve palsy. In: *Operative nerve repair and reconstruction*. Edited by Gelberman RH, Philadelphia, J.B. Lippincott company, 1991, pp. 728-746.
- 14 Camitz H. Über die Behandlung der Oppositionslähmung. *Acta Chir Scand* 1929 ; 65 : 77-81.

- 15 Cawrse NH, Sammut D. A modification in technique of abductor digiti minimi (Huber) opponensplasty. *J Hand Surg [Br]* 2003; 28(3) : 233-7.
- 16 Chaise F. Stratégie thérapeutique dans les paralysies des muscles intrinsèques du pouce. *Chir Main* 2007 : 1-12.
- 17 Chouhy-Aguirre S, Caplan S. Sobre secuelas de lesion alta e irreparable de nervios mediano y cubital, y su tratamiento. *Prensa Med Arg* 1956; 43 : 2341-2346.
- 18 Doyle JR, Botte MJ. Surgical anatomy of the hand and upper extremity. Edited 721, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2003.
- 19 Duparc J, De la Caffinière JY, Roux JP. Les plasties d'opposition par transplantation tendineuse à travers la membrane interosseuse. *Rev Chir Orthop* 1971; 57 : 29-34.
- 20 Foucher G, Malizos C, Sammut D, Marin Braun F, Michon J. Primary palmaris longus transfer as an opponensplasty in carpal tunnel release : A series of 73 cases. *J Hand Surg* 1991; 16 : 56-60.
- 21 Gaisne E. La main cubitale. In *Cahier d'enseignement de la société française de chirurgie de la main*. Édition Expansion scientifique française, Paris, 1993, pp. 41-63.
- 22 Goldner JL. Tendon transfers for irreparable peripheral nerve injuries of the upper extremity. *Orthop Clin North Am* 1974; 5(2) : 343-75.
- 23 Hastings H, Davidson S. Tendon transfers for ulnar nerve palsy. Evaluation of results and practical treatment considerations. 2nd, *Hand Clin* 1988; 4(2) : 167-78.
- 24 Jensen EG. Restoration of opposition of the thumb. *Hand*, 1978; 10(2) : 161-7.
- 25 Littler JW. Tendon transfers and arthrodesis in combined median and ulnar nerve palsies. *J Bone Joint Surg*, 1949; 31A : 225-234.
- 26 Littler JW, Cooley SG. Opposition of the Thumb and Its Restoration by Abductor Digiti Quinti Transfer. *J Bone Joint Surg Am* 1963; 45 : 1389-96.
- 27 Makin M. Translocation of the flexor pollicis longus tendon to restore opposition. *J Bone Joint Surg* 1967; 49B : 458-461.
- 28 Mannerfelt L. Studies on the hand in ulnar nerve paralysis : A clinical-experimental investigation in normal and anomalous innervation. *Acta Orthop Scand* 1966; Suppl 87 : 89-97.
- 29 Mohamed KD, Rothwell AG, Sinclair SW. Upper limb surgery for tetraplegia. *J Bone Joint Surg* 1992; 74B : 873-879.
- 30 North ER, Littler JW. Transferring the flexor superficialis tendon : Technical considerations in the prevention of proximal interphalangeal joint disability. *J Hand Surg* 1980; 5A : 498-501.
- 31 Oberlin C, Alnot JY. Plastie d'opposition par translocation du long fléchisseur du pouce, technique et indications. *Ann Chir Main* 1988; 7 : 25-31.
- 32 Omer GE, Jr. Reconstructive procedures for extremities with peripheral nerve defects. *Clin Orthop Relat Res* 1982; 163 : 80-91.
- 33 Rapp E, Lallemand S, Ehrler S, Buch N, Foucher G. Restoration of sensation over the contact surfaces of the thumb-index pinch grip using the terminal branches of the superficial branch of the radial nerve. *Ann Chir Main* 1999; 18 : 179-183.
- 34 Revol M, Servant JM. Paralysies de la main et du membre supérieur. Edited, 310, Paris, Medsi, 1987.
- 35 Riordan DC. Tendon transfers in hand surgery. *J Hand Surg [Am]*, 1983; 8 : 748-53.
- 36 Rowntree T. Anomalous innervation of the hand muscles. *J Bone Joint Surg*, 1949; 31B : 505-510.
- 37 Stocks GW, Cobb T, Lewis RC. Transfer of sensibility in the hand: A new method to restore sensibility in ulnar palsy with the use of microsurgical digital nerve translocation. *J Hand Surg*, 1991; 16A : 219-226.
- 38 Thompson TC. Opposition of the thumb and its restoration. *J Bone Joint Surg* 1960; 42A : 1015-1018.
- 39 Tubiana R. Paralysies des muscles du pouce. In : *Traité de chirurgie de la main*. Edited by Tubiana R., Masson, Paris, 1991, pp. 211-260.
- 40 Tubiana R, Alnot JY. Paralysie de la musculature intrinsèque du pouce. Étude mécanique des transferts d'opposition du pouce. *Ann Chi* 1969; 23 : 889-898.
- 41 Voche P, Merle M. Wartenberg's sign. A new method of surgical correction. *J Hand Surg [Br]*, 1995; 20(1) : 49-52.
- 42 Weber R, Mackinnon SE. Nerve transfers in the upper extremity. *J Am Society for Hand Surg* 2004; 4 : 200-213.
- 43 Zancolli EA. Structural and dynamic basis of hand surgery. Edited, Philadelphia, Lippincott, 1979.
- 44 Zancolli EA, Cozzi EP. Atlas of Surgical Anatomy of the Hand. Edited, New York, Churchill Livingstone, 1992.

Traitement palliatif par transfert tendineux après paralysie radiale

Palliatif treatment with tendon transfert for radial palsy

P. BELLEMÈRE ¹, E. MASMEJEAN ², B. BAUER ³

RÉSUMÉ

Le traitement palliatif par transfert tendineux fait partie intégrante du plan thérapeutique. Il peut être discuté d'emblée si les possibilités de réparation par suture ou greffe nerveuse ne sont pas réalisables ou « raisonnables », par exemple si la longueur de la greffe nécessaire est trop longue, si le lit de réparation nerveuse est de qualité trophique défavorable, et/ou si le bilan nerveux initial justifie en priorité de réserver le capital nerveux disponible pour la réparation d'un autre tronc, et/ou si le sujet est très âgé. Il est surtout discuté secondairement en cas de lésion prise en charge trop tardivement (recolonisation estimée des effecteurs supérieure à 18 mois par rapport à l'accident initial), ou après échec ou récupération incomplète après chirurgie nerveuse. Il faut distinguer deux contextes différents : le transfert tendineux peut être proposé après paralysie du tronc du nerf radial au bras ou après paralysie de la branche profonde du nerf radial (BPNR). Dans le schéma classique complet, on réanime l'extension du poignet par le rond pronateur, les extenseurs des doigts et le long extenseur du pouce par le fléchisseur ulnaire du poignet, et les tendons long abducteur – court extenseur du pouce par le long palmaire. Dans d'autres cas et/ou en fonction des écoles, d'autres transferts peuvent être discutés. Si les règles techniques de réalisation sont respectées, les transferts tendineux pour paralysie radiale donnent régulièrement des résultats très satisfaisants.

Mots clés : Paralysie radiale. – Transfert tendineux.

Le traitement palliatif par transfert tendineux fait partie intégrante du plan thérapeutique d'une paralysie radiale post-traumatique.

Il peut être discuté d'emblée si les possibilités de réparation par suture ou greffe nerveuse ne sont pas réalisables ou « raisonnables », par exemple si la longueur nécessaire à greffe nerveuse est trop longue, si le lit de la réparation nerveuse est de qualité trophique défavo-

SUMMARY

Palliatif tendon transfert is an integral part of the treatment of a radial nerve palsy. It can directly be discussed when possibility of nerve repair by suture or graft is not possible, for example when the length for a nerve graft is too long, when the trophicity of the surrounded tissues of the graft is too bad, and/or when the nerve graft capital is required in priority for other nerve repair, and/or the patient is too old. It is especially discussed secondarily when the lesion is treated with delay (more than 18 months after initial trauma) or after failure or incomplet recovery of the nerve repair. Two different situations must be discussed : tendon transfer can be proposed after palsy of the radial nerve at the arm or after palsy of the posterior interosseous nerve. In a classical way, reanimation of the wrist is ensured with the pronator teres, fingers and thumb extension with the flexor carpi ulnaris and the tendons of the abductor pollicis brevis and extensor pollicis brevis with the palmaris longus. Other transferts can be discussed depending on the cases and the surgical school. If the surgical rules are respected, tendon transferts for radial nerve palsy give in most cases very good results.

Keys words: Radial nerve palsy. – Tendon transfer.

nable, et/ou si le bilan nerveux initial justifie en priorité de réserver le capital nerveux disponible pour la réparation d'un autre tronc et/ou si le sujet est très âgé.

Il est surtout discuté secondairement en cas de lésion prise en charge trop tardivement (recolonisation estimée des effecteurs supérieure à 18 mois par rapport à l'accident initial), ou après échec ou récupération incomplète après traitement nerveux.

¹ Nantes Assistance main, clinique Jeanne d'Arc, 21, rue des Martyrs, 44100, Nantes, France

² Unité de chirurgie de la main et des nerfs périphériques – service de chirurgie orthopédique et traumatologique, hôpital européen Georges Pompidou (HEGP), 20, rue Leblanc 75015 Paris, France

³ Service de chirurgie orthopédique et traumatologique - hôpital d'instruction des armées de Percy, 101, avenue Henri Barbusse, 92141, Clamart, France

Enfin, il peut être discuté conjointement à une réparation nerveuse pour réanimer précocement avant la récupération neurologique l'extension du poignet dont la perte chez certains patients, peut être la source d'un handicap fonctionnel majeur [8].

Il faut distinguer deux contextes différents : le transfert tendineux peut être proposé après paralysie du tronc du nerf radial au bras ou après paralysie de la branche profonde du nerf radial (BPNR).

Transferts tendineux après paralysie du tronc du nerf radial au bras

Buts et principes du traitement

L'objectif est de réanimer simultanément l'extension active du poignet, des doigts et du pouce. Depuis plus de 60 ans, un grand nombre de techniques de transfert ont été décrites et un certain consensus est maintenant établi avec deux types de méthodes : le transfert dit classique popularisé par Merle d'Aubigné et Tubiana utilisant le rond pronateur (RP), le fléchisseur ulnaire du carpe (FUC) [cubital antérieur] et le long palmaire (LP) [petit palmaire], et une méthode alternative avec quelques variantes dans laquelle le FUC n'est pas utilisé [7, 8].

Quelque soit la méthode choisie, les principes chirurgicaux vont être identiques :

- les voies d'abord doivent être suffisamment étendues pour effectuer un prélèvement aisé des muscles moteurs avec une libération suffisamment étendue de leur corps musculaire pour leur donner un trajet le plus direct possible. De plus, les abords doivent faciliter les anastomoses tendineuses et permettre de libérer les adhérences autour des muscles paralysés, voire même de les réséquer partiellement, afin qu'ils n'entravent pas le trajet et la course du transfert ;
- le prélèvement de tous les tendons doit être effectué avant les anastomoses ;
- les sites de prélèvement des tendons, s'ils ne sont pas situés dans la voie d'abord d'une anastomose, doivent être fermés avant d'effectuer les anastomoses tendineuses ;
- on débute par le transfert du rond pronateur, puis celui du long palmaire, afin de fermer toutes les incisions antérieures avant d'effectuer le temps postérieur avec le transfert de réanimation de l'extension des doigts ;
- l'hémostase doit être particulièrement soignée afin d'éviter les adhérences secondaires à des hématomes.

Le triple transfert « classique »

Il répond au schéma suivant :

- RP sur CERC ;
- FUC sur ECD + EPI + LEP (variante : ECD + EPI) ;
- LP sur LAP + CEP (variante : LEP).

Transfert du rond pronateur

Les avantages de ce muscle sont sa force (1,2 kg) et sa course (5 cm) qui sont supérieures à celles du long extenseur radial du carpe (LERC) (1^{er} radial) et du court extenseur radial du carpe (CERC) (2^e radial). Son prélèvement ne laisse pas de séquelles, car le muscle carré pronateur, innervé par le nerf médian, assure la pronation ; de plus, la conservation du trajet initial du muscle après transfert continue à assurer une action pronatrice. Il s'agit d'un transfert très fiable redonnant l'extension du poignet qui est la fonction probablement la plus importante à restituer dans une paralysie radiale haute tant le flectum permanent du poignet est mal toléré par les patients.

Son prélèvement s'effectue par une voie curviligne externe au 1/3 moyen de l'avant-bras. L'abord s'effectue entre le brachioradial (long supinateur) et le LERC (figure 1). On distingue alors sur le bord antéro-externe du radius le court tendon nacré du RP provenant de la face antérieure de l'avant-bras. Son prélèvement s'effectue au ras de l'os en essayant de le prolonger par une lame périostée lui donnant ainsi plus de longueur utile à sa fixation. Le corps musculaire doit être correctement libéré dans l'avant-bras pour améliorer sa course. L'anastomose s'effectue dans le CERC en passant sous le LERC et les tendons sont solidement fixés l'un dans l'autre par plusieurs points de fils résorbables. La tension donnée au transfert doit être telle que le poignet se maintient spontanément en très légère extension sous l'action de la pesanteur (figure 2).

Transfert du fléchisseur ulnaire du carpe

Sa force (2 kg) est proche de celle des extenseurs, mais sa course est légèrement inférieure (3,3 cm contre 4 à 5 cm pour les extenseurs). Son prélèvement s'effectue par une longue voie d'abord permettant de libérer son corps musculaire des attaches aponévrotiques, afin de lui donner un trajet le plus direct possible. Les fibres musculaires peuvent s'insérer très bas sur le tendon, et il est préférable de les réséquer sur quelques centimètres. Le tendon est sectionné au niveau du pli de flexion distal du poignet, et il est parfois nécessaire d'effectuer une hémostase d'un pédicule neuro-vasculaire bas situé sans danger pour le muscle, car son pédicule principal

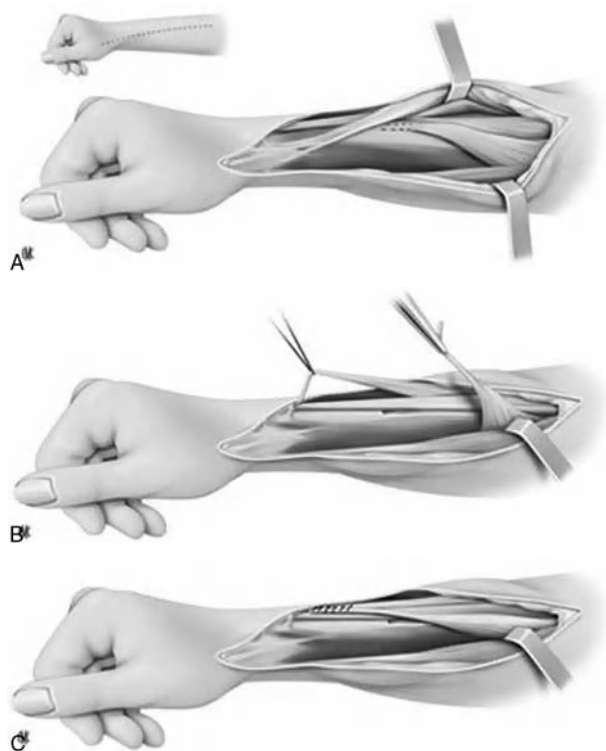


Figure 1. Schéma du transfert du RP sur le CERC : A. La voie d'abord est longitudinale ou légèrement sinueuse au bord radial de l'avant-bras et du poignet. L'insertion distale du RP sur le radius est repérée sous le brachioradial et une incision prolonge son tendon par une languette périostée de plusieurs centimètres ; B. Ce tendon prolongé par le périoste est ruginé et libéré du radius ; C. Transfert du RP à travers le tendon du CERC.



Figure 2. Vue per-opératoire après transfert de RP sur le CERC. La tension donnée au transfert permet au poignet de se maintenir en très légère extension contre l'action de la pesanteur.

est très proximal (à 6 cm de l'épichondyle). Le muscle est ensuite tunnalisé en sous-cutané au dos de l'avant-bras. Le septum médial peut être partiellement réséqué pour ne pas entraver le trajet musculaire. L'anastomose

aux extenseurs s'effectue en divisant le tendon sur environ 5 cm en deux languettes. L'une antérieure est passée obliquement dans chaque tendon extenseur des doigts à environ 5 cm du ligament annulaire dorsal (figure 3). Les doigts, le pouce et le poignet sont maintenus en extension et les tendons commun et propre sont perforés un à un par une pince à tunneller. Ils sont ensuite fixés solidement à la bandelette qui les transfixe. Il s'agit d'un temps délicat qui va déterminer l'harmonie de l'extension des doigts et qui doit respecter la cascade digitale descendante de l'index au 5^e doigt. Pour éviter le risque d'une hyperextension de la MP du 5^e doigt, le transfert ne doit pas concerner l'extenseur propre du 5^e doigt, sauf si l'extenseur commun destiné à ce doigt est trop grêle. La tension doit être telle que les doigts et le pouce se maintiennent spontanément en extension lorsque le poignet est en position neutre et qu'ils peuvent se fléchir par effet ténodèse en extension complète du poignet. La 2^e bandelette du FCU vient ensuite recouvrir les tendons, auxquels elle est solidement fixée, tout en réajustant la tension si nécessaire. Il vaut mieux pécher par un léger excès de tension plutôt qu'un défaut, car il existe pratiquement toujours une légère détente secondaire du transfert.

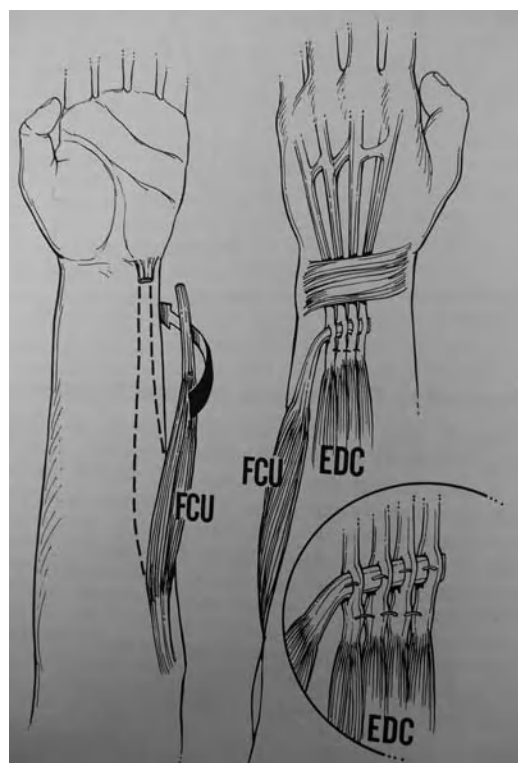


Figure 3. Schéma du transfert du FUC sur les extenseurs (d'après Green).

Transfert du long palmaire

Le prélèvement du long palmaire s'effectue en sectionnant son tendon au niveau du pli de flexion distal du poignet. Il est ensuite tunnelisé jusqu'au niveau de la tabatière anatomique et faufile dans les tendons du long abducteur et court extenseur du pouce maintenu en position d'abduction (figure 4). La suture est effectuée le poignet en position neutre.

Certains auteurs ont reproché à ce modèle de transfert la perte de l'indépendance d'extension du pouce réanimé par le même transfert que les doigts et le risque de favoriser une inclinaison radiale du poignet. Il a donc été proposé de réanimer isolément le LEP par le PL en négligeant le LAP et le CEP. Ce transfert suffit à redonner l'extension, la rétroplulsion et l'abduction du pouce. Le LAP est tunnelisé en amont du poignet et fixé au tendon du LEP sorti de sa coulisse en regard du tubercule de Lister. Cela permet de supprimer l'action adductrice du LEP au profit d'une action abductrice [5]. Tubiana reproche à cet artifice décrit par Scuderi son manque de rétropulsion. Pour y pallier, il sectionne le LEP à sa jonction musculotendineuse, puis fait passer le tendon dans la coulisse du LERC laissée vacante par sa translocation à la base du 3^e métacarpien et réalise ensuite l'anastomose au LP [9].

Les alternatives au transfert classique

Elles ont été proposées devant le risque d'une inclinaison radiale « parasite » reprochée au transfert classique et attribuée au prélèvement du FCU [2, 4, 6, 9]

(figure 5). La réanimation spécifique du long abducteur du pouce (LAP) contribue certainement à cette inclinaison. Cet effet parasite est cependant loin d'être constant [1]. Par ailleurs, il peut être prévenu, comme le propose Tubiana, par la translocation de l'insertion du LERC sur la base ulnaire du 3^e métacarpien, après avoir pris soin d'inclure l'ECRL dans le transfert réanimant le CERC [8].

Tsuge remplace le prélèvement du FUC par celui du FRC passé à travers la membrane interosseuse et transféré sur les extenseurs [6] (figure 6). Ce transfert est un peu moins puissant et a une course plus faible que celle du FUC. Les extensions du poignet et du pouce sont réanimées de la même façon que lors du transfert classique (figure 7). Le passage dans la membrane interosseuse doit s'effectuer par une fenêtre suffisamment large et haute pour ne pas entraver la course du FRC. Un soin particulier doit être porté aux vaisseaux interosseux, afin d'éviter tout hématome post-opératoire.

Boyes utilise deux fléchisseurs superficiels (FS), celui du majeur pour réanimer l'extenseur commun des doigts (ECD) et celui de l'annulaire pour réanimer le long extenseur du pouce et l'extenseur propre de l'index. Un seul tendon peut aussi être utilisé pour réanimer tous les extenseurs. Les tendons sont passés sous le ligament annulaire dorsal du carpe à la place des tendons extenseurs qui sont réséqués et les anastomoses sont effectuées au dos de la main. Le court extenseur et le long abducteur du pouce (CEP et LAP) étant



Figure 4. Vue per-opératoire du transfert du LP sur le LAP et le CEP.



Figure 5. Inclinaison radiale pouvant survenir comme effet parasite d'un transfert « classique ».

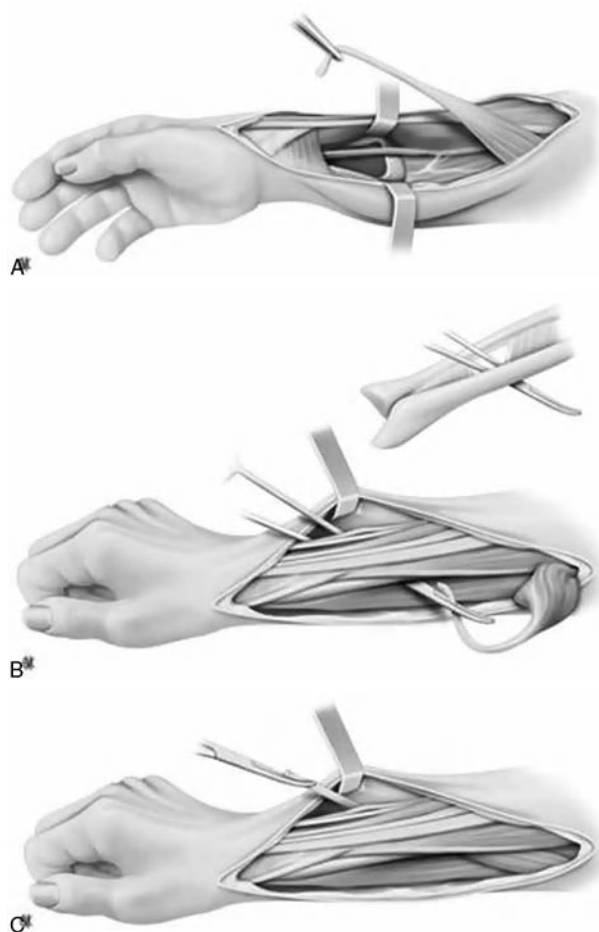


Figure 6. Schéma du transfert du FRC sur l'ECD à travers la membrane interosseuse : A. Le tendon du FRC a été sectionné à son entrée sous le retinaculum des fléchisseurs. Une fenêtre est découpée dans la membrane interosseuse au bord proximal du carré pronateur, en prenant garde de respecter le pédicule vasculonerveux interosseux antérieur qui s'y engage ; B. Après dissection de la loge postérieure et résection de l'aponévrose antibrachiale postérieure par la même voie, une pince est passée au bord ulnaire des tendons ECD à travers la fenêtre interosseuse et attrape le tendon du FRC ; C. Le tendon du FRC peut ainsi être transféré dans ceux de l'ECD.

réanimés par le grand palmaire. Ce transfert qui affine les possibilités d'extension des doigts et du pouce a comme inconvénient le risque d'une perte de force de serrage et d'une perte d'indépendance en flexion de l'annulaire et du majeur. De plus, la rééducation post-opératoire serait plus difficile que pour les transferts précédemment décrits.

En cas d'absence du long palmaire, le FS de l'annulaire peut être utilisé. L'autre possibilité proposée par Lim est de diviser les tendons du FRC ou du FUC en

deux languettes réanimant les extenseurs des doigts pour l'une et le LEP pour l'autre [3].

Soins post-opératoires

L'immobilisation post-opératoire place le poignet en extension sans inclinaison à environ 50°, la colonne du pouce en extension et rétropulsion et les métacarpophalangiennes (MCP) des doigts à 10° de flexion. Les articulations interphalangiennes (IP) sont laissées libres ce qui autorise des mouvements actifs précoces de flexion-extension. Cette immobilisation est gardée en permanence pendant 3 semaines, puis gardée la nuit pendant trois semaines supplémentaires. La rééducation passive et active aidée est donc débutée au 22^e jour post-opératoire. Elle sera prolongée plusieurs semaines, afin de récupérer les meilleures mobilités articulaires possibles. Les travaux de force sont interdits avant la fin du 3^e mois post-opératoire.

Transfert tendineux après paralysie de la branche profonde du nerf radial (BPNR)

Il réalise l'alternative à la chirurgie nerveuse réparatrice lorsque celle-ci ne peut-être indiquée ou que son résultat laisse persister une récupération incomplète ou dissociée.

Les transferts tendineux ont avant tout comme but de réanimer l'extension des doigts et du pouce mais aussi d'assurer un rééquilibrage dans le plan frontal de l'extension du poignet. En effet, bien que celle-ci soit conservée dans cette paralysie radiale basse, elle s'effectue avec une inclinaison radiale du fait de la paralysie de l'extenseur ulnaire du carpe (EUC) [cubital postérieur]. Cette inclinaison est plus ou moins importante selon que le CERC est ou non paralysé ou affaibli.

Seuls les doigts et le pouce sont directement réanimés par les transferts. En théorie, on dispose pour cela d'un grand nombre de muscles transférables avec de nombreuses variantes techniques visant à optimiser le résultat fonctionnel [9].

Transferts pour l'extension des doigts

Dans le cadre d'une paralysie radiale basse, la réanimation de l'extension des doigts par le transfert du FUC est le transfert classique.

En revanche, même si sa force avoisine celle de l'extenseur commun des doigts (ECD), on peut lui

reprocher sa faible course tendineuse et surtout le risque d'accentuation de la déviation radiale du poignet du fait de l'absence de paralysie du long extenseur radial du carpe (LERC ou premier radial), voire du CERC et de la persistance de la paralysie de l'EUC.

Le transfert du fléchisseur radial du carpe (FRC ou grand palmaire) lui est donc parfois préféré. Bien qu'étant plus faible que l'ECD, sa course s'en approche et son transfert n'entraîne pas de déséquilibre du poignet dans le plan frontal. Il peut être transféré par un trajet direct au travers de la membrane interosseuse comme le propose Tsuge ou via un trajet autour du bord ulnaire de l'avant-bras [6]. Cette solution peut

être choisie s'il existe en extension du poignet un fort déséquilibre du côté radial.

L'utilisation du muscle fléchisseur commun superficiel (FCS), comme celui du 4^e doigt, a l'avantage de sa course qui est plus longue que celle de l'ECD. Son transfert peut-être effectué au travers de la membrane interosseuse ou autour de l'avant-bras (figure 8). Le sacrifice de ce muscle puissant peut cependant entraîner une diminution de la force dans les prises digito-palmaires chez un travailleur manuel et supprimer l'indépendance de flexion du doigt qui doit être préservée dans certaines professions, notamment celles utilisant un clavier. De plus, si l'articulation interphalangienne proximale (IPP)



Figure 7. A. Paralysie radiale post-traumatique avec un aspect de main en fléau ; B. Résultat après transfert tendineux du FRC sur l'ECD + LEP et PL sur LAP + CEP.



Figure 8. Résultat d'un transfert tendineux pour paralysie ancienne de la BPNR suite à lésion iatrogène au cours d'une arthroplastie de la tête radiale : A Aspect de la main en pré-opératoire. B. Tracé des incisions pour le transfert palliatif : FCS du 4^e doigt à travers la membrane interosseuse sur l'EC et le LEP; PL sur LAP et CEP. C. Résultats.

est laxo dans le plan sagittal, il y a un risque d'apparition secondaire d'une déformation du doigt en col de cygne.

Transferts au niveau du pouce

La réanimation du long extenseur du pouce (LEP) permettant la rétroimpulsion et l'extension proprement dite de l'articulation MCP et de l'IP peut être réalisée conjointement par le muscle transféré sur l'ECD. Cette solution est classiquement utilisée mais si l'on veut garder son indépendance au pouce, un transfert autonome par le long palmaire est aussi fréquemment utilisé. Le FRC ou le FS peuvent aussi être utilisés isolément sur le LEP notamment en absence du LP, mais ces transferts puissants ont un fort effet d'inclinaison radiale.

L'abduction du pouce peut être assurée à des degrés divers par trois procédés :

- le déroutement du trajet du LEP en dehors du tubercule de Lister soit simplement au dos du poignet par ouverture de sa coulisse, soit par passage dans la coulisse de LERC, s'il a été utilisé comme transfert ou simplement recentré [3, 5];
- une ténodèse du tendon du long abducteur du pouce (LAP) autour de l'insertion distale du brachioradial [BR] (long supinateur) [6];
- le transfert classique du LP sur le LAP ou en absence du LP par le BR qui dans cette paralysie radiale basse reste innervé. Ce transfert peut également être effectué conjointement sur le LEP dérouté et sur le CEP.

Le ré-équilibrage frontal du poignet

Lorsqu'il existe un fort déséquilibre de l'extension du poignet du côté radial, le transfert de réanimation des doigts doit préférentiellement utiliser un trajet sur le bord ulnaire de l'avant-bras. Une autre solution pro-

posée par Tubiana qui peut être associée à la précédente est le recentrage de l'insertion du LERC sur le bord ulnaire de la base du 3^e métacarpien en dedans de l'insertion du CERC (figure 9) [7].

Critères de choix du transfert tendineux

Il est difficile de privilégier un modèle type de transfert tendineux. Le choix des différentes techniques de réanimation doit prendre en compte cinq critères :

- la gêne et la demande fonctionnelle du patient en tenant compte de sa main dominante, de son activité professionnelle et de loisir et de son âge;
- la capacité et la motivation du patient à suivre une rééducation prolongée. Certains transferts comme ceux utilisant le FCS demandent une rééducation souvent prolongée et leurs indications doivent être réservées en priorité aux patients jeunes et motivés;
- le caractère complet, incomplet ou dissocié de la paralysie qui peut faire appel à des transferts d'appoint de renfort ou de complément utilisant un muscle non initialement paralysé;
- les lésions associées qui dans des cas de traumatismes musculo-tendineux graves et complexes de la loge antérieure de l'avant-bras peuvent limiter les possibilités de transferts.
- la présence ou non de muscle transférable comme le long palmaire.

Conclusion

Si les règles techniques de réalisation sont respectées, les transferts tendineux pour paralysie radiale donnent régulièrement des résultats très satisfaisants

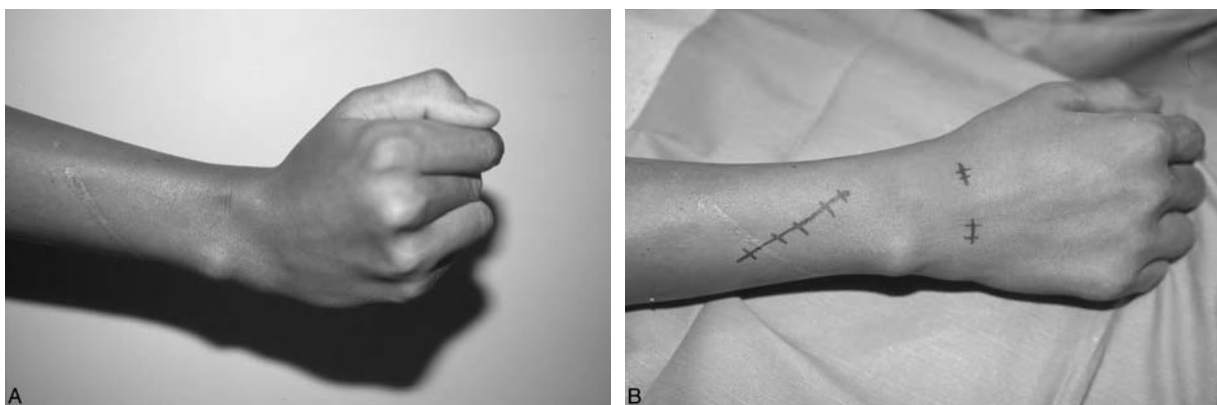


Figure 9. Rééquilibrage de l'extension du poignet : A. Déséquilibre de l'extension du poignet avec une forte inclinaison radiale; B. Rééquilibrage par le recentrage de l'insertion du LERC sur le bord ulnaire de l'insertion du CERC à la base du 3^e métacarpien.

[1, 4]. Mais il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'une solution palliative et qu'un très bon résultat de transferts tendineux n'est jamais équivalent à un très bon résultat de la chirurgie nerveuse. Si les objectifs d'extension du poignet

et des doigts sont remplis par les transferts tendineux, une limitation de la flexion du poignet ou de la flexion des doigts le poignet fléchi en est souvent le corollaire dont l'impact fonctionnel est heureusement limité.

RÉFÉRENCES

- 1 Bincz LE, Cherifi H, Alnot JY. Les transferts palliatifs de réanimation de l'extension du poignet et des doigts. À propos de 14 transferts pour paralysie radiale et dix transferts pour lésion plexique. *Chir Main* 2002; 21 : 13-22.
- 2 Boyes JH. Tendon transfert for radial palsy. *Bull Hosp Joint Dis* 1962; 23 : 1-4.
- 3 Lim A, Lahiri A, Pereira B, Kumar V, Tan L. Independant function in a split flexor carpi radialis brevis. *J Hand Surg* 2004; 29A : 28-31
- 4 Ropars M, Dréano T, Siret P, Belot N, Langlais F. Long-term results of tendon transfers in radial and posterior interosseous nerve paralysis. *J Hand Surg Br* 2006; 31 : 502-6.
- 5 Scuderi C. Tendon transplants for irreparable radial nerve paralysis. *Surg Gynecol Obstet* 1949; 88 : 643-45.
- 6 Tsuge K. Tendon transfert for radial nerve palsy. *Australian and New Zealand Journal of Surgery* 1980; 50 : 267-72.
- 7 Tubiana R. Notre expérience des transferts tendineux pour la paralysie radiale. *Ann Chir Main* 1985; 3 : 197-210.
- 8 Tubiana R. Problems and solutions in palliative tendon transfert surgery for radial nerve palsy. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2002; 3 : 104-13.
- 9 Tubiana R. Transferts tendineux pour paralysie radiale. *Chirurgie de la main* 2002; 21 : 157-65.

Traitement palliatif des paralysies du nerf fibulaire commun

Tibialis posterior transfer for peroneal nerve palsy

R. BLETON ¹

RÉSUMÉ

Les paralysies définitives du nerf péronier sont accessibles à un traitement palliatif. Le traitement le plus simple est le port d'une attelle ou « releveur ». Le traitement palliatif définitif repose sur le transfert palliatif du tendon du muscle tibial postérieur. La plupart des auteurs conseillent un trajet à travers la membrane interosseuse. Le moyen de fixation distale est le sujet de nombreuses variantes et astuces. L'idéal semble être l'axe du 2^e espace intermétatarsien et le plus distal possible, que l'insertion soit transosseuse ou sur un tendon du tibial antérieur dérivé.

Mots clés : Muscle tibial postérieur. – Paralysie de nerf péronier. – Transfert palliatif.

SUMMARY

Permanent peroneal palsy can be assessed by several treatments. Posterior splint is a practical and cheap tool. The Tibialis posterior tendon can be used to provide dorsiflexion of the foot. The interosseous route seems to be more effective, as the insertion in the axis of the second intermetatarsal space. Distal insertion can be done in several ways: intra osseous insertion or fixation in a re routed tibialis transfer. The aims of these tricks are to control inversion or eversion of the transfer.

Key words: Tibialis posterior transfer. – Peroneal nerve palsy. – Tendon transfer.

Introduction

En l'absence de récupération d'une paralysie du nerf péronier, le patient présente un « steppage ». Cette attitude correspond à la position naturelle du pied tombant sous l'effet de la gravité et du tonus des muscles innervés par le nerf tibial. Le pied est en flexion varus équin. Le passage du pas nécessite de lancer le pied en avant en accentuant l'élévation de la jambe, attitude qui n'est élégante qu'en dressage équestre. Le contrôle de la flexion du pied corrige globalement cette attitude. Ceci peut être réalisé par un dispositif anti-équin ou un transfert musculaire palliatif. La paralysie des muscles péroniers n'est pas compensée par ces techniques. Il existe donc parfois une instabilité latérale et une tendance au pied plat valgus séquellaire malgré les traitements du pied tombant.

Traitement non chirurgical

Il s'adresse principalement à la flexion permanente du pied. Le traitement le plus simple et rustique est une attelle anti-équin en plâtre, thermoformable voire préformée, industrielle qui bloque la cheville et le pied à 90° de flexion. C'est souvent le traitement initial, facile, économique et rapide à mettre en œuvre dans la période initiale pour éviter l'enraidissement en position vicieuse. Il permet d'attendre une éventuelle récupération de la paralysie initiale.

À distance, après reprise de la marche, les patients sont demandeurs de dispositifs discrets, ergonomiques et compatibles avec une vie sociale la plus normale possible. Les releveurs se mettent dans les chaussures et maintiennent le pied à l'équerre. Il existe différents modèles à tringle métallique ou en plastique moulé.

¹ Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, hôpital FOCH, 40, rue Worth 92150 Suresnes, France

La plupart des laboratoires d'orthèses industrielles en proposent.

Traitement chirurgical : transfert du muscle tibial postérieur ([jambier postérieur] TP) en avant

– Les caractéristiques morphologiques, sa taille et sa proximité font du muscle tibial postérieur (TP) le plus adéquat et le plus employé des transferts palliatifs pour pied tombant [3]. Le principe repose sur le transfert d'un muscle fléchisseur et inverseur sur le dos du pied pour le transformer en extenseur de la cheville. L'intégration automatique lors de la marche d'un muscle inverseur et fléchisseur en muscle extenseur est discutable. Il semble d'autant plus efficace qu'il est réalisé à un âge précoce [7]. En tout état de cause, son effet ténodèse est ressenti comme habituellement bénéfique par les patients [9]. Il ne semble pas qu'il existe d'effet secondaire néfaste générateur de pied plat comme dans les ruptures du tendon du TP [8, 9]. Ceci semble s'expliquer par la paralysie globale des muscles péroniers [7]. D'autres transferts, comme celui des fléchisseurs des orteils, par exemple, sur les muscles péroniers ont été proposés mais restent marginaux. Les ténodèses ont été abandonnées car elles se détendent et ne sont pas pérennes.

– Deux techniques peuvent être utilisées : la transposition du jambier postérieur à travers la membrane interosseuse ou autour de la face interne du tibia. Il a été reproché au trajet transmembrane osseuse de générer plus d'adhérences et donc de limiter le transfert à une ténodèse. Le trajet est plus direct, donne de « l'étoffe » pour fiabiliser le réglage et la fixation du transfert. Il agit dans l'axe du pied et contrôle plus facilement l'éversion/inversion du pied. Ce problème délicat a fait proposer un transfert où le tendon est dédoublé pour stabiliser les mouvements de bascule de la sous-astragalienne. Le trajet sous-cutané circum tibial médial donne théoriquement moins d'adhérence et donc plus de mouvement. Il est plus consommateur de longueur de tendon. Le réglage pour rendre ce type de transfert éverseur ou neutre est plus difficile à équilibrer.

– Technique à travers la membrane interosseuse :

- le patient est installé en décubitus dorsal, un coussin sous la fesse opposée de façon à ce que le membre opéré se présente de trois quarts + cale du côté opéré. Un garrot pneumatique est mis en place à la racine du membre. Un jersey collé ou un champ adhésif est appliqué sur la zone opératoire. L'opérateur se place en arrière puis en avant du membre opéré ;
- la première incision pour prélever la partie distale la plus longue possible du tendon du TP est dorsale



Figure 1. Toutes les figures représentent un pied droit observé par la voie médiane en décubitus dorsal. Le patient est en décubitus dorsal, en position opératoire, les orteils au zénith et la partie proximale du membre pelvien à droite sur toutes les figures. 1^{re} voie d'abord du prélèvement de la partie terminale du tendon du muscle tibial postérieur (TP).

médiale sur le pied, de 3 cm de long dans l'axe du premier métatarsien, centrée sur le trajet du TP (figure 1). Le tendon est ensuite suivi jusqu'à son insertion naviculaire, d'où il faut le désinsérer au ras de l'os en sectionnant ses insertions plantaires ;

– la deuxième incision est postéro-médiale, sur la jambe (figure 2). Elle est verticale, longue de 5 cm le long du bord postéro-médial du tibia. On retrouve là le corps musculaire du jambier postérieur. Il faut suivre le jambier postérieur vers le haut en désin-



Figure 2. Récupération du transfert par la deuxième incision.



Figure 3. Passage du transfert du compartiment postérieur à la face antérieure de la jambe à travers la membrane interosseuse.

sérant la partie basse du fléchisseur et en protégeant le paquet tibial postérieur à sa face postérieure. À sa face antérieure, on arrive sur la cloison interosseuse;

- la troisième incision se situe sur la face antérieure de la jambe, environ deux travers de doigt en dehors de la crête tibiale, longue de 10 cm, elle démarre à un travers de main au-dessus de la cheville (figure 3). L'aponévrose jambière est ouverte en protégeant le musculo-cutané en dehors, et le plan de dissection passe entre le muscle tibial antérieur et extenseur commun des orteils. On arrive très rapidement sur le paquet tibial antérieur qu'il faut protéger. Le jambier antérieur est alors soulevé en le libérant complètement de la cloison interosseuse. Il faut faire une fenêtre large de tout l'espace interosseux et aussi haute que le permet l'incision cutanée. Il faut commencer par inciser la membrane en dehors, le long de la fibula, puis la soulever à l'aide de deux pinces et la tendre pour décoller le paquet vasculaire de sa face profonde. L'inciser ensuite le long de son insertion tibiale. Le transfert est après emmené de proche en proche jusqu'à l'incision antérieure où le tendon doit glisser sans problème (figure 4);

- la quatrième incision se situe au dos du pied, dans l'axe du 3^e métatarsien, au bord interne de l'extenseur commun. L'insertion se fera sur la face dorsale du 3^e cunéiforme. L'insertion peut se faire



Figure 4. Vue antérieure du passage du transfert par la troisième incision.

indifféremment en détachant une pastille périostée ou en créant une logette intra-osseuse;

- la fixation du transfert : de la première incision à la dernière, le tendon sera transféré de proche en proche jusqu'au 3^e cunéiforme. Après avoir exercé une traction sur le transplant, en portant le pied en flexion dorsale maximale (figure 5), le tendon sera engagé dans le cunéiforme. La fixation dépend des habitudes de chacun (figure 6). L'utilisation des ancres a actuellement fait disparaître l'utilisation des sutures appuyées sur un bouton sur la peau. La souffrance cutanée sous le bouton était en effet source de douleurs et de complications cutanées difficilement contrôlables sous plâtre. Certains



Figure 5. Passage du transfert de la deuxième incision à la troisième. Le transfert doit glisser librement et aisément dans la fenêtre de la membrane interosseuse. Il est nécessaire de tester le glissement du transfert.



Figure 6. Insertion du transfert dans l'avant-pied. Les alternatives thérapeutiques sont très nombreuses. Le choix réalisé ici est celui de l'insertion latérale au tendon du tibial antérieur. Celle-ci se fera par la même voie d'abord que celle du prélèvement par décollement latéral.

utilisent également des agrafes. La fixation est complétée par la suture du lambeau capsulo-périosté au tendon, au point de pénétration dans le cunéiforme. Le réglage de la tension doit aboutir à une position spontanée de la cheville à 90° sous l'effet de la gravité (figures 7 et 8). Comme pour tous les transferts palliatifs, il est recommandé de lever le garrot, faire l'hémostase, puis fermer chacune des incisions plan par plan, avant de faire la fixation définitive et le réglage de la tension du transfert. Ceci évite ainsi de modifier le réglage pendant les manœuvres d'hémostase et de fermeture. Une attelle ou une botte plâtrée temporaire est posée pour les premiers jours. L'immobilisation définitive se fait en botte en résine pour quatre à six semaines, selon les auteurs, le pied à angle droit en léger valgus de l'arrière pied.



Figure 7. La fixation du transfert se fera sur un pied positionné à 90°. L'hémostase et la fermeture des différentes incisions de prélèvement se feront préférentiellement avant le réglage et la fixation de façon à ne pas interférer avec la tension définitive du transplant.



Figure 8. La tension du transfert doit permettre une position naturelle à l'équerre sous l'effet de la gravité.

Certains auteurs autorisent l'appui dans l'immobilisation [6]. Rééducation de la marche ensuite (figure 9) et apprentissage de l'intégration du transfert qui est d'autant plus facile que le patient est jeune.

- Technique du transfert sous-cutané par la face médiale du tibia :
- la première et la deuxième incision doivent être impérativement séparées par un pont cutané, pour éviter les nécroses cutanées. En effet, le passage

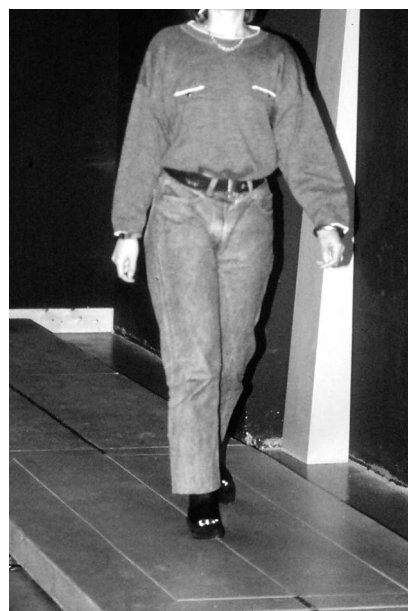


Figure 9. Exemple de patiente ayant bénéficié d'un transfert de TP, testée sur un plateau de force. On remarquera la disparition du steppage.

du transfert entre la peau et le tibia par sa face médiale nécessite un décollement sous-cutané. La dévascularisation de cette région, naturellement fragile et siège de nécrose cutanée, est donc majorée. La peau est par ailleurs mise en tension par le volume du transfert. L'intérêt de ce passage interne est de favoriser le glissement du tendon dans un espace cellulaire sous-cutané. Il serait illogique de lui faire correspondre une cicatrice cutanée, source d'adhérences;

- la troisième incision sur la face antérieure et latérale de la jambe est inutile;
- le mode de fixation n'a pas de spécificité;
- la voie d'abord sous-cutanée médiale semble donner de moins bons résultats en terme d'amplitude de la dorsiflexion. Les études cadavériques [2], aussi bien que cliniques [5], sont en faveur de la voie transmembrane interosseuse, qui semble notamment mieux contrôler l'inversion du pied.

– Variantes :

La zone et la technique d'insertion du transfert. La médialisation de l'insertion du transfert, quel que

soit son trajet, a un effet d'inversion. La latéralisation a un effet d'éversion. La zone d'insertion optimum pour équilibrer l'avant-pied semble être l'axe du troisième métacarpien [3]. Tomeno [6] propose d'utiliser le tendon terminal du muscle tibial antérieur. Celui-ci est extériorisé par la première incision et repassé sous le retinaculum des extenseurs des orteils qui sert de poulie de réflexion. Celui-ci sort alors dans l'axe du 2^e espace intermétacarpien. Cette technique permet de latéraliser et de distaliser l'insertion du transfert. Les auteurs espèrent ainsi augmenter le bras de levier du transfert et lui donner une action neutre en terme d'effet inverseur/éverseur. D'Astous [1] propose également de distaliser l'insertion du transfert en réalisant l'insertion transosseuse distale au retinaculum des extenseurs. Prahinski [4] propose un montage en bride de cheval « *Riordan transfer* ». Les tendons du tibial antérieur et du long péronier sont anastomosés en rène de cheval. Le transfert du TP y est alors anastomosé. L'équilibration entre inverseurs et éverseurs est théoriquement réalisée.

RÉFÉRENCES

- 1 D'Astous JL, MacWilliams BA, Kim SJ, Bachus KN. Superficial versus deep transfer of the posterior tibialis tendon. *J Pediatr Orthop* 2005 Mar-Apr; 25(2) : 245-8.
- 2 Goh JC, Lee PY, Lee EH, Bose K. Biomechanical study on tibialis posterior tendon transfers. *Clin Orthop Relat Res* 1995 Oct; 319 : 297-302.
- 3 Hui JH, Goh JC, Lee EH. Biomechanical study of tibialis anterior tendon transfer. *Clin Orthop Relat Res* 1998 Apr; 349 : 249-55.
- 4 Prahinski JR, McHale KA, Temple HT, Jackson JP. Bridle transfer for paresis of the anterior and lateral compartment musculature. *Foot Ankle Int* 1996 Oct; 17(10) : 615-9.
- 5 Soares D. Tibialis posterior transfer in the correction of footdrop due to leprosy. *Lepr Rev* 1995 Sep; 66(3) : 229-34.
- 6 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 Reparatrice Appar Mot* 1998 Apr; 84(2) : 194-6.
- 7 Yeap JS, Birch R, Singh D. Long-term results of tibialis posterior tendon transfer for drop-foot. *Int Orthop* 2001; 25(2) : 114-8.
- 8 Yeap JS, Singh D, Birch R. Tibialis posterior tendon dysfunction: a primary or secondary problem? *Foot Ankle Int* 2001 Jan; 22(1) : 51-5.
- 9 Yeap JS, Birch R, Singh D. Long-term results of tibialis posterior tendon transfer for drop-foot. *Int Orthop* 2001; 25(2) : 114-8.

Principes de la prise en charge en rééducation après chirurgie nerveuse directe et interventions palliatives

Principles of reeducation after post direct neurosurgery and palliative surgery

M.-N. THAURY ¹, C. CAUQUIL ¹, F. STER ¹, M. CHAMMAS ²

RÉSUMÉ

La prise en charge en rééducation après chirurgie nerveuse directe est capitale. Souvent, en effet, le patient n'accepte pas le fait d'avoir eu «son accident», de garder «son handicap» si longtemps, et cherche désespérément à régler rapidement son problème. Devant l'absence de solutions rapides, il peut arriver à exclure totalement ce membre, qu'il ne peut accepter. La rééducation doit permettre de conditionner le patient pour éviter toute perte du schéma moteur pendant la phase de paralysie et ainsi faciliter l'utilisation des muscles réinnervés. Elle permet aussi, en éduquant le patient à sa pathologie et en lui apprenant les gestes d'auto-prise en charge, de conserver le contact patient-membre paralysé, membre paralysé-monde extérieur et ainsi d'éviter l'exclusion de ce membre. Enfin, la rééducation permet de maintenir le meilleur état cutané trophique possible, d'éviter tout enraidissement ou fixation d'attitude vicieuse qui compromettrait le résultat de la repousse nerveuse et d'aider la récupération lorsqu'elle survient. Après la chirurgie palliative, la prise en charge est également indispensable pour reprogrammer le transfert dans sa nouvelle fonction.

Mots clés : Lésion nerveuse. – Rééducation.

SUMMARY

The care during the reeducation post direct neurosurgery is of paramount importance. Indeed, the patient often doesn't agree to have had "his accident", to keep "his handicap" for a so long time, and try desperately to settle rapidly his problem. For lack of rapid answers, he can come to wholly exclude this limb that he can't accept. The reeducation has to condition the patient to avoid losing the motor schema while the paralysis phase and, like this, make the use of the muscles that are innervated again, easier. By training the patient to his pathology and teaching him the movements to take care of himself, the reeducation also permit to keep the contact "patient-paralysed limb", "paralysed limb-outside world" and, like this, to avoid the exclusion of this limb. And then, the reeducation permit to hold the best trophic skin condition as possible, to avoid any stiffening or incorrect posture fixing that could compromise the outcome of the new growth of nerves, and to help the recuperation when it's arrive. After the palliative surgery, the reeducation is indispensable, also, to programme again the transfer of the muscle to its new function.

Key words: Nervous palsy. – Reeducation.

Depuis plus d'un siècle, la représentation corticale de la main tant sur le plan moteur que sensitif est bien connue, celle du pied un peu moins, mais conséquente.

Le message qui parvient au cortex est reconnu grâce à un apprentissage réalisé pendant l'enfance. La réponse

est coordonnée par des automatismes aux différentes sollicitations.

Toute lésion de la conduction nerveuse empêche les informations de parvenir au cerveau et induit une perte du schéma moteur et sensitif, entraînant souvent une exclusion du membre, même s'il persiste une certaine

¹ Unité de rééducation de la main et du membre supérieur, Centre Ster, 9, avenue Jean Ster, 34240 Lamalou-les-Bains, France

² Service de chirurgie de la main et du membre supérieur, hôpital Lapeyronie, CHU de Montpellier, 34295 Montpellier, Cedex 5, France

mobilité. En effet, non seulement la perception et la motricité sont altérées, mais également l'aspect atrophique, inesthétique, et souvent l'état algique sont des éléments peu encourageants pour utiliser le membre lésé et le montrer.

La prise en charge est longue du fait du temps de repousse nerveuse. L'équipe tant chirurgicale que rééducative doit expliquer, aider, soutenir le patient, pour obtenir sa participation aux actes nécessaires et optimiser les résultats.

Rééducation au stade de la paralysie complète

Elle est identique quelle que soit la lésion : prévention des troubles neuro-orthopédiques, par mobilisations, massages, stimulations électriques par courant spécifique (éventuellement car leur efficacité n'est pas prouvée), travail analytique des muscles présents pour obtenir le maximum de compensation; apprendre au patient à s'automobiliser pour le conditionner à sa prise en charge et insister lors de celle-ci sur les actes que le malade ne peut faire lui-même. Nous soulignerons l'importance d'une bonne connaissance de la physiopathologie et du *testing* musculaire pour cibler les gestes à réaliser, car les déficits musculaires engendrés par la paralysie provoquent des risques d'enraidissement du fait du déséquilibre entre les muscles agonistes et antagonistes [2].

Outre les mobilisations nécessaires pour éviter les rétractions tendinomusculaires, source de raideur,

l'appareillage est primordial. Il fait partie intégrante de la prise en charge des lésions des nerfs périphériques. Parfois simplement correcteur, parfois aidant à la fonction, il est spécifique à chaque pathologie [5].

Il s'agit d'une véritable prescription médicale : adaptation, surveillance, explication au patient de son intérêt, durée de port. Il doit être le moins encombrant possible, léger, esthétique et surtout efficace.

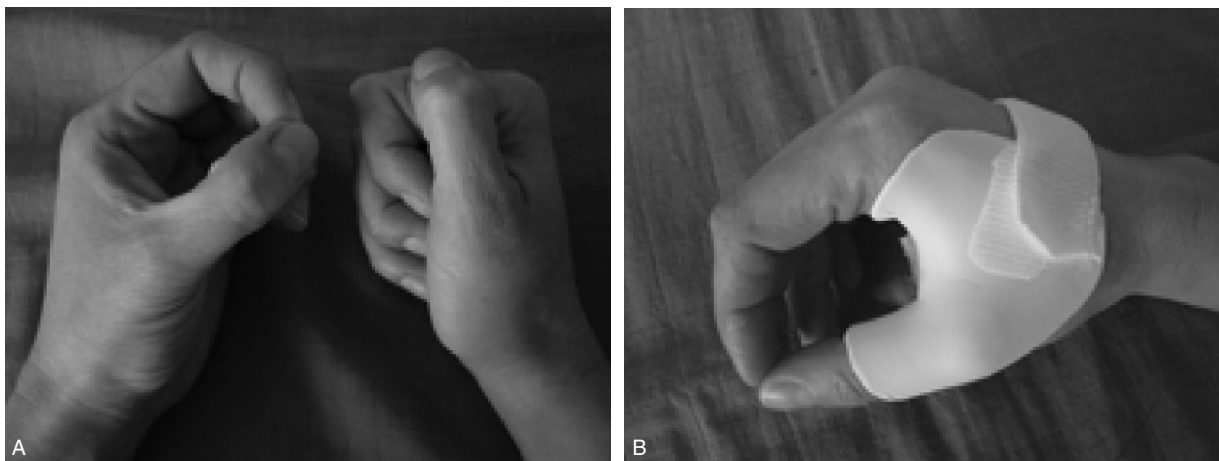
Appareillage au membre supérieur Paralysies du nerf médian

– **Basse** : (figure 1) si l'opposant est paralysé, les risques de rétraction de la première commissure sont majeurs, l'appareillage de prévention indispensable, il faut ouvrir la première commissure avec une C barre.

– **Haute** : outre le déficit d'opposition, il existe une perte de la flexion non seulement de l'IP du pouce, mais encore de l'IPP, IPD du II. L'appareillage sera préventif. C barre pour éviter la rétraction de la commissure, syndactylie II-III afin d'empêcher l'enraidissement du II en extension (figure 2).

Paralysie ulnaire

L'atteinte des interosseux et lombricaux induit une déformation en griffe des quatrième et cinquième doigts, dont l'importance est variable en fonction de la laxité du patient. Il faut éviter la fixation de la griffe (enraidissement des interphalangiennes proximales et distales en flexion, des métacarpophalangiennes en extension)



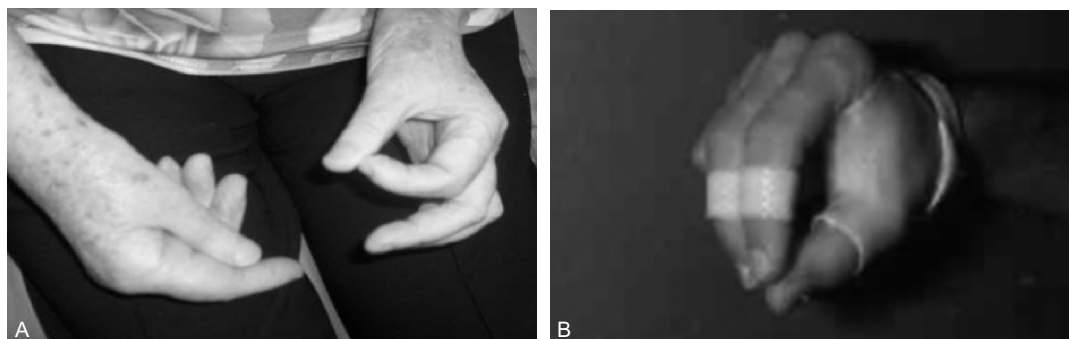


Figure 2. A : l'opposant est paralysé, la flexion de l'IP du pouce et de l'IP du II est impossible. B : la C barre permet de positionner le pouce en antépulsion pour éviter la rétraction de la commissure et, dans le même temps, une pince pouce II est possible du fait de la syndactylie II-III.

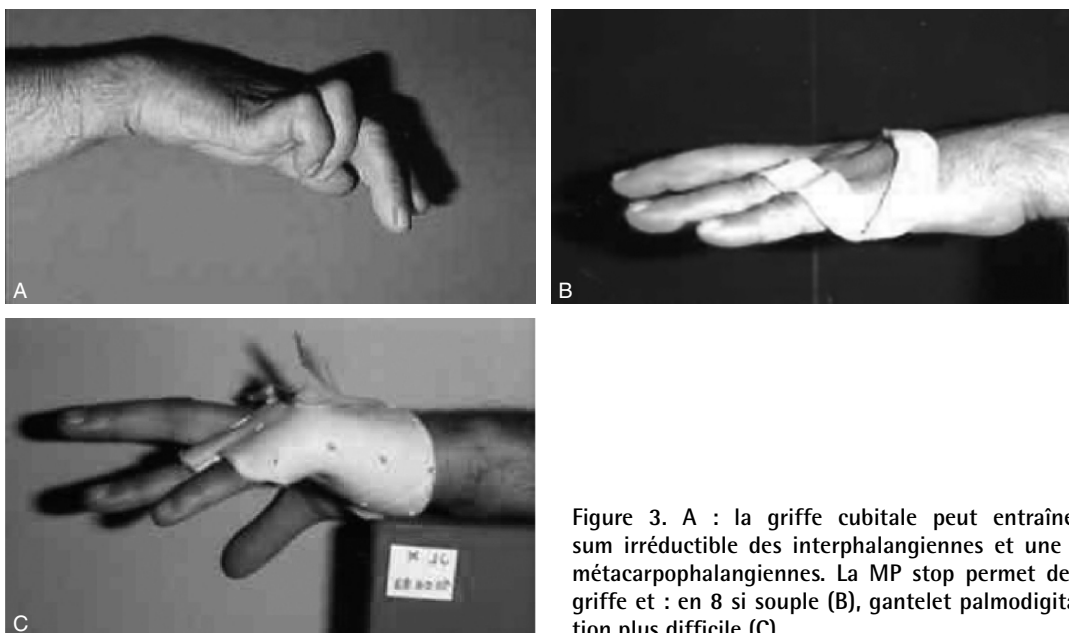


Figure 3. A : la griffe cubitale peut entraîner un flessum irréductible des interphalangiennes et une raideur des métacarpophalangiennes. La MP stop permet de corriger la griffe et : en 8 si souple (B), gantelet palmodigital si correction plus difficile (C).

en maintenant les MP en flexion par une MP stop, car alors l'extenseur peut étendre les interphalangiennes (manœuvre de Bouvier). L'amplitude choisie étant la flexion des MP minimale pour obtenir l'extension complète des IP (figure 3).

Paralysie médio-ulnaire

– **Basse** : tous les intrinsèques de la main sont paralysés. Deux risques sont présents : rétraction de la première commissure et fixation en griffe de tous les doigts.

Il faut appareiller avec une C barre et une MP stop, même principe que pour la paralysie du nerf médian et ulnaire (figure 4).

– **Haute** : (figure 5) tous les intrinsèques sont paralysés, ainsi que les longs fléchisseurs des doigts, les fléchisseurs du poignet, les pronateurs, seuls persistent les mouvements d'extension du poignet et des doigts. Il n'y a pas de risque de griffe, car pas de déséquilibre entre fléchisseurs et extenseurs. Cependant, les risques d'enraidissement en extension sont possibles du fait de l'absence de flexion

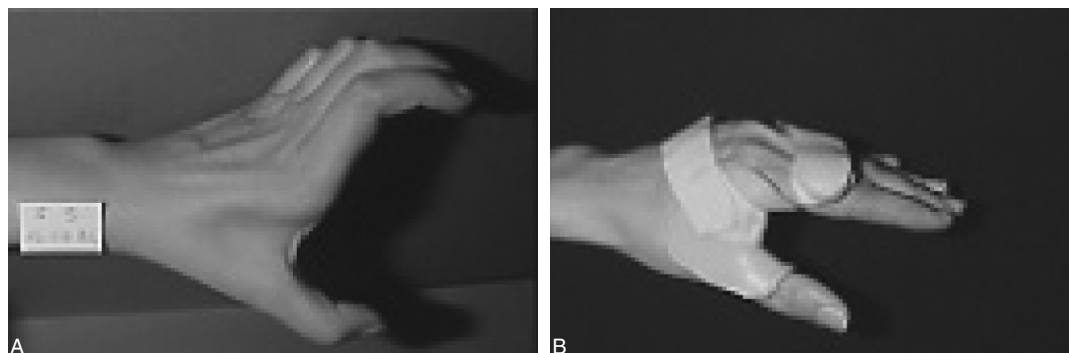


Figure 4. A : paralysie médio-ulnaire, griffe des cinq doigts. Pas d'antépulsion-opposition du pouce. B : la MP stop associée à la C barre corrige la déformation.

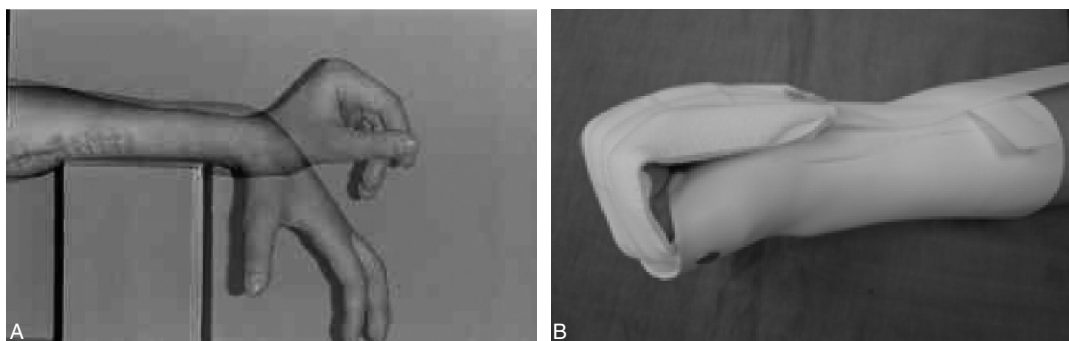


Figure 5. A : paralysie médio-ulnaire haute, préhension par ténodèse possible parfois. B : chape d'enroulement pour éviter un enraidissement en extension (aucune flexion active possible).

active, ainsi que la rétraction de la première commissure. L'appareillage comportera une chape d'enroulement et une C barre.

Paralysie radiale

Elle induit un déficit d'extension du poignet, des MP et de la rétropulsion-extension du pouce (figure 6).

Les risques d'enraidissement sont en général mineurs, et l'appareillage est essentiellement fonctionnel. De très nombreuses orthèses ont été décrites, mais l'expérience montre que le problème fonctionnel prédominant n'est pas l'impossibilité d'étendre le poignet et les doigts, mais plutôt de fléchir les doigts avec force, du fait du déficit d'extension du poignet.

Ainsi, une simple orthèse stabilisant le poignet en extension d'une vingtaine de degrés ou en rectitude suffit bien souvent (figure 6). Les autres appareillages positionnant le pouce en rétropulsion, les MP en extension, souvent encombrants, gênent plutôt la fonction qu'ils ne l'aident.

Appareillage au membre inférieur

Paralysies du fibulaire

Elles provoquent une perte de la flexion dorsale du pied et de la stabilisation latérale, provoquant step-page ou fauchage. Les risques d'enraidissement en flexion ne sont pas négligeables.

Il faut, non seulement pour faciliter la marche mais encore pour éviter la raideur, réaliser une orthèse anti-steppage (figure 7).

Paralysies du nerf tibial

Elles posent le gros problème d'absence de sensibilité plantaire, pouvant provoquer des lésions sévères : mal perforant plantaire, sepsis...

Les soins d'hygiène doivent être expliqués au patient. L'adaptation des chaussures, souvent difficile, doit être réalisée : semelle souple avec répartition d'appui.

Attention à la perte de la flexion plantaire.

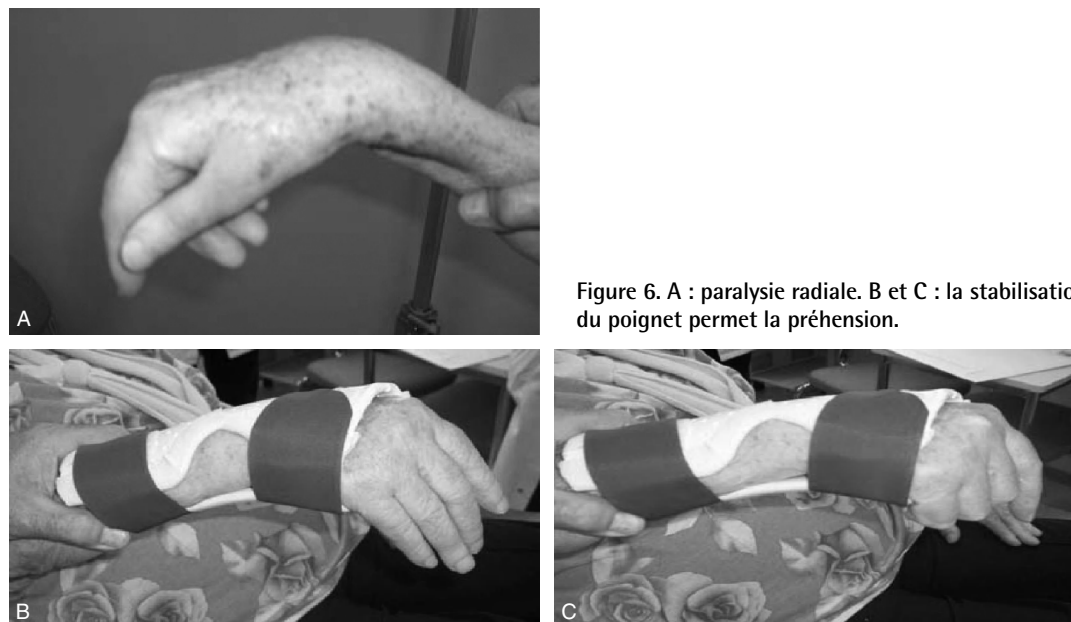


Figure 6. A : paralysie radiale. B et C : la stabilisation du poignet permet la préhension.

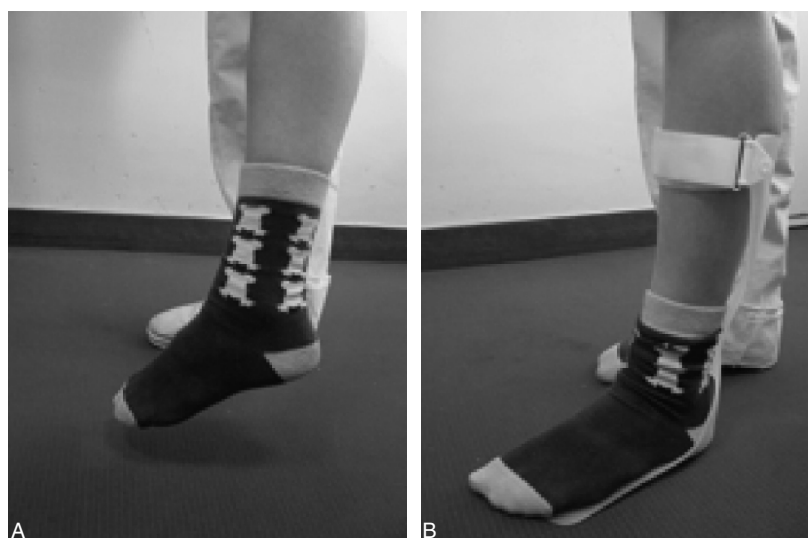


Figure 7. A : paralysie fibulaire, perte de la flexion dorsale, éversion du pied. B : orthèse mollet plante.

Troubles sensitifs et douleurs

Rencontrés surtout dans les paralysies du nerf médian et du nerf tibial, très riches en fibres sympathiques, ils peuvent être majeurs, handicapant de façon considérable la vie des patients. Des traitements adaptés doivent être entrepris, surtout médicamenteux, avec l'aide des centres antidouleur spécialisés dans cette prise en charge. La vibrothérapie et l'électrothérapie (stimulations antalgiques) sont souvent très efficaces.

La prise en charge, par ailleurs, doit s'attacher à faire conserver au membre lésé son interface, c'est-à-dire à

garder, si imparfait soit-il, le contact avec l'environnement pour éviter l'exclusion du membre et donc conserver une reconnaissance corticale.

Rééducation pendant la phase de réinnervation

Elle passe souvent par un épisode douloureux, premier stade de récupération qui peut angoisser le patient, qu'il faut avertir.

Toutes les consignes de lutte contre les attitudes vicieuses et l'appareillage doivent être poursuivies, car

la récupération est progressive et les risques ne sont pas écartés.

Il s'agit de faire prendre conscience au patient de la présence de muscles cotés à 1, souvent non perçus par le malade. Un travail analytique de ceux-ci en synergie avec l'autre côté pour reconnaître le mouvement à réaliser est indispensable. L'aide du *feed-back* est souvent nécessaire pour reconnaître le mouvement non effectué depuis longtemps. Il ne faut jamais réaliser un travail global, car les compensations souvent effectuées au stade de la paralysie perturbent la prise en charge motrice. Parallèlement, la prise en charge sensitive est indispensable. Elle demanderait un chapitre particulier. N'oublions pas que la perte de la sensibilité à elle seule peut provoquer l'exclusion du membre.

Les travaux de Dellon, Mober, Weinstein, Brand, Wynn Parry ont montré que, grâce à un réapprentissage, le cortex est capable de s'adapter, de compenser et surtout de comprendre à nouveau les signaux imparfaits, diminués, recueillis par le membre blessé [1, 3].

Pourtant, bien souvent encore en 2007, cette prise en charge est méconnue. Il s'agit, même si les progrès de la réinnervation sont limités, de surentraîner les différents éléments cognitifs régénérés pour que la peau réapprenne les contacts avec les objets, les effleurements, les pressions, le mouvement, la chaleur, et même la douleur. Il faut recréer toutes les informations pour que le membre continue à « servir ». Conjointement, le cerveau réapprend ou analyse la sensation nouvelle : celle-ci n'étant pas encore identifiable, le patient doit l'intégrer sous contrôle visuel [4].

Attention, parfois, la repousse axonale peut passer totalement inaperçue du fait de la longueur des délais de repousse nerveuse : le patient continue ainsi à penser son membre paralysé, alors qu'en réalité, certains muscles sont présents mais ignorés. Il en est de même pour la sensibilité. D'où l'importance d'un suivi spécialisé par une équipe ayant une bonne connaissance des délais de repousse nerveuse, du *testing* musculaire et sensitif et de l'électromyographie.

Prise en charge après intervention palliative

En l'absence de récupération spontanée, d'un échec de réinnervation ou d'impossibilité de réparation nerveuse, les techniques de chirurgie palliative par transfert musculaire apportent une solution efficace pour retrouver la fonction perdue.

Le choix des transferts est bien codifié pour chaque type de paralysie et connu des différentes équipes chirurgicales et de rééducation [6]. Les règles sont

précises : la perte fonctionnelle engendrée par la prise du transfert doit être moins importante que le gain escompté. La force du muscle transféré doit si possible être normale, ou au moins cotée à 4 (d'où l'importance d'un *testing* musculaire bien réalisé). L'articulation à réanimer doit être souple. Parmi toutes les techniques utilisées, aucune n'est véritablement parfaite. Cependant l'expérience de chaque équipe chirurgicale est primordiale pour orienter le transfert et calculer la tension nécessaire pour sa nouvelle fonction.

L'immobilisation en position de détente des sutures musculaires est de règle, avec une résine conservée 21 jours en règle générale, parfois plus, en fonction du geste réalisé (surtout pour la réanimation de la flexion dorsale du pied).

Pendant ces trois semaines, un drainage d'appel est réalisé pour lutter contre l'œdème. Un entretien articulaire des articulations sus-jacentes, des sollicitations du transfert par contractions statiques sous la résine et des vibrations proprioceptives des antagonistes à 80 Hz peuvent être réalisés.

À trois semaines, la résine est enlevée et remplacée par une orthèse de protection des sutures musculaires (pour une durée de trois semaines environ, en fonction de l'évolution propre au patient et de la tension des transferts).

Le travail actif des muscles transférés est alors débuté. Il s'agit d'un travail analytique du transfert dans sa nouvelle fonction, sans utiliser l'ancien schéma de fonction de ce muscle (par exemple, lors d'un transfert du fléchisseur radial du carpe sur l'extenseur commun des doigts, ne pas demander une flexion du poignet pour étendre les doigts).

Le muscle transféré est positionné de telle façon qu'en se contractant, il donne le mouvement. Cela doit être obtenu en priorité, afin de réapprendre le mouvement perdu, par un travail analytique en synergie avec l'autre côté, par des stimulations musculaires et un travail au *feed-back*. Ce n'est que devant l'échec (au demeurant rare) de ce type de prise en charge qu'une rééducation de l'ancien mouvement peut être entreprise pour intégrer le nouveau.

Parallèlement, l'assouplissement des articulations immobilisées pendant trois semaines est réalisé, toujours en détente des transferts.

À la sixième semaine, la cicatrisation tendinomusculaire est en bonne voie. À ce stade, ou plus précocement si la ténodèse est importante, ou si le chirurgien le décide en fonction du type de suture réalisé, on peut commencer progressivement à lutter contre les adhérences par des mobilisations, des postures et un appareillage adapté. Les gains obtenus ne doivent en aucun cas provoquer une perte de l'efficacité du transfert.

À deux mois, les transferts sont solides, et un travail contre résistance peut être autorisé.

RÉFÉRENCES

- 1 Callaham AD. Methode of compensation and reeducation of sensory dysfunction. In : Hunter JM, ed. Rehabilitation of the hand. Saint Louis (MO) : Mosby Company ; 1990. p. 611-21.
- 2 Colditz Judi C. Splinting peripheral nerve injuries. In : Hunter JM, ed. Rehabilitation of the hand. Saint Louis (MO) : Mosby Company ; 1990. p. 647-57.
- 3 Dellon AL. Evaluation of sensibility and reeducation of sensation in the hand Baltimore (MD) : William and Wilkins ; 1981.
- 4 Delprat J, Mansat M. Rééducation de la sensibilité de la main. *Encycl Méd Chir (Elsevier, Paris). Kinésithérapie*, 26064 A 10. 1982.
- 5 Godebout J (de), Allieu Y, Thauray MN, Ster J, Ster F, Cauquil C. Les orthèses en neurologie périphérique. Appareillage au membre supérieur. Prothèses et orthèses. Problème en médecine de rééducation. Paris : Masson ; 1989. p. 19-32.
- 6 Schneider LH. Tendon transfers in the upper extremity. In : Hunter JM. Rehabilitation of the hand. Saint Louis (MO) : Mosby Company ; 1990. p. 669-75.

Conclusion

La chirurgie nerveuse ne se résume pas à l'acte de réparation nerveuse, cette monographie l'a rappelé. Nous voudrions insister en conclusion de cet ouvrage sur quelques points essentiels.

Tout d'abord, il ne faut pas méconnaître une lésion nerveuse périphérique chez un patient à la phase initiale d'un traumatisme ouvert ou fermé des membres. D'autre part, il faut aussi déterminer s'il y a repousse nerveuse et son pronostic après la prise en charge initiale que l'on a effectuée ou bien dans le cadre d'une prise en charge secondaire d'un patient porteur d'une lésion nerveuse fermée ou déjà opérée. L'attentisme dubitatif n'a jamais été une règle en chirurgie nerveuse périphérique.

Avant toute indication chirurgicale de réparation nerveuse devant une lésion récente, outre le bilan neurologique, seront évalués :

- le retentissement de la lésion nerveuse et ses conséquences fonctionnelles qui font allusion aux nerfs à ne pas réparer car leurs répercussions sont minimales ;
- les critères de pronostic de la récupération nerveuse intrinsèque au patient (âge, consommation tabagique, terrain), qui seront mis en corrélation avec les critères propres au traumatisme (niveau lésionnel, étiologie, traumatisme vasculaire associé) ;
- l'état des tissus adjacents et la stabilisation squelettique où la contamination infectieuse, le degré d'attrition tissulaire et l'état ischémique seront évalués ;
- le pronostic de récupération fonctionnelle du membre en cas de lésion pluritissulaire. En cas de traumatisme complexe pluritissulaire où le pronostic fonctionnel du membre est engagé, l'indication de réparation nerveuse est soumise à la conservation du membre ;
- l'intérêt respectif d'une réparation nerveuse différée (primaire ou reprise) ou d'une chirurgie palliative ;
- l'analyse du mécanisme lésionnel qui est l'un des points essentiels du bilan d'une lésion nerveuse périphérique. Chaque mécanisme induira des spécificités de prise en charge et thérapeutiques.

S'il s'agit d'une prise en charge secondaire, devront être aussi analysés :

- le délai depuis la lésion traumatique. Altérations du nerf, dégénérescence des effecteurs moteurs et sensitifs, involution des jonctions neuro-musculaires seront autant de freins à la réinnervation en cas de réparation nerveuse tardive chez l'adulte ;
- la souplesse articulaire et la trophicité du membre qui devront être maintenues par une rééducation attentive ;
- le degré d'adhésion du patient bien informé à son programme thérapeutique.

La réparation nerveuse, lorsqu'elle est indiquée, est une urgence et doit être réalisée le plus précocement possible car le processus de régénération débute dans les heures qui suivent la lésion. Cette notion d'urgence n'est pas absolue. Il sera préférable de différer la suture quand les conditions locales ne sont pas favorables. L'intérêt du patient doit primer dans la décision du transfert vers une unité spécialisée. Chirurgie atraumatique sous microscope, minutie de l'affrontement épipérineural en attendant les chambres de régénération et tension physiologique sont des règles de base.

À côté de la gestion des douleurs, il est très important que, dès le début de l'évolution de la paralysie, il existe une prise en charge rééducative afin d'éviter l'enraidissement articulaire et la rétraction des parties molles. Il est également primordial de travailler les compensations et de maintenir intégrée la main dans le schéma corporel. L'analyse aussi précoce que possible des perspectives de réintégration professionnelle ou de reclassement sera intégrée dans le programme thérapeutique.

La chirurgie palliative est à considérer non pas comme ultime recours mais pourra parfois être indiquée d'emblée. Il est en effet utile de distinguer les lésions ayant un pronostic plutôt bon de régénération nerveuse de celles ayant un mauvais pronostic (lésions à double étage, délai important, sujet âgé, lésion proximale). Dans ce dernier cas de figure, une chirurgie palliative pourra être proposée précocement afin de ne pas faire attendre inutilement une récupération qui ne pourra pas survenir. Les variations des territoires d'innervation des nerfs médian et ulnaire à l'avant-bras et à la main sont très fréquentes. À cela il faut ajouter les

récupérations incomplètes notamment après chirurgie nerveuse initiale ou secondaire. Il s'agit d'une chirurgie spécialisée à ne pas improviser. La sémiologie est à la base des indications thérapeutiques. D'autres critères interviennent. Aucun n'est à négliger et tous ces éléments sont à inclure dans le bilan préthérapeutique :

- analyse des besoins du patient et de la manière dont la main est utilisée malgré la paralysie ;
- appréciation des capacités du patient à intégrer le transfert et à adhérer au programme de rééducation ;
- appréciation par le patient des objectifs, possibilités et limites du traitement chirurgical ;
- stabilisation tissulaire effective (consolidation osseuse obtenue, absence d'état inflammatoire ou infectieux, cicatrisation complète) ;
- état cicatriciel adéquat des zones susceptibles d'être traversées par le transfert ;
- souplesse articulaire ;
- l'absence de récupération d'une certaine sensibilité n'est pas une contre-indication à un transfert tendineux. La sensibilité « visuelle » peut suppléer. Toutefois, l'indication de transfert tendineux est discutable s'il y a des troubles trophiques et des douleurs ;
- analyse de l'importance des phénomènes douloureux pouvant conduire à l'exclusion fonctionnelle de la main ;

– état des troubles trophiques et de l'intolérance au froid ;

– présence d'un ou plusieurs muscles transférables.

Associées fréquemment aux séquelles paralytiques motrices et sensitives, les séquelles douloureuses peuvent être améliorées grâce à une collaboration médico-chirurgicale avec médecin algologue et centre anti-douleur. Parfois, la chirurgie permettra d'éviter des traitements médicamenteux aux longs cours dont les effets secondaires en terme de qualité de l'éveil et de la mémorisation sont importants. Les indications doivent être très bien analysées en tenant compte notamment du profil du patient.

Le suivi des patients et l'évaluation des résultats sont essentiels et se feront au mieux pour les lésions graves dans le cadre de consultations spécialisées. Précisions des indications thérapeutiques et progrès de prise en charge y sont directement liés.

Les auteurs de cette monographie souhaitent avoir ainsi contribué à l'amélioration de la prise en charge des patients porteurs de traumatismes des nerfs périphériques et à l'amélioration des pratiques professionnelles dans ce domaine.

M. Chammas et J.-Y. Alnot