

Restauration de la flexion du coude par neurotisation au canal brachial, dans les paralysies post-traumatiques C5C6 et C5C6C7. Comparaison entre simple et double neurotisation. Résultats d'une série de 29 patients

Pierre-Yves Barthel

▶ **To cite this version:**

Pierre-Yves Barthel. Restauration de la flexion du coude par neurotisation au canal brachial, dans les paralysies post-traumatiques C5C6 et C5C6C7. Comparaison entre simple et double neurotisation. Résultats d'une série de 29 patients. Sciences du Vivant [q-bio]. 2011. hal-01732152

HAL Id: hal-01732152
https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01732152

Submitted on 14 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITE HENRI POINCARE, NANCY FACULTE DE MEDECINE DE NANCY

2011

THESE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement
dans le cadre du Troisième cycle
de Médecine Spécialisée – Chirurgie.

par

Pierre-Yves BARTHEL

le 19 Septembre 2011

Restauration de la flexion du coude par neurotisation au canal brachial, dans les paralysies post-traumatiques C5C6 et C5C6C7. Comparaison entre simple et double neurotisation. Résultats d'une série de 29 patients.

Examinateurs de la thèse:

Président:
- Mr le Professeur DAUTEL Gilles

Juges:
- Mr le Professeur DAP François
- Mr le Professeur MANSAT Pierre
- Mr le Docteur BARBARY Stéphane
- Mr le Docteur APREDOAEI Costel

UNIVERSITÉ HENRI POINCARÉ, NANCY 1

FACULTÉ DE MÉDECINE DE NANCY

Président de l'Université : Professeur Jean-Pierre FINANCE

Doyen de la Faculté de Médecine : Professeur Henry COUDANE

Vice Doyen *Mission « sillon lorrain »* : Professeur Annick BARBAUD
Vice Doyen *Mission* « *Campus* » : Professeur Marie-Christine BÉNÉ
Vice Doyen *Mission « Finances » :* Professeur Marc BRAUN
Vice Doyen Mission « *Recherche* » : Professeur Jean-Louis GUÉANT

Assesseurs :

- Pédagogie : ……**Professeur Karine ANGIOÏ-DUPREZ**
- 1er Cycle :……**Professeur Bernard FOLIGUET**
- « Première année commune aux études de santé (PACES) et universitarisation études para-médicales »……**M. Christophe NÉMOS**
- 2ème Cycle :……...**Professeur Marc DEBOUVERIE**
- 3ème Cycle :

« DES Spécialités Médicales, Chirurgicales et Biologiques » ……**Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI**
« DES Spécialité Médecine Générale ……**Professeur Francis RAPHAËL**
- Filières professionnalisées : ……..**M. Walter BLONDEL**
- Formation Continue :…… **Professeur Hervé VESPIGNANI**
- Commission de Prospective :……**Professeur Pierre-Edouard BOLLAERT**
- Recherche : ……**Professeur Didier MAINARD**
- Développement Professionnel Continu :…….. **Professeur Jean-Dominique DE KORWIN**

DOYENS HONORAIRES

Professeur Adrien DUPREZ – Professeur Jean-Bernard DUREUX
Professeur Jacques ROLAND – Professeur Patrick NETTER

==========

PROFESSEURS HONORAIRES

Pierre ALEXANDRE – Jean-Marie ANDRE - Daniel ANTHOINE - Alain BERTRAND - Pierre BEY – Patrick BOISSEL
Jacques BORRELLY - Michel BOULANGE - Jean-Claude BURDIN - Claude BURLET - Daniel BURNEL - Claude CHARDOT Jean-Pierre CRANCE - Gérard DEBRY - Jean-Pierre DELAGOUTTE - Emile de LAVERGNE - Jean-Pierre DESCHAMPS
Michel DUC - Jean DUHEILLE - Adrien DUPREZ - Jean-Bernard DUREUX - Gérard FIEVE - Jean FLOQUET – Robert FRISCH Alain GAUCHER - Pierre GAUCHER - Hubert GERARD - Jean-Marie GILGENKRANTZ - Simone GILGENKRANTZ Oliéro GUERCI - Pierre HARTEMANN - Claude HURIET - Christian JANOT – Michèle KESSLER - Jacques LACOSTE Henri LAMBERT - Pierre LANDES - Alain LARCAN - Marie-Claire LAXENAIRE - Michel LAXENAIRE - Jacques LECLERE Pierre LEDERLIN Bernard LEGRAS - Michel MANCIAUX - Jean-Pierre MALLIÉ – Philippe MANGIN - Pierre MATHIEU
Denise MONERET-VAUTRIN – Pierre MONIN - Pierre NABET - Jean-Pierre NICOLAS - Pierre PAYSANT - Francis PENIN Gilbert PERCEBOIS Claude PERRIN - Guy PETIET - Luc PICARD - Michel PIERSON - Jean-Marie POLU – Jacques POUREL Jean PREVOT - Antoine RASPILLER - Michel RENARD - Jacques ROLAND - René-Jean ROYER - Paul SADOUL
Daniel SCHMITT - Michel SCHWEITZER - Jean SOMMELET - Danièle SOMMELET – Jean-François STOLTZ – Michel STRICKER - Gilbert THIBAUT - Augusta TREHEUX - Hubert UFFHOLTZ - Gérard VAILLANT - Paul VERT Colette VIDAILHET - Michel VIDAILHET - Michel W A YOFF - Michel WEBER

==========

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS
PRATICIENS HOSPITALIERS

(Disciplines du Conseil National des Universités)

42ème Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1ère sous-section : ***(Anatomie)***

Professeur Gilles GROSDIDIER

Professeur Pierre LASCOMBES – Professeur Marc BRAUN

2ème sous-section : ***(Cytologie et histologie)***

Professeur Bernard FOLIGUET

3ème sous-section : ***(Anatomie et cytologie pathologiques)***

Professeur François PLENAT – Professeur Jean-Michel VIGNAUD

43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1ère sous-section : ***(Biophysique et médecine nucléaire)***

Professeur Gilles KARCHER – Professeur Pierre-Yves MARIE – Professeur Pierre OLIVIER

2ème sous-section : ***(Radiologie et imagerie médicale)***

Professeur Denis REGENT – Professeur Michel CLAUDON

Professeur Serge BRACARD – Professeur Alain BLUM – Professeur Jacques FELBLINGER P

rofesseur René ANXIONNAT

44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1ère sous-section : ***(Biochimie et biologie moléculaire)***

Professeur Jean-Louis GUÉANT – Professeur Jean-Luc OLIVIER – Professeur Bernard NAMOUR

2ème sous-section : ***(Physiologie)***

Professeur François MARCHAL – Professeur Bruno CHENUEL – Professeur Christian BEYAERT

3ème sous-section : ***(Biologie Cellulaire)***

Professeur Ali DALLOUL

4ème sous-section : ***(Nutrition)***

Professeur Olivier ZIEGLER – Professeur Didier QUILLIOT

45ème Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1ère sous-section : ***(Bactériologie – virologie ; hygiène hospitalière)***

Professeur Alain LE FAOU - Professeur Alain LOZNIEWSKI

3ème sous-section : ***(Maladies infectieuses ; maladies tropicales)***

Professeur Thierry MAY – Professeur Christian RABAUD

46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1ère sous-section : ***(Épidémiologie, économie de la santé et prévention)***

Professeur Philippe HARTEMANN – Professeur Serge BRIANÇON - Professeur Francis GUILLEMIN

Professeur Denis ZMIROU-NA VIER – Professeur François ALLA

2ème sous-section : ***(Médecine et santé au travail)***

Professeur Christophe PARIS

3ème sous-section : ***(Médecine légale et droit de la santé)***

Professeur Henry COUDANE

4ème sous-section : ***(Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication)***

Professeur François KOHLER – Professeur Éliane ALBUISSON

47ème Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE

1ère sous-section : ***(Hématologie ; transfusion)***

Professeur Thomas LECOMPTE – Professeur Pierre BORDIGONI

Professeur Jean-François STOLTZ – Professeur Pierre FEUGIER

2ème sous-section : ***(Cancérologie ; radiothérapie)***

Professeur François GUILLEMIN – Professeur Thierry CONROY

Professeur Didier PEIFFERT – Professeur Frédéric MARCHAL

3ème sous-section : ***(Immunologie)***

Professeur Gilbert FAURE – Professeur Marie-Christine BENE

4ème sous-section : ***(Génétique)***

Professeur Philippe JONVEAUX – Professeur Bruno LEHEUP

48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE

1ère sous-section : ***(Anesthésiologie et réanimation chirurgicale ; médecine d'urgence)***

Professeur Claude MEISTELMAN – Professeur Hervé BOUAZIZ

Professeur Paul-Michel MERTES – Professeur Gérard AUDIBERT

2ème sous-section : ***(Réanimation médicale ; médecine d'urgence)***

Professeur Alain GERARD - Professeur Pierre-Édouard BOLLAERT

Professeur Bruno LÉVY – Professeur Sébastien GIBOT

3ème sous-section : ***(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie)***

Professeur Patrick NETTER – Professeur Pierre GILLET

4ème sous-section : ***(Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie)***

Professeur François PAILLE – Professeur Gérard GAY

Professeur Faiez ZANNAD - Professeur Patrick ROSSIGNOL

49ème Section : PATHOLOGIE NERVEUSE ET MUSCULAIRE, PATHOLOGIE MENTALE, HANDICAP et RÉÉDUCATION

1ère sous-section : ***(Neurologie)***

Professeur Gérard BARROCHE – Professeur Hervé VESPIGNANI

Professeur Xavier DUCROCQ – Professeur Marc DEBOUVERIE

2ème sous-section : ***(Neurochirurgie)***

Professeur Jean-Claude MARCHAL – Professeur Jean AUQUE

Professeur Thierry CIVIT

3ème sous-section : ***(Psychiatrie d'adultes ; addictologie)***

Professeur Jean-Pierre KAHN – Professeur Raymund SCHWAN

4ème sous-section : ***(Pédopsychiatrie ; addictologie)***

Professeur Daniel SIBERTIN-BLANC – Professeur Bernard KABUTH

5ème sous-section : ***(Médecine physique et de réadaptation)***

Professeur Jean PAYSANT

50ème Section : PATHOLOGIE OSTÉO-ARTICULAIRE, DERMATOLOGIE et CHIRURGIE PLASTIQUE

1ère sous-section : ***(Rhumatologie***

) Professeur Isabelle CHARY-VALCKENAERE – Professeur Damien LOEUILLE

2ème sous-section : ***(Chirurgie orthopédique et traumatologique)***

Professeur Daniel MOLE - Professeur Didier MAINARD

Professeur François SIRVEAUX – Professeur Laurent GALOIS

3ème sous-section : ***(Dermato-vénéréologie)***

Professeur Jean-Luc SCHMUTZ – Professeur Annick BARBAUD

4ème sous-section : ***(Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique ; brûlologie)***

Professeur François DAP – Professeur Gilles DAUTEL

51ème Section : PATHOLOGIE CARDIORESPIRATOIRE et VASCULAIRE

1ère sous-section : ***(Pneumologie ; addictologie)***

Professeur Yves MARTINET – Professeur Jean-François CHABOT – Professeur Ari CHAOUAT

2ème sous-section : ***(Cardiologie)***

Professeur Etienne ALIOT – Professeur Yves JUILLIERE – Professeur Nicolas SADOUL

Professeur Christian de CHILLOU

3ème sous-section : ***(Chirurgie thoracique et cardiovasculaire)***

Professeur Jean-Pierre VILLEMOT - Professeur Jean-Pierre CARTEAUX

4ème sous-section : ***(Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire)***

Professeur Denis WAHL – Professeur Sergueï MALIKOV

52ème Section : MALADIES DES APPAREILS DIGESTIF et URINAIRE

1ère sous-section : ***(Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie)***

Professeur Marc-André BIGARD - Professeur Jean-Pierre BRONOWICKI – Professeur Laurent PEYRIN-BIROULET

2ème sous-section : ***(Chirurgie digestive)*** **3ème sous-section :** ***(Néphrologie)***

Professeur Dominique HESTIN – Professeur Luc FRIMAT

4ème sous-section : ***(Urologie)*** Professeur Jacques HUBERT – Professeur Pascal ESCHWEGE

53ème Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE

1ère sous-section : ***(Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie)***

Professeur Jean-Dominique DE KORWIN – Professeur Pierre KAMINSKY

Professeur Athanase BENETOS - Professeur Gisèle KANNY – Professeur Christine PERRET-GUILLAUME

2ème sous-section : ***(Chirurgie générale)***

Professeur Laurent BRESLER - Professeur Laurent BRUNAUD – Professeur Ahmet AYAV

54ème Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION

1ère sous-section : ***(Pédiatrie)***

Professeur Jean-Michel HASCOET - Professeur Pascal CHASTAGNER

Professeur François FEILLET - Professeur Cyril SCHWEITZER

2ème sous-section : ***(Chirurgie infantile)***

Professeur Michel SCHMITT – Professeur Pierre JOURNEAU – Professeur Jean-Louis LEMELLE

3ème sous-section : ***(Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale)***

Professeur Jean-Louis BOUTROY - Professeur Philippe JUDLIN – Professeur Patricia BARBARINO

4ème sous-section : ***(Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale)***

Professeur Georges WERYHA – Professeur Marc KLEIN – Professeur Bruno GUERCI

55ème Section : PATHOLOGIE DE LA TÊTE ET DU COU

1ère sous-section : ***(Oto-rhino-laryngologie)***

Professeur Claude SIMON – Professeur Roger JANKOWSKI – Professeur Cécile PARIETTI-WINKLER

2ème sous-section : ***(Ophtalmologie)***

Professeur Jean-Luc GEORGE – Professeur Jean-Paul BERROD – Professeur Karine ANGIOI-DUPREZ

3ème sous-section : ***(Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie)***

Professeur Jean-François CHASSAGNE – Professeur Etienne SIMON

==========

PROFESSEURS DES UNIVERSITÉS

64ème Section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Professeur Sandrine BOSCHI-MULLER

==========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

42ème Section : MORPHOLOGIE ET MORPHOGENÈSE

1ère sous-section : ***(Anatomie)***

Docteur Bruno GRIGNON – Docteur Thierry HAUMONT – Docteur Manuela PEREZ

2ème sous-section : ***(Cytologie et histologie)***

Docteur Edouard BARRAT - Docteur Françoise TOUATI – Docteur Chantal KOHLER

3ème sous-section : ***(Anatomie et cytologie pathologiques)***

Docteur Aude BRESSENOT

43ème Section : BIOPHYSIQUE ET IMAGERIE MÉDICALE

1ère sous-section : ***(Biophysique et médecine nucléaire)***

Docteur Marie-Hélène LAURENS – Docteur Jean-Claude MAYER

Docteur Pierre THOUVENOT – Docteur Jean-Marie ESCANYE

2ème sous-section : (Radiologie et imagerie médicale)

Docteur Damien MANDRY

44ème Section : BIOCHIMIE, BIOLOGIE CELLULAIRE ET MOLÉCULAIRE, PHYSIOLOGIE ET NUTRITION

1ère sous-section : ***(Biochimie et biologie moléculaire)***

Docteur Jean STRACZEK – Docteur Sophie FREMONT

Docteur Isabelle GASTIN – Docteur Marc MERTEN – Docteur Catherine MALAPLATE-ARMAND

Docteur Shyue-Fang BATTAGLIA

3ème sous-section : ***(Biologie Cellulaire)***

Docteur Véronique DECOT-MAILLERET

4ème sous-section : ***(Nutrition)***

Docteur Rosa-Maria RODRIGUEZ-GUEANT

45ème Section : MICROBIOLOGIE, MALADIES TRANSMISSIBLES ET HYGIÈNE

1ère sous-section : ***(Bactériologie – Virologie ; hygiène hospitalière)***

Docteur Francine MORY – Docteur Véronique VENARD

2ème sous-section : ***(Parasitologie et mycologie)***

Docteur Nelly CONTET-AUDONNEAU – Madame Marie MACHOUART

46ème Section : SANTÉ PUBLIQUE, ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

1ère sous-section : ***(Epidémiologie, économie de la santé et prévention)***
Docteur Alexis HAUTEMANIÈRE – Docteur Frédérique CLAUDOT
3ème sous-section ***(Médecine légale et droit de la santé)*** Docteur Laurent MARTRILLE
4ère sous-section : ***(Biostatistiques, informatique médicale et technologies de communication***
Docteur Nicolas JAY

47ème Section : CANCÉROLOGIE, GÉNÉTIQUE, HÉMATOLOGIE, IMMUNOLOGIE
2ème sous-section : ***(Cancérologie ; radiothérapie : cancérologie (type mixte : biologique)***
Docteur Lina BOLOTINE
3ème sous-section : ***(Immunologie)***
Docteur Marcelo DE CARVALHO BITTENCOURT
4ème sous-section : ***(Génétique)*** Docteur Christophe PHILIPPE – Docteur Céline BONNET

48ème Section : ANESTHÉSIOLOGIE, RÉANIMATION, MÉDECINE D'URGENCE, PHARMACOLOGIE ET THÉRAPEUTIQUE
3ème sous-section : ***(Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique)***
Docteur Françoise LAPICQUE – Docteur Marie-José ROYER-MORROT – Docteur Nicolas GAMBIER

50ème Section : RHUMATOLOGIE
1ère sous-section : ***(Rhumatologie)***
Docteur Anne-Christine RAT
3ème sous-section : ***(Dermato-vénéréologie)***
Docteur Anne-Claire BURSZTEJN

54ème Section : DÉVELOPPEMENT ET PATHOLOGIE DE L'ENFANT, GYNÉCOLOGIE-OBSTÉTRIQUE, ENDOCRINOLOGIE ET REPRODUCTION
3ème sous-section :
Docteur Olivier MOREL
5ème sous-section : ***(Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale)***
Docteur Jean-Louis CORDONNIER

==========

MAÎTRE DE CONFÉRENCE DE MÉDECINE GÉNÉRALE

53ème Section : MÉDECINE INTERNE, GÉRIATRIE et CHIRURGIE GÉNÉRALE
1ère sous-section : ***(Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; médecine générale ; addictologie)***
Docteur Elisabeth STEYER

==========

MAÎTRES DE CONFÉRENCES

5ème section : SCIENCE ÉCONOMIE GÉNÉRALE
Monsieur Vincent LHUILLIER

40ème section : SCIENCES DU MÉDICAMENT
Monsieur Jean-François COLLIN
60ème section : MÉCANIQUE, GÉNIE MÉCANIQUE ET GÉNIE CIVILE
Monsieur Alain DURAND

61ème section : GÉNIE INFORMATIQUE, AUTOMATIQUE ET TRAITEMENT DU SIGNAL
Monsieur Jean REBSTOCK – Monsieur Walter BLONDEL

64ème section : BIOCHIMIE ET BIOLOGIE MOLÉCULAIRE
Mademoiselle Marie-Claire LANHERS – Monsieur Pascal REBOUL – Mr Nick RAMALANJAONA

–---

65ème section : BIOLOGIE CELLULAIRE
Mademoiselle Françoise DREYFUSS – Monsieur Jean-Louis GELLY Madame Ketsia HESS – Monsieur Hervé MEMBRE – Monsieur Christophe NEMOS - Madame Natalia DE ISLA Madame Nathalie MERCIER

66ème section : PHYSIOLOGIE
Monsieur Nguyen TRAN

67ème section : BIOLOGIE DES POPULATIONS ET ÉCOLOGIE
Madame Nadine MUSSE

========

PROFESSEURS ASSOCIÉS

Médecine Générale

Professeur associé Alain AUBREGE
Professeur associé Francis RAPHAEL

MAÎTRES DE CONFÉRENCES ASSOCIÉS

Médecine Générale

Docteur Jean-Marc BOIVIN Docteur Jean-Louis ADAM
Docteur Paolo DI PATRIZIO Docteur Sophie SIEGRIST

========

PROFESSEURS ÉMÉRITES

Professeur Jean-Marie ANDRÉ - Professeur Daniel ANTHOINE - Professeur Pierre BEY – Professeur Patrick BOISSEL Professeur Jean-Pierre DELAGOUTTE - Professeur Michèle KESSLER - Professeur Henri LAMBERT - Professeur Alain LARCAN Professeur Denise MONERET-VAUTRIN – Professeur Pierre MONIN - Professeur Jean-Pierre NICOLAS Professeur Luc PICARD - Professeur Michel PIERSON - Professeur Jacques POUREL – Professeur Jean-François STOLTZ Professeur Michel STRICKER - Professeur Gilbert THIBAUT - Professeur Hubert UFFHOLTZ - Professeur Colette VIDAILHET Professeur Michel VIDAILHET

========

DOCTEURS HONORIS CAUSA

Professeur Norman SHUMWAY (1972)
Université de Stanford, Californie (U.S.A)
Professeur Paul MICHIELSEN (1979)
Université Catholique, Louvain (Belgique)
Professeur Charles A. BERRY (1982)
Centre de Médecine Préventive, Houston (U.S.A)
Professeur Pierre-Marie GALETTI (1982)
Brown University, Providence (U.S.A)
Professeur Mamish Nisbet MUNRO (1982)
Massachusetts Institute of Technology (U.S.A)
Professeur Mildred T. STAHLMAN (1982)
Vanderbilt University, Nashville (U.S.A)
Harry J. BUNCKE (1989)
Université de Californie, San Francisco (U.S.A)
Professeur Daniel G. BICHET (2001)
Université de Montréal (Canada)
Professeur Brian BURCHELL (2007)
Université de Dundee (Royaume Uni)

Professeur Théodore H. SCHIEBLER (1989)
Institut d'Anatomie de Würtzburg (R.F.A)
Professeur Maria DELIVORIA-PAPADOPOULOS (1996)
Université de Pennsylvanie (U.S.A)
Professeur Mashaki KASHIWARA (1996)
Research Institute for Mathematical Sciences de Kyoto (JAPON)
Professeur Ralph GRÄSBECK (1996)
Université d'Helsinki (FINLANDE)
Professeur James STEICHEN (1997)
Université d'Indianapolis (U.S.A)
Professeur Duong Quang TRUNG (1997)
Centre Universitaire de Formation et de Perfectionnement des Professionnels de Santé d'Hô Chi Minh-Ville (VIÊTNAM)

Professeur Marc LEVENSTON (2005)
Institute of Technology, Atlanta (USA)

A notre Maître et Président de thèse,

Monsieur le Professeur Gilles DAUTEL, Professeur de chirurgie plastique reconstructrice et esthétique.

Vous nous faites l'honneur de présider cette thèse et de juger ce travail.

Nous sommes heureux d'avoir pu, et de pouvoir encore bénéficier de votre encadrement et de vos lumières dans notre apprentissage de la chirurgie de la Main.

Votre synthèse des techniques pratiquées, et la sagesse avec laquelle vous les appliquez sont pour nous un modèle. Ce travail en est l'exemple et nous espérons qu'il saura vous satisfaire.

Nous sommes fiers d'être votre élève et de pouvoir travailler à vos côtés.

A notre Maître et Juge,

Monsieur le Professeur François DAP, Professeur de chirurgie plastique reconstructrice et esthétique.

Nous vous remercions de nous faire l'honneur de juger ce travail.

Nous serons toujours impressionnés par votre connaissance bibliographique encyclopédique. Votre documentation et vos précieux conseils nous ont permis d'évoluer dans notre cheminement professionnel.

Votre esprit critique, l'étendue de votre savoir, votre discipline de lecture scientifique et parfois votre pragmatisme sont pour nous un modèle.

A notre Maître et Juge,

Monsieur le Professeur Pierre MANSAT, Professeur de chirurgie orthopédique et traumatologique.

Nous sommes heureux que vous nous fassiez l'honneur de juger ce travail.

Nous vous remercions de l'accueil que vous nous avez offert dans votre service.

Nous avons été enthousiasmé de pouvoir bénéficier de vos connaissances tant théoriques que pratiques, ainsi que par la justesse et la rigueur de votre raisonnement clinique.

Votre disponibilité est un atout précieux pour tous vos élèves.

Vous nous avez initié à la production scientifique, et nous sommes heureux d'avoir pu bénéficier de votre expertise.

A notre Juge,

Monsieur le Docteur Stéphane BARBARY, Praticien Hospitalier, Chirurgien orthopédiste dans le service de Chirurgie plastique et reconstructrice de l'appareil locomoteur (Pr Dautel)

Nous apprécions l'honneur que tu nous fais en jugeant ce travail.

Ta science des techniques chirurgicales et tes conseils éclairés ont été pour nous d'une aide précieuse. Ton pragmatisme et ta dextérité chirurgicale sont pour nous des exemples.

Nous te remercions de ta patience et de ta capacité à nous guider dans nos choix chirurgicaux, comme dans leur réalisation technique.

Nous te remercions de nous avoir confier ce travail, et nous espérons que le travail que nous avons fourni sera digne de l'intérêt que tu portes à ce thème.

A notre Juge,

Monsieur le Docteur Costel APREDOAEI, Praticien Hospitalier, Chirurgien orthopédiste dans le service de Chirurgie orthopédique et traumatologique du CHU de Purpan-Toulouse (Pr Bonnevialle)

Nous apprécions l'honneur que tu nous fais en jugeant ce travail.

Progresser à tes côtés a été un grand plaisir.

Ta gentillesse et ta disponibilité sont pour nous des exemples à suivre.

Nous espérons que le travail que nous avons fourni sera digne de l'intérêt que tu portes à ce thème.

A Sarah, ma fiancée
A ton soutien et à ton amour de toujours
A tes questions lors de nos soirées d'étude, sur le pourquoi du comment…
A ta spontanéité et ton élan vers les autres, qui m'ont permis de découvrir la richesse des contacts humains
A nos voyages passés et à venir, qu'ils nous emmènent au bout du monde ou un peu moins loin même pour vivre la routine du quotidien
Je suis conscient de la chance que j'ai de partager ces moments avec toi, et je suis enthousiaste à l'idée de nos futurs projets
Reçois toute mon affection et tout mon amour

A mes parents
Qui m'ont transmis la passion de la profession, et m'ont encouragé à poursuivre dans cette voie exigeante et enrichissante
A tous ces bons moments passés ensemble et à venir
Qu'ils reçoivent toute ma reconnaissance et tout mon amour

A mes frères et à ma sœur
Grégoire, merci pour m'avoir épaulé lors de la première année de médecine que tu avais déjà « domestiqué » ; merci aussi pour ta générosité pendant nos années de colocation. J'espère toujours garder avec toi un contact privilégié.
Gautier, à nos souvenirs de doublages de films mémorables et aux nouvelles parties de tennis en perspective.
Emeline, ton enthousiasme et tes réflexions me font passer d'excellents moments à tes côtés.

A mes amis
A tous les anciens spinaliens Anthony, Evelyne, Nicolas, Adeline, Aline, Rudy
C'est toujours un plaisir de se revoir pour boire un petit pecquet
Aux « moins anciens » connus sur les bancs de la fac Alex, Aude, Emilie, BenJ, Claire, Zohra, Deborah, Nicolas
Pour les « barbecues-piscines » incroyables chez Alex

A Guy et Susu
Vous m'avez accueilli chaleureusement dés le premier jour, et je suis heureux de partager les réunions de famille riches en défis sportifs et en rires.

A Christine et Georges
Vous m'avez accueilli chaleureusement dés le premier jour. Vous m'avez conseillé et soutenu pendant quelques moments difficiles. Merci pour votre écoute et votre simplicité, à chacune de nos rencontres.

A Maité, Lionel et Taza
Pour votre accueil et votre sympathie même pour une pièce rapportée dans la famille!

A Jean et Lina qui ont contribué à mon bien-être au domaine de Villemagne

A tous mes collègues internes
Particulièrement à Marie et à Armelle pour leur sympathie et leur amitié

Aux ACC de chirurgie de la Main: Eric, Marie-Laure, Fabien, Jérôme, Marc, Nicolas, Antoine et Thomas
Merci pour vos précieux conseils et la confiance que vous m'avez témoigné.

A ma secrétaire Brigitte
Merci pour ta bonne humeur, et pour tout le travail fourni au cours de mon cursus

Aux équipes soignantes de chirurgie de la main et de la traumato
C'est un réel plaisir de travailler à vos côtés. Votre expertise, votre disponibilité, et votre bonne humeur sont des atouts pour les services.

A Michèle de Gasperi, Médecin DIM du SINCAL
Virtuose des statistiques, merci pour ta disponibilité et ton enthousiasme

Et à tous les autres que je n'ai pas cités…

SERMENT

"Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité. Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux. Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité. J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences. Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me sont confiés. Reçu à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs. Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés. J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque".

TABLE DES MATIERES

Introduction **17**

Principes et intérêts des neurotisations **18**

Matériel et méthode **21**
Critères d'inclusion 21
Technique chirurgicale 22
Technique chirurgicale de la simple neurotisation 22
Technique chirurgicale de la double neurotisation 24
Suivi post-opératoire 25
Recueil des données 25
Population de patients 26
Analyse statistique 27

Résultats **28**
Résultats de la simple neurotisation 28
Résultats de la double neurotisation 30
Résultats de l'étude comparative simple/double neurotisation 32

Discussion **40**

Cas particuliers **51**
Groupe pédiatrique 51
Neurotisations sur les branches motrices du nerf musculocutané 52

Conclusion **53**

Bibliographie **54**

ANNEXE 1 : Fiche d'évaluation 60

ANNEXE 2 : Mécanismes des traumatismes et lésions nerveuses du plexus brachial 63

ANNEXE 3 : Transferts musculo-tendineux 66

Introduction

En traumatologie générale, la proportion des paralysies du plexus brachial est faible (environ 1,2%) [44]. Cependant ces atteintes ont une répercussion dramatique, en raison de la survenue de séquelles fonctionnelles importantes.

Le mécanisme classique est une traction-abaissement du moignon de l'épaule avec rotation opposée de la tête, dans le cadre d'un traumatisme à haute énergie lors d'une collision sur un véhicule à deux roues à moteur. Les victimes sont souvent des hommes jeunes débutant leur carrière professionnelle de travailleur manuel. La répercussion économique de ces traumatismes est donc élevée.

Deux éléments attirent notre attention quant à la difficulté de prise en charge chez ces patients.

D'une part il nous semble difficile de standardiser les lésions nerveuses rencontrées. Chaque cas est unique en raison de la complexité et de la variabilité de l'anatomie du plexus brachial, ainsi que de la diversité des associations lésionnelles constatées (niveau lésionnel et types de lésions selon la classification de Sunderland [67]).

D'autre part le traitement chirurgical reste un challenge compte tenu de la lente et aléatoire évolution de la repousse nerveuse, et de la réinnervation du muscle. L'implication du patient dans le projet thérapeutique est capitale face à une rééducation régulière et longue.

Les paralysies plexuelles hautes (C5C6 et C5C6C7) concernent 20 à 25 % des lésions supra-claviculaires. Chez ces patients il existe une véritable exigence de résultats compte tenu de la préservation d'une main fonctionnelle.

A partir des années 1990, grâce aux progrès de la chirurgie fasciculaire, la neurotisation change la vision chirurgicale sur le plexus brachial et les nerfs périphériques.

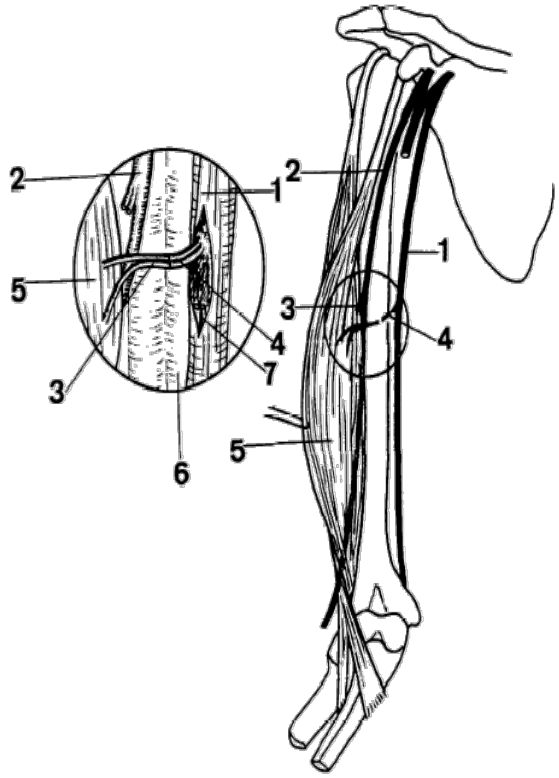
Au niveau du canal brachial les transferts nerveux intra-plexuels sont indiqués pour la restauration de la flexion du coude dans les paralysies C5C6 ou C5C6C7 avec avulsion des racines. Ils peuvent également être utilisés en complément de greffes nerveuses réalisés en amont dans les cas de rupture radiculaire. Nous présentons les résultats d'une revue rétrospective bicentrique des patients ayant bénéficié de ces techniques.

Principes et intérêt des neurotisations

La neurotisation, ou transfert nerveux, est une méthode de réanimation d'un territoire sensitif ou moteur. Dans ce dessein, on utilise un nerf sain de moindre valeur, constitué de fibres analogues. Cette technique implique le sacrifice de tout ou partie du nerf donneur n'entraînant que des séquelles minimales pour le patient [53]. Le nerf sélectionné est déconnecté de son territoire d'innervation originel puis suturé à la partie post-lésionnelle du nerf receveur, lui fournissant dès lors des bourgeons de repousse axonale. Dans l'idéal cette anastomose est réalisée au plus près de la plaque motrice, afin de diminuer le temps de dénervation musculaire.

L'anastomose entre donneur et receveur se fait préférentiellement par une suture directe. Une autogreffe nerveuse peut être interposée, mais elle va rajouter un front de suture supplémentaire préjudiciable à la repousse axonale. Dans les cas de transfert d'un ou plusieurs fascicules moteurs, la sélection est réalisée par électrostimulation d'intensité décroissante. Cette détection permet de s'assurer le prélèvement d'un contingent moteur, innervant le territoire musculaire souhaité.

Initialement décrite dans les cas d'avulsion radiculaires, cette technique peut venir en complément de greffes nerveuses réalisées en amont.



1	Nerf ulnaire
2	Nerf musculocutané
3	Branche motrice du muscle biceps
4	Fascicule(s) donneur(s) du nerf ulnaire
5	Muscle biceps
6	Canal brachial
7	Epineurotomie du nerf ulnaire

Figure N°1 : Neurotisation d'un ou plusieurs fascicule(s) du nerf ulnaire sur la branche motrice du biceps [52]

Aux USA, Tuttle fut le premier à tenter une neurotisation extraplexuelle en utilisant la 4^{e} racine cervicale ; dès 1912, il proposa également l'utilisation du nerf accessoire (XI) [74]. En 1963, Seddon et Yeoman introduisent la neurotisation par les nerfs intercostaux [61]. Narakas commence ses travaux sur les neurotisations au début des années 70 [47].

La technique de neurotisation, ou transfert nerveux, connaît alors un véritable essor. Les chirurgiens japonais Kotani, Tsuyama et Hara modifient et développent le transfert des nerfs

intercostaux [32, 72]; Gu, à Shangaï, utilise non seulement le nerf phrénique dans plus de 160 cas, mais aussi la racine C7 controlatérale [23].

« Opérer le ou les muscles déficitaires pour rétablir une fonction ». Ce concept novateur, introduit dans les années 1990, vient modifier la démarche thérapeutique antérieure qui s'appuyait principalement sur des réparations anatomiques au niveau radiculaire et/ou tronculaire. Oberlin utilise le transfert de fascicules nerveux intègres du nerf ulnaire pour neurotiser le nerf moteur du muscle biceps dans les paralysies C5-C6 [52] (figure N°1). Kawaï et Nath transfèrent quant à eux un ou plusieurs fascicules du nerf médian sur le contingent moteur du nerf musculocutané [30, 49] .

Le principe de la neurotisation « fasciculaire » est séduisant, en raison de ses nombreux avantages :

Proximité de la jonction neuromusculaire du muscle cible pour le front de repousse axonale
Recoupe nerveuse en zone saine
Zone exempte de cicatrice et de fibrose pour la réalisation de l'anastomose nerveuse
Nerf receveur purement moteur (limitant la perte axonale dans le contingent sensitif lors de la repousse nerveuse)
Un seul front de suture pour la repousse nerveuse, pas de greffe intercalaire (Le nerf donneur étant disséqué le plus distalement possible afin d'éviter l'interposition d'une autogreffe nerveuse)
Possibilité de « ponter » des lésions étagées (sous-estimées lors des greffes nerveuses au niveau radiculaire ou tronculaire)
Diminution du temps de réinnervation
Restitution d'une fonction motrice précoce
Nerf donneur d'un muscle synergique de la fonction à restaurer (Intégration corticale facilitée lors de la rééducation)
Possibilité d'orienter les **greffes à partir de moignons radiculaires vers d'autres cibles**

Cependant elle a des limites :

Sacrifice d'un ou plusieurs fascicules d'un nerf sain
Délai limite de réinnervation du muscle qui est de l'ordre de 15 à 18 mois
Motivation et coopération du patient

Au niveau anatomique, deux groupes de neurotisations peuvent être identifiés pour le plexus brachial. D'une part les neurotisations extra-plexuelles et d'autre part les neurotisations intra-plexuelles [65].

Neurotisations extra-plexuelles
Nerf accessoire (XI)
Nerfs intercostaux
Plexus cervical
Racine C7 controlatérale
Nerf phrénique
Nerf hypoglosse

Neurotisations intra-plexuelles
Fascicule(s) du nerf ulnaire
Fascicule(s) du nerf médian
Nerf thoracodorsal
Nerfs pectoraux mediaux
Branches nerveuses du muscle triceps (Long triceps/Vaste latéral)

Le choix du nerf donneur reste actuellement le point crucial. Il dépendra de l'étendue de la paralysie, du nombre de fonctions à restaurer, de l'habitude du chirurgien et de son école. En Europe les transferts de la racine C7 controlatérale et du nerf phrénique ont été quasiment abandonnés en raison des séquelles potentielles liées au prélèvement. La proximité du moignon distal du nerf donneur par rapport à la plaque motrice du muscle cible est également un élément important pour la décision. De nombreux travaux anatomiques ont également quantifiés le nombre de fibres axonales disponibles pour chacun de ces greffons nerveux [47, 52, 10, 60, 26], afin de s'adapter au mieux au nerf receveur cible (tableaux N°1 et N°2)

Plexus brachial	100 000 à 160 000
C5-T1 (chaque racine)	7000 à 41 000
Axillaire	6500
Musculocutané	6000
Médian	18 000
Ulnaire	16 000
Radial	19 000

Tableau N°1 : Nombre de fibres axonales myélinisées au niveau des nerfs du membre supérieur [47]

Intercostal (1)	1300
Plexus cervical (moteur)	4000
Accessoire	1700
Long thoracique	1600
Phrénique	800
C7	24 000
Ulnaire (partiel)	1600

Tableau N°2 : Nerfs donneurs potentiels/ nombres de fibres axonales myélinisées [47]

Matériel et méthode

Critères d'inclusion

Dans le cadre du bilan initial, l'évaluation clinique est réalisée de manière exhaustive et précise, au mieux dans les jours suivant le traumatisme puis à 3 ou 4 semaines plus tard. Après ce premier bilan l'étendue et le niveau des lésions peuvent être appréciés. La présence des muscles innervés par les premières branches collatérales des racines supérieures (muscles *serratus anterieur, supraspinatus et infraspinatus),* ainsi que la présence d'un signe de Tinel sont des éléments en faveur d'une rupture radiculaire. On recherchera spécifiquement une atteinte partielle des racines inférieures pouvant contre-indiquer le transfert nerveux. Si un doute persiste, un électromyogramme viendra étayer l'impression clinique.

En cas de prise en charge tardive après le traumatisme, l'électromyogramme peut apporter des informations importantes sur la dénervation d'un muscle.

Le bilan d'imagerie (myélo-IRM) recherchera l'absence de méningocèle, une continuité radicello-médullaire, et des images en « battant de cloche » en faveur d'une rupture radiculaire. Dans les cas d'avulsion intra-canalaire bloquée (foraminale), il n'existe pas de méningocèle en raison de l'absence d'arrachement du manchon épidural (Annexe 2).

Il nous semble important de réaliser l'évaluation finale après neurotisation au 15ème mois post-opératoire .D'une part nous avons constatés des cas tardif de réinnervation ou d'amélioration du score de cotation musculaire. D'autre part l'absence de contractions visibles (M1) au delà du douzième mois est synonyme pour nous d'échec de la (ou des) neurotisation(s). Les critères d'inclusion et d'exclusion sont résumés dans le tableau N°3.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
- Atteinte post-traumatique - Atteinte C5C6 ou C5C6C7 - Atteinte supra-claviculaire (racines ou troncs) - Avulsions ou ruptures radiculaires - Déficit complet de la flexion du coude (biceps MO) - Transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU) sur le nerf du biceps associé ou non à un transfert partiel du nerf médian (TPNM) sur le nerf du *brachialis* - Association ou non à des greffes nerveuses supra-claviculaires ayant pour cible la restauration de la flexion du coude - Délai minimum d'évaluation après chirurgie de 15 mois	- Atteinte rétro- ou infra-claviculaire - Autres neurotisations pour la restauration de la flexion du coude - Paralysie obstétricale du plexus brachial - Compression médullaire

Tableau N° 3 : Récapitulatif des critères de sélection des patients

Technique chirurgicale

Pour certaines équipes l'amélioration des résultats grâce aux transferts nerveux distaux dispense d'une exploration supra-claviculaire [1]. Comme pour d'autres auteurs, nous jugeons que cette exploration est toujours indiquée à la recherche de moignons radiculaires greffables [6, 11, 15, 54]. Cependant dans notre pratique la dissection est devenue moins « agressive » en raison des bons résultats des neurotisations. Cette attitude permet de préserver les groupes fasciculaires encore présents, dont on espère une réinnervation substantielle des territoires musculaires correspondants. En cas de greffe ayant pour cible la restauration de la flexion du coude, la (ou les) neurotisation(s) seront réalisé(s) en complément. Cependant actuellement nous prenons soin de ne greffer les territoires qui ne pourront faire l'objet d'une neurotisation.

Technique chirurgicale de la simple neurotisation par transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU)

Le patient est installé en décubitus dorsal et le membre lésé (bras en abduction) en appui sur une table à bras. Le champage inclut le creux sus-claviculaire et les membres inférieurs pour le prélèvement à la demande des nerfs suraux. Une anesthésie générale est réalisée avec éviction des curares dans les drogues d'anesthésie.

La ligne d'incision s'étend à la face médiale du bras depuis le bord distal du *pectoralis major* jusqu'au sillon bicipital médial sur 8 à 10 cm.

Après incision du fascia du muscle biceps, il faut rechercher l'intervalle entre le muscle biceps en dehors et le muscle coracobrachial en dedans. Le muscle biceps est clairement mobilisé par des mouvements de flexion-extension du coude contrairement au muscle coracobrachial. En se portant dans cet espace, le nerf musculocutané est isolé et disséqué.

Le plus souvent, le nerf du biceps se détache du nerf musculocutané à environ 5 à 6 cm sous le tendon du *pectoralis major*. Dans quelques cas, le nerf du biceps peut naître d'un tronc commun entre nerf médian et nerf musculocutané. Le nerf du biceps situé en amont du paquet vasculaire du biceps, qui doit être respecté, est isolé à la face latérale du nerf musculocutané. Le contingent fasciculaire pour le biceps souvent bien individualisé sur le tronc du nerf musculocutané est disséqué en amont sur quelques centimètres puis sectionné.

La dissection du nerf ulnaire se fait en dedans du paquet vasculaire brachial. Au contact du paquet vasculaire, le nerf médian, légèrement en arrière et moins volumineux, ainsi que le nerf cutané médial de l'avant-bras sont reconnus. En arrière, le nerf ulnaire est isolé au même niveau que le nerf du biceps cheminant sur le muscle triceps. La dissection se fait en aval sur 4 à 6 centimètres pour permettre la mobilisation ultérieure vers le nerf du biceps.

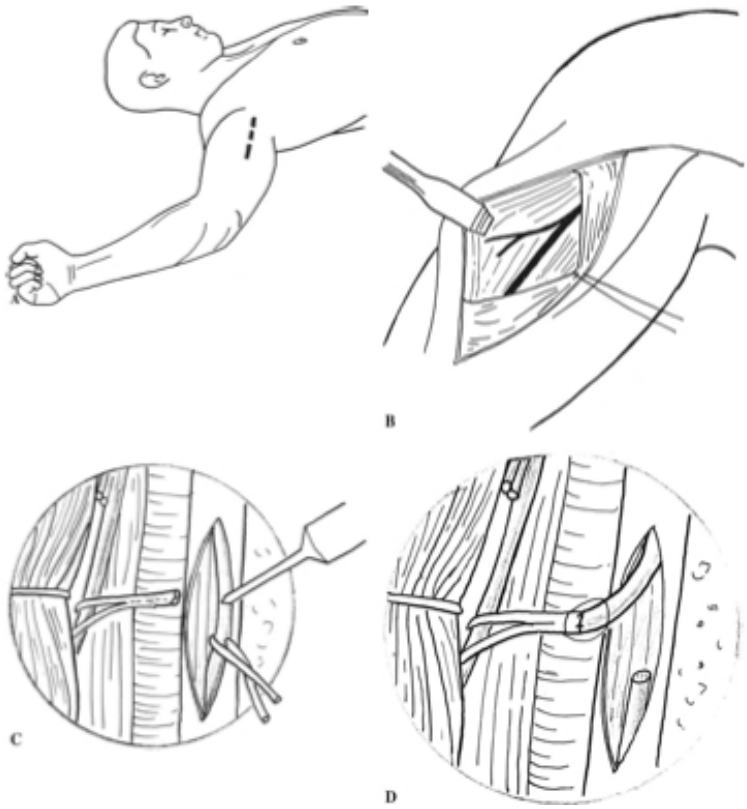
L'épinèvre antérieur du nerf ulnaire est incisé pour individualiser les différents fascicules. Le nerf du biceps est libéré de ses enveloppes conjonctives pour repérer son calibre. Fréquemment, le fascicule antéromédial du nerf ulnaire est de taille équivalente à celui du nerf du biceps [52].

Il est important d'isoler un fascicule moteur à destinée d'un muscle extrinsèque de la main. Ce repérage est réalisé par neurostimulateur (Stimuplex® HNS 12; B. Braun, Bethlehem, Pennsylvania), par stimulation d'intensité décroissante. Dans notre pratique notre préférence va à ce type de stimulateur -utilisé également en anesthésie- qui nous semble plus fiable que les « neurostimulateurs chirurgicaux ». Dans la mesure du possible, on choisira plutôt un fascicule qui répond dans les fléchisseurs extrinsèques, le muscle fléchisseur ulnaire du carpe étant le muscle cible. On cherche également par ce procédé à éviter toute neurotomie sur un fascicule à destinée d'un contingent musculaire intrinsèque.

Ainsi, après section de ce fascicule moteur, une suture nerveuse terminoterminale sous microscope est effectuée par deux points de suture (Ethilon® 9 ou 10/0) et fibrinocollage (Tissucol®) (figure N°2).

Récemment Suzuki a décrit une procédure complémentaire pour la sélection du fascicule moteur. Après dissection de plusieurs fascicules (5 à 7) au sein de l'épinèvre du nerf ulnaire, l'auteur a procédé à la sélection d'un fascicule par électrodiagnostic (stimulation-détection). Le fascicule innervant le muscle fléchisseur ulnaire du carpe avec une réponse électrique de grande amplitude est prélevé [69]. L'auteur rapportait des troubles sensitivo-moteurs transitoires dans le territoire du nerf ulnaire.

Ce procédé nous semble dommageable en raison de la fibrose intra-neurale séquellaire après cette dissection étendue, et le bénéfice escompté par ce procédé n'a pas été démontré.



A : Incision cutanée.
B : Abord du nerf du muscle biceps. On incise le fascia du muscle biceps, puis on récline le biceps en dehors. Le nerf musculocutané apparaît en dedans, avec sa branche bicipitale.
C : Le transfert nerveux sous microscope. Le nerf du biceps sectionné est basculé vers le nerf ulnaire. L'épinèvre du nerf ulnaire est incisé. Le stimulateur permet d'identifier un fascicule moteur d'un calibre égal ou légèrement supérieur.
D : Le transfert nerveux terminé.

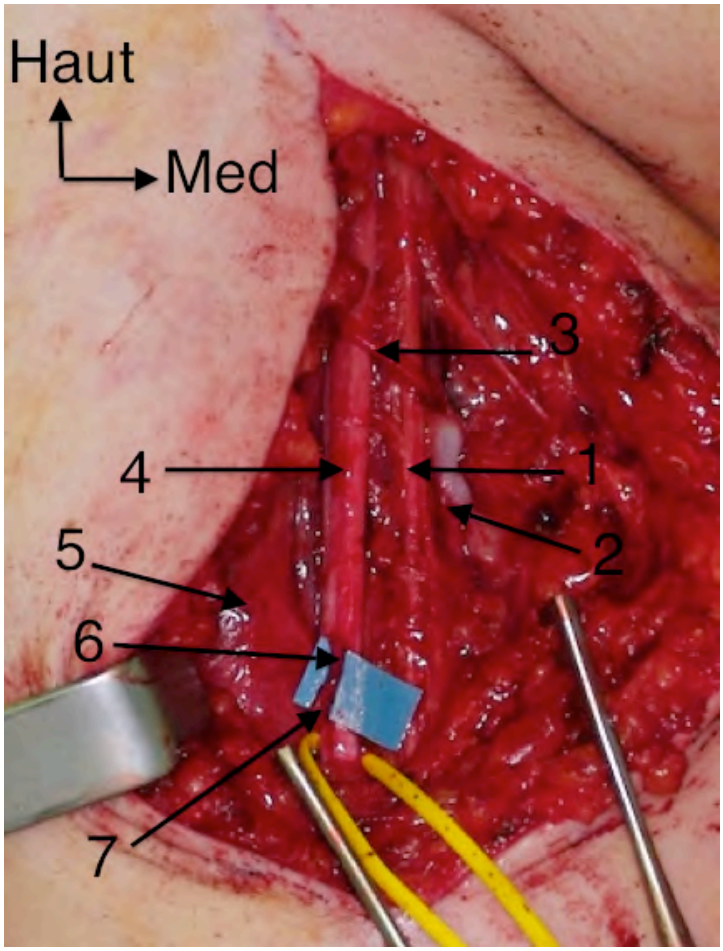
Figure N°2 : Etapes chirurgicales du transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU) sur le nerf du muscle biceps [53]

Technique chirurgicale de la double neurotisation par transferts partiels du nerf ulnaire (TPNU) et du nerf médian (TPNM)

En prolongeant la dissection du nerf musculocutané en aval du pédicule vasculaire pour le biceps, deux fascicules sont individualisés.

Classiquement, le fascicule médial est le fascicule sensitif pour la face antérolatérale de l'avant-bras et le fascicule latéral est le fascicule moteur pour le muscle *brachialis* [38]. Pour affirmer cette répartition, il est conseillé d'isoler par une courte contre incision au niveau de la gouttière bicipitale latérale, la branche sensitive cutanée latérale de l'avant-bras. Ainsi, par de légères manœuvres de traction distale, on peut facilement individualiser la branche motrice pour le *brachialis* en amont au niveau du bras.

Après section proximale de cette branche, le nerf médian est disséqué, l'épinèvre antérieur incisé. Le contingent moteur à destinée des territoires extrinsèques se situe dans la portion antéro-médial du nerf médian. Il faut alors individualiser un fascicule moteur de taille équivalente au nerf receveur. La sélection d'un fascicule moteur est réalisée de manière identique au transfert partiel du nerf ulnaire, en prenant soin de choisir un fascicule moteur à destinée d'un contingent musculaire extrinsèque à la main. Il est alors sectionné et une suture nerveuse terminoterminale et un fibrinocollage sous microscope peuvent être réalisés (figure N°3).



1	Nerf musculo-cutané
2	Nerf ulnaire
3	Branche motrice du muscle biceps
4	Nerf médian
5	Muscle brachialis
6	Fascicules donneurs du nerf médian
7	Branche motrice du muscle brachialis

Figure N°3 : Restauration de la flexion du coude après transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU) et transfert partiel du nerf médian (TPNM)

Suivi post-opératoire

Nous mettons en place une immobilisation coude au corps pendant une durée de 3 à 4 semaines. Le patient est ensuite confié à un kinésithérapeute, pour un travail spécifique de « ré-éducation » et d'intégration corticale. Le patient est invité à contracter les muscles cibles réinnervés pour fléchir son coude tant qu'une contraction n'est pas perceptible. Dans ce but des exercices de flexion synchrone avec le membre controlatéral, ainsi qu'une flexion concomitante avec les fléchisseurs du poignet (muscles cibles pour les prélèvements fasciculaires) sont réalisés. Lorsqu'une contraction musculaire est restaurée des exercices de travail contre pesanteur type « placé-tenu » puis de renforcement contre résistance sont progressivement instaurés. La dernière étape consiste dans la séparation entre la flexion du coude volontaire et la flexion du poignet et des doigts.

Recueil des données

Nous nous sommes attachés à deux objectifs principaux : la quantification de la force de flexion du coude, et la présence de déficit à long terme lié au prélèvement nerveux.
L'examen clinique était conduit par un observateur indépendant de la prise en charge.
L'évaluation était réalisée de manière rétrospective au dernier recul.
Nos critères d'évaluation clinique (Annexe 1) ont été les suivants :

La contraction du muscle biceps entrainant la flexion du coude avec l'échelle de cotation du BMRC (Britisch Medical Research Council) de M0 à M5
La force de flexion contre résistance (M4) évaluée avec un poids positionné au niveau de la main, lors d'un mouvement allant de l'extension maximale jusqu'à une flexion de 90° . Cette force de flexion a été évaluée en deux positions : avant-bras en pronation et en supination
Le délai entre l'acte opératoire et les premières constatations cliniques pour les cotations **M1** (délai de réinnervation), **M3 et M4**
La présence d'un **déficit moteur et/ou sensitif** au niveau du ou des territoire(s) correspondants aux prélévements fasciculaires, évalué par testing clinique de manière comparative au coté controlatéral.
La force globale du membre opéré pour le « **grip strength »** (force de serrage au JAMAR) (Asimow Engineering, Santa Fe Springs, California) et le « **pinch strength »** (Key pinch) comparé au côté controlatéral (stabilisation du poignet par orthèse ou par l'observateur dans les paralysies C5C6C7)
La présence d'un **effet indésirable type Steindler,** lors de la flexion du coude co-contraction synchrone des fléchisseurs du poignet
Les arcs de mobilité du coude en actif, pour la flexion/extension et la pronation/supination
La restauration d'une fonction de l'épaule (tableau N°4) après chirurgie nerveuse, est l'association d'une abduction ≥ M3 et d'une rotation externe ≥ M3

Abduction	M0	Pas de contraction
	M1	Contraction n'entraînant pas de mouvement
	M2	Abduction de 60°
	M3	Abduction de 60° et position tenue pendant 10 secondes
	M4	Abduction de 60° contre résistance appliquée au coude
	M5	Abduction de 60° contre résistance appliquée à l'avant-bras
Rotation externe	M0	Pas de contraction
	M1	Contraction n'entraînant pas de mouvement
	M2	En rotation interne complète, pas de rotation externe active possible
	M3	Position tenue en rotation neutre pendant 10 secondes
	M4	Rotation externe active contre résistance appliquée au 1/3 proximal de l'avant-bras
	M5	Rotation externe active contre résistance appliquée au poignet

TABLEAU N°4 : Classification modifiée de Narakas pour la force en abduction et en rotation externe de l'épaule [6].

Il nous a semblé intéressant de recueillir certaines données pouvant moduler le résultat final de la (ou des) neurotisation(s). Nous posons l'hypothèse que ces données s'apparentent à des facteurs d'échec ou de mauvais résultats (tableau N°5).

Traumatismes associés (traumatisme crânien/hémorragie intra-crânienne ; traumatisme cervical/ fracture vertébrale, entorse grave)
Avulsion radiculaire bilan d'imagerie (IRM)
Avulsion radiculaire à l'exploration supra-claviculaire
Tabagisme non sevré
Non compliance à la rééducation

Tableau N°5 : Facteurs suspectés d'échec ou de mauvais résultats des neurotisations

Enfin nous avons recueillis les cas d'échecs, et les transferts tendineux ou musculaires secondaires nécessaires pour la restauration d'une flexion du coude utile.

Population de patients

Vingt-neuf patients remplissant les critères d'inclusion ont été opérés d'avril 2003 à janvier 2010. Quinze patients ont été opérés dans le service de Chirurgie reconstructrice de l'appareil Locomoteur du CHU de NANCY, et quatorze patients ont été opérés dans le service de Chirurgie orthopédique et traumatologique du CHU Purpan de TOULOUSE. Quinze « simple neurotisation » et quatorze « double neurotisation » ont été réalisées. L'âge moyen était de 30,2 ans, et le délai opératoire moyen était de 6 mois. Dans seize cas le côté dominant était atteint. Cinq opérateurs ont pratiqué les transferts nerveux (trois opérateurs principaux). Les autres caractéristiques sont rapportées dans le tableau N°6.
Pour le mécanisme lésionnel il s'agissait :

_d'un accident de moto ou apparenté dans 25 cas
_d'un accident de quad dans 2 cas
_d'une chute dans 1 cas
_et d'un polytraumatisme après accident de camion dans 1 cas

Un seul cas de greffe nerveuse ayant pour cible la restauration de la flexion du coude a été réalisé (greffe entre la racine C5 et la portion antérieure du tronc primaire supérieur).

Concernant la restauration de la fonction de l'épaule dix sept procédures ont été réalisées de manière concomitante ou différée par rapport au geste de neurotisation au canal brachial. Pour le nerf axillaire, il s'agissait de 8 transferts d'une branche motrice du nerf radial sur la branche antérieure du nerf axillaire (« Somsak's procedure »), et de 2 neurolyses. Pour le nerf supra-scapulaire, il s'agissait de 4 neurolyses, d'un transfert nerveux du nerf accessoire, et de deux greffes nerveuses à partir de la racine C5.
Chez trois autres patients - qui n'ont pas bénéficié de chirurgie nerveuse pour la restauration de la fonction de l'épaule- une arthrodèse scapulo-humérale a été réalisée à distance.

La proportion des paralysies C5C6 était de 20% dans le groupe « simple neurotisation » et de 50% dans le groupe « double neurotisation ».

	Simple Neurotisation	Double Neurotisation	Global
Nombre	15	14	29
Homme / Femme	14 / 1	14	28 :1
Age moyen (ans)	28,2 ± 12,6	32,4 ± 16,0	30,2 ± 14,4
Ecart d'âge	16-51	16-66	16-66
Délai opératoire (mois)	6,7 ± 4,9	5,3 ± 2,4	6 ± 4,0
Recul (mois)	36,8 ± 21,9	31,6 ± 11,9	34,3 ± 17,7 Minimum: 15 mois
Nombre opérateurs	5	3	5
Nancy (cas)	11	4	15
Toulouse (cas)	4	10	14
C5C6 (%)	20	50	34,5

Tableau N°6 : Analyse descriptive des données pré-opératoires des populations

Analyse statistique

L'analyse statistique a été conduite avec le concours de Madame de Gasperi, Médecin DIM du service, sur le logiciel Statview. Nous avons calculé les moyennes et modes de répartition des variables continues, et nous avons établi des dénombrements et pourcentages pour les variables en classes. Nous avons fait appel au test de comparaison t de Student, pour les comparaisons de moyennes et au test de X2 pour la comparaison de variables nominales. Le seuil de significativité a été déterminé au risque alpha 5%.

Résultats

Résultats de la simple neurotisation (tableaux N°7)

Dans le groupe de la simple neurotisation, 60% des patients ont récupéré une force cotée M4 au dernier recul, avec une force moyenne de 2,2 kg avant-bras en supination. Le délai de réinnervation (M1) moyen était de 4,0 mois. Le délai moyen de restauration d'une force cotée M3 était de 7,6 mois, et celui d'une force cotée M4 était de 13,2 mois.

La force de serrage moyen (JAMAR) atteignait 48,8 % du côté controlatéral et la force au niveau de la pince pollici-digitale (Key Pinch) atteignait 60,9 % du côté controlatéral.

L'arc de mobilité moyen était en extension/ flexion de 3,3°/118,7°, et en pronation/supination de 45°/33,7°.

Nous avons constaté au dernier recul six déficits à l'examen clinique par rapport au côté controlatéral dans le territoire nerveux (nerf ulnaire) correspondant au(x) prélèvement(s) fasciculaire(s). Dans 3 cas il s'agissait d'un déficit sensitif (Weber > 8mm), et dans 3 cas il s'agissait d'un déficit moteur avec 2 cas de faiblesse du *flexor carpi ulnaris* associé à un signe de Froment, et 1 cas de faiblesse du *flexor digitorum profundis V*.

	Simple neurotisation n = 15
Age moyen (ans)	28,2 ± 12,6
Délai opératoire (mois)	6.7 ± 4,9
C5C6 (%)	20
Délai M1 (mois)	4,0 ± 1,2
Délai M3 (mois)	7,6 ± 2,2
Délai M4 (mois)	13,2 ± 3,2
Force de flexion (kg) (supination)	2,2 ± 1,2

Répartition Stade BMRC	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**< 4**	**≥ 4**
Simple neurotisation n = 15	3	0	0	3	9	6 (40%)	9 (60%)

Déficit clinique (comparaison côté controlatéral)	**Déficit**	**Déficit sensitif**	**Déficit moteur**	**C5C6C7 (% des déficits)**	**Nombre opérateurs**	**Nombre opérateurs principaux**
Simple neurotisation n = 15	6	3	3	66	5	3

Tableaux N°7 : Résultats de la simple neurotisation

Dans tous les cas les patients présentant une paralysie C5C6 (3 cas) ont récupéré une force cotée M4. Nous avons mis en évidence de meilleurs résultats dans ce groupe pour le délai de restauration d'une force cotée M4 et pour la force de serrage au JAMAR (différence significative) ; ainsi que pour la force de flexion contre résistance (tableaux N°8).

Stade BMRC ≥ M4 du groupe « simple neurotisation »	Délai M4 (mois)	Force de flexion (kg) (supination)	Force de flexion (kg) (pronation)
C5C6 n = 3	10,3 ± 1,5	2,7 ± 0,6	1,8 ± 0,8
C5C6C7 n = 6	14,6 ± 2,8	1,9 ± 1,5	1,4 ± 1,1
Total n = 9	13,2 ± 3,2	2,2 ± 1,2	1,5 ± 1,1
p-value	0,045	0,432	0,617

Stade BMRC ≥ M4 du groupe « simple neurotisation»	Force Jamar (% côté controlatéral)
C5C6 n = 3	67,7 +/-15,7
C5C6C7 n = 6	42,6 +/- 9,7
Total n = 9	48,8 +/-15,5
p-value	0,007

Tableaux N°8 : Analyse comparative des types de paralysie du groupe « simple neurotisation »

Trois patients présentant un échec de la neurotisation ont bénéficié d'un transfert tendineux secondaire, par transfert des épitrochléens selon Steindler à 12 et 15 mois de la neurotisation (deux transferts à 15 mois).

Dans le groupe « simple neurotisation » nous avons retrouvé 4 cas d'effet indésirable type Steindler dans l'évaluation de la force de flexion du coude. Cet effet Steindler était constaté chez des patients présentant une paralysie C5C6C7.

Résultats de la double neurotisation (tableaux N°9)

Dans le groupe de la double neurotisation, 85% des patients ont récupéré une force cotée M4 au dernier recul, avec une force moyenne de 2,9 kg avant-bras en supination. Le délai moyen de réinnervation (M1) était de 6,1 mois. Le délai moyen de restauration d'une force cotée M3 était de 8,6 mois, et celui d'une force cotée M4 de 11 mois.

La force de serrage moyen (JAMAR) atteignait 52,5% du côté controlatéral et la force au niveau de la pince pollici-digitale (Key Pinch) atteignait 75,3 % du côté controlatéral.

L'arc de mobilité moyen était en extension/ flexion de 8,7°/131,2°, et en pronation/supination de 70,8°/32,5°.

Nous avons constaté au dernier recul un déficit à l'examen clinique par rapport au côté controlatéral dans les territoires (nerfs médian et ulnaire) correspondants aux prélèvements fasciculaires. Il s'agissait d'un déficit moteur avec une faiblesse du *flexor carpi ulnaris* associé à un signe de Froment.

	Double neurotisation n = 14
Age moyen (ans)	32,4 ± 16,0
Délai opératoire (mois)	5,3 ± 2,4
C5C6 (%)	50
Délai M1 (mois)	6,1 ± 3,0
Délai M3 (mois)	8,6 ± 2,2
Délai M4 (mois)	11 ± 3,8
Force de flexion (kg) (supination)	2,9 ± 1,4

Répartition Stade BMRC	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**< 4**	**≥ 4**
Double neurotisation n = 14	1	0	1	0	12	2 (15%)	12 (85%)

Déficit clinique comparaison côté controlatéral	**Déficit**	**Déficit sensitif**	**Déficit moteur**	**C5C6C7 (% des déficits)**	**Nombre opérateurs**	**Nombre opérateurs principaux**
Double neurotisation n = 14	1	0	1	100	3	1

Tableaux N°9 : Résultats de la double neurotisation

Dans tous les cas les patients présentant une paralysie C5C6 (7 cas) ont récupéré une force cotée M4. Nous avons mis en évidence de meilleurs résultats dans ce groupe pour le délai de restauration d'une force cotée M4, et pour la force de flexion contre résistance (tableau N°10).

Stade BMRC ≥ M4 du groupe « double neurotisation »	Délai M4 (mois)	Force de flexion (kg) (supination)	Force de flexion (kg) (pronation)
C5C6 n = 7	8,8 ± 2,3	2,9 ± 1,9	2,5 ± 1,1
C5C6C7 n = 5	12,6 ± 4,0	2,8 ± 0,6	1,9 ± 0, 7
Total n = 12	11 ± 3,8	2,9 ± 1,4	2,2 ± 1,0
p-value	0,088	0,886	0,385

Tableau N°10 : Analyse comparative des types de paralysie dans le groupe « double neurotisation »

Un patient présentant un échec de la neurotisation a bénéficié d'un transfert tendineux secondaire, par transfert des épitrochléens selon Steindler à 16 mois.

Dans le groupe « double neurotisation », nous n'avons pas retrouvé d'effet indésirable type Steindler dans l'évaluation de la force de flexion du coude.

Résultats de l'étude comparative simple/double neurotisation

1) Impact du transfert nerveux (tableaux et graphiques N°11)

Au dernier recul dans la série globale, 72% des patients ont récupéré une force cotée M4, nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes comparés pour cette donnée. Les taux respectifs pour la simple et la double neurotisation étaient de 60 et de 85 %.

Le délai de réinnervation (M1) moyen était de 5,1 mois. Ce délai était plus court dans le groupe « simple neurotisation » avec un délai de 4 mois contre 6,1 mois (différence significative). Le délai de restauration d'une force coté M4 était plus court dans le groupe « double neurotisation » avec un délai de 11 mois contre 13,2 mois.

La force contre résistance (avant-bras en supination) était meilleure dans le groupe « double neurotisation » avec une force moyenne de 2,9 kg contre 2,2 kg.

L'arc de mobilité actif était meilleur en flexion et en pronation dans le groupe « double neurotisation », avec des valeurs respectivement de 131,2° et de 70,8° (différence significative).

2) Impact du type de paralysie (tableaux et graphique N°12)

Dans tous les cas de paralysie C5C6, les patients ont récupéré une force cotée M4. 58 % des patients présentant une paralysie C5C6C7 ont récupéré une force cotée M4. Il n'existait pas de différence dans le délai de restauration d'une force cotée M4 qui était de l'ordre de 12 mois. La force de flexion contre résistance était meilleure dans les cas de paralysie C5C6 avec une force moyenne de 2,8 kg contre 2,3 kg.

3) Impact du délai opératoire (tableaux et graphique N°13)

80 % des patients opérés dans les trois mois suivant le traumatisme ont récupéré une force cotée M4. Un seul patient de la série a été opéré au delà du douzième mois suivant le traumatisme. Nous n'avons pas mis en évidence de relation linéaire entre le délai opératoire et la cotation de la force musculaire, pour les patients opérés avant un délai opératoire de 1 an. La force de flexion contre résistance était meilleure chez les patients opérés dans les six mois suivant le traumatisme avec une force moyenne de 3,7 kg.

4) Impact de l'âge au moment de la chirurgie (tableaux et graphique N°14)

Pour les patients âgés de moins de 40 ans la restauration d'une force cotée M4 a été constaté dans 77,3 % des cas contre 57,1% des cas chez les patients âgés de plus de 40 ans. La force de flexion contre résistance était meilleure chez les patients âgés de moins de 40 ans avec une force moyenne de 2,7 kg contre 2,0 kg.

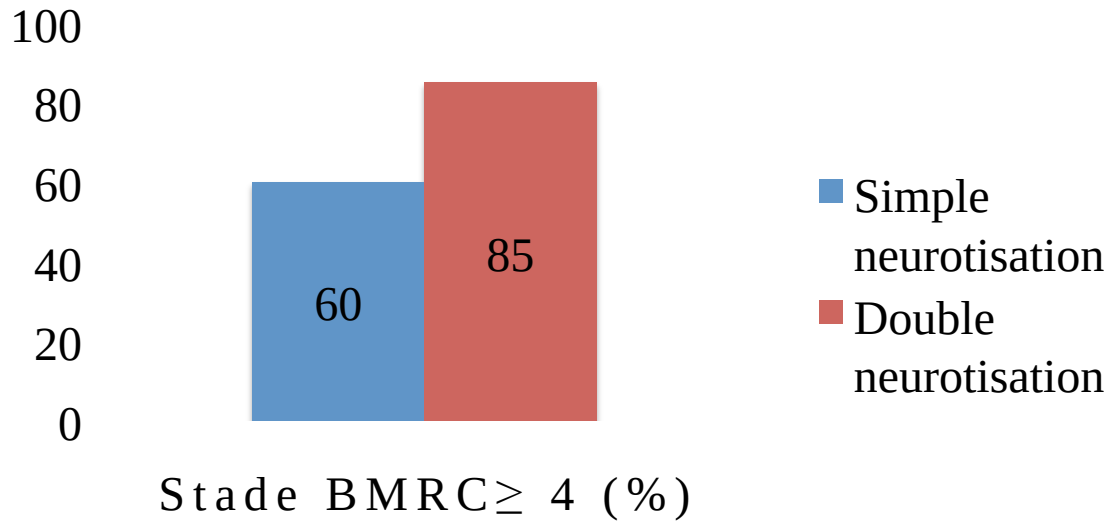
5) Impact de la restauration de la fonction de l'épaule (tableaux et graphique N°15)

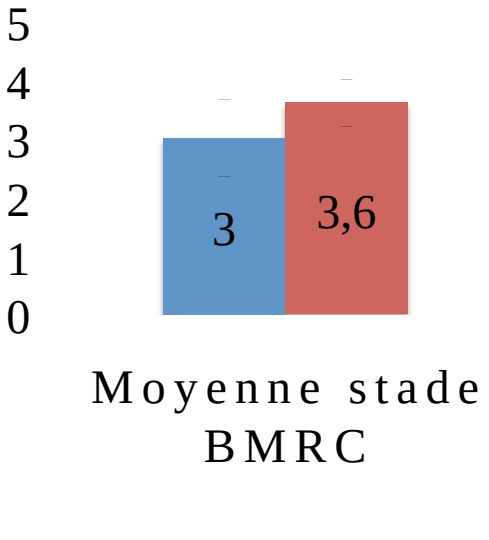
Dans tous les cas où une fonction de l'épaule a été restaurée, les patients ont récupéré une force cotée M4. 43 % des patients du groupe «épaule non restaurée » ont récupéré une force cotée M4. La force de flexion contre résistance était meilleure chez les patients ayant récupéré une fonction de l'épaule avec une force moyenne de 3,1 kg contre 1,2 kg.

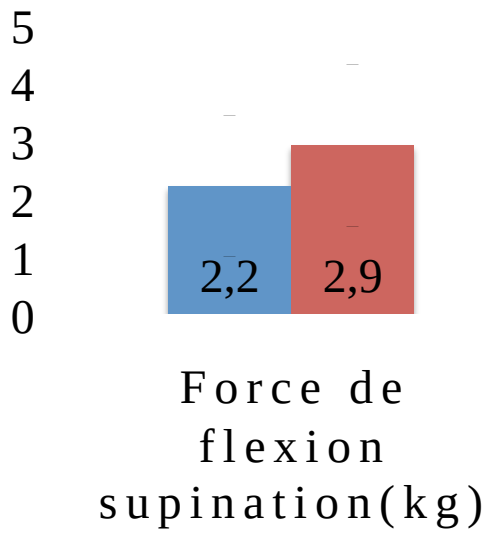
Nous n'avons pas retrouvé de lien entre les résultats des neurotisations et les facteurs suspectés d'échec ou de mauvais résultats (tableau N°5). Les données sont résumées dans les tableaux N°16. Pour les 29 patients nous avons relevé 28 données relatives aux avulsions radiculaires au bilan d'imagerie ; et 13 données relatives aux avulsions radiculaires à l'exploration supra-claviculaire.

Répartition Stade BMRC	0	1	2	3	4	< 4	≥ 4
Simple neurotisation n= 15	3	0	0	3	9	6 (40%)	9 (60%) (1)
Double neurotisation n= 14	1	0	1	0	12	2 (15%)	12 (85%) (1)
Global n= 29	4	0	1	3	21	8 (28%)	21 (72%)
p-value						p=*	

(1) Différence significative (DS) non établie entre simple et double neurotisation pour le critère stade BMRC ≥ M4 (taux respectifs de 60% et 85%)







	Délai opératoire (mois)	Age moyen (ans)	C5C6 (%)	Délai M1 (réinnervation) (mois)	Délai M3 (mois)	Délai M4 (mois)
Simple neurotisation n = 15	6.7 ± 4,9	28,2 ± 12,6	20	4,0 ± 1,2 (2)	7,6 ± 2,2	13,2 ± 3,2
Double neurotisation n = 14	5.3 ± 2.4	32,4 ± 16.0	50	6,1 ± 3,0 (2)	8,6 ± 2,2	11,0 ± 3,8
Global n = 29	6,0 ± 4,0	30,2 ± 14,4	34,5	5,1 ± 2,5	8,1 ± 2,9	11,9 ± 3,6
p-value	/	/	/	0,03 (2)	0,445	0,576

(2) Délai de restauration M1 plus court (DS établie) dans le groupe « simple neurotisation »

Stade BMRC ≥ M4	Force de flexion (kg) (supination)	Force de flexion (kg) (pronation)	Jamar (% côté controlatéral)	Pinch (% côté controlatéral)
Simple neurotisation n = 9	2,2 ± 1,2 (3)	1,5 ± 1,1	48,8 ± 15,5 (4)	60,9 ± 16,6
Double neurotisation n = 12	2,9 ± 1,4 (3)	2,2 ± 1,0	52,5 ± 17,1 (4)	75,3 ± 19,2
Total n = 21	2,5 ± 1,4	1,92 ± 1,0	50,6 ± 16,1	68,1 ± 19
p-value	0,251	0,164	0,591	0,063

(3) Force de flexion contre résistance plus importante dans le groupe « double neurotisation » (pas de DS)
(4) Force globale de serrage atteignant environ 50% de la force du coté controlatéral (pas de DS entre les deux groupes)

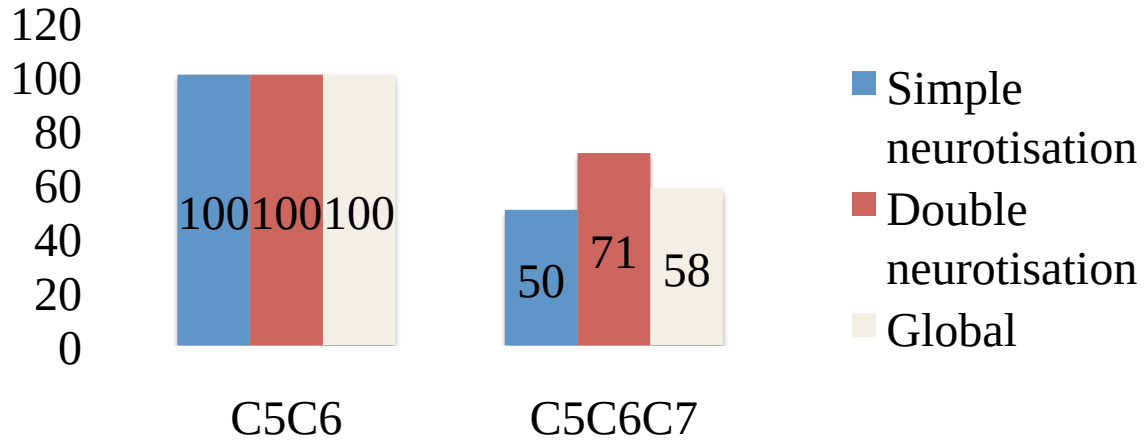
Stade BMRC ≥ M4	Flexion (degrés)	Extension (degrés)	Supination (degrés)	Pronation (degrés)
Simple neurotisation n = 9	118,7 ± 12,1 (5)	3,3 ±7,8	33,7 ± 20,8	45,0 ± 19,9 (6)
Double neurotisation n = 12	131,2 ± 14,2 (5)	8,7 ± 12,1	32,5 ± 26,9	70,8 ± 5,1 (6)
Total n = 21	125,0 ± 14,4	6,0 ± 10,3	33,1 ± 23,5	57,9 ± 19,4
p-value	0,029 (5)	0,205	0,899	0,0003 (6)

(5) Arc de mobilité en flexion plus important dans le groupe double neurotisation (DS établie)
(6) Arc de mobilité en pronation plus important dans le groupe double neurotisation (DS établie)

Tableaux et graphiques N°11 :
Analyse comparative entre simple et double neurotisation

Paralysie C5C6	< M3	M3	< M4	≥ M4
Simple neurotisation n = 3	0	0	0	3 (100%) (1)
Double neurotisation n = 7	0	0	0	7 (100%) (1)
Total n=10	0	0	0	10 (100%) (1)
p-value			p=*	

Paralysie C5C6C7	< M3	M3	< M4	≥ M4
Simple neurotisation n = 12	3	3	6	6 (50%) (2)
Double neurotisation n = 7	2	0	2	5 (71%) (2)
Total n=19	5	3	8	11 (58%) (2)
p-value			p=*	



STADE BMRC ≥ M4 (%)

Stade BMRC ≥M4 groupe « C5C6 »	Délai M4 (mois)	Force de flexion (kg) (supination)
Simple neurotisation n = 3	10,3 ± 1,5	2,7 ± 0,6
Double neurotisation n = 7	12,6 ± 4,0	2,9 ± 1,9
Total n=10	11,9 ± 4,5	2,8 ± 1,9

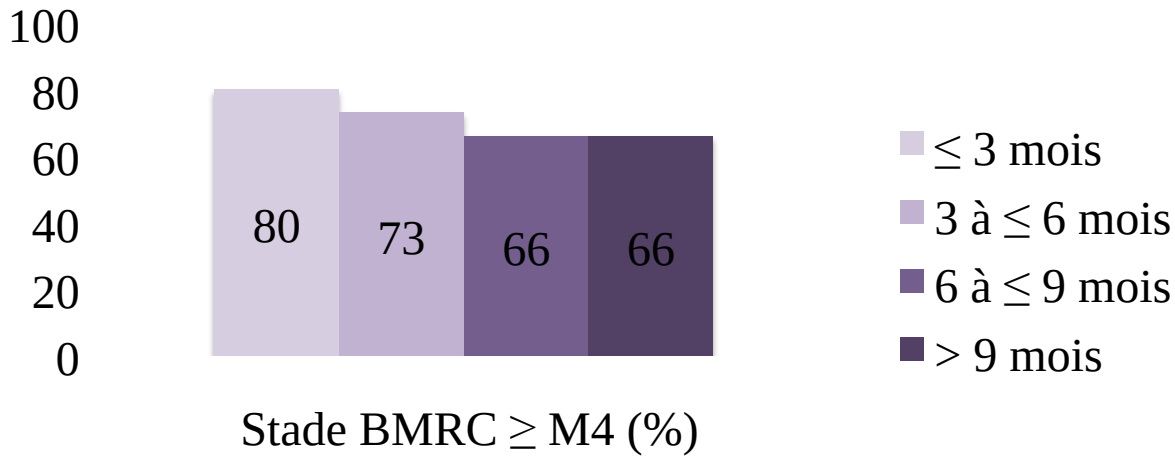
Stade BMRC ≥M4 groupe « C5C6C7 »	Délai M4 (mois)	Force de flexion (kg) (supination)
Simple neurotisation n = 6	8,8 ± 2,3	1,9 ± 1,5
Double neurotisation n = 5	14,6 ± 2,8	2,8 ± 0,6
Total n=11	12,0 ± 3,5	2,3 ± 1,2

Tableaux et graphique N°12 : Impact du type de paralysie

(1) Restauration d'une force cotée M4 quelque soit le transfert réalisé dans les paralysies C5C6

(2) Restauration d'une force cotée M4 dans 50% et 71% des cas respectivement dans les groupes simple et double neurotisation dans les paralysies C5C6C7

Simple et double neurotisation	< M3	M3	< M4	≥ M4
Délai ≤ 3 mois n = 5	0	1	1	4 (80%) (1)
Délai 3 à ≤ 6 mois n = 15	2	2	4	11 (73 %) (1)
Délai 6 à ≤ 9 mois n = 6	2	0	2	4 (66%) (2)
Délai > 9 mois n = 3	1	0	1	2 (66%) (2)
Global n=29	5	3	8	21



Stade BMRC ≥M4	Force de flexion (kg) (supination)
Délai ≤ 3 mois n = 4	3,8 ± 1,7
Délai 3 à ≤ 6 mois n = 11	3,7 ± 2,3
Délai 6 à ≤ 9 mois n = 4	2,7 ± 1,5
Délai > 9 mois n= 2	2,7 ± 0,7
Total $n=21	2,5 ± 1,4

Tableaux et graphique N°13 : Impact du délai opératoire

(1) Restauration d'une force cotée M4 dans 75 % des cas pour un délai opératoire inférieur à 6 mois

(2) Restauration d'une force cotée M4 dans 66% des cas pour un délai opératoire supérieur à 6 mois

Simple et double neurotisation	<M3	M3	<M4	≥M4
Age < 40 ans n = 22	2	3	5	17 (77,3%) (1)
Age > 40 ans n = 7	3	0	3	4 (57,1%) (1)
Global n=29	5	3	8	21
p-value			p=*	



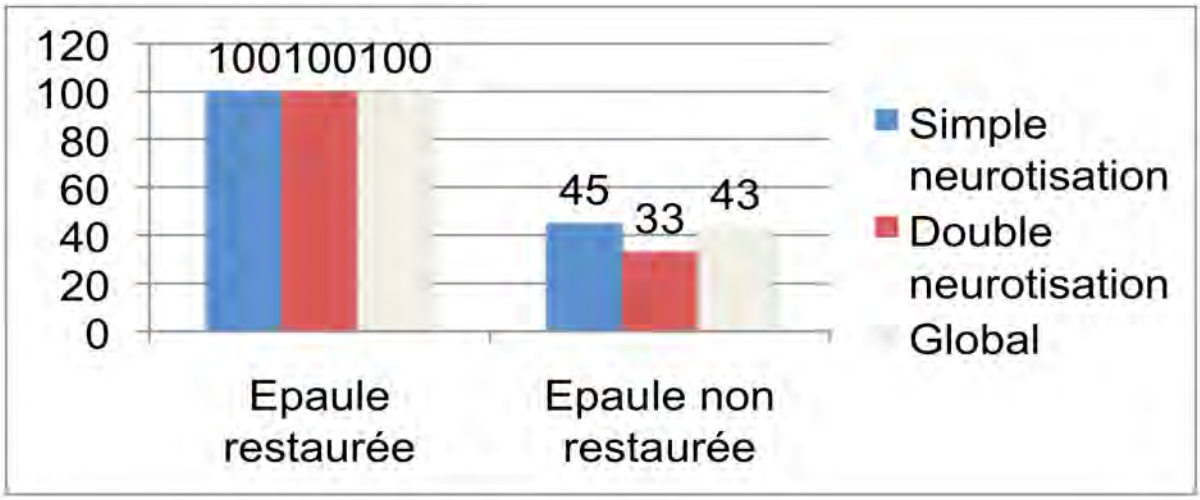
Stade BMRC ≥M4	Force de flexion (kg) (supination)
Age < 40 ans n = 17	2,7 ± 0,8
Age > 40 ans n = 4	2,0 ± 0,7
Total n=21	2,55 ± 1,4

Tableaux et graphique N°14 : Impact de l'âge au moment de la chirurgie

(1) Restauration d'une force cotée M4 dans 77,3% des cas (Age < 40 ans) contre 57,1% des cas (Age > 40 ans). (Pas de DS établie)

Epaule restaurée	< M3	M3	< M4	≥ M4
Simple neurotisation n = 4	0	0	0	4 (100%) (1)
Double neurotisation n = 11	0	0	0	11 (100%) (1)
Total n=15	0	0	0	15 (100%) (1)
p-value			p=*	

Epaule non restaurée	< M3	M3	< M4	≥ M4
Simple neurotisation n = 11	3	3	6	5 (45%) (2)
Double neurotisation n = 3	2	0	2	1 (33%) (2)
Total n = 14	2	0	8	6 (43 %) (2)
p-value			p=*	



Stade BMRC ≥ M4 (%)

Stade BMRC ≥M4 « épaule restaurée »	Force de flexion (kg) (supination)
Simple neurotisation n = 4	3,1 ± 1,5
Double neurotisation n = 11	3,1 ± 3,0
Total n = 15	3,1 ± 2,0
p-value	p=*

Stade BMRC ≥M4 « épaule non restaurée »	Force de flexion (kg) (supination)
Simple neurotisation n = 5	1,4 ± 1,0
Double neurotisation n = 1	0,5
Total n = 6	1,2 ± 0,8
p-value	p=*

Tableaux et graphique N°15 : Impact de la restauration de la fonction de l'épaule

(1) Restauration d'une force cotée M4 quelque soit le transfert réalisé dans le groupe « épaule restaurée »

(2) Restauration d'une force cotée M4 dans 45% et 33% des cas respectivement dans les groupes simple et double neurotisation dans le groupe « épaule non restaurée »

	Traumatisme Crânien (hémorragie intra-crânienne)	Traumatisme cervical (fracture vertébrale, entorse grave)	Tabagisme non sevré	Non Compliance Rééducation
Simple neurotisation n = 15	2	2	2	0
Double neurotisation n = 14	4	0	4	1
Global n = 29	6	2	6	1

	Avulsion radiculaire bilan d'imagerie (IRM)	Avulsion radiculaire exploration supra-claviculaire
Simple neurotisation	6	9
Double neurotisation	6	3
	13 (n =28)	12 (n=13)

Tableaux N°16 : Données relatives aux facteurs suspectés d'échec ou de mauvais résultats des neurotisations

Discussion

Il existe plusieurs options thérapeutiques pour restaurer la flexion du coude dans les paralysies plexuelles hautes. Le choix doit se faire entre les greffes nerveuses longues « traditionnelles », les neurotisations, les transferts musculo-tendineux pédiculés ou libres. Ce choix dépendra du délai de prise en charge (temps de dénervation), de la disponibilité de moignons nerveux proximaux, et de la présence de muscles transférables. La restauration d'une fonction musculaire après reconstruction sur les nerfs périphériques est intimement liée à un facteur temps. Les plaques motrices disparaissent progressivement dans le muscle paralysé. Si la repousse axonale est trop tardive, la fonction ne pourra être restaurée [11,48].

Dans un premier temps une exploration supra-claviculaire semble donc indispensable à la recherche d'une racine greffable. Pour certaines équipes l'amélioration des résultats grâce aux transferts nerveux distaux dispense de cette exploration [1]. Comme pour d'autres auteurs, nous jugeons que cette exploration est toujours indiquée à la recherche de moignons radiculaires greffables [6, 11, 15, 54]. Notamment pour le nerf supra-scapulaire qui est très important à la réanimation des rotateurs externes de l'épaule et du muscle supra épineux « starter de l'abduction ». La neurotisation de ce nerf donne des résultats mitigés quelquesoit le nerf donneur. De plus le sacrifice du nerf spinal accessoire (XI^{ème} nerf crânien), classiquement prélevé pour réaliser cette neurotisation, abouti souvent à une paralysie partielle du trapèze déstabilisant ainsi encore plus l'épaule. Nous préférons effectuer, dans la mesure du possible, une greffe à partir de la racine C5 d'où l'intérêt de l'exploration cervicale. Cette exploration est réalisée dans la mesure du possible avant le 6ème mois suivant le traumatisme [11, 13, 15, 24].

Ces greffes nerveuses se heurtent au problème principal de la repousse nerveuse sur de longues distances et donc du délai de dénervation musculaire. Dans la littérature, il est difficile de retrouver les résultats des greffes nerveuses isolées pour la restauration de la flexion du coude dans les atteintes plexuelles hautes. Les auteurs exposent fréquemment les résultats combinant paralysies partielles et totales du plexus brachial. Parfois c'est l'évaluation finale qui est rapportée après addition d'un transfert tendineux. Dans une méta-analyse de la littérature anglo-saxone, Merrell retrouvait pour l'ensemble des paralysies un taux moyen de 47% ≥ M3 après greffes nerveuses pour la restauration de la flexion du coude [43]. Les résultats après réparation nerveuse proximale ou greffes nerveuses sont pauvres dans les atteintes plexuelles hautes. Pour la restauration d'une flexion du coude Alnot en 1998 retrouvait pour 15 cas un taux de 53% ≥ M3 [4], et Kline en 2005 rapportait un taux de 55% ≥ M3 pour 67 patients [31].

Mais à quel niveau effectuer la suture distale ? Proximale avec des greffes courtes, en espérant réinnerver le plus de muscles possible, ou distale, avec des greffons plus longs ciblant précisément un ou plusieurs nerfs receveurs, et au plus proche de la plaque motrice ? Trois branchements nerveux distaux sont classiquement décrits. L'anastomose distale peut être réalisée sur la portion antérieure du tronc primaire supérieur (TPS), ou sur le tronc secondaire antéro-externe, ou encore sur le tronc du nerf musculocutané. Le choix est réalisé en fonction des lésions nerveuses constatées et du projet de reconstruction à partir d'un ou de deux moignons radiculaires de bonne qualité.

La tendance actuelle lors de la réalisation de greffes nerveuses depuis les racines proximales, est de réaliser des greffes longues ciblées sur les muscles effecteurs afin d'éviter la dispersion axonale et les co-contractions parasites [54].

L'association d'une greffe nerveuse et d'une neurotisation permet-elle une amélioration des résultats obtenus ?

Bertelli rapportait ses résultats pour 27 patients paralysés en C5C6, avec la neurotisation d'un ou plusieurs fascicules du nerf ulnaire sur la branche motrice du biceps. Il s'agissait d'une neurotisation isolée (avulsions C5C6) dans 7 cas, d'une neurotisation et d'une greffe de la racine C5 dans 24 cas (anastomose distale sur la portion antérieure du TPS), et d'une neurotisation et de deux greffes sur les racines C5C6 dans 6 cas (anastomoses distales sur les portions antérieure et postérieure du TPS).

Ses résultats étaient bons pour la flexion du coude (77 % ≥ M3) ; et 30 % des patients récupérant une flexion du coude présentaient des co-contractions musculaires (muscles grand rond, grand pectoral, biceps, triceps et deltoïde) [6].

Malgré la sélection de patients ne présentant qu'une paralysie C5C6, le résultat pour la flexion du coude reste comparable aux neurotisations isolées. D'autres séries nous semblent nécessaires afin d'objectiver les résultats de la procédure combinée greffe nerveuse-neurotisation. D'après notre expérience nous préférons réserver les greffes nerveuses pour des territoires qui ne pourront bénéficier d'une neurotisation.

En l'absence de moignons radiculaires greffables, il faut alors s'appuyer sur des neurotisations -dans le cadre d'un délai opératoire compatible- pour restaurer la fonction. Les premiers nerfs donneurs extra-plexuelles employés à partir des années 1960 étaient le nerf spinal accessoire, le nerf phrénique, et les nerfs intercostaux. Malgré l'arc de rotation et la longueur du nerf donneur prélevé, le front de repousse axonale se situe encore à distance de la plaque motrice du biceps. L'anastomose distale est réalisée au niveau du tronc du nerf musculocutané soit par suture directe soit par l'intermédiaire d'une greffe nerveuse intercalaire [11]. Cependant leur situation extra-plexuelle leur donne comme avantage d'être relativement épargnés en cas d'atteinte plexuelle radiculaire.

Nous n'avons pas retenu comme valables les techniques transférant le nerf hypoglosse ou les nerfs du plexus cervical en raison du faible nombre de cas rapportés dans la littérature et de leurs résultats mitigés.

Le nerf spinal accessoire (XI^{ème} nerf crânien) innerve les muscles sterno-cléido-mastoïdien et trapèze. Il dispose d'environ 1700 fibres axonales myélinisées [47]. Ce transfert est entré dans la pratique courante depuis sa description en 1972 par Kotani [32]. Il est employé le plus fréquemment pour neurotiser le nerf supra-scapulaire.

Pour la restauration de la flexion du coude dans les atteintes plexuelles hautes, Alnot en 1998 rapportait un taux de 53% ≥ M3 pour 15 patients (avulsion C5C6C7) [4] ; Kawai en 1988 rapportait pour trois cas un seul cas de restauration d'une force M3 [29]. Dans une série conséquente de 216 patients regroupant l'ensemble des paralysies plexuelles (58 paralysies hautes) Songcharoen en 1996 rapportait un taux de 75 % ≥ M3 (54,3 % M3 et 20,2 % M4) [63]. Le fait de recourir à une greffe nerveuse intercalaire pour le nerf musculocutané, et le sacrifice d'un nerf contribuant à la stabilité scapulo-thoracique sont les deux inconvénients majeurs de ce transfert nerveux.

Le nerf phrénique, moteur pour le diaphragme, est issu des racines C3 à C5 (dominance C4). Les premières descriptions datent du début des années 1970. Avec environ 800 fibres axonales myélinisées [47], il est considéré par certains comme supérieur aux nerfs intercostaux en raison de l'existence d'une activité rythmique spontanée entretenant une certaine « autorééducation » [22,23].

Ce transfert requiert l'utilisation d'une greffe intercalaire pour atteindre le tronc du nerf musculocutané. Gu rapportait pour 65 patients un taux de 84,6%≥ M3 pour la flexion du

coude, pour l'ensemble des paralysies [23]. Xu poursuit la dissection du nerf phrénique en intra-thoracique par endoscopie afin de réaliser une suture directe [77]. Dans sa série il rapportait pour 8 patients présentant une paralysie plexuelle haute un taux de 50%≥ M3 pour la flexion du coude.

En raison des séquelles potentielles liées à son prélèvement (atteinte de la fonction pulmonaire dans 17% cas [22]) et des résultats intermédiaires rapportés (50 à 85% de restitution d'une force M3) [22,23, 25, 77], nous ne pratiquons pas ce type de transfert.

Le transfert des nerfs intercostaux est largement répandu dans l'ensemble des équipes [13,16,25,39,43,45,46,57,70]. Un traumatisme costal peut cependant contre-indiquer son prélèvement. Classiquement ce sont les 3ème, 4ème, et 5ème nerfs intercostaux qui sont prélevés (figure N°4). Les fibres motrices, situées à la partie inférieure du nerf, sont anastomosées au tronc moteur du nerf musculocutané. Merrell rapportait dans sa méta-analyse un taux moyen de 73% ≥ M3 pour la flexion du coude toutes paralysies confondues [43].

Deux études comparatives entre le transfert des nerfs intercostaux (NIC) et le transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU) ont été présentées dans la littérature.

Coulet en 2010 rapportait une différence significative pour la restauration d'une force cotée M3 entre les deux groupes (87% TPNU contre 59% NIC) [16]. Dans cette étude le taux de paralysie C5C6 était de 23% dans le groupe « nerfs intercostaux», contre 78% dans le groupe « transfert partiel du nerf ulnaire». Il s'agit d'un biais important car plusieurs auteurs ont rapportés de meilleurs résultats pour la flexion du coude dans les paralysies C5C6 par rapport aux paralysies C5C6C7 [12, 34, 55, 71, 75]. L'anastomose nerveuse était réalisée au niveau du tronc du nerf musculocutané dans les deux groupes. Compte tenu d'une distance relativement équivalente par rapport à la plaque motrice, l'hypothèse avancée par l'auteur pour expliquer cette différence, était la présence d'une population motoneuronale plus importante pour le transfert partiel du nerf ulnaire.

Une autre étude comparative concernant les mêmes transferts a été conduite par Kakinoki en 2010 [28]. Cette étude nous semble contestable. Elle présentait un important biais de sélection dans la répartition et le type de paralysie dans les deux groupes. Il existait une proportion de 62 % de paralysies C5C6C7C8 dans le groupe « transfert des NIC » [28]. Les patients présentant ce type de paralysie n'auraient probablement pas pu bénéficier d'un transfert partiel du nerf ulnaire.

Les risques liés au prélèvement sont importants. La dissection peut s'avérer délicate en raison des risques de brèche iatrogène de la plèvre et de léser le contenu fasciculaire des nerfs intercostaux. Nous retenons également la difficulté de l'intégration corticale de ce transfert dans le schéma moteur, ainsi que la disponibilité d'autres transplants. Ces arguments ne nous font pas retenir ce type de transfert dans les atteintes plexuelles hautes.

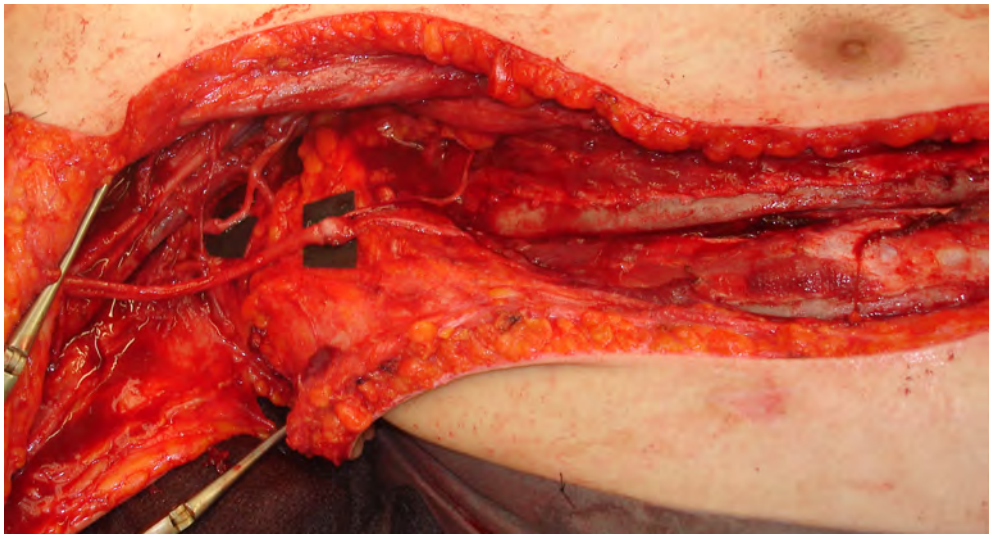


Figure N°4 : Neurotisation du tronc du nerf musculocutané par trois nerfs intercostaux. (Photothèque Pr Dap)

Les résultats de ces neurotisations extra-plexuelles et des greffes nerveuses sont en deçà de ceux rapportés avec les neurotisations fasciculaires. Ces différentes procédures ne permettent la restauration d'une force cotée M3 que dans 50 à 75% des cas (tableau N°19). Quant au transfert partiel du nerf ulnaire sur le nerf du muscle biceps, nous avons retrouvé dans notre série un taux de 80% pour la restauration d'une force cotée M3.

Afin de restaurer une fonction en ciblant un ou plusieurs muscle(s) déficitaire(s) et de diminuer le temps de dénervation, différents opérateurs ont cherché à rapprocher le front de repousse axonale au plus près de la plaque motrice par l'emploi de neurotisations fasciculaires intra-plexuelles.La flexion du coude représente un modèle simple, pour lequel ce concept a été appliqué au début des années 1990 par Oberlin [52] à partir d'un transfert partiel du nerf ulnaire.

La technique d'Oberlin représente une avancée significative dans l'évolution des neurotisations pour les atteintes plexuelles hautes. Ce transfert donne de bons résultats ; la restitution d'une flexion de coude cotée M4 varie, suivant les auteurs, entre 60 et 94 % des cas (tableau N°17). Ces résultats sont à moduler avec la proportion de paralysies C5C6 dans chacune des séries. Dans notre étude le taux de paralysie C5C6 était de 20% dans le groupe « simple neurotisation », contre 50% dans le groupe « double neurotisation ». Ce biais est important car nous avons constaté dans les deux groupes (« simple neurotisation » et « double neurotisation ») de meilleurs résultats pour les patients présentant une paralysie C5C6 par rapport à ceux avec une paralysie C5C6C7. A titre de comparaison, nous avons jugés intéressant de rapporter les résultats de trois autres nerfs donneurs : le nerf médian, les nerfs pectoraux médiaux, et le nerf thoracodorsal.

Le nerf médian semble être un candidat intéressant, pour un transfert partiel sur les branches motrices du nerf musculocutané. Il se situe à proximité des nerfs receveurs, et il dispose en son sein de fibres motrices à destinée de territoires musculaires extrinsèques de la main. Certains auteurs ont transféré un ou plusieurs fascicules du nerf médian pour la restauration de la flexion du coude [27, 30, 48].

Nath en 2000 rapportait ses résultats pour 40 patients présentant une atteinte C5C6. La procédure chirurgicale consistait en un double transfert nerveux (deux fascicules du nerf

médian), avec un fascicule pour chaque branche motrice du nerf musculocutané (muscles biceps et brachialis). Au dernier recul, une restauration de la flexion du coude coté M4 a été constatée pour 90% des patients. L'auteur rapportait des paresthésies transitoires pendant les trois premiers mois [48]. Dans sa série concernant une simple neurotisation de fascicules du nerf médian sur la portion motrice du nerf musculocutané, Hou et Xu 2002 retrouvaient pour 11 patients la restauration d'un grade M4 pour 63,6 % des patients [27].

Dans notre expérience deux patients ont bénéficié de ce type de transfert.
Dans le premier cas il s'agissait d'une constatation per-opératoire d'une branche motrice du nerf biceps électrostimulable chez un patient de 24 ans présentant une atteinte C5C6C7. Une neurotisation d'un fascicule du nerf médian sur la branche motrice du muscle brachialis a été réalisée (figure N°5). Le résultat obtenu était excellent avec la restitution d'une force cotée M4 5 mois après le geste chirurgical. Compte tenu de cette disposition il est difficile de faire la part entre la neurolyse du nerf du biceps et la neurotisation. Dans un autre cas il existait une faiblesse musculaire (clinique et électromyographique) dans le territoire du nerf ulnaire ; l'opérateur a réalisé un transfert d'un fascicule du nerf médian sur le nerf moteur du muscle biceps chez un patient de 43 ans présentant une atteinte C5C6C7. Le résultat constaté était bon avec la restitution d'un grade M4 15 mois après le geste chirurgical. Compte tenu du faible nombre de cas rapportés nous ne pouvons retenir de conclusion.

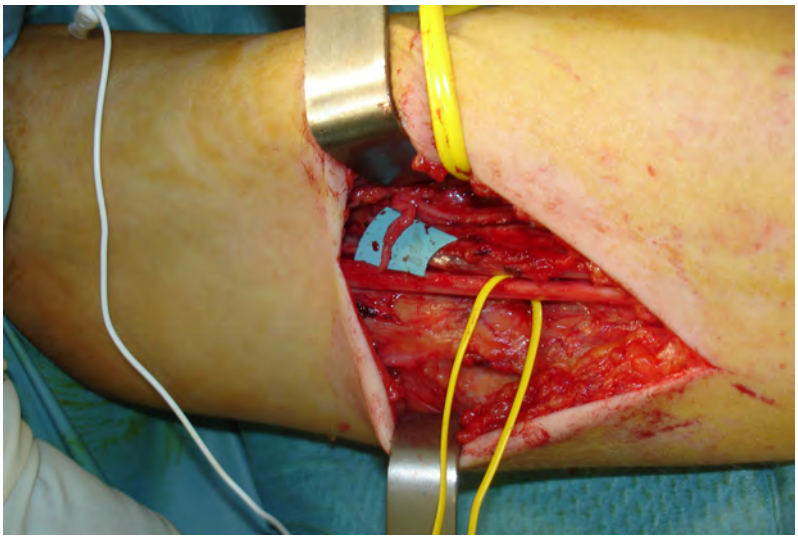


Figure N°5 : Neurotisation de la branche motrice du muscle *brachialis* par un fascicule du nerf médian. (Photothèque Pr Dap)

Le transfert nerveux des nerfs pectoraux médiaux est plus confidentiel. Pour la restauration de la flexion du coude dans les paralysies plexuelles hautes, nous avons retrouvé une quinzaine de cas rapportés dans la littérature. Les nerfs pectoraux médiaux sont issus du tronc secondaire interne (C8-T1) et disposent d'un contingent moteur important.

Brandt et Mackinnon en 1993 rapportaient cinq cas de neurotisation pour des atteintes plexuelles C5C6. Dans un cas, une greffe nerveuse intercalaire de 8 cm a été nécessaire. Au dernier recul, trois patients ont récupéré une flexion cotée M4 [11].

Samardzic en 2002 retrouvait pour 10 transferts nerveux isolés des nerfs pectoraux médiaux un taux de 60%≥ M3 pour la restitution de la flexion du coude (atteintes C5C6C7). Cependant dans un groupe différent, l'auteur a du recourir à un transfert nerveux complémentaire dans quatre cas (Nerf accessoire-XI), en raison d'un diamètre insuffisant du nerf donneur [59].

L'inconvénient de ce transfert est son arc de rotation limité. La distance relative par rapport aux plaques motrices des nerfs axillaire et supra-scapulaire est courte ; cette distance reste cependant importante pour les branches motrices du nerf musculocutané.

Le nerf thoracodorsal est un nerf moteur issu du tronc secondaire moyen recevant des afférences des racines C7, C8 et parfois C6. Il innerve le muscle *latissimus dorsi*. Il dispose d'environ 2000 fibres axonales myélinisées et présente une activité motrice spontanée. Nous avons retrouvé une quinzaine de cas rapportés dans la littérature [51, 56, 58].

Novak en 2002 rapportait son expérience avec une série de cinq patients présentant une atteinte plexuelle C5C6. Ses résultats étaient bons avec la restauration d'une flexion cotée M4 chez 4 patients [51].

Dans la série de Samardzic en 2003, 6 patients sur 8 (atteinte C5C6C7) présentaient une flexion côté M4 pour une neurotisation isolée à partir du nerf thoracodorsal.

Dans deux autres cas l'auteur a du recourir à un transfert nerveux complémentaire (nerfs intercostaux), en raison d'un diamètre insuffisant du nerf donneur. L'anastomose distale était une suture directe sur le tronc moteur du nerf musculocutané [58].

Deux éléments attirent notre attention concernant ce transfert nerveux.
Tout d'abord le testing clinique ne retrouve pas systématiquement de contraction au niveau du muscle *latissimus dorsi.* L'explication vient en partie de ses afférences radiculaires (touchées lors des paralysies plexuelles hautes) et des traumatismes associés (traumatisme direct du nerf). Ainsi le nerf thoracodorsal n'est pas disponible pour le transfert. Enfin le sacrifice d'un nerf fonctionnel nous semble dommageable en raison de la suppression d'un transfert tendino-musculaire potentiel.

Afin d'améliorer la technique Mackinnon a eu l'idée d'ajouter une seconde neurotisation à partir du nerf médian sur le nerf du muscle *brachialis* en plus du transfert partiel de nerf ulnaire sur le nerf du muscle biceps. En 2005, elle publie ses résultats : 66% d'une force cotée M4 restituée à 20,5 mois pour 6 cas [38]. Différents auteurs [12,19,36,54,55] confirment la supériorité, à priori, de la double sur la simple neurotisation car chez 80% des patients une force cotée M4 est restituée (tableau N°18).

Carlsen est le seul auteur rapportant une série comparative [12] (cf tableaux N° 17 et 18) entre simple et double neurotisation. Il rapportait des taux de 67% et de 80% pour la restauration d'une force cotée M4 respectivement pour la simple et la double neurotisation. Il ne retrouvait pas de différence significative pour la proportion de restauration d'une force cotée M4, ainsi que pour la force contre résistance. Il analysait également la force en supination active qui atteignait 22% du côté controlatéral dans le groupe « simple neurotisation » et 37% dans le groupe « double neurotisation ». Il retrouvait de meilleurs résultats dans les paralysies C5C6 par rapport aux paralysies C5C6C7 quel que soit le transfert utilisé. Oberlin exposait les résultats de ses séries de simple et de double neurotisation, avec respectivement des taux de 60% et de 79% pour la restauration d'une force cotée M4. Il ne rapportait pas d'éléments quant à une étude comparative [54].

Malgré ce biais dans notre étude concernant la proportion de paralysie C5C6, la double neurotisation nous semble permettre l'obtention de meilleurs résultats dans la restauration de la flexion du coude (proportion et délai de restauration d'une force cotée M4). Nous rapportons respectivement pour une force cotée M4 un taux de 85% contre 60%.

Dans l'appréciation de ses résultats Carlsen a tenté de s'affranchir d'une part de subjectivité. L'évaluation a été réalisée dans son laboratoire de biomécanique avec un dynamomètre, la force du coude étant mesuré de manière « statique » coude fléchi à 90° avec un point d'appui sur la table [12]. L'évaluation standardisée de la restauration musculaire

reste encore difficile à l'heure actuelle et peut faire l'objet de critiques dans le cadre de la comparaison des séries. L'échelle de cotation du BMRC utilisé depuis les années 1950 comporte de nombreux avantages. Elle bénéficie d'une large diffusion dans les équipes, et sa réalisation est facile sans matériel additionnel nécessaire [5]. En pratique les limites de chaque grade sont difficiles à apprécier. Son manque de reproductibilité est son principal défaut ; un même patient pouvant avoir plusieurs scores selon l'observateur. L'évaluation d'une cotation M4 de la force nous semble plus reproductible que pour une cotation M3, car elle évalue une force contre résistance et donc la possibilité de lever une charge.

L'évaluation de la force contre résistance est également à prendre en compte, car elle n'est pas standardisée et rend difficile la comparaison des séries rapportées. Selon les auteurs la mesure s'effectue selon deux modalités. D'une part une évaluation « statique » consiste à maintenir le coude fléchi à 90° lorsqu'un poids est placé au niveau de la main [16]. D'autre part une évaluation « dynamique » consiste à fléchir le coude de la position d'extension maximale jusqu'à 90° [71]. Lors de ces évaluations, le patient est debout, et il est difficile de s'affranchir de l'influence de la position du rachis et de l'épaule. La stabilité du poignet est également un élément à prendre en compte dans les paralysies C5C6C7.

Il est donc difficile de s'affranchir de l'effet de ces compensations pour évaluer précisément l'efficience du ou des muscle(s) réinnervé(s). Les muscles épitrochléens sont en partie fléchisseurs du coude de par leur insertion humérale. Leur participation décrite par Steindler est bien rapportée dans la littérature. La présence du muscle brachioradial dans les atteintes C5C6 est pour certains auteurs un des éléments expliquant les meilleurs résultats obtenus dans cette population [3, 12, 47].

Nous avons constaté la présence de quatre effets indésirables type Steindler uniquement chez des patients présentant une paralysie C5C6C7 (groupe « simple neurotisation). Pour les patients présentant une paralysie C5C6 la flexion du coude contre résistance est imputable en partie à l'action du muscle brachioradial, cependant la restauration d'une force cotée M4 est due à la plus grande efficacité des muscles biceps et *brachialis* réinnervés. Dans la population globale la force contre résistance était toujours supérieure avant bras en supination, position d'action plus efficiente pour le muscle biceps.

Grâce à l'amélioration des techniques la restitution d'une force de flexion du coude cotée M4-dans les cas de prise en charge précoce- semble devenir une norme dans les atteintes plexuelle hautes. Il nous a semblé intéressant de rechercher des facteurs d'échec ou de mauvais résultats dans notre évaluation.

Nous considérons l'absence de contractions visibles (M1) au delà du douzième mois comme un échec des neurotisations. Dans notre série, nous rapportons 4 échecs (14%), avec 3 cas dans le groupe « simple neurotisation », et 1 cas dans le groupe « double neurotisation ». En cas de manœuvres intempestives, le lâchage précoce de la suture nerveuse en post-opératoire immédiat peut être évoquée. Des erreurs techniques sont également possibles, notamment la non sélection d'un fascicule moteur ou encore un branchement sur la branche sensitive du nerf musculocutané.

Aucune cause n'a été clairement retrouvée après analyse des variables étudiés. Cependant nous avons pu définir des facteurs péjoratifs.

Nous avons défini comme « mauvais résultat » l'absence de restauration d'une force de flexion du coude cotée M4 au dernier recul. Quatre facteurs péjoratifs ont été identifiés bien qu'aucune relation statistiquement significative n'est été établie : un âge supérieur à 40 ans, une paralysie C5C6C7, un délai opératoire supérieur à 6 mois, une épaule paralysée au dernier recul. Les 3 premiers facteurs sont des facteurs classiquement retrouvés dans la littérature [12,16,54,64]. Nous avons retrouvé dans notre série une proportion moins importante de force

cotée M4 sans qu'une différence significative ne soit établie (cf tableaux et graphiques N° 12 à 14).

En comparaison du modèle de la flexion du coude, la fonction de l'épaule est un modèle complexe. Sa restauration est d'autant plus difficile que le nombre de muscles cibles dépendent de nerfs moteurs différents. Pourtant il semble important de réanimer la fonction de l'épaule afin d'améliorer indirectement la fonction du coude, certainement grâce à son effet stabilisateur (cf tableau et graphique N°15).

Dans la littérature, lorsque le délai opératoire est supérieur à un an les résultats fonctionnels sont médiocres. Dans notre série un seul patient a été opéré au delà d'un an. 23 mois après le traumatisme, le muscle biceps était encore stimulable et un transfert partiel du nerf ulnaire a été réalisé. Nous avons constaté la restauration d'une force cotée M4 au dernier recul. La dénervation musculaire est intimement liée à un facteur temps qui est variable d'un patient à l'autre. Le délai théorique limite de 18 mois peut être prolongé chez certains patients. Oberlin rapporte la restauration d'une force contre résistance après un délai de 18 mois pour une paralysie C5C6C7 [54].

Enfin la persistance d'une douleur neuropathique est un critère de mauvais pronostic fonctionnel qui peut nuire au résultat final [5]. Dans notre série, nous rapportons 1 cas de douleur persistante malgré un traitement médical adapté, pour un patient présentant un échec d'une double neurotisation.

Il n'existait pas dans notre étude de corrélation entre nos cas d'échec ou de mauvais résultats, et la présence de déficit à long terme lié au prélèvement.

L'absence de mention dans la littérature de déficit à long terme lié au prélèvement nous a interpellé. Teboul et Oberlin mentionnaient trois patients sur trente-deux qui ont présenté des paresthésies transitoires pendant quelques semaines dans le territoire du nerf ulnaire [71]. D'autres auteurs ont également rapporté ces troubles transitoires [12,19,28,48,69].

Pour expliquer cette absence de déficit, deux explications sont retrouvées dans la littérature ; le rôle important de la plasticité cérébrale, et la présence d'un mixage et d'un échange interfasciculaire en aval du prélèvement nerveux [52].

Dans notre série nous avons retrouvé 7 cas de déficits sur 29 patients. La présence d'un déficit moteur et/ou sensitif au niveau du ou des territoire(s) correspondants aux prélévements fasciculaires, a été évaluée de manière subjective par testing clinique de manière comparative au coté controlatéral. Dans 3 cas il s'agissait d'un déficit sensitif (Weber > 8mm), et dans 4 cas il s'agissait d'un déficit moteur avec 3 cas de faiblesse du *flexor carpi ulnaris* associé à un signe de Froment, et 1 cas de faiblesse du *flexor digitorum profundis V.*

Dans tout les cas, ce déficit était considéré comme non gênant par le patient. La faible rançon liée au prélèvement est à contrebalancer avec les excellents résultats obtenus avec cette technique.

Cependant la notion d'innocuité totale du prélèvement rapportée dans la littérature peut et doit être nuancée. Bien que notre évaluation était subjective, notre volonté était de rechercher de manière analytique d'éventuels éléments en faveur de séquelles liées au prélèvement. L'absence de mention dans la littérature de ces éléments est peut être liée à une évaluation globale réalisée par les auteurs.

La première réserve quant à cette évaluation clinique, est liée à son caractère rétrospectif. Le déficit constaté comparativement au côté controlatéral « sain » peut être la conséquence soit d'une atteinte radiculaire partielle lors du traumatisme initial, soit du (ou des) prélèvement(s) fasciculaire(s).

Afin d'expliquer la différence du nombre de déficit entre les deux groupes, deux éléments peuvent être avancés. La proportion plus importante de paralysies C5C6C7 dans le

groupe « simple neurotisation » (80% contre 50%) peut expliquer en partie le nombre plus grand de déficits constatés. Il peut s'agir d'un déficit pré-opératoire lié à une atteinte radiculaire partielle.
Le nombre d'opérateurs était plus important dans le groupe « simple neurotisation » (5 opérateurs contre 3). Le risque théorique de séquelles liées au prélèvement est donc plus grand dans ce groupe.

Afin de minimiser les risques liés au prélèvement, une option peut être la réalisation d'une anastomose nerveuse termino-latérale afin de préserver la continuité fasciculaire. Franciosi rapporte une série de 5 patients, chez qui il a réalisé une anastomose termino-latérale entre le tronc du nerf musculo-cutané et le nerf ulnaire (épineurotomie du nerf donneur). L'auteur rapportait de bons résultats avec la restauration d'une force coté M4 dans 4 cas, et l'absence de déficit [20]. Cependant nous ne pouvons juger de l'efficacité de cette technique en comparaison avec le transfert fasciculaire pour la fonction du coude, en raison de l'absence d'autres séries rapportées.

Nous n'avons pas retrouvé d'évaluation complémentaire par électromyogramme dans la littérature. Il serait intéressant de réaliser un suivi évolutif à l'électromyograme, d'une part pour le dépistage d'un déficit, et d'autre part pour l'évaluation indirecte de la plasticité cérébrale et du mixage interfasciculaire.

Enfin dans les cas de prise en charge tardive (au delà d'un an) ou d'échec de la chirurgie nerveuse, le recours à un transfert musculo-tendineux peut s'avérer nécessaire.

Le transfert des épitrochléens à la face antérieure de l'humérus décrit par Steindler [66] a notre préférence. Outres sa relative simplicité d'exécution (Annexe 3), ses indications larges y compris dans les atteintes C5C6C7, c'est surtout son excellente interprétation dans le schéma moteur qui le fait distinguer des autres transferts musculo-tendineux. Pour la réalisation de ce transfert Teboul et Oberlin recommande un délai minimum de 12 mois après la neurotisation pour les patients présentant un stade M0, M1 ou M2 ; et un délai de 15 mois pour les patients présentant un stade M3 [71].

Liu rapportait les résultats du transfert des épitrochléens avec un recul moyen de 8,2 ans pour 61 patients. La restauration d'une force cotée M3 et M4 était respectivement de 47% et de 32%. L'arc de mobilité moyen relevé était de 114° de flexion, et le déficit d'extension moyen était de 28° [35].

Un transfert musculaire libre n'est indiqué que dans les cas très tardif de prise en charge. Le problème principal réside dans la disponibilité d'un nerf receveur après échec d'une chirurgie primaire (Annexe 3). Dans sa série Oberlin rapportait 12 cas de transfert du muscle *latissimus dorsi* réinnervé par le nerf accessoire, il retrouvait environ deux tiers de résultats satisfaisants [53].

Simple neurotisation (TPNU)	Cas Age moyen	C5C6	Délai recul (mois)	Délai M1 (mois)	M3	M4	Stade BMRC	Force (kg)
Leechavengongs 1998 [34]	32 cas 28 ans	81 %	5 18	/	6	/	94% M4	2.9
Sungpet 2000 [68]	36 cas 25 ans	69 %	5 22	3.3	/	/	83% M4	1.8
Teboul/ Oberlin 2004 [71]	32 cas 38 ans	68 %	9 31	5	8.5	/	60% M4	4.2
Venkatrami 2008 [75]	15 cas 35.6 ans	87 %	4 15	3	5	/	86% M4	/
Carlsen 2009 [12]	21 cas 31 ans	14 %	5,9 20	/	/	/	67% M4	16% (contro latéral)
Kakinoki 2010 [28]	8 cas 38 ans	75 %	5 65	9,8	/	/	87,5% M4	/
Coulet 2010 [16]	23 cas 28 ans	78 %	6,5 25	5,1	/	/	78% M4	4,5
Notre série 2011	15 cas 28,2 ans	20 %	6,7 36,8	4	7,6	13,2	60% M4	2,2

Tableau N° 17 : Restauration de la flexion du coude après transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU) sur le nerf du biceps

Double neurotisation (TPNU+TPNM)	Cas age moyen	C5C6	Délai Recul (mois)	Délai M1 (mois)	M3	M4	Stade BMRC	Force (kg)
Liverneaux 2006 [36]	10 cas 27,2 ans	60 %	6,6 15	/	/	/	100% M4	3,7
Oberlin 2009 [54]	34 cas	/	/	/	/	/	79% M4	/
Carlsen 2009 [12]	30 cas 32 ans	46 %	6 17	/	/	/	80% M4	21% (contro latéral)
Estrella 2011 [19]	7 cas 32 ans	0 %	6,6 27,7	/	7,6	/	86% M4	2,7
Ray/Mackinnon* 2011 [55]	29 cas 37 ans	55%	4,9 19	5,4	/	/	79 % M4	/
Notre série 2011	14 cas 32,5 ans	50 %	5,3 31,6	6,1	8,6	11	85% M4	2,9

* 15 TPNU/nerf du biceps +TPNM/nerf brachialis, et 14 TPNU/nerf brachialis + TPNM/nerf du biceps

Tableau N° 18 : Restauration de la flexion du coude après transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU) sur le nerf du biceps et transfert partiel du nerf médian (TPNM) sur le nerf du *brachialis*

	Procédure Nerf donneur	Cas Age moyen	C5C6	Délai Recul (mois)	Stade BMRC	Séquelles Inconvénient
Alnot 1998[4]	Greffes nerveuses	15 cas	/	/	53% M3	Temps dénervation Dispersion contingent sensitif
Kline 2005 [31]		67 cas	54%	/	55% M3	
Alnot 1998 [4]	Nerf accessoire (XI)	15 cas	0 %	/	53% M3	Greffe nerveuse intercalaire
Songchaoren 1996 [64]		216 cas (PTPB) 58 cas (PHPB)	/	/	75% M3	
Xu 2002[77]	Nerf phrénique (suture directe)	8 cas	/	/	50% M3	fonction respiratoire
Coulet 2010[16]	Nerfs intercostaux	17 cas 25 ans	24 %	5,7 32	58,8% M3	Complications prélèvement
Merrell 2001[43]		1088 cas (PTPB)	/	/	72% M3	
Nath 2000[48]	Fascicules (2) du nerf médian (biceps+brachial)	40 cas 24 ans	100%	5 /	90% M4	Paresthésies transitoires 3 mois
Samardzic 2002[59]	Nerfs pectoraux médial	10 cas	0	/	60% M3	Faible diamètre
Samardzic 2005[58]	Nerf thoracodorsal	8 cas /	100%	/	75% M4	Nerf souvent non fonctionnel sacrifice transfert musculaire

PTPB : Paralysie totale du plexus brachial ; PHPB : Paralysie haute du plexus brachial

Tableau N°19 : Récapitulatif des résultats de la chirurgie nerveuse pour la restauration de la flexion du coude

Cas particuliers

Groupe pédiatrique

Compte tenu des bons résultats des neurotisations et de la faible morbidité liée au prélèvement, le recul actuel permet-il d'étendre les indications aux paralysies post - obstétricales ? Dans la population pédiatrique 10 cas seulement de transfert partiel du nerf ulnaire ont été rapportés dans la littérature avec un recul allant de 19 à 40 mois [2,50,63]. Les résultats étaient bons avec la restauration d'une force contre résistance dans 7 cas. Noaman réserve ce transfert en première intention pour les enfants ayant une restauration spontanée de leur fonction au niveau de l'épaule [50]. Nous avons effectivement retenu cette indication pour un enfant, avec l'obtention d'une force contre résistance six mois après l'intervention (Figure N°10 et tableau N°21).

Pour un autre enfant nous avons réalisé une neurotisation six mois après l'échec de greffes nerveuses supra-claviculaires. Au dernier recul de 28 mois, aucune contraction perceptible n'était constatée au niveau de loge brachiale. Le délai opératoire de 13 mois entre la paralysie et la neurotisation peut en partie expliqué cet échec.

Il n'est pas fait mention dans la littérature de déficit lié au prélèvement ni de répercussion sur la croissance du membre. Une étude à long terme nous semble nécessaire afin d'étayer ces premières constatations cliniques.

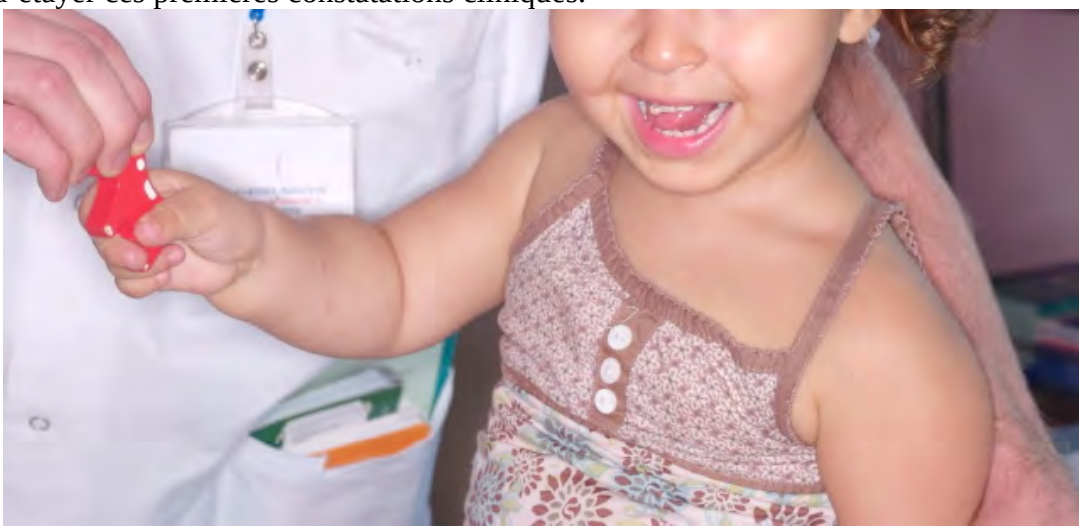


Figure N° 10 : Restauration de la flexion du coude par simple neurotisation (TPNU) chez une enfant de 2 ans. (Photothèque Pr Dautel)

Age sexe	Paralysie	Greffes nerveuses	Délai Recul (mois)	Délai M1 (mois)	M3	M4	Stade BMRC	Deficit
6 mois F	C5C6 «epaule préservée»	non	6 20	2	3	6	M4	non
1 an F	C5C6	6 mois C5 sur NSS et TPS	13 28	0	/	/	M0	non

NSS : Nerf supra-scapulaire TPS : Tronc primaire supérieur

Tableau N° 21 : Restauration de la flexion du coude après transfert partiel du nerf ulnaire (TPNU) sur le nerf du biceps dans la population pédiatrique

Double neurotisation sur les branches motrices du nerf musculocutané

Est-il possible de choisir de manière indifférente le nerf donneur (médian ou ulnaire) pour la branche motrice cible (nerfs des muscles biceps et brachialis) ?

Nous rapportons les résultats chez trois patients d'une double neurotisation « médian/biceps et ulnaire/brachialis » (Tableau N°22). Ces transferts ont été réalisés au cas par cas en fonction de l'anatomie nerveuse retrouvée. Nous avons constatés la restauration d'une force coté M4 chez deux patients. Notre troisième cas concernait un patient de 40 ans présentant une paralysie C5C6C7 dans le cadre d'un polytraumatisme. Au dernier recul de 22 mois, nous avons noté la restauration d'une force cotée M3 et la présence d'une douleur neuropathique invalidante.

Le faible nombre de nos cas ne nous permet pas d'interprétation valable, cependant notre expérience fait état de l'efficacité de ce transfert. Ray et Mackinnon ont également réalisé cette double neurotisation pour la moitié de leur cas (14 cas sur 29). Ils n'ont pas notés dans leur série de différence entre les deux types de double neurotisation. Les auteurs adaptaient au cas par cas le type de double neurotisation en fonction des constations per-opératoire de l'anatomie des nerfs receveurs et donneurs [55].

Notre attention est attirée par la contribution des racines supérieures du plexus brachial pour le nerf médian. Celle-ci peut être importante, notamment en cas de plexus préfixé. Des atteintes frustres du nerf médian sont donc possibles et leur dépistage clinique voire électromyographique reste primordial dans l'évaluation initiale.

Dans notre pratique, nous pensons que le nerf médian doit être utilisé comme nerf donneur en complément du transfert partiel à partir du nerf ulnaire. Pour ce dernier, le prélèvement est réalisé à partir de fibres axonales relativement indemnes dans le cadre d'une paralysie plexuelle haute. Le muscle biceps étant le muscle le plus puissant pour la flexion du coude, le nerf ulnaire est pour nous le nerf donneur à privilégier.

	Cas age moyen	C5C6 C5C6C7	Délai Recul (mois)	Délai M1 (mois)	M3	M4	Stade BMRC	Force (kg)
TPNM /nerf biceps + TPNU /nerf brachialis	3 cas 28,3 ans	C5C6 (1) C5C6C7 (2)	9 21,7	8	11,7	7,5	66% M4	3,2

TPNM : Transfert partiel du nerf médian TPNU : Transfert partiel du nerf ulnaire

Tableau N° 22 : Restauration de la flexion du coude après double neurotisation

Conclusion

Les résultats de notre série sont comparables à ceux de la littérature. Malgré une proportion plus importante de paralysie C5C6, la double neurotisation nous semble permettre l'obtention de meilleurs résultats dans la restauration de la flexion du coude (proportion et délai de restauration d'une force cotée M4). Néanmoins, pour les motifs que nous venons de mentionner le recours à une neurotisation du rameau moteur du biceps par un fascicule du nerf ulnaire reste notre première option.

La restauration d'une fonction au niveau de l'épaule est un objectif à atteindre afin d'améliorer le résultat final notamment pour la flexion du coude, certainement grâce à son effet stabilisateur.

L'analyse clinique retrouvait un déficit dans 7 cas sur 29, déficit considéré comme non gênant par le patient. La notion d'inocuité totale du prélèvement rapportée dans la littérature peut et doit être nuancée.

L'intérêt principal des neurotisations fasciculaires est de rapprocher le front de repousse axonale au plus près de la plaque motrice, afin de diminuer le temps de dénervation.

La double neurotisation au canal brachial pour la restauration d'une flexion du coude dans les paralysies plexuelle hautes est aujourd'hui pour nous un « gold standard ». C'est une technique fiable et transmissible, dont les excellents résultats sont à contrebalancer avec la faible rançon liée au prélèvement.

Bibliographie

[1] Addas BM, Midha R. Nerve transfers for severe nerve injury. Neurosurg Clin N Am. 2009; 20: 27–38.

[2] Al Qattan. Oberlin's ulnar nerve transfer to the biceps nerve in Erb's birth palsy. Plast Reconstr Surg. 2002 ; 109(1):405-7.

[3] Allieu Y, Chammas M. Elbow flexion recovery following nerve repair of supraclavicular brachial plexus injuries in adults : long term comparative results. Edited by Alnot JY NA. Paris: Expansion Scientifique Française; 1996: 195-202.

[4] Alnot JY, Rostoucher P, Oberlin C, Touam C. Les paralysies traumatiques C5-C6 et C5-C6-C7 du plexus brachial de l'adulte par lésions supraclaviculaires. Revue de chirurgie orthopédique. 1998 ; 84 : 113-123.

[5] Bengston KA, Spinner RJ, Bishop AT, Kaufman KR, Coleman-Wood K, Kircher MF, Shin AY. Measuring Outcomes in Adult Brachial
Plexus Reconstruction. Hand Clin. 2008 ; 24: 401–415.

[6] Bertelli JA, Ghizoni MF. Reconstruction of C5-C6 brachial plexus avulsion
injury by multiple nerve transfers: XI to suprascapular, ulnar fascicles to biceps branch, and triceps long or lateral head branch to axillary nerve. J Hand Surg. 2004; 29A:131–139.

[7] Bertelli JA, Ghizoni MF. Nerve Root Grafting and Distal Nerve Transfers for C5-C6 Brachial Plexus Injuries. J Hand Surg Am. 2010; 35(5):769-75.

[8] Bishop AT. Functioning free-muscle transfer for brachial plexus
injury. Hand Clin 2005; 21: 91–102.

[9] Blaauw G, Slooff AC. Transfer of pectoral nerves to the musculocutaneous nerve in obstetric upper brachial plexus palsy. Neurosurgery. 2003; 53(2):338-42.

[10] Bonnel F, Allieu Y, Sugata Y, Rabischong P. Bases anatomo-chirurgicales des neurotisations pour avulsions radiculaires du plexus brachial. Anat. Clin. 1979 ; 1 : 291-296.

[11] Brandt KE, Mackinnon SE. A technique for maximizing biceps recovery in brachial plexus reconstruction. J Hand Surg. 1993; 18A: 726 –733.

[12] Carlsen B., Bishop A., Spinner R., Shin A. Comparaison of Single and Double Nerve Transfer for Elbow Flexion after Brachial Plexus Injury. Journal of Hand Surgery. 2009; 34(7): 26-27.

[13] Chuang, D. C., Yeh, M. C., and Wei, F. C. Intercostal nerve transfer of the musculocutaneous nerve in avulsed brachial plexus injuries: Evaluation of 66 patients. J. Hand Surg. Am. 1992; 17: 822-830.

[14] Chuang, D. C. Neurotization procedures for brachial plexus injuries. Hand Clin. 1995; 11: 633-642.

[15] Chuang DC. Neurotization and free muscle transfer for brachial plexus avulsion injury. Hand clinics. 2007; 23(1): 91-104.

[16] Coulet B, Boretto JG, Lazerges C, Chammas M. A comparison of intercostal and partial ulnar nerve transfers in restoring elbow flexion following upper brachial plexus injury (C5-C6+/-C7). J Hand Surg Am. 2010; 35(8):1297-303.

[17] Doi K, Sakai K, Kuwata N, Ihara K, Kawai S. Double free-muscle transfer to restore prehension following complete brachial plexus avulsion. The Journal of Hand Surgery. 1995; 20(3):408-414.

[18] Doi K, Muramatsu K, Hattori Y, Otsuka K, Tan SH, Nanda V, Watanabe M. Restoration of prehension with the double free muscle technique following complete avulsion of the brachial plexus. Indications and long-term results. J Bone Joint Surg Am. 2000; 82(5):652-666.

[19] Estrella EP. Functional outcome of nerve transfers for upper-type brachial plexus injuries. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2011; 20:1-7.

[20] Franciosi L.E Modestti C., Mueller SE. Neurotization of the biceps muscle by end-to-side neurorraphy between ulnar and musculocutaneous nerves A series of five cases. Ann Chir Main. 1998 ; 17 :,362-367.

[21] Gribble PL, Ostry DJ. Independent coactivation of shoulder and elbow muscles. Exp Brain Res. 1998; 123: 355–360.

[22] Gu YD, Ma MK. Use of the phrenic nerve for brachial plexus reconstruction. Clinical orthopaedics and related research. 1996 ; 323:119-121.

[23] Gu YD, Wu MM, Zhen YL, Zhao JA, Zhang GM, Chen DS, Yan JG, Cheng XM.,Phrenic nerve transfer for brachial plexus motor neurotization. Microsurgery. 1989. 10(4):287-9.

[24] Guelinckx PJ, Faulkner JA, Essig DA. Neurovascular-anastomosed muscle grafts in rabbits: functional deficits result from tendon repair. Muscle Nerve. 1988; 11:745–751.

[25] Gutowski KA, Orenstein HH. Restoration of elbow flexion after brachial plexus injury: the role of nerve and muscle transfers. Plast Reconstr Surg. 2000; 106(6):1348-57.

[26] Holle J, Freilinger G. Surgical anatomy of intercostal nerves. . In: Traumatic brachial plexus injuries. Edited by Alnot JY NA. Paris: Expansion Scientifique Française; 1996: 43-45.

[27] Hou Z, Xu Z. Nerve transfer for treatment of brachial plexus injury: comparison study between the transfer of partial median and ulnar nerves and that of phrenic and spinal accessory nerves. Chin J Traumatol. 2002; 5(5):263-6.

[28] Kakinoki R, Ikeguchi R, Dunkan SF, Nakayama K, Matsumoto T, Ohta S, Nakamura T. Comparison between partial ulnar and intercostal nerve transfers for reconstructing elbow

flexion in patients with upper brachial plexus injuries. J Brachial Plex Peripher Nerve Inj. 2010; 26(5):4.

[29] Kawai, H., Kawabata, H., Masada, K., et al. Nerve repairs for traumatic brachial plexus palsy with root avulsion. Clin. Orthop. 1988; 75 : 237.

[30] Kawai H, Akita S. Shoulder muscle reconstruction in the upper type of the brachial plexus injury by partial radial nerve transfer to the axillary nerve. Tech Hand Up Extrem Surg. 2004; 8(1):51-5.

[31] Kline DG, Tiel RL. Direct Plexus Repair by Grafts Supplemented by Nerve Transfers. Hand Clin. 2005 ; 21 : 55–69.

[32] Kotani P, Matsuda H, Susuki T: Trial surgical procedure of transfers to avulsion injuries of plexus brachial. Excerpta Med. 1972. 291:348-350.

[33] Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpairojkit C, Thuvasethakul P, Ketmalasiri W. Nerve Transfer to Biceps Muscle Using a Part of the Ulnar Nerve in Brachial PlexusInjury (Upper Arm Type): A Report of 32 Cases. J Hand Surg. 1998; 23A:711- 716.

[34] Leechavengvongs S, Witoonchart K, Uerpairojkit C, Thuvasethakul P, Nerve transfert to deltoïd muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II: a report of 7 cases. J Hand Surg Am. 2003; 28(4):633-8.

[35] Liu, T., Yang, R. S., and Sun, J. S. Long-term results of the Steindler flexorplasty. Clin. Orthop. 1993; 296: 104.

[36] Liverneaux P., Diaz LC, Beaulieu JY, Durand S, Oberlin C. Preliminary Results of Double Nerve Transfer to Restore Elbow Flexion in Upper Type Brachial Plexus Palsies. Plast. Reconstr. Surg. 2006 ; 117: 915-919.

[37] Loy S. Bhatia A, Asfazadourian H., Oberlin C. Transferts de fascicules du nerf ulnaire sur le nerf du muscle du biceps dans les avulsions C5-C6 ou C5C6C7 du plexus brachial : à propos de dix-huit cas. Ann Chir Main. 1997 ; 16 : 275-284.

[38] Mackinnon S E., Novak, PT, Myckatyn T , Tung T. Results of Reinnervation of the Biceps and Brachialis Muscles with a Double Fascicular Transfer for Elbow Flexion. J Hand Surg. 2005; 30A:978–985.

[39] Malessy, M. J. A., and Thomeer, R. T. W. M. Evaluation of intercostal to musculocutaneous nerve transfer in reconstructive brachial plexus surgery. J. Neurosurg. 1988; 88: 266.

[40] Mansat M, Bonnevialle P. Mechanisms of traumatic plexus injuries. In: Traumatic brachial plexus injuries. Edited by Alnot JY NA. Paris: Expansion Scientifique Française; 1996: 68-71.

[41] Tubiana R, Masquelet AC, McCullough C. Dans : Voies d'abord chirurgicales du membre supérieur. Edité par Masson. Paris ; 1992.

[42] McIntyre J, Mussa-Ivaldi FA, Bizzi E. The control of stable postures in the multijoint arm. Exp Brain Res. 1996; 110: 248–264.

[43] Merrell GA, Barrie KA, Katz DL, Wolfe SW. Results of nerve transfer techniques for restoration of shoulder and elbow function in the context of a meta-analysis of the English literature. J Hand Surg. 2001; 26(A):303–14.

[44] Midha R. Epidemiology of brachial plexus injuries in a multitrauma population. Neurosurgery 1997; 40(6):1182-8.

[45] Minami, M., and Ishii, S. Satisfactory elbow flexion in complete (preganglionic) brachial plexus injuries: Produced by suture of third and fourth intercostal nerves to musculocutaneous nerve. J. Hand Surg. Am. 1987; 12: 1114.

[46] Nagano, A., Tsuyama, N., Ochiai, N., et al. Direct nerve crossing with the intercostal nerve to treat avulsion injuries of the brachial plexus. J. Hand Surg. Am. 1989; 14: 980.

[47] Narakas, A. O. Thoughts on neurotization or nerve transfers in irreparable nerve lesions. Clin. Plast. Surg. 1984; 11: 153.

[48] Nath RK, Mackinnon SE. Nerve transfers in the upper extremity. Hand Clin. 2000; 16:131–139.

[49] Nath R., Rahul K., Lyons A., Bietz G. Physiological and clinical advantages of median nerve fascicle transfer to the musculocutaneous nerve following brachial plexus root avulsion injury. J Neurosurg. 2006 ; 105:830–834.

[50] Noaman H, Shiha A., Bahm. Oberlin's ulnar nerve transfer to the biceps motor nerve in obstetric brachial plexus palsy : indications, good and bad results. Microsurgery. 2004; 24(3):182-7.

[51] Novak CB, Mackinnon SE, Tung TH. Patient outcome following a thoracodorsal to musculocutaneous nerve transfer for reconstruction of elbow flexion. Br J Plast Surg. 2002; 55:416–419.

[52] Oberlin C., Beal D, Leechavengvongs S., Salon A., Dauge M. C., Sarcy J. Nerve Transfer to Biceps Muscle Using a Part of Ulnar Nerve for C5-C6 Avulsion of the Brachial Plexus: Anatomical Study and Report of Four Cases. J Hand Surg. 1994; 19A:232-237.

[53] Oberlin C. Les paralysies du plexus brachial de l'adulte par lésions radiculaires, conception générale, orientations thérapeutiques et résultats Chirurgie de la main. 2003; 22 : 273–284.

[54] Oberlin C., Durand S., Belheyar Z., Shafi M., David E., Asfazadourian H. Les transferts nerveux dans les paralysies du plexus brachial. Chirurgie de la main. 2009 ; 28 : 1–9.

[55] Ray WZ, Pet MA, Yee A, Mackinnon SE. Double fascicular nerve transfer to the biceps and brachialis muscles after brachial plexus injury: clinical outcomes in a series of 29 cases. J Neurosurg. 2011 ; 114 :1520-1528.

[56] Richardson PM. Recovery of biceps function after delayed repair for brachial plexus injury. J Trauma. 1997 ; 42(5):791-2.

[57] Ruch, D. S., Friedman, A., and Nunley, J. A. The restoration of elbow flexion with intercostal nerve transfers. Clin. Orthop. 1995; 314: 95.

[58] Samardzic MM, Grujicic DM, Rasulic LG, Milicic BR. The use of thoracodorsal nerve transfer in restoration of irreparable C5 and C6 spinal nerve lesions. Br J Plast Surg. 2005; 58: 541–546.

[59] Samardzic M, Grujicic D, Rasulic L, Bacetic D. Transfer of the medial pectoral nerve: myth or reality? Neurosurgery. 2002; 50:1277– 1282.

[60] Saxod R, Torch S, Vila A, Stoebner P. The density of myelinated fibres is related to the fascicle diameter in human superficial peroneal nerves. J. Neurol. Sci., 1985 ; 71 : 49-64.

[61] Seddon HJ. Nerve grafting: Fourth Watson-Jones lecture of the Royal College of Surgeons of England. J Bone Joint Surg [Br]. 1963; 45-B:447-61.

[62] Seddon HJ. In : Surgical Disorders of the Peripheral Nerves. Edited by Churchill Livingstone. Edinburgh : 2nd Ed. ; 1975: 187.

[63] Shigematsu K, Hiroshi Yajima, Yasunori Kobata, Kenji Kawamura, Naoki Maegawa and Yoshinori Takakura. Oberlin partial ulnar nerve transfer for restoration in obstetric brachial plexus palsy of a newborn: case report. Journal of Brachial Plexus and Peripheral Nerve Injury. 2006 ; 1:3-9.

[64] Songcharoen P, Mahaisavariya B, Chotigavanich C. Spinal accessory neurotization for restoration of elbow flexion in avulsion injuries of the brachial plexus. The Journal of hand surgery. 1996; 21(3):387-390.

[65] Songcharoen P, Wongtrakul S, Spinner RJ. Brachial plexus injuries in the adult nerve transfers: the Siriraj Hospital experience. Hand clinics. 2005; 21(1): 83-89.

[66] Steindler A. A muscle plasty for the relief of flail elbow in infantile paralysis. Interstate Med J 1918; 35:235–241.

[67] Sunderland S. In: Nerves and nerves injuries. Edited by Churchill Livingstone. Edinburgh ; 1972.

[68] Sungpet A., Suphachatwong C., Kawinwonggowit V. Patradul A. Transfer of a single fascicle from the ulnar nerve to the biceps muscle after avulsions of upper roots of the brachial plexus. Journal of Hand Surgery British and European Volume. 2000 ; 25B: 325-328.

[69] Suzuki O, Sunagawa T, Ochi M. Use of quantitative intra-operative electrodiagnosis during partial ulnar nerve transfer to restore elbow flexion: the treatment of eight patients following a brachial plexus injury. J Bone Joint Surg Br. 2011; 93(3):364-9.

[70] Takahashi, T. Studies on conversion of motor function in intercostal nerves crossing for complete brachial plexus injuries of root avulsion type. J. Jpn. Orthop. Assoc. 1983; 57: 1799.

[71] Teboul F., Kakkar R., Ameur N., Beaulieu JY and Oberlin C. Transfer of Fascicles from the Ulnar Nerve to the Nerve to the Biceps in the Treatment of Upper Brachial Plexus Palsy. J Bone Joint Surg Am. 2004; 86:1485-1490.

[72] Tsuyama N, Hara T: Intercostal nerve transfer in the treatment of brachial plexus injury of root avulsion type. Excerpta Med. 1972 ; 291:352.

[73] Tung TH, Mackinnon SE. Nerve transfers: indications, techniques, and outcomes. J Hand Surg Am. 2010; 35(2):332-41.

[74] Tuttle H. Exposure of the brachial plexus with nerve transplantation. J.A.M.A. 1913 ; 61 : 15.

[75] Venkatramani H, Bhardwaj P, Faruquee SR and Sabapathy S Raja. Functional outcome of nerve transfer for restoration of shoulder and elbow function in upper brachial plexus injury. Journal of Brachial Plexus and Peripheral Nerve Injury. 2008 ; 3:15-22.

[76] Waikakul, S., Wongtragul, S., and Vanadurongwan, V. Restoration of elbow flexion in brachial plexus avulsion injury: Comparing spinal accessory nerve transfer with intercostal nerve transfer. J. Hand Surg. Am. 1999; 24: 571.

[77] Xu WD, Gu YD, Xu JG, Tan LJ: Full-length phrenic nerve transfer by means of video-assisted thoracic surgery in treating brachial plexus avulsion injury. Plastic and reconstructive surgery. 2002 ; 110(1):104-111.

ANNEXE 1 : Fiche d'évaluation

Age (au moment du geste chirurgical)
Sexe
Latéralité
Côté dominant (avant traumatisme)
Type accident
Avulsion/ Rupture radiculaires (IRM)
Traumatisme crânien (Hémorragie intra-crânienne) Traumatisme cervical (Fracture/Entorse grave)
Tabac
Date opération Neurotisation réalisée
Délai opératoire (mois) (entre traumatisme et chirurgie)
Atteinte plexuelle
Greffes nerveuses supra-claviculaires
Avulsion/ Rupture radiculaires (per-opératoire)
Rééducation (compliance)
Transfert tendineux secondaire
Délai M1 (mois)
Délai M3 (mois)
Délai M4 (mois)

Force (biceps) British Medical Research Council M0 à M5 Poids au niveau main supination KG Effet indésirable type Steindler (cocontraction synchrone des fléchisseurs du poignet)	
Force (brachial antérieur) British Medical Research Council M0 à M5 Poids au niveau main pronation KG	
Mobilités actives coude	Score modifié de Narakas (épaule)
Extension	Abduction
Flexion	M0 Pas de contraction M1 Contraction n'entraînant pas de mouvement M2 Abduction de 60° M3 Abduction de 60° et position tenue pendant 10 secondes M4 Abduction de 60° contre résistance appliquée au coude M5 Abduction de 60° contre résistance appliquée à l'avant-bras
Pronation	Rotation externe
Supination	M0 Pas de contraction M1 Contraction n'entraînant pas de mouvement M2 En rotation interne complète, pas de rotation externe active possible M3 Position tenue en rotation neutre pendant 10 secondes M4 Rotation externe active contre résistance appliquée au 1/3 proximal de l'avant-bras M5 Rotation externe active contre résistance appliquée au poignet
Force de serrage KG (Jamar) Opéré Sain	
Pince pouce index KG (Key pinch) Opéré Sain	

Déficit sensitif territoire ulnaire
(Evaluation clinique comparative par rapport au côté contro-latéral)

Weber (pulpe D5)

Troubles sensitifs

Déficit moteur territoire ulnaire
(Evaluation clinique comparative par rapport au côté contro-latéral)

Amyotrophie

Interosseux dorsaux

Adducteur pouce

Interosseux

Fléchisseur profond annulaire

Fléchisseur profond auriculaire

Abducteur auriculaire

Fléchisseur ulnaire carpe

Signe de Froment

Signe de Wartenberg

Griffe ulnaire

Déficit sensitif territoire médian
(Evaluation clinique comparative par rapport au côté contro-latéral)

Weber (pulpe D2 et D3)

Troubles sensitifs
(pulpe D2 et D3)

Déficit moteur territoire médian
(Evaluation clinique comparative par rapport au côté contro-latéral)

Amyotrophie

Cout abducteur pouce

Fléchisseur profond index

Fléchisseur profond majeur

Fléchisseur radial carpe

ANNEXE 2 : Mécanismes des traumatismes et lésions nerveuses du plexus brachial.

Lors d'un traumatisme par étirement du plexus brachial, les lésions peuvent concerner les racines, les troncs nerveux ou les branches terminales. Elles sont plus ou moins étendues, et parfois étagées.

Les avulsions radiculaires sont retrouvées dans près de 75 % des lésions supra-claviculaires, intéressant au moins une racine sur les 5. Deux mécanismes en sont à l'origine, l'un périphérique, le plus fréquent, par étirement du plexus, l'autre plus rare, central, résultant de traumatismes directs du rachis cervical [40].

Avulsion radiculaire – mécanisme périphérique

Le mécanisme périphérique intervient lorsque les forces de traction sur le membre supérieur dépassent la limite de résistance des attaches fibreuses des racines.
Il s'agit d'une traction centrifuge par écartement de l'épaule par rapport au rachis cervical. Dans ce contexte, le fourreau méningé est souvent arraché et se retrouve dans le canal foraminal (Figure N°1). Le bilan d'imagerie retrouve une pseudo-méningocèle [40].
En général, les forces d'étirement appliquées sur le plexus lors du traumatisme n'intéressent pas un seul mais deux, voire trois niveaux lésionnels voisins, avec des lésions de degrés différents (neurapraxie, axonotmésis, neurotmésis) à l'intérieur d'un même tronc nerveux selon Sunderland [67].

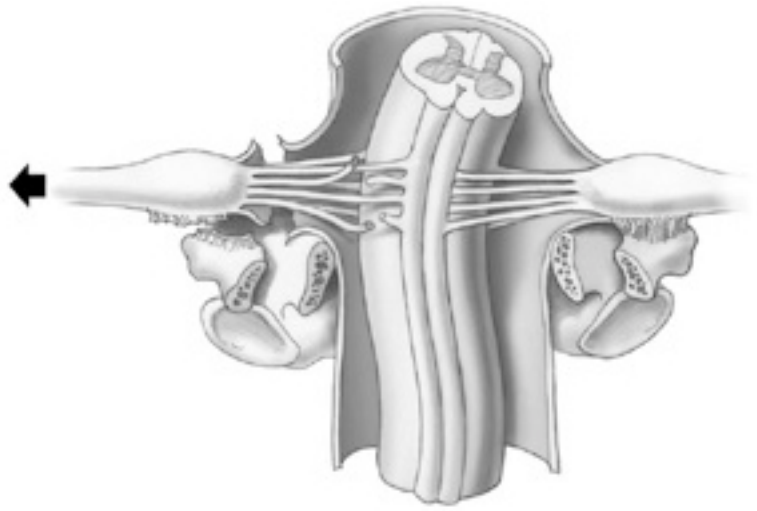


Figure N°1 : Avulsion radiculaire – mécanisme périphérique

Avulsion radiculaire – mécanisme central

L'avulsion radiculaire par mécanisme central résulte du déplacement longitudinal ou transversal de la moelle épinière à l'intérieur du fourreau méningé. L'avulsion des radicelles se produit sur le versant concave de l'inflexion médullaire; la racine demeure alors fixée dans le foramen (Figure N°2), et l'on ne retrouve pas de rupture du manchon épidural mais une discontinuité entre la moelle et les radicelles à l'imagerie. Il n'existe alors pas de pseudo-méningocèle, les radicelles gardant des rapports avec le fourreau méningé [40].

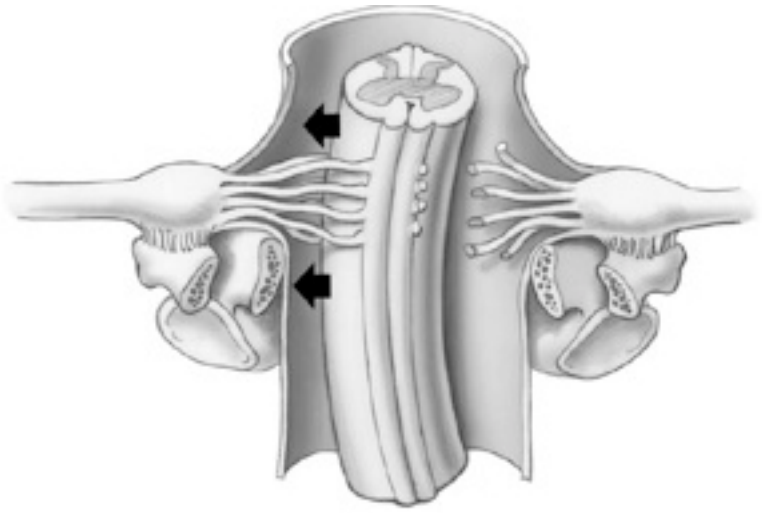


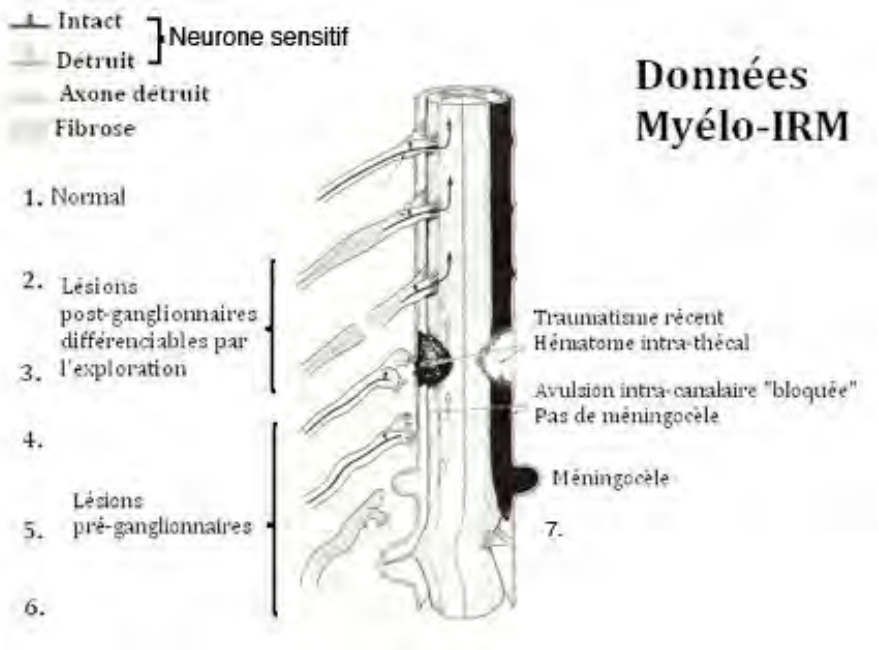
Figure N°2 : Avulsion radiculaire – mécanisme central

Il faut distinguer les lésions pré-ganglionnaires, qui se situent en amont du ganglion spinal postérieur et qui réalisent une avulsion radiculaire, des lésions post-ganglionnaires qui se situent en aval de ce ganglion (Figure N°3).

Les lésions pré-ganglionnaires correspondent à l'arrachement de la moelle épinière des radicelles formant les racines antérieures et postérieures du plexus brachial. Ces lésions sont plus fréquentes pour les racines C8 et T1 mais sont aussi retrouvées dans la moitié des cas lorsque les lésions concernent les racines C5 et C6.

Les lésions post-ganglionnaires se situent soit au niveau du nerf rachidien après le canal transversaire, soit au niveau des troncs primaires ou secondaires ou encore sur les branches terminales.

Il est important de distinguer ces lésions pré-ganglionnaires des lésions post-ganglionnaires car ces dernières peuvent être accessibles à une réparation directe. Il faut également garder à l'esprit la notion de lésions étagées. Leur méconnaissance en cas de réparation proximale peut venir entacher le résultat escompté.



1	Normal	
2	Lésions post-ganglionnaires	Axonotmésis
3		Rupture radiculaire. Neurotmésis
4	Lésions pré-ganglionnaires	Avulsion radiculaire récente. Hématome intra-thécal
5		Avulsion intra-canalaire bloquée
6		Avulsion radiculaire, avec arrachement du fourreau méningé.
7	Attraction de la moelle par une adhérence à la méningocèle	

Figure N°3 : Représentation des différents types de lésions du plexus brachial [62].

ANNEXE 3 : Transferts musculo-tendineux

Lorsque le délai de dénervation est dépassé ou après un échec d'une chirurgie nerveuse primaire ; un transfert tendineux pédiculé peut être proposé.
Ce transfert peut également être réalisé pour potentialiser une récupération partielle de la flexion du coude après chirurgie nerveuse (M1 ou M2).
Dans un premier temps un bilan par testing clinique est réalisé, qui peut être complété par un électromyogramme. Le muscle choisi perd un grade de la classification BMRC pendant le transfert. Il est donc nécessaire pour être efficient de sélectionner un muscle côté au minimum M4 [25].

Les inconvénients principaux des transferts tendineux résident dans la modification biomécanique et dans le risque d'adhérences cicatricielles [11, 55, 71].

De nombreux transferts musculaires pédiculés ont été décrits pour restaurer la flexion du coude. Actuellement, nous retenons deux transferts pour traiter les atteintes plexuelles hautes anciennes (tableau N°20).

Flexion active avec un arc de mobilité d'au moins 100°
Absence de mouvements parasites
Ligne d'action directe des fibres musculaires du transplant
Muscle antagoniste des fléchisseurs du coude proscrit
Long pédicule mobilisable
Transfert musculaire coté au minimum M4
Intégration corticale facile dans le schéma moteur

Tableau N° 20 : « Cahier des charges » du transplant idéal pour la restauration de la flexion du coude.

_Transfert des épitrochléens selon Steindler [35, 66]

Le but de cette procédure est de potentialiser l'action des muscles épitrochléens qui sont en partie fléchisseurs du coude par leur insertion humérale. L'intervention consiste à modifier le bras de levier en transférant les muscles épitrochléens sur une pastille osseuse (4 à 6 cm en proximal). L'épitrochlée est sectionnée à la scie oscillante après préparation de l'orifice de la vis qui va servir à la réinsérer (figure N°6). Compte tenu du principe même de ce transfert, un flessum de l'ordre de 30° du coude en est la rançon principale. Une attention particulière doit être portée dans le suivi post-opératoire à la recherche d'un bris du matériel ou d'un refend au niveau de la pastille osseuse, nécessitant parfois une reprise chirurgicale.

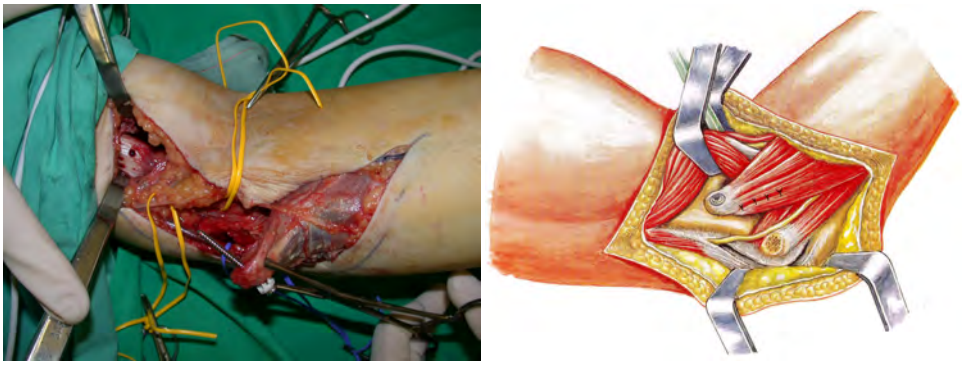


Figure N° 6 : Transfert des muscles épitrochléens (Photothèque Pr Dap et [41])

_ Transfert pédiculée du muscle *lattisimus dorsi*

Le nerf thoracodorsal reçoit des afférences des racines C7, C8 et parfois C6. Nous privilégions le prélèvement conjoint d'une palette cutanée permettant d'une part le monitoring post-opératoire, et d'autre part la réalisation d'une plastie d'agrandissement pour accueillir le volume musculaire.

La fixation proximale dans la technique bipolaire se fait classiquement au niveau de l'apophyse coracoïde en dehors de l'insertion du coraco-brachial (Figure N°8). Pour la fixation distale, le muscle peut être divisé en deux parties : l'une est fixée au tendon terminal du biceps, l'autre est passée sous la peau médiale de l'extrémité proximale de l'avant-bras, et est fixée par une série de points transosseux au niveau de la crête ulnaire. On augmente ainsi le bras de levier potentiel du transfert. On reconstruit, d'une certaine façon, l'expansion aponévrotique du biceps.

Enfin le réglage de la tension doit être telle que l'avant bras-en supination maximale-reste à angle droit contre la pesanteur.



Figure N° 7 : Transfert bipolaire du muscle *latissimus dorsi* chez un patient atteint d'une paralysie C5C6 cinq ans après le traumatisme initial. (Photothèque Pr Dap)

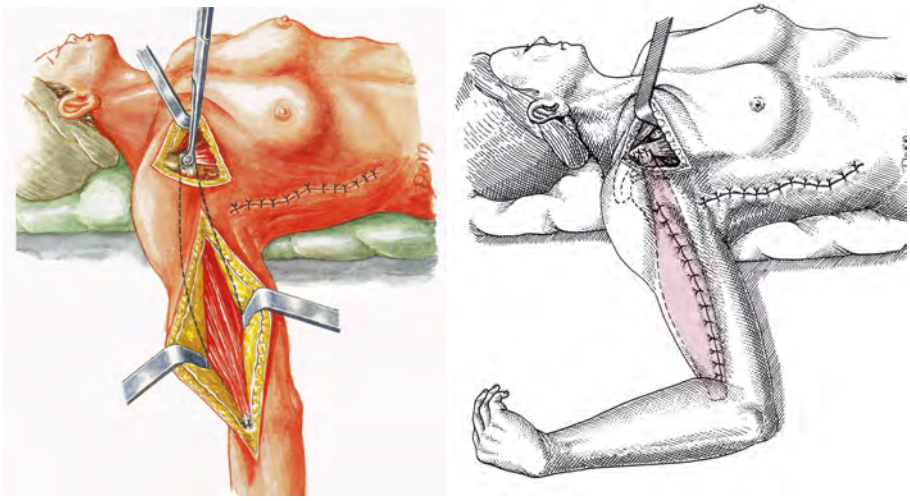


Figure N° 8 : Transfert bipolaire du muscle *latissimus dorsi* [41].

Deux transferts musculaires libres microanastomosés réinnervés sont rapportés dans la littérature pour la restauration de la flexion du coude [8, 17, 18, 52], le muscle *latissimus dorsi* et le muscle g*racilis* (figure N°8). Bien que le prélèvement du muscle *gracilis* soit peut-être techniquement plus difficile, que la force restituée soit plus faible, la morbidité sur le site donneur est incontestablement moindre [53].

Concernant le choix du nerf donneur, deux greffons sont rapportés dans la littérature : l'utilisation du nerf accessoire et celle des nerfs intercostaux. Doi a réalisé une série de doubles transferts libres, faisant appel au nerf accessoire pour le premier transfert, et aux nerfs intercostaux pour le deuxième. L'auteur était en faveur de l'utilisation primaire du nerf accessoire [17, 18].



Figure N° 9 : Transfert du muscle *gracilis* microanastomosé (tronc thoracoacromial) et réinnervé (3ème et 4ème nerfs intercostaux ou nerf accessoire/XI) [8]

AUTORISE À SOUTENIR ET À IMPRIMER LA THÈSE/*3660*

NANCY, le **18 juillet 2011**

LE PRÉSIDENT DE L'UNIVERSITÉ DE NANCY 1
Par délégation

Madame C. CAPDEVILLE-ATKINSON

RESUME DE LA THESE
Introduction : afin de restaurer une fonction en ciblant un ou plusieurs muscle(s) déficitaire et de diminuer le temps de dénervation, différents opérateurs ont cherché à rapprocher le front de repousse axonale au plus près de la jonction neuro-musculaire. La flexion du coude représente un modèle simple, pour lequel ce concept a été appliqué au début des années 90 par Oberlin à partir d'un transfert partiel du nerf ulnaire. Au niveau du canal brachial les transferts nerveux sont indiqués pour la restauration de la flexion du coude dans les paralysies C5C6 ou C5C6C7 avec avulsion des racines. Ils peuvent également être utilisés en complément de greffes nerveuses.

Matériel et méthode : vingt-neuf patients ont été opérés d'avril 2003 à janvier 2010. Quinze « simple transfert » (transfert partiel du nerf ulnaire sur le nerf du biceps) et quatorze « double transfert » (simple transfert et transfert partiel du nerf médian sur le nerf du brachialis) ont été réalisés. L'âge moyen était de 30,2 ans, le délai opératoire moyen était de 6 mois, et le recul moyen de 34,3 mois. Nous avons choisi pour l'évaluation finale un recul minimum d'au moins 15 mois. Les deux populations présentaient des caractéristiques cliniques équivalentes, excepté pour la proportion des paralysies C5C6 qui était de 20% dans le groupe « simple transfert » et de 50% dans le groupe « double transfert ».

Résultats : dans le groupe simple transfert 60% des patients ont récupéré une force M4 au dernier recul, avec une force de 2,2 kg avant-bras en supination. Le délai moyen de restauration d'une force M4 était de 13,2 mois. Dans tous les cas d'atteinte C5C6 (3 cas) les patients ont récupéré une force M4. Dans le groupe double transfert 85% des patients ont récupéré une force M4, avec une force de 2,9 kg. Le délai moyen de restauration d'une force M4 était de 11 mois. Dans tous les cas d'atteinte C5C6 (7 cas) les patients ont récupéré une force M4. Nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les deux groupes.
Dans la population complète la force de préhension globale (JAMAR) atteignait 50% de la force contro-latérale. Le délai de réinnervation (cotation M1) moyen était de 5,1 mois. 77,3 % des patients âgés de moins de 40 ans ont récupérés une force M4, contre 57,1 % des patients de plus de 40 ans. Pour un délai opératoire inférieur ou égale à 6 mois 75% des patients ont récupérés une force M4.
4 transferts des épitrochléens (Steindler) ont été réalisés en cas d'échec de la neurotisation (3 dans le groupe « simple transfert »).7 patients présentaient un déficit au testing clinique comparativement au côté controlatéral; 3 patients avec un déficit sensitif, et 4 patients avec un déficit moteur. Aucune gêne n'était exprimée par les patients.

Conclusion : les résultats de notre série sont comparables à ceux de la littérature. La double neurotisation nous semble permettre l'obtention de meilleurs résultats dans la proportion de force M4 et dans le délai de restauration d'une force M4, malgré la proportion plus importante d'atteinte C5C6 (pas de différence significative établie). Les patients avec une atteinte C5C6 présentaient de meilleurs résultats dans le délai de récupération et dans la force contre résistance. Ce résultat n'est pas seulement lié aux compensations que le patient utilise, mais bien à la plus grande efficacité des muscles biceps et brachialis réinnervés. L'analyse clinique retrouvait un déficit dans 7 cas sur 29, déficit considéré comme non gênant par le patient.

Titre en Anglais :
Elbow flexion recovery in C5C6 and C5C6C7 post-traumatic palsies.
Comparaison of single versus double nerve transfers. Study of 29 patients.

Chirurgie nerveuse - Année 2011

Mots-clés : plexus brachial – neurotisation – flexion - coude

Intitulé et Adresse de l'UFR:
Faculté de Médecine de Nancy
9 avenue de la Forêt de Haye
54505 VANDOEUVRE-LES-NANCY Cedex.