

Quelle chirurgie pour le traitement de la spasticité du membre supérieur ? Techniques et indications

Surgical Treatment of the Spastic Upper Limb: Techniques and Indications

Caroline Leclercq

Institut de la Main - Clinique Jouvenet - 6 square Jouvenet - 75016 Paris.

Mots clés

- ◆ Spasticité
- ◆ Membre supérieur
- ◆ Toxine botulinique
- ◆ Chirurgie de la spasticité
- ◆ Neurectomie sélective
- ◆ Allongements tendineux
- ◆ Transferts tendineux.

Résumé

Les étiologies de la spasticité sont diverses : paralysie cérébrale, traumatisme crânien, accident vasculaire cérébral, tétraplégie traumatique ou non, en particulier incomplète.

Toute la difficulté du traitement chirurgical réside dans ses indications. La chirurgie n'est envisagée que dans certains cas sélectionnés sur des critères précis.

C'est dire l'importance de l'examen clinique. Ce dernier est particulièrement difficile au membre supérieur, sujet à variations et à interprétations diverses. Il est multidisciplinaire, comprenant l'équipe médicale, les rééducateurs (kinésithérapeutes, ergothérapeutes) et l'équipe chirurgicale. Il étudie tous les éléments contribuant à la déformation et au déficit fonctionnel : la spasticité, les rétractions musculaires, et les déficits moteurs et sensitifs. Il se termine par l'évaluation fonctionnelle du membre supérieur, permettant de définir le but de la chirurgie : fonction, douleur, nursing, vie sociale.

Le but des interventions est de rééquilibrer les forces en présence en atténuant la spasticité, en libérant les rétractions musculaires et ou articulaires, et en réanimant les fonctions paralysées.

La spasticité, quand elle est isolée, peut être atténuée par neurectomie hypersélective.

Les rétractions musculaires sont traitées par allongement, qui peuvent se faire à plusieurs niveaux : insertion proximale, jonction tendino-musculaire ou tendon.

Les raideurs articulaires concernent surtout le poignet. Quand elles sont sévères, elles peuvent nécessiter une arthrodeuse en bonne position.

Si l'objectif est fonctionnel il est parfois possible de réanimer les muscles paralysés par transfert tendineux (extenseurs du poignet).

Dans la mesure du possible, on effectue tous les gestes chirurgicaux en un temps.

Keywords

- ◆ Spasticity
- ◆ Upper limb
- ◆ Botulinum toxin
- ◆ Surgery of spasticity
- ◆ Selective neurectomy
- ◆ Tendon lengthening
- ◆ Tendon transfer

Abstract

Spasticity is characterized by muscle hypertonia, caused by an increase of the stretch reflex mechanism. It may occur in several circumstances: *cerebral palsy*, head injury, stroke, *tetraplegia* (most frequently when it is incomplete)

The main difficulty of the surgical treatment lies in defining the proper indications. Only a selected proportion of patients will benefit from surgery. Clinical examination is the key to adequate selection of the patients. It is arduous in the upper limb, because of the variability of the clinical picture, and the difficulty of an objective evaluation of spasticity. It should be performed as a team by all specialists involved in the care of the patient. It involves the assessment of all elements contributing to the deformity and the functional impairment: spasticity, muscle contractures, motor and sensory deficit, as well as the assessment of the upper limb function. This examination will help deciding on the goal of surgery: functional, pain, nursing, appearance.

The goal of surgery is to rebalance the forces: reduction of spasticity, release of muscle and joint contractures, and restoration of paralysed movements. Spasticity can be treated by selective neurectomy, muscle contractures can be released at different levels (muscle origin, musculo-tendinous junction, intra-tendinous). Joint stiffness predominates at the wrist: when severely deformed, it may require a correcting arthrodesis. If the goal of surgery is function, tendon transfers may be performed (mostly for restoring wrist extension).

As far as possible, all procedures are performed during the same operative session.

Selon la définition classique de Lance (1980), la spasticité est une atteinte motrice caractérisée par une augmentation du réflexe d'étirement, c'est-à-dire du tonus musculaire, avec exagération des réflexes musculaires (1). Sa présentation est variée et complexe.

Les étiologies de la spasticité du membre supérieur sont diverses : paralysie cérébrale (PC) survenant à la naissance ou dans la petite enfance, traumatisme crânien (TC), accident vasculaire cérébral (AVC), tétraplégie traumatique ou non, en particulier incomplète.

Correspondance :

Caroline Leclercq

Institut de la Main - Clinique Jouvenet - 6 square Jouvenet - 75016 Paris.

Tel : 01 42 15 42 02 / E-mail : caroline.leclercq@institutdelamain.com

Disponible en ligne sur www.academie-chirurgie.fr

1634-0647 - © 2016 Académie nationale de chirurgie. Tous droits réservés.

DOI : 10.14607/emem.2016.1.000

Toute la difficulté du traitement chirurgical réside dans ses indications. La chirurgie n'est envisagée que dans certains cas sélectionnés sur un certain nombre de critères précis.

C'est dire l'importance de l'examen clinique. Ce dernier est difficile, sujet à variations et à interprétations diverses. Il doit être conduit par une équipe multi-disciplinaire expérimentée comprenant l'équipe médicale (médecin de rééducation, neurologue...), les intervenants de rééducation (kinésithérapeutes, ergothérapeutes) et l'équipe chirurgicale. L'environnement doit être propice, rassurant, avec des outils d'évaluation adaptés à l'âge du patient. Les enregistrements vidéo des sessions précédentes sont visualisés en début de consultation. Les éventuels gestes douloureux sont réalisés à la fin de l'examen.

Les étapes de l'examen clinique

Elles comprennent l'étude de la spasticité, des éventuelles rétractions musculaires, de la motricité et de la sensibilité. Elles se terminent par l'évaluation fonctionnelle en situation d'examen et dans la réalité des activités de la vie quotidienne (AVQ) (2).

La spasticité

La *spasticité* est étudiée pour chaque groupe musculaire. Elle prédomine habituellement sur les muscles adducteurs, fléchisseurs, pronateurs, et l'inclinaison ulnaire. Elle est responsable de l'attitude habituelle en adduction d'épaule, flexion du coude, pronation de l'avant-bras, flexion et inclinaison ulnaire du poignet, flexion des doigts et pouce dans la paume. Elle peut être très variable en fonction de la température, des conditions d'examen, de la fatigue ou de l'émotivité du patient, et justifie qu'on répète l'examen à plusieurs reprises avant toute prise de décision chirurgicale.

La rétraction musculaire

La *rétraction musculaire*, secondaire à la spasticité, touche les mêmes groupes musculaires que la spasticité, dont elle est parfois très difficile à dissocier (exemple : spasticité ET rétraction musculaire des muscles fléchisseurs du poignet). En principe on les distingue car la spasticité finit par céder alors que la rétraction musculaire persiste quelle que soit la force appliquée et sa durée. En cas de doute le recours à la toxine botulique permet de faire la différence : la spasticité disparaît alors que la rétraction musculaire persiste. Au niveau des doigts, la rétraction des muscles fléchisseurs superficiels et profonds peut être évaluée par la mise en flexion du poignet. Les *déformations articulaires* sont souvent une conséquence des rétractions musculaires. Chez l'adulte, elles touchent particulièrement l'épaule (raideur en adduction et rotation interne) et le coude (raideur en flexion).

Les raideurs sont rares chez l'enfant ; dans le cadre de la paralysie cérébrale, les plus fréquentes sont la limitation de l'extension du poignet, et la limitation de la prono-supination (défaut de supination), par rétraction de la membrane interosseuse. On note plus souvent chez l'enfant des hyperlaxités articulaires, en particulier au niveau de la main : hyperextension MP du pouce, déformation en col de cygne des doigts longs.

La motricité

L'examen moteur n'est pas facile dans ce contexte. Il évalue les différents groupes musculaires concourant à la même fonction, plutôt que les muscles individuels.

Les muscles spastiques sont habituellement actifs. Les fléchisseurs des doigts sont difficiles à tester quand le poignet est

déformé en hyperflexion, et leur valeur est fréquemment sous-estimée. Des contractions involontaires peuvent accompagner l'activité motrice homo-latérale, et même contralatérales.

Les muscles antagonistes (extenseurs, supinateurs) sont souvent paralysés, ou rendus pseudo-paralytiques par hypertonie des muscles spastiques. Plutôt que l'électromyogramme, qui ne donne pas de renseignement quantitatif sur la valeur des muscles, c'est souvent la toxine botulique qui, en atténuant les muscles spastiques, permettra de tester la valeur réelle de ces muscles.

L'examen moteur évalue également les mouvements anormaux (paralyse cérébrale), qui peuvent être une contraindication à une chirurgie à visée fonctionnelle.

La fonction

Elle est testée à l'aide d'un certain nombre d'objets de taille et de poids différents, sans oublier la fonction bi-manuelle (« poupées russes », plateau, lacets...). Des épreuves fonctionnelles standardisées (Box and Block, Nine Hole Peg...) permettent d'établir des comparatifs intra- et inter-patients. L'interrogatoire du patient et de sa famille renseigne précisément sur l'utilisation réelle du membre supérieur atteint à la maison et dans les activités de la vie quotidienne.

Enfin le contexte neurologique et général est soigneusement évalué :

- Autres atteintes musculo-squelettiques (hémiplegie, quadriplégie...) avec évaluation des éventuelles aides techniques et prises nécessaires à la locomotion (joystick, barre...)
- Evaluation des fonctions supérieures et des éventuels problèmes de communications, stabilité émotionnelle
- Environnement familial et médical (motivation, support familial, possibilités de rééducation post-opératoire...)

Au terme de cet examen, on peut tenter de classer le membre supérieur selon les différentes classifications existantes à visée chirurgicale (3,4) ou fonctionnelles (5-8). Ces différentes échelles ont chacune leur intérêt, mais ne contribuent pas beaucoup, en pratique, à la prise de décision chirurgicale.

Les examens para-cliniques

Les études électromyographiques n'ont, dans notre expérience, pas beaucoup d'intérêt pour apprécier la fonction motrice, car leurs résultats ne sont pas quantitatifs. Par contre elles peuvent être très utiles dans le choix d'un muscle en vue d'un transfert tendineux (9).

Les radiographies apprécient les déformations articulaires. Les troubles de croissance ostéo-articulaires sont rares, même en cas de déformation importante (poignet).

La toxine botulique est très utile dans l'étape diagnostique : elle permet de faire la part de la spasticité et des rétractions musculaires ; et elle permet d'apprécier la valeur réelle des muscles pseudo-paralytiques en atténuant la spasticité des muscles antagonistes. Elle est également intéressante dans l'étape de prise de décision chirurgicale : quand les injections apportent une amélioration fonctionnelle, leur effet peut être reproduit de façon pérenne par une intervention chirurgicale. Quand elle n'est pas disponible, les blocs anesthésiques peuvent donner des renseignements utiles, s'ils sont bien pratiqués au niveau du point moteur.

Déterminer les objectifs - Indications

L'objectif premier est *d'améliorer la fonction*. Mais il n'est pas toujours réalisable, soit par impossibilité technique (manque de muscles transférables), soit si d'autres troubles sont au-devant de la scène (déficit sensitif majeur, mouve-

ments anormaux, troubles cognitifs importants...), soit par manque de moyens (absence d'environnement de rééducation), ou par manque d'intérêt ou de coopération.

Il trouve ses meilleures indications chez l'enfant jeune, motivé, et bien entouré. Chez l'adulte hémiplégique séquellaire d'AVC, il existe souvent dans l'hémiplégie droite par atteinte de l'hémisphère non dominant une héminegligence qui interdit tout espoir d'amélioration fonctionnelle.

La chirurgie peut également être indiquée pour *améliorer le confort* du patient ou de ses aidants : atténuer les douleurs, faciliter l'hygiène et le nursing. Dans ces cas, ce sera essentiellement une chirurgie de libération des rétractions musculaires, ou parfois d'arthrodèse.

Dans certains cas la demande est essentiellement *esthétique* (indication dite « de vie sociale »). C'est souvent le cas des adolescents hémiplégiques, qui souhaitent essentiellement corriger la déformation du membre supérieur (flessum de coude, flessum du poignet), sans demande particulière vis-à-vis du handicap fonctionnel auquel ils se sont habitués. Il faut être attentif à leur demande, et ne pas chercher forcément à proposer une amélioration fonctionnelle, qui au final risque de ne pas être utilisée.

Dans tous les cas les buts de l'intervention sont définis avec le patient, son entourage, et l'équipe et clairement expliqués. La réalisation de l'objectif fait partie des critères d'évaluation des résultats (10).

Il existe des contraindications à cette chirurgie, telles les lésions centrales associées au-devant de la scène (traumatismes crâniens, AVC), les espoirs irréalistes, une mauvaise compliance aux traitements. Quand l'objectif est fonctionnel, il faut s'assurer de l'absence ou de la modicité des troubles sensitifs.

Les interventions chirurgicales : le concept de rééquilibrage des forces

C'est l'évaluation de chaque type d'atteinte qui va guider le choix de la thérapeutique chirurgicale. Ces différents éléments sont souvent associés, et contribuent chacun à la déformation et au déficit fonctionnel. Le but des interventions est de rééquilibrer les forces en présence en atténuant la spasticité, en libérant les rétractions musculaires et ou articulaires, et en réanimant les muscles (ou plutôt les groupes musculaires) paralysés.

On essaie dans la mesure du possible d'effectuer tous ces gestes au cours de la même session opératoire. Quand ce n'est pas possible, on intervient d'abord sur les articulations proximales, puis distales

Atténuation de la spasticité

La spasticité, quand elle est isolée, peut être atténuée par neurectomie partielle. Plutôt que la neurotomie tronculaire qui n'est pas très sélective, et qui présente le risque de lésion des fascicules sensitifs, nous utilisons la neurectomie hyper-sélective sous grossissement optique (microscope opératoire ou loupes chirurgicales). Il s'agit d'aborder le rameau moteur de chacun des muscles à traiter, et de réséquer une partie de ses fascicules (habituellement les 2/3) à leur point d'entrée dans le muscle (11). Des études anatomiques récentes ont permis d'établir une cartographie précise des nerfs moteurs et de leurs branches terminales au niveau du membre supérieur (12-14). Cette technique, qui permet d'atténuer la spasticité tout en conservant une force musculaire suffisante, fera l'objet d'un article séparé.

Libération des rétractions musculaires

De nombreux gestes chirurgicaux ont été proposés. Ils ont chacun leurs indications propres.

1-La ténotomie est utilisée essentiellement pour le Flexor Carpi Ulnaris (FCU), et le Pronator Teres (PT). C'est un geste simple, mais définitif. Avant d'y avoir recours, on doit s'assurer que le muscle en question ne peut pas être utile comme transfert tendineux. Dans le cas particulier du Pronator Teres, la rétraction du muscle peut être associée à une rétraction secondaire de la membrane inter-osseuse, qui devra être libérée dans le même temps.

Les ténotomies sont également utilisées au niveau de l'épaule, en particulier au niveau du grand pectoral et du grand dorsal, afin de libérer les rétractions en adduction.

2-Les allongements tendino-musculaires peuvent se faire à quatre niveaux :

- *A l'insertion proximale du muscle.* Cette dernière est détachée de l'os, on la laisse glisser en distal où elle se réinsère spontanément. Cette technique est pratiquée essentiellement pour les muscles épitrochléens et les fléchisseurs des doigts. La classique désinsertion associée des fléchisseurs du poignet et des doigts (intervention de Scaglietti-Page) est une intervention délabrante, demandant une dissection étendue, avec un risque d'hématome et de lésions vasculo-nerveuses. Pour les rétractions de la première commissure, la désinsertion du 1er interosseux dorsal et de l'adducteur du pouce peut se faire par une voie d'abord unique commensurale.
- *Au niveau de l'aponévrose musculaire :* on résèque une bande circulaire d'aponévrose autour du corps charnu du muscle, à quelque distance de son insertion proximale. Cette technique élégante décrite par Zancolli pour les muscles épitrochléens n'est efficace que pour les rétractions mineures chez l'enfant.
- *A la jonction musculo-tendineuse,* par incisions fractionnées transversales du tendon en conservant la continuité des fibres musculaires. Il s'agit d'une technique simple et peu délabrante. Elle demande une attention particulière dans le réglage de l'allongement, avec un risque d'hypercorrection, et donc d'affaiblissement important des muscles concernés.
- *Au niveau du tendon* par allongement en Z ou en chevron. Cette technique oblige à une suture tendineuse et à une immobilisation post-opératoire. Nous l'utilisons essentiellement pour le biceps, et le Flexor Carpi Radialis (FCR), où les allongements fractionnés ne sont pas anatomiquement réalisables.

3-Pour les fléchisseurs des doigts, l'allongement peut se faire par transfert des fléchisseurs superficiels sur les profonds (STP : Superficialis to Profundus) (15). Les tendons fléchisseurs superficiels sont sectionnés distalement, les fléchisseurs profonds proximatement, puis ils sont suturés bout à bout en masse, procurant un effet d'allongement. Cette technique peu sélective est en général proposée dans les cas peu fonctionnels, en particulier dans les mains non fonctionnelles d'origine centrale de l'adulte (16), pour des motifs hygiéniques, de nursing, ou de confort. Elle fait perdre toute indépendance digitale.

4-Cas particulier des muscles intrinsèques des doigts.

Le diagnostic de spasticité (+/- rétraction) des muscles intrinsèques des doigts est souvent difficile à cause de l'atteinte prédominante des muscles fléchisseurs. Elle peut être démasquée soit grâce à la toxine, soit secondairement après libération des extrinsèques.

Quand ces muscles sont rétractés, ils peuvent être libérés soit par section de la lame triangulaire de l'extenseur, soit par ténotomie proximale en amont de la MP quand cette dernière est impliquée dans la rétraction.

Au niveau du pouce, les déformations sont souvent complexes, associant une atteinte extrinsèque (long fléchisseur du pouce) et intrinsèque (adducteur du pouce, premier interos-

seux dorsal) qui doivent toutes deux être prises en compte dans les interventions de libération.

Correction des déformations articulaires

Les raideurs articulaires concernent surtout le poignet. Quand elles sont sévères, elles peuvent nécessiter une arthrodèse raccourcissante en bonne position.

Les hyperlaxités sont elles aussi source de déformations articulaires. Elles concernent surtout l'articulation métacarpophalangienne du pouce, avec déformation en hyperextension, et les inter-phalangiennes des doigts longs, avec déformation en col de cygne. On peut les traiter par ténodèse, ou dans le cas du pouce par arthrodèse sésamoïdo-métacarpienne (17).

Réanimation des muscles paralysés

Dans certains cas il est possible de réanimer les muscles paralysés. Ces interventions sont indiquées essentiellement dans les cas où l'on a un objectif de récupération fonctionnelle.

Il existe plusieurs pré-requis :

- Les articulations intéressées doivent être souples, ou avoir été préalablement assouplies
- Le muscle donneur doit être actif et coté au moins à 4 sur l'échelle MRC. Il peut être spastique, mais doit conserver des capacités de relâchement au repos. L'électromyogramme dynamique est très utile pour évaluer les donneurs potentiels.
- Si les muscles antagonistes sont spastiques ou rétractés, ils doivent être traités dans le même temps. Ce rééquilibrage musculaire est indispensable au succès des interventions de transfert tendineux.

Les transferts tendineux concernent le plus souvent les muscles extenseurs du poignet. Les donneurs sont par ordre de fréquence le fléchisseur ulnaire du carpe (FCU), un fléchisseur superficiel des doigts (FS), le fléchisseur radial du carpe (FCR), ou le brachioradialis (BR). Le transfert peut être passé autour du bord ulnaire du poignet (FCU, BR), ou au travers de la membrane interosseuse (FS, FCR). Le cas particulier de l'extenseur ulnaire du carpe (ECU) doit être soigneusement évalué : dans certains cas, il est actif, mais subluxé en avant de l'axe de flexion-extension du poignet, devenant alors un fléchisseur du poignet, ce qui contribue à aggraver la déformation. Il faut alors de le recentrer au dos du poignet.

Au niveau du pouce, les transferts utilisés de réanimation de l'extension du pouce sont quasi-systématiquement associés à un geste de libération de la première commissure, et souvent d'allongement du muscle long fléchisseur du pouce (FPL) (18). La réanimation de la supination peut se faire avec le *pronator teres* (PT), dérivé autour du radius. Si ce dernier est rétracté, son transfert résout les deux problèmes dans le même temps. On doit s'assurer avant le transfert que le *pronator quadratus* est actif, sous peine de créer un nouveau déséquilibre musculaire, avec apparition d'une déformation plus invalidante en supination.

Dans la mesure du possible, on effectue tous les gestes chirurgicaux en un temps, et en tous cas tous les gestes concourant à rétablir l'équilibre d'une articulation. Si on doit procéder en plusieurs étapes, on procède de la racine vers l'extrémité.

Le type de gestes réalisés varie fonction de l'étiologie, de l'âge du patient, et de l'objectif thérapeutique. Le Tableau I compare dans la série de l'auteur les gestes effectués chez 43 enfants et 56 adultes spastiques (2007-2013).

Date des interventions

Dans le cadre de la paralysie cérébrale, les indications chirurgicales doivent être posées tôt, surtout quand une chirurgie fonctionnelle est envisagée. Chez le grand adolescent et l'adulte, en particulier hémiplégiques, les schémas moteurs

	ADULTES n=56 Gestes = 125		ENFANTS n=43 Gestes =143	
Allongement tendineux	67	53 %	54	38 %
Ténotomie	17	14 %	23	16 %
Transfert tendineux	7	6 %	16	11 %
Neurectomie sélective	15	12 %	15	10 %
Ouverture 1e commissure	11	9 %	9	6 %
Arthrodèse poignet	8	6 %	9	6 %

Tableau I. Comparaison des gestes chirurgicaux effectués chez les adultes et chez les enfants spastiques, mettant en évidence la prédominance des gestes d'allongement tendineux chez l'adulte. Par contre, les transferts tendineux sont deux fois plus fréquents chez l'enfant.

sont déjà plus ou moins figés, et l'apprentissage d'une nouvelle fonction, ou d'une modification substantielle de la fonction existante est difficile et parfois très décourageant pour le patient.

Dans les autres situations, les interventions peuvent être programmées précocement devant une déformation qui ne s'améliore pas ou qui s'aggrave malgré une prise en charge de rééducation bien conduite. Quand l'état du patient est stabilisé, elles sont envisagées pour le traitement des séquelles gênantes, en coordination avec l'ensemble de l'équipe soignante.

La chirurgie du membre supérieur spastique a longtemps été ignorée, et n'a pas toujours joui d'une bonne réputation. Les progrès actuels de la prise en charge, et particulièrement l'utilisation de la toxine botulinique, ont permis d'affiner l'analyse des déformations, et de proposer aux patients une chirurgie ciblée, avec des résultats satisfaisants.

Références

1. Lance JW. Symposium synopsis. In: Feldman RG, Young RR, Koella WP, eds. Spasticity: disordered motor control. Chicago: Yearbook Medical; 1980:485-94.
2. Leclercq C. General assessment of the spastic upper limb. *Hand Clin.* 2003;19:557-64.
3. Zancolli EA. Structural and dynamic basis of hand surgery, 2nd edn, Philadelphia, JB, Lippincott, 1979.
4. Goldner JL. The upper extremity in cerebral palsy. *Orthop Clin North Am* 1974;5:389-414.
5. House JH, Gwathmey FW, Fidler MO. A dynamic approach to the thumb-in-palm deformity in cerebral palsy. *J Bone Jt Surg* 1981;63A:216-25.
6. Eliasson AC, Rösblad B, Krumlinde-Sundholm L, Beckung E, Arner M et al. Manual Ability Classification System (MACS) for children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Dev Med Child Neurol* 2006;48:549-54.
7. Holmfur M, Krumlinde-Sundholm L, Bergstrom J, Eliasson AC. Longitudinal development of hand function in children with unilateral cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 2010;52:352-7.
8. Romein E, Bard R. Comment mesurer le retentissement d'un traitement en situation écologique par une évaluation fiable de la fonction manuelle chez les enfants présentant une atteinte unilatérale: le Assisting Hand Assessment (AHA). *Motr Cérébr* 2010; 31:111-8.
9. Hoffer MM. Dynamic electromyography and decision-making for surgery in the upper extremity of patients with cerebral palsy, *J Hand Surg.* 1979;4:424.
10. Allieu Y, Denormandie P, Goubier JN. Main de l'hémiplégiq. *Encyclopédie Médico chirurgicale. Techniques chirurgicales* 2004;44-462.
11. Brunelli G, Brunelli F. Partial selective denervation in spastic palsies (hyponeurotization), *Microsurgery* 1983;4:221-4.
12. Cambon-Binder A, Leclercq C. Anatomical study of the musculocutaneous nerve branching pattern: application for selective neurectomy in the treatment of elbow flexors spasticity. *Surg Radiol Anat.* 2015;37:341-8.
13. Paulos R, Leclercq C. Motor branches of the ulnar nerve to the forearm: an anatomical study and guidelines for selective neurectomy. *Surg Radiol Anat.* 2015;37:1043-8.

14. Parot C, Leclercq C. Anatomical study of the motor branches of the median nerve to the forearm and guidelines for selective neurectomy. *Surg Radiol Anat* 2015;Dec 9 (Epub ahead of print).
15. Braun RM, Vise GT, Roper B. Preliminary experience with superficialis to profundus tendon transfers in the hemiplegic upper extremity. *J Bone Jt Surg* 1974;56(A):466-72.
16. Facca S, Louis P, Isner ME, Gault D, Allieu Y, Liverneaux P. Allongement des fléchisseurs selon Braun dans la main non fonctionnelle d'origine centrale. *Rev Chir Orth* 2010;96:724-30.
17. Tonkin MA, Beard AJ, Kemp SJ, Eakins DF. Sesamoid arthrodesis for hyperextension of the thumb metacarpophalangeal joint. *J Hand Surg.* 1995;20A:334-8.
18. Tonkin M, Freitas A, Koman A, Leclercq C, Van Heest A. The surgical management of thumb deformity in cerebral palsy. *J Hand Surg* 2008;33 E: 77-80.