

Électrostimulation et muscles dénervés : critères de choix des paramètres de stimulation

Électrostimulation en neurologie périphérique : dénervations

L'électrodiagnostic de stimulation, c'est-à-dire la recherche de la rhéobase et de la chronaxie, permet de déterminer si le muscle est innervé ou dénervé et, le cas échéant, le degré de dénervation [1]. Le tracé de la courbe I/t précise et complète le diagnostic.

La dénervation entraîne une paralysie flasque et une atrophie sévère des muscles qui amènent à considérer l'intérêt de la stimulation électrique pour récupérer leur fonction [2].

En cas de paralysie périphérique, le muscle dénervé requiert des impulsions isolées de longue durée, adaptées à l'augmentation de sa chronaxie, pour se contracter.

L'électrostimulation du muscle dénervé, technique pratiquée depuis plus d'un siècle pendant la phase de paralysie périphérique et jusqu'à la réinnervation pour prévenir l'atrophie et la fibrose dues à l'inactivité musculaire, a toujours suscité des controverses en ce qui concerne son intérêt et ses limites, voire ses effets indésirables.

En ce qui concerne les risques, on a longtemps suspecté l'électrostimulation, et notamment les courants téтанisants, de retarder la réinnervation. Mais actuellement, certains auteurs pratiquent une phase de secousses élémentaires produites par des impulsions isolées de longue durée puis, dans un second temps, ils utilisent des fréquences téтанisantes d'environ 20 Hz. Par ailleurs, on étudie l'intérêt de la stimulation électrique pour favoriser la régénération nerveuse.

Intérêt et limites de l'électrostimulation du muscle dénervé

Une revue de la littérature destinée à évaluer les effets de l'électrostimulation sur le muscle

dénervé montre que les résultats sont parfois contradictoires [3].

Un protocole de stimulation de muscles dénervés après lésion du motoneurone spinal a été effectué sur plusieurs années en 4 phases.

1. Le traitement commence avec des impulsions de 150 à 200 ms à la fréquence de 2 Hz pendant une séance de 15 min par jour, 5 jours par semaine.
2. Puis, la durée des impulsions est de 80 à 100 ms.
3. Ensuite, une stimulation téتانisante avec des impulsions de 40 ms et un espacement de 10 ms délivrées à 20 Hz avec des temps de travail de 2 s et des temps de repos de 2 s pendant 3 à 5 min de stimulation avec 1 min de repos, deux fois par jour, 5 jours par semaine.
4. Enfin, une phase de stimulation en force et en endurance.

Au début du traitement, les chronaxies des muscles dénervés étaient au-dessus de 20 à 30 ms. Les chronaxies des muscles stimulés se sont améliorées, elles étaient de 5 à 10 ms, mais elles n'ont jamais atteint les valeurs normales. Après biopsie, les auteurs concluent à l'efficacité de la stimulation électrique et invitent d'autres chercheurs à vérifier leurs hypothèses et conclusions [4].

Les biopsies des muscles de patients ayant subi un traumatisme médullaire et qui ont été traités avec un protocole de stimulation électrique fonctionnelle pendant des périodes prolongées (de 2,4 à 9,3 années) ont montré une récupération de la structure du muscle, de sa masse et de sa force, même chez des patients dont les muscles avaient été dénervés pendant des périodes prolongées, jusqu'à 2 ans, avant le commencement du traitement de stimulation électrique. Il est important de préciser que cette récupération s'est produite en l'absence totale d'innervation motrice et sensitive c'est-à-dire uniquement sous l'influence de l'activité musculaire produite par la stimulation électrique.

Francis CRÉPON

Kinésithérapeute,
cadre de santé
Enseignant en IFMK

Électrostimulation et muscles dénervés : critères de choix des paramètres de stimulation

La stimulation a été appliquée avec des électrodes superficielles. Au cours de la première phase du traitement, les auteurs ont utilisé des impulsions biphasiques de longue durée, 150 à 300 ms, délivrées à la fréquence de 2 Hz. Puis, la durée d'impulsion et l'espacement des impulsions ont été diminués pour atteindre des fréquences de 17 à 25 Hz permettant d'obtenir des tétanisations [5].

Des patients atteints de paraplégie flasque ont été stimulés pendant 4 ans. La tomodensitométrie montre que la stimulation électrique incite une augmentation de volume lente mais ininterrompue du muscle ainsi que la récupération d'une forme quasi normale [6].

Une étude effectuée sur des blessés médullaires [7] montre, par l'imagerie tridimensionnelle, une restauration des structures musculaires, des tendons et de l'os après stimulation électrique fonctionnelle des muscles dénervés et montre une dégénérescence des mêmes tissus quand le traitement n'est pas effectué.

Plusieurs auteurs font état de résultats favorables sur la trophicité musculaire [8], sur la densité osseuse [9], sur la vitesse de conduction et sur la période réfractaire [10].

Cependant, une récente étude [11] conclut qu'il y a toujours un manque de preuves scientifiques pour justifier l'efficacité de la stimulation électrique et des exercices d'étirement pour prévenir l'atrophie musculaire du muscle dénervé.

En ce qui concerne le traitement de la paralysie faciale idiopathique, une revue Cochrane [12] a analysé toutes les techniques de physiothérapie utilisées : stimulation électrique, acupuncture, packs chauds, massage, exercices faciaux. Les auteurs concluent qu'il n'y a pas de preuve pour soutenir ni l'avantage significatif ni l'inconvénient de n'importe quelle technique de physiothérapie.

Électrostimulation et régénération nerveuse

Plusieurs études humaines et animales ont entrepris d'évaluer les effets de la stimulation électrique sur la régénération nerveuse et sur l'atrophie des muscles dénervés. Les fréquences de stimulation utilisées sont plus élevées et les durées des séances sont plus importantes.

Sur dix-neuf rats, la stimulation électrique du muscle dénervé a été appliquée avec des impulsions rectangulaires d'une durée de 0,5 ms à la fréquence de 2 Hz et une intensité de 4 mA pendant 1 heure. Après 4 semaines, les auteurs constatent que la stimulation électrique empêche l'apoptose et proposent la stimulation électrique comme un traitement potentiel pour la prévention de l'atrophie des muscles dénervés [13].

Également chez le rat, la stimulation des neurones transplantés facilite la réinnervation du muscle [14, 15].

La stimulation électrique avec une période brève et une fréquence de 20 Hz est considérée comme efficace pour favoriser la régénération des axones après la suture chirurgicale du nerf [16].

Chez des patients présentant un syndrome du canal carpien, un essai contrôlé randomisé montre que la stimulation électrique post-chirurgicale immédiate du nerf médian à 20 Hz pendant 1 heure accélère la régénération de l'axone et la réinnervation musculaire [17].

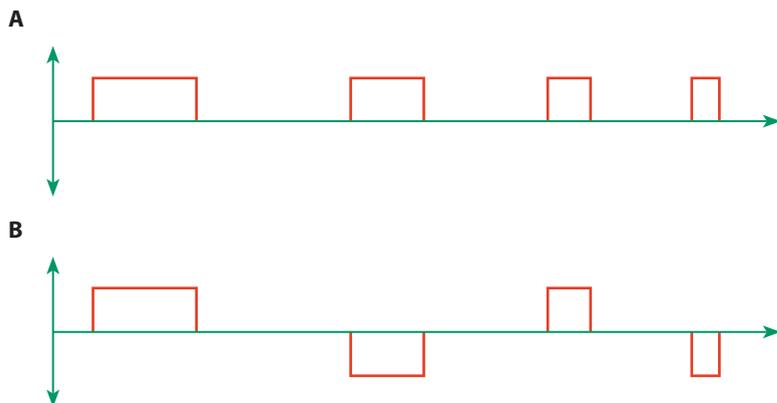
Ces travaux de Gordon *et al.* [18-20] mettent en évidence l'intérêt de la stimulation électrique pour favoriser la régénération des axones et la réinnervation musculaire après la suture chirurgicale du nerf ou après la chirurgie du syndrome du canal carpien et font état de résultats positifs chez le rat et chez l'homme.

Après une lésion nerveuse périphérique chez le rat, la stimulation électrique percutanée à 2 Hz a été effectuée avec des intensités de 1, 2 ou 4 mA. Une faible intensité pourrait favoriser la régénération des nerfs, mais une intensité trop élevée semble avoir un effet néfaste sur le processus de régénération [21].

Paramètres et modalités de stimulation

Les paramètres et modalités envisagés ci-après sont destinés à obtenir la contraction du muscle dénervé. À cet effet, on utilise des impulsions isolées, rectangulaires, de longue durée, celles-ci devant être au moins égales à la chronaxie.

Les impulsions à pente d'établissement progressive ne présentent pas d'intérêt et sont beaucoup plus désagréables : plus on abaisse la pente d'établissement et plus il faut augmenter l'intensité pour obtenir une stimulation équivalente.



► **Figure 1**

Impulsions isolées à durée progressivement décroissante

La procédure de traitement simplifiée consiste à appliquer des impulsions rectangulaires de durée suffisante pour contracter tout en recherchant la plus brève durée efficace.

À cet effet, on diminue la durée d'impulsion par pas progressifs (100 ms, 90 ms, 80 ms...) jusqu'à disparition de la réponse et on effectue le traitement avec la durée d'impulsion qui précède celle qui a fait disparaître la réponse.

A. Impulsions unidirectionnelles à polarité fixe qui produisent une stimulation prédominante sous la cathode pour localiser la stimulation.

B. Impulsions unidirectionnelles à polarité alternée qui dirigent la stimulation prédominante tour à tour sur les deux électrodes pour produire une stimulation plus globale du muscle dénervé.



► **Figure 2**

Électrodiagnostic et stimulation du muscle dénervé

Les impulsions isolées de longue durée, rectangulaires, doivent être appliquées longitudinalement sur le muscle.

Les paramètres de stimulation doivent tenir compte des résultats de l'électrodiagnostic [22].

- La durée d'impulsion doit être au moins égale à la chronaxie.

Certains auteurs utilisent des durées doubles de la chronaxie, voire nettement supérieures. Ces impulsions sont beaucoup moins confortables pour le patient.

- La fréquence des impulsions se situe autour de 1 Hz, c'est-à-dire que l'espacement entre deux impulsions est d'environ 1 seconde. Vu leur faible fréquence, on les appelle impulsions isolées.

- L'intensité doit être bien supportée, suffisante pour contracter mais pas trop élevée afin de ne pas présenter d'effets néfastes sur le processus de régénération des nerfs [23].

La procédure de traitement simplifiée consiste à appliquer des impulsions de durée progressivement décroissante afin de déterminer l'impulsion efficace dont la durée est la plus brève. Ceci permet de stimuler les muscles dénervés tout en respectant le confort du patient [24] (fig. 1).

L'application doit être longitudinale. En effet, l'excitabilité du muscle dénervé aux impulsions de longue durée est plus grande lorsque l'on place les deux électrodes à ses extrémités [25] (fig. 2).

On pratique environ 5 séances par semaine. La durée de la séance varie selon les auteurs et selon les effets recherchés : de quelques impulsions par muscle à plusieurs minutes de stimulation. La durée de la séance est également déterminée en fonction des risques de brûlure chimique des tissus dus à l'application de courants unidirectionnels : le praticien exerce une surveillance constante, notamment de l'état de la peau sous les électrodes et de l'homogénéité de l'humidification des spongieux des électrodes.

L'électrostimulation du muscle dénervé doit être complétée par des mobilisations passives, principalement des étirements, qui participent à la prophylaxie de la fibrose.

L'entretien de la contractilité et la prophylaxie de la fibrose ne sont pas les seuls objectifs. L'électrostimulation est intégrée dans un traitement de rééducation incluant la commande motrice du muscle totalement ou partiellement dénervé. Afin d'entretenir le schéma moteur, le patient doit accompagner les contractions électro-induites :

- d'un mouvement imaginé si le muscle est totalement dénervé ;
- d'une contraction active si le muscle n'est que partiellement dénervé [26].

Conclusion

La stimulation du muscle dénervé en cours de réinnervation doit s'associer au traitement de rééducation fonctionnelle. Le choix des paramètres doit permettre d'obtenir une contraction efficace tout en respectant le confort du patient et en tenant compte des risques dus à une intensité trop élevée et aux courants unidirectionnels. ✕



RÉFÉRENCES

- [1] Irnich W. The terms «chronaxie» and «rheobase» are 100 years old. *Pacing Clin Electrophysiol* 2010 Apr;33(4):491-6.
- [2] Salmons S, Ashley Z, Sutherland H, Russold MF, Li F, Jarvis JC. Functional electrical stimulation of denervated muscles: Basic issues. *Artif Organs* 2005 Mar; 29(3):199-202.
- [3] Crépon F. *Électrothérapie et physiothérapie. Applications en rééducation et réadaptation*. Paris : Elsevier-Masson, 2012.
- [4] Kern H, Rossini K, Carraro U, Mayr W, Vogelauer M, Hoellwarth U, Hofer C. Muscle biopsies show that FES of denervated muscles reverses human muscle degeneration from permanent spinal motoneuron lesion. *J Rehabil Res Dev* 2005 May-Jun;42(3 Suppl 1):43-53.
- [5] Boncompagni S, Kern H, Rossini K, Hofer C, Mayr W, Carraro U, Protasi F. Structural differentiation of skeletal muscle fibers in the absence of innervation in humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 2007 Dec 4;104(49):19339-44.
- [6] Gargiulo P, Vatnsdal B, Ingvarsson P, Knútsdóttir S, Gudmundsdóttir V, Yngvason S, Helgason T. Restoration of muscle volume and shape induced by electrical stimulation of denervated degenerated muscles: Qualitative and quantitative measurement of changes in rectus femoris using computer tomography and image segmentation. *Artif Organs* 2008 Aug;32(8):609-13.
- [7] Gargiulo P, Reynisson PJ, Helgason B, Kern H, Mayr W, Ingvarsson P, Helgason T, Carraro U. Muscle, tendons, and bone: Structural changes during denervation and FES treatment. *Neural Res* 2011 Sep;33(7):750-8.
- [8] Mödlin M, Forstner C, Hofer C, Mayr W, Richter W, Carraro U, Protasi F, Kern H. Electrical stimulation of denervated muscles: First results of a clinical study. *Artif Organs* 2005 Mar;29(3):203-6.
- [9] Helgason T, Gargiulo P, Johannesdottir F, Ingvarsson P, Knútsdóttir S, Gudmundsdóttir V, Yngvason S. Monitoring muscle growth and tissue changes induced by electrical stimulation of denervated degenerated muscles with CT and stereolithographic 3D modeling. *Artif Organs* 2005 Jun;29(6):440-3.
- [10] Hofer C, Forstner C, Modlin M, Jager H, Mayr W, Kern H. *In vivo* assessment of conduction velocity and refractory period of denervated muscle fibers. *Artif Organs* 2005 Jun; 29(6):436-9.
- [11] Salvini TF, Durigan JL, Peviani SM, Russo TL. Effects of electrical stimulation and stretching on the adaptation of denervated skeletal muscle: Implications for physical therapy. *Rev Bras Fisioter* 2012 Jun;16(3):175-83.
- [12] Teixeira LJ, Valbuza JS, Prado GF. Physical therapy for Bell's palsy (idiopathic facial paralysis). *Cochrane Database Syst Rev* 2011 Dec 7;12:CD006283.
- [13] Arakawa T, Katada A, Shigyo H, Kishibe K, Adachi M, Nonaka S, Hara-buchi Y. Electrical stimulation prevents apoptosis in denervated skeletal muscle. *NeuroRehabil* 2010; 27(2):147-54.
- [14] Grumbles RM, Liu Y, Thomas CM, Wood PM, Thomas CK. Acute stimulation of transplanted neurons improves motoneuron survival, axon growth, and muscle reinnervation. *J Neurotrauma* 2013 Jun 15; 30(12):1062-9.
- [15] Liu Y, Grumbles RM, Thomas CK. Electrical stimulation of embryonic neurons for 1 hour improves axon regeneration and the number of reinnervated muscles that function. *J Neuropathol Exp Neurol* 2013 Jul;72(7):697-707.
- [16] Gordon T, Sulaiman O, Boyd JG. Experimental strategies to promote functional recovery after peripheral nerve injuries. *J Peripher Nerv Syst* 2003 Dec;8(4):236-50.
- [17] Gordon T, Amirjani N, Edwards DC, Chan KM. Brief post-surgical electrical stimulation accelerates axon regeneration and muscle reinnervation without affecting the functional measures in carpal tunnel syndrome patients. *Exp Neurol* 2010 May; 223(1):192-202.
- [18] Gordon T, Udina E, Verge VM, de Chaves EI. Brief electrical stimulation accelerates axon regeneration in the peripheral nervous system and promotes sensory axon regeneration in the central nervous system. *Motor Control* 2009 Oct;13(4):412-41.
- [19] Gordon T, Sulaiman OA, Ladak A. Chapter 24: Electrical stimulation for improving nerve regeneration: Where do we stand? *Int Rev Neurobiol* 2009;87:433-44.
- [20] Gordon T, Brushart TM, Chan KM. Augmenting nerve regeneration with electrical stimulation. *Neural Res* 2008 Dec;30(10):1012-22.
- [21] Arakawa T, Katada A, Shigyo H, Kishibe K, Adachi M, Nonaka S, Hara-buchi Y. Electrical stimulation prevents apoptosis in denervated skeletal muscle. *NeuroRehabil* 2010;27(2):147-54.
- [22] Lu MC, Tsai CC, Chen SC, Tsai FJ, Yao CH, Chen YS. Use of electrical stimulation at different current levels to promote recovery after peripheral nerve injury in rats. *J Trauma* 2009 Nov;67(5):1066-72.
- [23] Crépon F. Electrodiagnostic de stimulation des dénervations. *Kinésithér Scient* 2003;434:57-9.
- [24] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 1. Procédure de traitement simplifiée. *Kinésithér Scient* 2004;440:55-6.
- [25] Martinek J, Reichel M, Rattay F, Mayr W. Analysis of calculated electrical activation of denervated muscle fibers in the human thigh. *Artif Organs* 2005 Jun;29(6):444-7.
- [26] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 2. Polarité des impulsions et techniques complémentaires. *Kinésithér Scient* 2004;444:53-4.