

L'électrosimulation



Cattin Améline
Besson Cyril
06/10/2020

Attention, ce document s'adresse à des personnes désirant s'informer d'une manière générale sur le thème présenté. Les informations présentes dans ce document ont un but d'information et ne sont pas des suggestions cliniques. Les résultats présentés sont issus de la recherche et sont à mettre dans des contextes particuliers (les effets sont montrés souvent chez des sujets sains, ou chez certains types de patient, atteints d'un certain type de maladie). Si vous souhaitez des informations personnalisées sur le sujet, contactez le centre de médecine du sport du CHUV.

L'électrostimulation est une méthode de plus en plus médiatisée, dont les marques tel que Compex promettent des gains de récupération ou d'entraînement très prometteurs.

Le but de ce document est de comprendre le principe et le fonctionnement de l'électrostimulation, ses bienfaits, ses limites, ainsi que quelques utilisations pratiques.

La contraction musculaire

Lorsqu'un mouvement est initié, une information nerveuse efférente de type électrique (du cerveau au muscle) descend le long de la moelle épinière, jusqu'à la jonction neuromusculaire, également appelée « plaque motrice » (Figure 1). Cette synapse permet de transformer l'information électrique en signal chimique à l'intérieur de la cellule pour déclencher une contraction musculaire. La jonction neuromusculaire innerve plusieurs fibres, cet ensemble est appelé unité motrice (Hultman et al. 1983).

Il existe plusieurs types de fibres, des lentes, des rapides et des très rapides. Celles-ci sont recrutées selon la loi d'Henneman (1957), par ordre de taille, c'est-à-dire des plus lentes au plus rapides (Lee et al. 2013).

L'électrostimulation (ES) ou NMES (neuromuscular electro stimulation) est une méthode permettant d'envoyer un courant électrique de manière artificielle aux muscles. Il est possible d'utiliser cette technique afin d'obtenir des contractions musculaires lorsque la personne est statique ou alors de surimposer un courant à une contraction volontaire déjà présente (Gandevia, Herbert, et Leeper 1998).

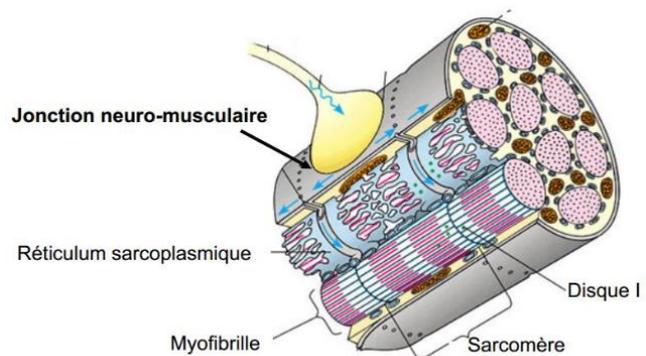


Figure 1

Les différents types d'appareils

Il s'agit d'électrodes que l'on place à plusieurs endroits prédéfinis afin de cibler un muscle ou groupe musculaire. Ce placement est important car la contraction se révèle être différente selon la proximité ou non d'une plaque motrice. Il existe d'ailleurs un stylet qui permet de rechercher l'endroit exact des points moteurs. Chaque électrode est reliée à un boîtier qui permet de gérer l'intensité de la stimulation. Les appareils de la marque Compex ou Electrostim permettent donc de stimuler un groupe musculaire de façon locale.

Il existe également depuis ses dernières années une nouvelle forme d'électrostimulation qui vise à stimuler les muscles de l'ensemble du corps grâce à une combinaison (Figure 2). Elle se nomme Whole-Body Electrostimulation (WB-EMS) et connaît actuellement un succès grandissant au sein de salles de fitness. Cette méthode connaît des avantages et des inconvénients qui seront décrits dans les chapitres suivants.



Figure 2

La structure d'une impulsion électrique

La contraction musculaire est initiée grâce à un courant électrique qui est composé de plusieurs modalités (Figure 3). Sa fréquence est définie par une fréquence en Hz, (un hertz représente la mesure de la fréquence de répétition d'un événement qui se répète une fois par seconde) elle peut varier de 25 à 2,500Hz. L'intensité correspond au nombre d'ampères de cette impulsion qui se situe en générale entre 10 et 200mA. Enfin, la largeur de l'impulsion est exprimée en termes de temps et fait référence au temps de décharge (Filipovic et al. 2011).

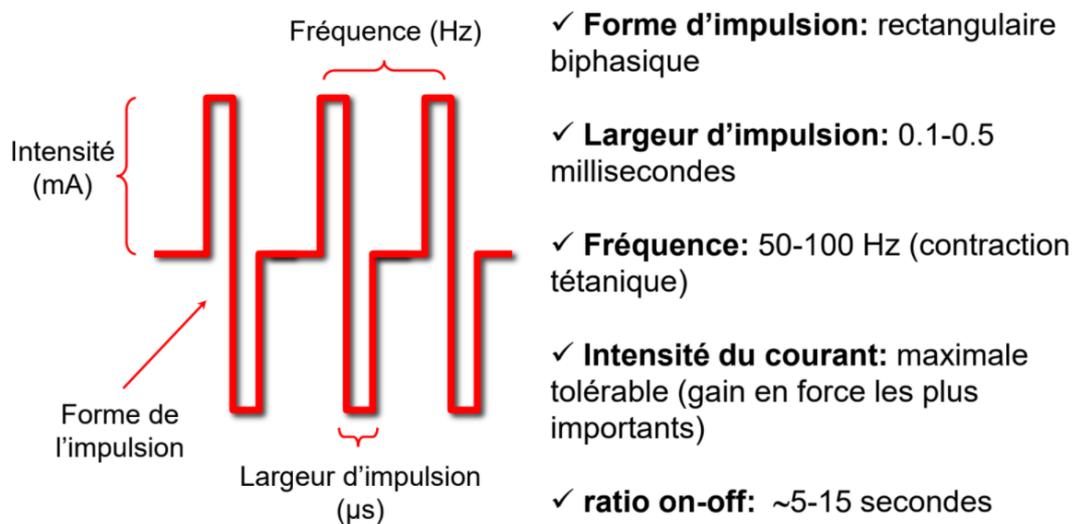


Figure 3

Les différences entre contractions volontaires et contractions stimulées artificiellement

Premièrement, le principe de taille expliqué auparavant, n'est pas respecté. En effet, avec l'ES le recrutement des fibres se fait de manière aléatoire, les grosses comme les petites fibres peuvent être recrutées en même temps (Bickel, Gregory, et Dean 2011).

Deuxièmement, lorsque l'on parle de recrutement, celui-ci peut être spatial ou temporel. Le spatial représente la synchronisation des fibres afin d'augmenter la force développée par le muscle. Il permet d'obtenir jusqu'à 80% de la force maximale. Le pourcentage restant est obtenu grâce à l'augmentation

de la fréquence de décharge du motoneurone afin d'accroître la tension de chaque unité motrice. Ce mécanisme correspond au recrutement temporel et représente le niveau d'excitation mesuré en termes de fréquences (*Henneman 1957*).

Le recrutement spatial intervient toujours dans un premier temps, cependant, il est différent selon les muscles. Pour certains, le recrutement spatial permet de développer 50% de la force maximale, tandis que pour d'autres, il permet d'atteindre jusqu'à 85%. Dans un deuxième temps, c'est donc l'augmentation de la fréquence de décharge qui rentre en jeu et qui peut atteindre jusqu'à 50Hz (*Henneman 1957*).

La contraction induite artificiellement a pour caractéristique d'avoir la même intensité de décharge pour toutes les unités motrices, elle est dite « synchrone » (Figure 4). Ce phénomène pourrait entraîner une fatigue précoce des muscles (*Bickel, Gregory, et Dean 2011*)(*Neyroud et al. 2017*). De plus, le recrutement spatial est généralement incomplet (*Vanderthommen et Duchateau 2007*). Par conséquent, la contraction musculaire ne peut pas atteindre les mêmes niveaux de force maximale que lorsque la contraction est commandée volontairement.

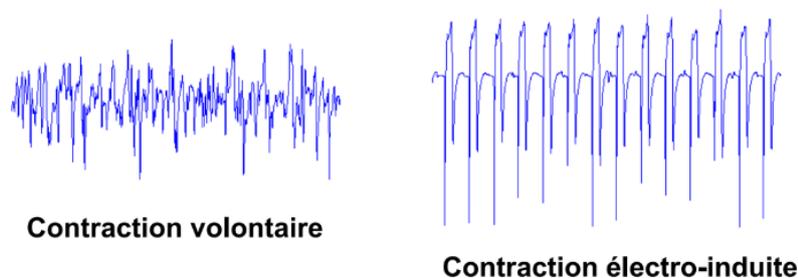


Figure 4

La force développée par électrostimulation peut varier de 30 à 85 pourcents de la force maximale développée volontairement (de *Vanderthommen et Duchateau 2007*). Le recrutement est donc incomplet et est en majorité superficiel. Ceci a été démontré par une étude mesurant le flux sanguin à différents endroits dans le muscle (*Vanderthommen et al. 2000*). Le sang étant réparti d'une certaine manière dans le muscle, il a été possible de déterminer quelles étaient les fibres recrutées et où elles se situaient.

De ce fait, si le but est de produire une force relativement élevée par électrostimulation, il faut maximiser le recrutement spatial en ayant une intensité de stimulation importante (*Nosaka et al. 2011*)(*Delitto et al. 1992*). Ceci peut s'avérer inconfortable voir très douloureux (risques de rougeurs sur la peau). Il est donc déconseillé d'utiliser cet outil avec des personnes fragiles (*Nosaka et al. 2011*).

Pour finir, la réponse métabolique, c'est-à-dire la réponse du corps au niveau local à une contraction musculaire est plus exagérée lorsque celle-ci est induite de façon artificielle plutôt que volontaire. Il a été mis en évidence par les chercheurs de l'équipe de Theurel que la consommation de phosphocréatine (une enzyme essentielle à la contraction musculaire) ainsi que la consommation d'oxygène est bien plus élevée pour une production de force égale (*Theurel et al. 2007*)(*McNeil, Murray, et Rice 2006*). De manière plus concrète, après une séance par électrostimulation, les courbatures sont très importantes ce qui peut être un facteur désavantageux dans le cadre d'une préparation physique avec des entraînements réguliers (*Nosaka et al. 2011*).

Quels sont les bénéfices et les limites de l'électrostimulation

L'électrostimulation est utilisée dans plusieurs domaines : l'entraînement, la récupération et la réhabilitation. Dans le cadre de cet article, la question de l'amélioration de la force maximale, de la force vitesse et de la puissance va être abordée.

La force maximale

Les réponses à cette question sont multiples, par exemple selon l'étude de *Miller et Thépaut-Mathieu (1990)*, l'électrostimulation permet un gain de force isométrique significatif mais uniquement à l'angle entraîné. Il faut effectivement savoir que le gain n'est pas équivalent à n'importe quel angle d'exécution du mouvement (*Martin et al. 1993*).

De manière plus concrète, si un haltérophile effectue un squat avec une flexion de jambe de 90° lors de ses entraînements, il obtiendra une amélioration de la force à cet angle, mais les gains de force acquis ne seront pas équivalents si la force est mesurée lors d'un squat à 45°. Cette notion est importante car un athlète utilisant l'ES pendant sa préparation physique doit impérativement faire correspondre les mouvements ou les positions à l'entraînement aux gestes spécifiques effectués lors de la pratique de son sport. Sans cela, les gains de force acquis à l'entraînement ne seront pas transférés en match ou en compétition.

L'étude de *Maffiuletti et al. (2002)* permet d'illustrer cet impératif. En effet, 10 volleyeurs de niveau régional ont effectué 6 semaines d'entraînement en début de saison. Les séances étaient composées de contractions isométriques par ES des quadriceps et des triceps, suivies de sauts pliométriques directement après. Les résultats mettent en avant une augmentation de la force isométrique de 25 à 28% entre le début et la fin de la période des 6 semaines. De plus, la détente verticale a également été améliorée pour tous les types de sauts, mais de manière plus importante pour les squats jumps qui correspondent aux sauts effectués juste après les contractions isométriques. Les gains de force ont alors pu être bénéfiques sur le terrain lors des matchs. Cet exemple démontre l'intérêt de travailler de manière spécifique pour chaque type de sport.

Avec la méthode WB-EMS les résultats sont moins prometteurs, ils démontrent une augmentation moindre par rapport à la méthode EMS localisée (*Filipovic et al. 2012*).

La force vitesse

Cette habileté sportive est très importante dans les sports qui sont caractérisés par des mouvements explosifs comme le hockey sur glace ou le rugby. Elle représente la capacité du système neuromusculaire à développer une force maximale en un minimum de temps. L'analyse comparative de *Filipovic et al. (2012)* montre qu'il est possible d'accroître les gains de force en lien avec une certaine vitesse. En effet, les résultats ne sont comparables que si la force mesurée correspond à une vitesse donnée.

Par exemple, une équipe de basketteurs professionnels ont été entraînés par ES deux fois par semaine durant un mois en parallèle de leur entraînement habituel. Les résultats post-test mettent en évidence une amélioration de 37% pour une vitesse angulaire de 60m/s⁻¹ et de 29% pour une vitesse de 120m/s⁻¹.

De plus, il faut noter qu'aucune différence significative n'a été relevée entre un entraînement isométrique ou dynamique durant les séances d'ES (*Maffiuletti et al. 2000*).

La puissance

La puissance représente la production de la force et de la vitesse, c'est pourquoi, pour l'optimiser il est nécessaire de travailler ces deux aspects. La combinaison d'un entraînement dynamique par WB-EMS avec un entraînement traditionnel permet d'une part, d'améliorer la force maximale des muscles mais également d'augmenter la vitesse pour une même charge. En effet, le fait que les contractions par ES soient faites lors de mouvements, cela permet de déplacer la courbe de la relation force-vitesse vers la droite (Figure 5). L'étude menée par *Speicher (2009)* a montré une amélioration de 21% de la vitesse maximale pour les muscles des quadriceps et du biceps ainsi qu'une augmentation de la puissance maximale de 13% et 29 % respectivement (*Filipovic et al. 2012*).

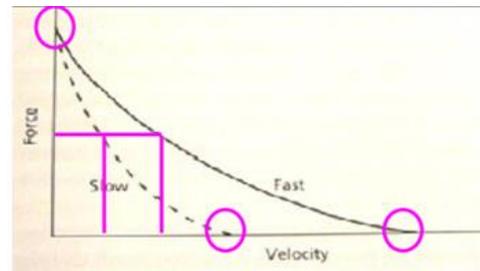


Figure 5

Les limites de l'électrostimulation

L'un des désavantages de cette méthode est son coût onéreux car le prix d'un appareil varie entre 500.- et 1500.-. Il faut également prendre en compte le transport de la machine sur le lieu d'entraînement et prévoir du temps nécessaire pour le branchement des électrodes.

En termes de limites liées aux gains de performances, l'électrostimulation présente deux principaux inconvénients. Premièrement, la contraction électro induite génère une augmentation de l'activité de la créatine kinase comparé à une contraction volontaire. Cette enzyme reflète le degré de stress imposé au système musculaire et donc, dans le cas où les séances d'ES ne sont pas assez espacées dans le temps, il y a un risque de surcharge du système et aucun gain de force ne peut être acquis (*Filipovic et al. 2011*).

Deuxièmement, un autre aspect défavorable est à mettre en évidence. En effet, les contractions électro induites engendrent une fatigue sévère et précoce du muscle, elle est traduite par une diminution de l'excitabilité membranaire, c'est-à-dire que les récepteurs présents sur le muscle ont plus de peine à capter le signal électrique et produire une contraction. De plus, il a été montré qu'une fatigue retardée peut apparaître à la suite de dommages musculaires. Ce phénomène constitue l'un des facteurs limitant l'utilisation de cette technique dans le domaine clinique et sportif (*Maffioletti, 2010*).

Pour conclure, les études scientifiques sont en accord sur le fait que l'ES localisée permet d'augmenter la force maximale et la force vitesse lorsque le protocole d'entraînement est établi de manière pertinente. La méthode WB-EMS montre des gains moindres pour la force maximale, en revanche cette méthode est favorable afin d'optimiser la puissance. Il est tout de même important de garder en tête que les gains de force peuvent énormément varier d'une étude à l'autre car les séances d'entraînements ne sont pas les mêmes, le placement des électrodes est différent, les muscles sollicités également et que les personnes ciblées varient du débutant à l'expert confirmé en musculation.

L'électrostimulation améliore-t-il la force ? Oui ; mais les gains obtenus sont-ils supérieurs à un entraînement traditionnel ?

Sur ce point, les avis et les points de vue divergent considérablement. Selon *Thépaut-Mathieu (1997)* L'entraînement par électrostimulation est moins profitable que l'entraînement conventionnel car il serait beaucoup plus sujet à trouver de la variabilité entre les individus, donc il ne serait pas optimal pour tous les athlètes. De plus, comme évoqué auparavant, l'ES cause des dommages musculaires importants qui ne sont pas à négliger en période de compétition.

D'autre part, plusieurs études ont conclu que les résultats obtenus étaient similaires pour les deux formes d'entraînement. En effet, « Une analyse comparée des gains de force obtenus au moyen de contractions volontaires ou par ES indiquent qu'au mieux on aboutit à des résultats identiques » (*Le Chevalier, 2003*).

Il faut savoir que le développement de la force neuromusculaire se fait en deux étapes. Premièrement, on trouve des adaptations du types nerveuses, c'est-à-dire une meilleure coordination intra et inter musculaire (*Sale 1988*). L'influx nerveux est conduit de manière plus efficace et les muscles sont sollicités de manière logique dans l'exécution du mouvement. Deuxièmement, le muscle va simplement « grossir », c'est-à-dire qu'il va s'hypertrophier, le diamètre des fibres augmente. La force est proportionnelle à la section transversale du muscle, donc si celui-ci a doublé de volume, la force va doubler elle aussi (*Folland et Williams 2007*).

D'après ces explications, il serait logique de penser que l'ES n'est pas équivalent à l'entraînement conventionnel car elle ne permettrait pas de solliciter le système nerveux. Contre toute attente, des études ont montré que l'ES met celui-ci également à profit (*Thépaut-Mathieu, 1997*). Plusieurs arguments appuient cette affirmation, notamment l'effet « cross-éducation » expliqué dans l'article de *Hortobágyi et al. (2000)* qui démontre que si une seule des deux jambes est entraînée, on retrouve tout de même des adaptations du côté non sollicité. Les adaptations ne se font pas uniquement au niveau de l'architecture du muscle mais également à différents niveaux de la commande motrice (*Gondin et al. 2005*).

Pour finir, plusieurs arguments mettent en évidence le côté favorable de l'ES.

L'ES permettrait de recruter des fibres musculaires qui ont de la peine à être activée lors d'une contraction volontaire (*Miller 1989*). En d'autres termes, il serait possible d'utiliser l'ES pour cibler certains types de fibres et ainsi obtenir des résultats plus intéressants. Il est également possible de lire dans le compte rendu de *Cometti « Les travaux actuels montrent que l'originalité de l'ES sur le plan physiologique réside dans une sollicitation préférentielle des fibres rapides » (Cometti G. 1988)*. Ce mécanisme serait bénéfique surtout pour les athlètes pratiquant un sport sollicitant une puissance maximale. Les résultats des études de *Hartsell (1986)*, ainsi que *Currier, Lehman, et Lightfoot (1979)*, montrent que les effets de la stimulation électrique combinée à des contractions volontaires isométriques peuvent être au moins équivalents, et parfois supérieurs à ceux d'un entraînement utilisant uniquement des contractions isométriques volontaires.

Un deuxième argument en faveur de l'ES montre qu'il est possible d'obtenir un recrutement spatial et temporel élevé au niveau du muscle sans pour autant surcharger les articulations. En effet, l'entraînement traditionnel de force peut s'avérer à long terme être une source de blessures pour l'appareil locomoteur.

De plus, les gains en termes de force maximale acquis lors d'une période d'entraînement par ES peuvent être maintenu à un niveau constant durant 4 semaines sans entraînement. Cela signifie qu'un athlète peut

bénéficier de la force acquise tout en réduisant son volume d'entraînement. Cette amélioration peut être également maintenue pendant une période allant jusqu'à 6 semaines si l'athlète continue de s'entraîner de manière habituelle (*Filipovic et al. 2011*).

Conclusion

La méthode d'ES dite localisée est utile lorsqu'un athlète cherche à optimiser ses qualités de force maximale ou de force vitesse qui sont essentiels lors d'actions de sprints ou de sauts. La méthode WB-EMS quant à elle montre une amélioration plus faible pour ces deux aspects, cependant, elle se révèle être efficace pour le développement de la puissance (*Filipovic et al. 2012*).

L'ES permet d'obtenir des résultats équivalents ou supérieur à un entraînement de type conventionnel. Les résultats sont supérieurs seulement lorsque que le cadre de l'entraînement est très spécifique. Toutefois, la méthode par ES est favorable car elle permet de raccourcir la durée des séances d'entraînement sans pour autant en augmenter le nombre par semaine. Ce gain de temps est précieux pour les athlètes se préparant à une compétition (*Filipovic et al. 2012*).

Pour conclure, la méthode d'ES en générale s'avère être pertinente pour accroître la performance mais elle demande un certain niveau de connaissance à son égard afin de l'appliquer de manière adéquate.

Applications pratiques

Une période d'entraînement par ES devrait durer entre 4 et 6 semaines, composée de 3 séances par semaine afin qu'elle démontre des résultats significatifs. Une durée de plus de 8 semaines permet également d'obtenir des adaptations de types hypertrophiques (*Ruther et al. 1995*).

L'intensité de la contraction induite doit correspondre ou être supérieur à 50% de la contraction musculaire volontaire. Pour cela, la largeur de l'impulsion électrique doit se situer dans la tranche de 200-400 microsecondes et sa fréquence doit se trouver entre 50 et 100Hz. L'intensité en d'ampère doit être au-dessus de 50mA et correspond en termes de perception au maximum tolérable. Celle-ci doit être ajustée au cours de la période d'entraînement dû au phénomène d'acclimatation.

Finalement, le temps de contraction du muscle ou groupe musculaire peut varier de 3 à 60 secondes avec un temps de repos entre chaque contraction de 4 secondes à 3 minutes (*Filipovic et al. 2011*).

Le tableau suivant démontre les différentes études qui ont été mises en place lors de préparations physiques pour différents sports avec les résultats obtenus. Il est ainsi possible d'affirmer que oui l'ES est une méthode pertinente comme complément à entraînement traditionnel de force et/ou d'hypertrophie.

Table 2
EMS strength training in competitive sport

Year	1st author	Sport	Muscle	Weeks (x/wk)	Type of EMS (settings; frequency [Hz])	Main findings
1989	Delitto (8)	Weightlifting	Q	6 (3)	I-LE; 2500	↑ weightlifting
1989	Wolf (40)	Tennis	Q	3 (4)	C-S; 75	↑ strength, sprint, jump
1995	Pichon (29)	Swimming	LD	3 (3)	I-OC; 80	↑ strength, swimming
1996	Willoughby (38)	Basketball	BB	6 (3)	I-PC; 2500	↑ strength
1998	Willoughby (39)	Track and field	Q	6 (3)	C/E-LE; 2500	↑ strength, jump
2000	Maffioletti (24)	Basketball	Q	4 (3)	I-LE; 100	↑ strength, jump
2002	Malatesta (27)	Volleyball	Q + TS	4 (3)	I-S; 105–120	↑ strength, jump
2002	Maffioletti (25)	Volleyball	Q + TS	4 (3)	I-LE/SC; 120	↑ strength, jump
2005	Brocherie (4)	Ice hockey	Q	3 (3)	I-LE; 85	↑ strength, sprint
2007	Babault (1)	Rugby	Q + TS + G	6 (1–3)	I-LE/CM; 100	↑ strength, jump
2009	Maffioletti (23)	Tennis	Q	3 (3)	I-LE; 85	↑ strength, sprint, jump
2010	Billot (3)	Soccer	Q	5 (3)	I-LE; 100	↑ strength, shoot

↑ = increased; BB = biceps brachii; C = concentric; CM = calf machine; G = gluteus; E = eccentric; I = isometric; LD = latissimus dorsi; LE = leg extension; MT = motor threshold; OC = open chain; PC = preacher curl; Q = quadriceps; S = squat; SC = standing calf; TS = triceps surae; x/wk = training sessions per week.

Figure 6

Bibliographie

Articles.

- Bickel, C. Scott, Chris M. Gregory, et Jesse C. Dean. 2011. « Motor Unit Recruitment during Neuromuscular Electrical Stimulation: A Critical Appraisal ». *European Journal of Applied Physiology* 111 (10): 2399-2407. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2128-4>.
- Currier, D. P., J. Lehman, et P. Lightfoot. 1979. « Electrical Stimulation in Exercise of the Quadriceps Femoris Muscle ». *Physical Therapy* 59 (12): 1508-12. <https://doi.org/10.1093/ptj/59.12.1508>.
- Filipovic, Andre, Heinz Kleinöder, Ulrike Dörmann, et Joachim Mester. 2011. « Electromyostimulation--a Systematic Review of the Influence of Training Regimens and Stimulation Parameters on Effectiveness in Electromyostimulation Training of Selected Strength Parameters ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 25 (11): 3218-38. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318212e3ce>.
- Filipovic, 2012. « Electromyostimulation--a Systematic Review of the Effects of Different Electromyostimulation Methods on Selected Strength Parameters in Trained and Elite Athletes ». *Journal of Strength and Conditioning Research* 26 (9): 2600-2614. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31823f2cd1>.
- Folland, Jonathan, et Alun Williams. 2007. « The adaptations to strength training: Morphological and neurological contributions to increased strength ». *Sports medicine (Auckland, N.Z.)* 37 (février): 145-68.
- Gandevia, S C, R D Herbert, et J B Leeper. 1998. « Voluntary activation of human elbow flexor muscles during maximal concentric contractions ». *The Journal of Physiology* 512 (Pt 2): 595-602. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.1998.595be.x>.
- Gondin, Julien, Marie Guede, Yves Ballay, et Alain Martin. 2005. « Electromyostimulation Training Effects on Neural Drive and Muscle Architecture ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37 (8): 1291-1299. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000175090.49048.41>.
- Hartsell, H. D. 1986. « Electrical Muscle Stimulation and Isometric Exercise Effects on Selected Quadriceps Parameters* ». *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 8 (4): 203-9. <https://doi.org/10.2519/jospt.1986.8.4.203>.
- Henneman, Elwood. 1957. « Relation between Size of Neurons and Their Susceptibility to Discharge ». *Science* 126 (3287): 1345-47. <https://doi.org/10.1126/science.126.3287.1345>.
- Hortobágyi, T, L Dempsey, D Fraser, D Zheng, G Hamilton, J Lambert, et L Dohm. 2000. « Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans ». *The Journal of Physiology* 524 (Pt 1): 293-304. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00293.x>.
- Hultman, E., H. Sjöholm, I. Jäderholm-Ek, et J. Krynicky. 1983. « Evaluation of Methods for Electrical Stimulation of Human Skeletal Muscle in Situ ». *Pflugers Archiv: European Journal of Physiology* 398 (2): 139-41. <https://doi.org/10.1007/bf00581062>.
- Lee, Sabrina S. M., Maria de Boef Miara, Allison S. Arnold, Andrew A. Biewener, et James M. Wakeling. 2013. « Recruitment of faster motor units is associated with greater rates of fascicle strain and rapid changes in muscle force during locomotion ». *The Journal of Experimental Biology* 216 (2): 198-207. <https://doi.org/10.1242/jeb.072637>.
- Maffiuletti, N. A. 2010. « Fatigue induite par l'électrostimulation neuromusculaire ». *Science & Motricité*, n° 70: 61-67. <https://doi.org/10.1051/sm/2010012>.
- Maffiuletti, N. A., G. Cometti, I. G. Amiridis, A. Martin, M. Pousson, et J. C. Chatard. 2000. « The Effects of Electromyostimulation Training and Basketball Practice on Muscle Strength and

- Jumping Ability ». *International Journal of Sports Medicine* 21 (6): 437-43.
<https://doi.org/10.1055/s-2000-3837>.
- Maffiuletti, Nicola, Sergio Dugnani, Matteo Folz, Ermano Di Pierno, et Franco Mauro. 2002. « Effect of Combined Electrostimulation and Plyometric Training on Vertical Jump Height ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 34 (10): 1638-44.
- Miller, Christian. 1989. « Effets comparés de deux modalités d'entraînement sur le développement de la force musculaire : électrostimulation et contraction volontaire ». <http://www.theses.fr>. Thesis, Paris 11. <http://www.theses.fr/1989PA112382>.
- Miller, Christian, et Chantalle Thépaut-Mathieu. s. d. « Modifications de la relation couple-angle et de l'activité électromyographique après entraînement sous électrostimulation », 8.
- Nosaka, Kazunori, Abdulaziz Aldayel, Marc Jubeau, et Trevor C. Chen. 2011. « Muscle Damage Induced by Electrical Stimulation ». *European Journal of Applied Physiology* 111 (10): 2427-37. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2086-x>.
- Ruther, Christine L., Catherine L. Golden, Robert T. Harris, et Gary A. Dudley. 1995. « Hypertrophy, Resistance Training, and the Nature of Skeletal Muscle Activation ». *The Journal of Strength & Conditioning Research* 9 (3): 155-159.
- Sale, D. G. 1988. « Neural Adaptation to Resistance Training ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 20 (5 Suppl): S135-145. <https://doi.org/10.1249/00005768-198810001-00009>.
- Theurel, Jean, Romuald Lepers, Laurent Pardon, et Nicola A. Maffiuletti. 2007. « Differences in Cardiorespiratory and Neuromuscular Responses between Voluntary and Stimulated Contractions of the Quadriceps Femoris Muscle ». *Respiratory Physiology & Neurobiology* 157 (2): 341-47. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2006.12.002>.
- Vanderthommen, Marc, et Jacques Duchateau. 2007. « Electrical Stimulation as a Modality to Improve Performance of the Neuromuscular System ». *Exercise and Sport Sciences Reviews* 35 (4): 180-85. <https://doi.org/10.1097/jes.0b013e318156e785>.

Figure du titre : <https://www.compex.com/ch/fr/>

Figure1 : Rigoard, P., S. Bauche, K. Buffenoir, J. -P. Giot, J. -P. Faure, M. Scepi, J. -P. Richer, F. Lapiere, et M. Wager. 2009. « Le support anatomique de la contraction musculaire ». *Neurochirurgie*, « Jonction neuromusculaire et nerf périphérique : du normal au pathologique »

Figure 2 : <https://www.miha-bodytec.com/fr/>

Figure 3 : Vanderthommen, Marc, et Jacques Duchateau. 2007. « Electrical Stimulation as a Modality to Improve Performance of the Neuromuscular System ». *Exercise and Sport Sciences Reviews* 35 (4):

Figure 4 : Vanderthommen, Marc, et Jacques Duchateau. 2007. « Electrical Stimulation as a Modality to Improve Performance of the Neuromuscular System ». *Exercise and Sport Sciences Reviews* 35 (4):

Figure 5: Spencer Gasser, Herbert and Archibald Vivian Hill. 1924. « The dynamics of muscular contraction ». The royal society publishing Volume 96 Issue 678

Figure 6: Seyri, Kayvan, et Nicola Maffiuletti; 2011 *Strength and Conditioning Journal*, February 2011, Volume 33, Issue 11