

---

# Utilisation de l'électrostimulation dans le but d'améliorer la performance sportive

## Présenté par le Dr Aroussen Laflamme, chiropraticien, D.C.

---

Aujourd'hui l'entraînement sportif nécessite une somme de travail considérable. Le problème majeur n'est plus seulement celui du temps consacré à l'entraînement, mais aussi celui du temps de récupération, de plus en plus restreint en raison du volume et de l'intensité des charges de travail.

Parmi les techniques usuelles de musculation, l'électrostimulation (ES) occupe une place très controversée. Relativement peu d'études se sont intéressées à son utilisation chez l'individu sain, dans un but d'amélioration de la performance. Pour certains, l'entraînement par ES semble raccourcir à la fois le temps d'entraînement et le temps de récupération et se présente donc comme une alternative intéressante aux exigences contemporaines du sport de haute performance (Cometti, 1988). Pour d'autres, l'ES peut avoir un effet semblable, mais pas supérieur aux techniques de musculation utilisant la contraction volontaire (Duchateau et Hainaut, 1988).

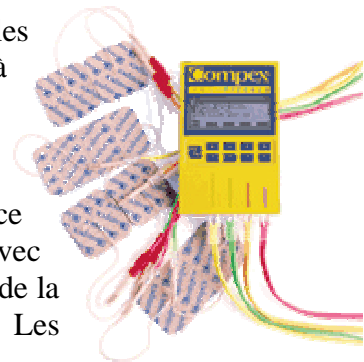
Nous tâcherons de déterminer les avantages de l'ES ainsi que les différentes modalités de son application.

Les applications de la neurostimulation électrique sont nombreuses : ES à visée antalgique, ES excitomotrice. Nous aborderons ici essentiellement les connaissances liées à la stimulation excitomotrice du muscle sain.

### LES ÉLECTROSTIMULATEURS

Deux grands types de générateurs sont à considérer, les stimulateurs à voltage constant d'une part et les stimulateurs à courant constant d'autre part.

Pour ces derniers, encore appelés générateurs de courant, toute modification d'impédance s'accompagne d'une variation de voltage de manière à ce que l'intensité délivrée soit constante, ce qui permet de délivrer un courant relativement stable, alors qu'avec un générateur à voltage constant, compte tenu de l'effet capacitif de la peau, le courant réellement transmis diminue au fil du temps. Les générateurs à courant constant semblent donc les plus appropriés à assurer une efficacité optimale.



Deux remarques s'imposent cependant :

- L'obtention d'un courant constant en présence d'une impédance élevée impose une tension élevée. Pour des raisons de sécurité la tension limite autorisée par l'appareillage ne devrait pas pouvoir excéder 200V
- Corollairement si la tension est limitée à 200V, il n'est pas possible avec une impédance de 5 kW par exemple, de dépasser 40mA. Il est donc important de savoir pour un appareil donné quelle intensité maximale peut-être délivrée dans une "fourchette" d'impédance donnée.

## CLASSIFICATION DES GÉNÉRATEURS EN FONCTION DU TYPE DE COURANT DÉLIVRÉ

Les générateurs de courant continu :

- Appliqué au sujet pendant de longues durées
- Peut aussi être interrompu, c'est-à-dire comme une suite d'impulsion ( $\mu\text{s}$  à 1s)
- peut être unidirectionnel, renversé, avec pente d'installation
- se pose le problème de la polarisation sous l'électrode active (douleur).

Les générateurs à impulsion :

- chaque impulsion dure de quelques microsecondes à quelques milli-secondes.
- les impulsions peuvent être monophasiques (carrée, rectangulaire, triangulaire...) ou biphasiques (carrée, sinus)
- on privilège les ondes de types rectangulaires car il se rapproche plus de la dépolarisation des tissus biologiques
- L'aspect biphasique permet de s'affranchir de la polarisation survenant sous l'électrode active lors de l'utilisation de courants polarisés

Un courant continu polarisé peut être interrompu. Il sera alors généré une suite d'impulsions pouvant être regroupées pour former un train d'impulsions. L'intensité maximale choisie et le retour au zéro ne sont atteints qu'après un délai de quelques milli-secondes à 500 ms.

## LES FONCTIONNALITÉS GÉNÉRALES D'UN STIMULATEUR :

L'alimentation électrique :

C'est un point fondamental. Il faut que le patient soit électriquement isolé du circuit de distribution domestique. L'alimentation doit donc impérativement se faire avec une double isolation (deux transformateurs à la suite).

Les fonctions temporelles :

Elles sont également à prendre en compte. Comme pour toute séance d'entraînement, de récupération ou de rééducation, il faut que le praticien puisse avoir accès aisément au

temps de travail, au temps de repos entre deux contractions musculaires ainsi qu'à la durée totale de la séance (ce qui permet de fixer le nombre de répétitions). Il est également possible de faire appel à un décalage temporel entre deux ou plusieurs générateurs d'un même stimulateur afin d'effectuer un travail alterné de muscles agonistes et antagonistes.

Les afficheurs :

Ils doivent permettre une lecture rapide des paramètres utilisés. Des témoins lumineux ou sonores peuvent être associés au passage du courant. L'incrémentement de l'intensité doit pouvoir s'effectuer grâce à un potentiomètre linéaire assurant une progressivité dans l'augmentation du courant, évitant ainsi les variations brutales pouvant provoquer un choc électrique. Il doit y avoir un choix de la fréquence qui permet de contrôler le degré tétanie du muscle. En général, la force maximale est obtenue chez l'homme pour des fréquences de stimulation comprises entre 50 et 120 Hz.

## **PHYSIQUE ET BIOPHYSIQUE**

Pour qu'un muscle se contracte suite à une ES, il faut que la stimulation soit assez importante pour causer un potentiel d'action. Le potentiel est le résultat d'une dépolarisation membranaire d'une magnitude suffisante pour atteindre le seuil de potentiel. Le potentiel membranaire au repos est de  $-90$  mV pour les cellules musculaires et de  $-75$  mV pour les cellules nerveuses. Lorsque le seuil de potentiel est atteint par la stimulation électrique (ou autre), il y a une entrée massive de sodium qui déclenche la dépolarisation membranaire qui est suivie d'une sortie massive de potassium qui assure la repolarisation.

L'ES ne stimule pas directement les fibres musculaires. La contraction musculaire est indirectement engendrée par la dépolarisation de la terminaison d'un neurone moteur. De plus, chaque neurone moteur s'attache à plusieurs fibres musculaires, ce qui constitue une unité motrice. La force de contraction est alors directement proportionnelle au nombre d'unités motrices qui ont été dépolarisées jusqu'à leur seuil d'excitation.

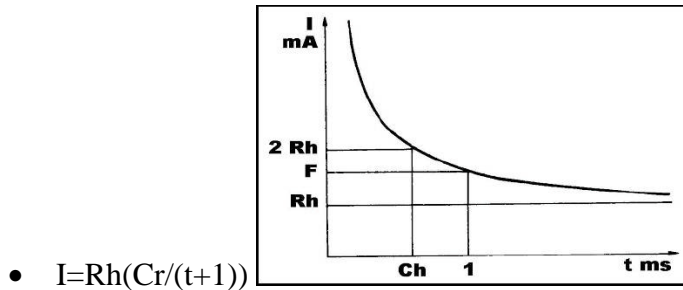
Il existe trois sortes d'innervation musculaire et par conséquent trois sortes de fibres musculaires. Lors de contraction volontaire, ils sont recrutés dans l'ordre du plus petit diamètre axonique jusqu'au plus gros :

- 1) les lentes
- 2) les rapides résistantes
- 3) les rapides fatigables.

Il est important de noter que leur ordre de recrutement n'est pas le même lors de stimulation électrique.

(Attention, passage technique!!)

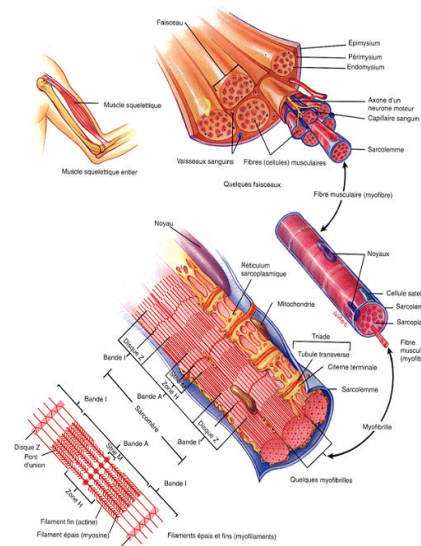
L'excitation nerveuse dépend de l'intensité de la stimulation et de la durée de la stimulation. La loi de Weiss exprime la relation entre ces deux paramètres.



Dans cette équation, **I** est égal à l'intensité du courant, **Rh** est la rhéobase (c'est l'intensité la plus basse qui pourrait causer un potentiel d'action, peu importe la durée), **Cr** est la chronaxie (c'est la durée de phase nécessaire pour causer un potentiel d'action lorsque l'intensité est deux fois celle de la rhéobase). La mesure de la chronaxie est normalement utilisée pour décrire l'excitabilité des fibres qu'on observe. Plus la chronaxie est basse, plus la cellule est excitable. La chronaxie est comprise entre 0.25 et 1 ms pour les muscles squelettiques. Selon la loi de Weiss, une augmentation de la durée d'impulsion diminue le seuil d'excitation et facilite l'atteinte de plusieurs fibres. Alors, l'intensité n'a pas besoin d'être aussi élevée pour avoir un effet profond et global. Les durées d'impulsions sont normalement entre 200 et 1000  $\mu$ s. On considère qu'un muscle est entièrement recruté lorsque l'augmentation de l'intensité du courant ne cause pas une force de contraction plus importante.

Un autre facteur important à considérer lors de l'ES est l'impédance corporelle (la résistance au courant). Elle dépend d'un grand nombre de facteurs comme l'état de la peau, le pourcentage d'hydratation de la peau et de l'organisme, le pourcentage de masse adipeuse, la concentration en électrolytes, les changements hormonaux et la longueur du chemin de conduction. Cette information permet de déterminer quelle sera l'énergie électrique dissipée et par corollaire quelle énergie ne sera pas transférée aux muscles. Une durée d'impulsion comprise entre 200 et 600  $\mu$ s limite normalement l'énergie électrique dissipée.

## NEUROPHYSIOLOGIE



Il existe deux types de cellules, dites excitables, qui sont aptes à être stimulées par un courant électrique : les cellules nerveuses et les cellules musculaires. Celles-ci génèrent un potentiel d'action qui lorsque déclenché au niveau d'une cellule nerveuse ou de son prolongement (axone), se propage très rapidement le long de leur membrane. Une fois arrivé à la jonction neuro-musculaire, il parcourt la membrane des cellules musculaires. Par l'intermédiaire d'invaginations

Figure 1 - détails de la fibre musculaire

membranaires, l'excitation est alors transmise en profondeur de la cellule musculaire et provoque le déclenchement de la contraction.

Dans l'unité motrice (UM) les fibres sont de type homogène. C'est-à-dire qu'elles appartiennent à une même catégorie; soit au type slow twitch (ST), soit au type fast twitch (FT). De plus les fibres dans une même (UM) répondent toutes simultanément lors d'un stimulus appliqué au niveau de leur motoneurone ou le long de leur axone.

On croit que l'augmentation de la force se fait selon deux types de mécanismes, selon qu'ils impliquent des facteurs structuraux (hypertrophie) ou nerveux (coordination inter et intramusculaire, recrutement des unités motrices) (Fukunaga, 1976, dans Cometti, 1988)

D'après la littérature, lors d'une contraction volontaire, ce sont les petites (UM) à seuil de recrutement bas (type Slow Twitch) qui sont activées avant les grandes UM à seuil plus élevé. Lorsqu'un muscle est activé par ES, l'ordre de recrutement des UM est différent de celui observé dans des conditions naturelles d'activation. Sachant que l'excitabilité des fibres musculaires est fait par l'intermédiaire des terminaisons axonales, et que l'excitabilité des fibres nerveuse est proportionnelle à leur grosseur, les plus grosses UM sont activées avant les plus petites. L'ordre d'activation est donc inversé par rapport à une activation volontaire du muscle. Ceci peut avoir une implication notable sur la spécificité de ce type d'entraînement. Il est intéressant à noter que la majorité des UM de gros diamètre qui sont le plus souvent situées superficiellement dans le muscle et donc plus près de l'électrode de stimulation.

L'adaptation fonctionnelle du muscle à l'entraînement a été très bien étudiée et documentée (Enoka, 1988). Parmi les adaptations, les **facteurs nerveux** prennent une part importante.

Trois types d'évidences ont permis de suggérer leur rôle dans l'accroissement de la force, quelle que soit la méthode d'entraînement utilisée (volontaire ou par ES)

1. **les modifications dans le tracé de l'EMG** : qui démontrent une amélioration de la synchronisation spatiale et temporelle. En d'autres mots, les fibres musculaires démontrent les mêmes types d'adaptation du tracé qu'avec l'entraînement classique sans ES.
2. **le gain de force du membre controlatéral non entraîné** : suite à une stimulation d'un muscle avec ou sans entraînement. Les tracés sont similaires en tant que synchronisation spatiale et temporelle et est attribuée à la synchronisation des unités motrices. Le principe d'un tel transfert est que la stimulation d'un membre provoque une modification du schéma de recrutement des unités motrices du membre contralatéral. Ainsi, bien qu'il ne soit pas stimulé directement, on observe une amélioration de la force du membre non stimulé due à une meilleure synchronisation des unités motrices

3. **le gain de force rapide sans hypertrophie** : Eriksson (1981), après avoir entraîné les quadriceps de 19 sujets par ES, a rapporté des gains de force allant de 13 à 18 %, alors que ni la circonférence du muscle ni son activité enzymatique n'ont subi de modifications.

À la lumière de ces observations, il semble d'une part que le niveau d'entraînement des sujets joue un rôle dans les mécanismes sous jacents à l'augmentation de la force musculaire volontaire (nerveuse ou structurale), et d'autre part que l'ES puisse provoquer ces deux types d'adaptations.

### L'ES et l'effet sur les enzymes :

D'après les études de Eriksson et ses collaborateurs (1981), ni l'activité des principaux enzymes des différents processus métaboliques, ni le nombre et la morphologie des mitochondries (usine énergétique du muscle) ne présentaient de modification significative après stimulation. Par contre, une étude plus récente (Cabric et coll., 1987; 1988) utilisant un programme de stimulation plus intense du triceps sural (mollets) a permis de mettre en évidence une hypertrophie des fibres musculaires. Ces auteurs ont également observé un accroissement du nombre et de la taille des noyaux des cellules musculaires ainsi qu'une augmentation de la fraction mitochondriale. Dans une autre recherche faite par Eriksson et Haggmark, les chercheurs ont trouvé qu'un programme d'entraînement couplé à l'ES provoquait une augmentation des niveaux de la déshydrogénase succinique, une enzyme glycolytique impliquée dans la production d'énergie. D'après une autre étude faite par Curwin (1980), l'enzyme ATPase myofibrillaire (enzyme oxydative) diminuait beaucoup moins rapidement si l'entraînement était accompagné d'une ES. Donc ses études ont démontré que l'ES semble avoir un effet positifs sur les enzymes oxydatives et glycolytiques. **Ceci est intéressant pour les gens qui ont récemment subi une blessure.** En effet, l'ES permettrait de diminuer les pertes enzymatiques des fibres oxydatives qui sont les premières à être sollicitées lors de la réhabilitation.

## Protocole d'application

### Électrodes de surface et positionnement

Le choix de la taille des électrodes est dicté par l'objectif de la stimulation et l'effet recherché, mais doit également tenir compte de la taille des muscles à stimuler. Ainsi plus le muscle est gros, plus l'électrode utilisée devra être grande. La taille des électrodes peut améliorer ou diminuer la résistance au passage du courant. Une électrode de grande taille présente une impédance plus faible qu'une électrode ayant une faible surface de contact avec la peau. L'utilisation d'électrode de

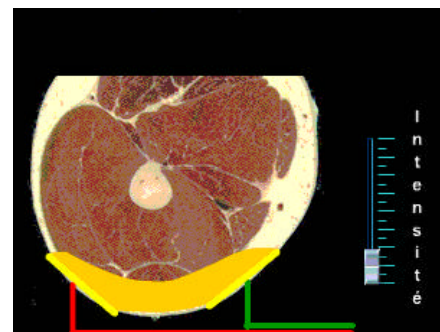


Figure 2 : section horizontale des muscles de la cuisse

**petite taille** permet ainsi une stimulation très localisée mais la densité de courant alors importante peut entraîner des **sensations désagréables**. Inversement, de grandes électrodes seront plus confortables pour le sujet, mais la dispersion du courant va engendrer une diminution de l'effort moteur et rendra la stimulation moins spécifique, moins intense, et pourra entraîner la contraction de muscle voisin.

Il existe deux techniques de placement des électrodes.

1. **La technique monopolaire** : utilise une grande électrode dite de dispersion ou indifférente, placée sur une région autre que celle stimulée, et une ou deux électrodes plus petites, dites actives ou de stimulation, placée sur le muscle. La densité de courant importante, sous la ou les électrodes de stimulation, permet la génération de l'effet excito-moteur.
2. **La technique bipolaire** : deux électrodes, généralement de même taille, sont placées sur le muscle à exciter, une à la partie proximale et une à la partie distale. Dans ce cas, le flux de courant est plus restreint et les deux électrodes peuvent exciter le nerf si un courant bi-phasique est utilisé.

La distance inter-électrode influe sur le degré de pénétration du courant dans le muscle.

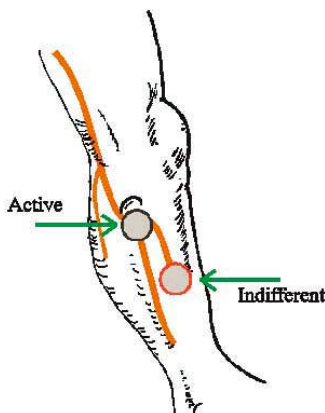


Figure 3 : Points moteurs et placement des électrodes pour un problème de pied tombant.

Généralement, pour ces deux techniques, les électrodes situées au niveau du muscle sont positionnées au niveau du ou des points moteurs. En effet, pour une intensité donnée, la contraction obtenue est plus importante si le stimulus est appliqué sur un point moteur. Celui-ci se définit comme étant la projection au niveau de la peau du point d'épanouissement du nerf à l'intérieur du muscle. Les électrodes de surface nécessitent généralement une préparation de la peau afin de diminuer son impédance, et l'utilisation d'un gel de conduction pour permettre un meilleur transfert des charges électriques.

### Fréquence de stimulation

#### **Les fréquences couramment utilisées en stimulation électrique sont de trois types :**

- § Les très basses fréquences comprises entre 0 et 10 Hz
- § Les basses fréquences situées entre 10 et 800 Hz
- § Les moyennes fréquences comprises entre 800 et 4000 Hz

Cette classification est essentiellement à caractère fonctionnel. Les très basses fréquences sont retenues pour leur effet antalgique alors que **les basses fréquences** le sont pour leur

effet excito-moteur. L'avantage des moyennes fréquences réside essentiellement dans la moindre sensation cutanée provoquée par le passage du courant. Cependant, ces courants ne permettent pas d'obtenir une bonne contraction musculaire sans avoir à augmenter considérablement l'intensité. Une association des moyennes et des basses fréquences est donc utilisée afin d'obtenir un compromis acceptable entre sensation et contraction. Un courant de moyenne fréquence par exemple 2500 Hz est lui-même découpé par une basse fréquence de 50 Hz.

Le choix de la fréquence permet de contrôler le degré de fusion tétanique du muscle. En fonction des caractéristiques de la cinétique contractile du muscle, la fréquence de stimulation nécessaire pour atteindre la force maximale sera d'autant plus élevée que la proportion des fibres de type II (FT) est importante. En général, la force maximale est obtenue chez l'homme pour des fréquences de stimulation comprises entre 50 et 120 Hz.

Le protocole le plus souvent utilisé est celui de la stimulation russe qui utilise une fréquence porteuse de 2500 Hz et une fréquence de train de 50 Hz.

### Développement de la force

Comme pour la musculation avec charge, le développement de la force dépend de l'intensité de la contraction. On ne peut obtenir de progrès en ES si la force induite est inférieure à 60% de la force maximale volontaire. Il est donc primordial de contrôler la force produite lors d'un entraînement normal à l'aide d'un dynamomètre.

Les progrès en force sont variables en fonction du groupe musculaire stimulé, de la spécialité des athlètes, de leur niveau de pratique et du stimulateur utilisé.

Protocole type :

- § fréquence porteuse de 2500 Hz (50-70 trains d'impulsions)
- § fréquence de train entre 2 et 5 Hz
- § durée de phase de 400  $\mu$ s
- § rythme de 5 secondes de contraction et 15 secondes de repos
- § l'intensité est augmentée jusqu'à l'obtention d'une contraction tétanique
- § chaque séance de stimulation dure 10 min
- § 3 séances de stimulation par semaine pendant 3 à 4 semaines
- § le stimulateur utilisé est du type Compex Sport

### Développement de l'endurance

Une étude faite par Miller a permis de démontrer l'effet de l'ES sur l'endurance. À cette fin, le protocole utilisé est le suivant :

- § fréquence porteuse de 2500 Hz
- § fréquence de train de 8 Hz
- § durée de phase de 300  $\mu$ s
- § courant est appliqué pendant 55 secondes pour 2 secondes de repos
- § l'intensité est augmentée jusqu'à l'obtention d'une contraction tétanique



- § 90 min de stimulation matin et soir
- § 6 jours par semaine pendant 6 semaine

Les résultats ont démontré que les sujets de l'étude présentent des résultats similaires aux sujets actifs témoins lors de test de fatigue.

### CAS CLINIQUE 1

Suite à un accident de cheval en 1995 qui lui causa une fracture de C2, Christopher Reeve est devenu quadraplégique. Il a alors perdu toute sensation et toute fonction motrice. Sept ans plus tard, il récupère une certaine sensation sous le niveau de la fracture et il est capable de bouger certaines articulations. Plus précisément, il a retrouvé une certaine mobilité au niveau du cou, la totalité de la motricité et de la sensibilité au niveau sacré et plus de la moitié des muscles clés sous la lésion sont à +3. De plus, il a retrouvé la sensation du toucher léger, de la localisation, de la discrimination et l'intensité du toucher. Cela lui permet donc de savoir lorsqu'il a mal ou lorsqu'il est inconfortable. Il peut bouger son poignet, les doigts de sa main gauche et ses pieds. Sous l'eau, il peut étirer complètement ses jambes et ses bras contre résistance mais il n'a toujours pas d'équilibre pour s'asseoir, se tenir debout et pour marcher.

Une partie du traitement qu'il a suivi consiste en une méthode appelée *Functional electrical stimulation*. M. Reeve fait une heure de vélo au moins 3 fois par semaine sur un FES bicycle. Cette nouvelle technologie permet à une personne ayant peu ou pas de mouvement volontaire des jambes de pédaler à un cycle stationnaire. Un système informatisé transmet des impulsions électriques de bas niveau par l'intermédiaire d'électrodes positionnées sur les jambes. Cela provoque des contractions coordonnées qui permettent le mouvement de pédalier.

### CAS CLINIQUE 2

#### **Exemple d'un entraînement d'ES sur la performance en Volley-ball :**

Dans le cas présent, le but principal de l'entraînement à l'ES est d'influencer la performance des sauts en hauteur chez les joueurs de volley-ball. La durée totale de l'entraînement est de 4 semaines où des sessions d'ES et des entraînements de volley-ball ont lieu. En ce qui concerne l'ES, 20 à 22 stimulations ont été induites au niveau des muscles du genou (extenseur, fléchisseur plantaire) pour une durée approximative de 12 minutes.

### CAS CLINIQUE 3

#### **Exemple d'un entraînement d'ES sur la performance en basket-ball :**

Le but d'un entraînement en ES chez des joueurs de basket-ball est d'influencer la force des extenseurs du genou et la performance des sauts verticaux.

Protocole :

- Utilisation de l'appareil Compex-2
- Fréquence de train de 100Hz
- Total de 48 impulsions par trains
- Contraction de 3 secondes suivi d'un repos de 17 secondes
- Durée de phase de 400µs
- Électrodes de 25 cm<sup>2</sup>
- Électrodes disposées sur les vastes médial et latéral de chaque jambe au niveau des points moteurs et à l'insertion proximale de chaque muscle
- 4 semaines à raison de 3 fois par semaine

Une fois l'expérience terminée, les résultats ont démontré une augmentation significative de la force excentrique et une augmentation de la vélocité des contractions.

#### CAS CLINIQUE 4

##### **Exemple d'un entraînement d'ES sur la performance en natation :**

Une étude par Pichon et al. a été effectuée sur des nageurs afin d'augmenter la force musculaire du grand dorsal. En plus de s'entraîner 5 fois par semaine à raison d'une heure et demie par session (5000-6000 mètres), les sujets ont reçu un traitement par electro-myo-stimulation.

Le protocole utilisé est le suivant :

- Stiwel stimulator
- Électrodes de 2 mm d'épaisseur; une de 22 cm<sup>2</sup> et l'autre de 66 cm<sup>2</sup>
- Électrode négative placée au niveau du point moteur de chaque grand dorsal
- Électrode positive au niveau de la musculature paravertébrale
- Fréquence de train de 80 Hz
- Durée de fréquence de 300 µs
- Contraction de 6 sec et repos de 20 sec
- Total de 27 contractions par session

Suite à l'expérimentation, les chercheurs ont conclu que l'ES du grand dorsal augmente la force, dans des conditions isométrique, excentrique et concentrique, et la performance des nageurs.

#### **INDICATIONS**

Les applications de la neurostimulation électrique sont nombreuses. Elles peuvent concerner le muscle sain du sportif pour lequel il est recherché une amélioration de force maximale, ou sur le muscle totalement ou partiellement dénervé afin de lutter contre l'amyotrophie. Un traumatisme articulaire, un épisode chirurgical, une immobilisation plâtrée sont également des situations courantes pour lesquelles la stimulation électrique des muscles est utile à la préservation de la fonction musculaire ou à la consolidation des

territoires lésés. Nous ne traiterons que de l'indication de l'ES dans le cadre de l'amélioration de la performance sportive.

La performance est un concept qui dépend de nombreuses variables dont la vitesse de récupération et la force musculaire. Ainsi, pour évaluer l'efficacité de l'entraînement par ES il importe d'analyser ces différents déterminants. La majorité des études ont analysé les facteurs isolément c'est-à-dire dans un contexte d'étude expérimentale en laboratoire ne permettant pas toujours de dégager de résultats significatifs. Face aux résultats souvent positifs de l'ES, une nouvelle avenue de recherche a été explorée : l'utilisation de l'ES au sein d'un programme d'entraînement spécifique. Nous ferons une brève revue de la littérature afin de conclure sur l'utilité réelle de l'ES dans l'optique d'une amélioration de la performance sportive.

La capacité de récupération fait appel aux principes de fatigue musculaire. Ce dernier concept, très équivoque encore à notre époque, semble être le résultat d'un changement de pH dans les myocytes dû à l'accumulation de déchets métaboliques tel que l'acide lactique et les ions potassiques, de l'épuisement des réserves de créatine-phosphate et d'ATP et de la modification du potentiel de membrane. Un pH acide empêche la contraction musculaire tandis qu'un manque d'ATP inhibe le détachement des têtes de myosine.

Lors d'un effort musculaire, l'organisme fait appel à différentes enzymes pour rétablir l'homéostasie du muscle. Ces enzymes sont toutes dépendantes d'un apport d'oxygène adéquat. Il est donc permis de croire que l'augmentation de la quantité de ces enzymes ainsi que l'amélioration du flux sanguin et de l'échange gazeux au niveau du muscle améliorera la capacité de récupération de l'individu.

L'efficacité de l'ES a été démontrée dans une étude prospective de faible amplitude utilisant un protocole de 55 secondes de contraction et de 2 secondes de repos. Une amélioration au test de fatigue a été observée après 6 semaines d'entraînement à raison de 6 fois par semaines. Dans cette même étude, les chercheurs ont constaté une augmentation de la capillarisation musculaire (meilleur apport sanguin au muscle) et un changement de la proportion des différents types de fibres (augmentation des fibres IIa (résistante à la fatigue) et diminution fibres IIb (peu résistante à la fatigue)). Toutefois l'étude a été menée chez des sujets sédentaires. (Couturier,A) Pour sa part, l'équipe de Maitre a étudié l'effet de la récupération active par ES sur la lactémie et la diminution de la force maximale. Son étude a démontré une récupération plus efficace chez les sujets recevant un protocole de récupération active par ES (moins d'acide lactique et plus de force à la dernière série). (Maitre, S) Tel que citée plus haut, la revue de littérature de Morrissey conclue que l'ES semble modifier positivement la quantité d'enzymes oxydatives. (Morrissey) À la lumière de ces résultats, il est possible de conclure à l'efficacité de l'ES pour la récupération lors de l'activité physique cardiovasculaire ou musculaire. Nous reviendrons en conclusion sur l'application de l'ES dans un programme d'entraînement non contrôlé expérimentalement.

L'étude de l'amélioration de la force maximale volontaire par l'ES a attiré le plus d'intérêt de la part des chercheurs. L'entraînement en force nécessite une contraction musculaire d'une intensité suffisante pour créer une adaptation. L'expérience et la recherche stipule que cette intensité doit être minimalement de 60%. Selon certaines études, le niveau d'intensité volontairement induit est très variable d'un athlète à l'autre, passant de 10% à 90%. (Cometti, G) Dans le cas de l'ES, l'intensité dépend du seuil de tolérance de l'athlète à la stimulation des fibres de type C (qui achemine la douleur). La littérature conclue qu'il est tout de même possible d'atteindre une intensité de 58% à 126% selon l'appareil utilisé et le type d'athlète étudié. Dans cette optique, plusieurs études ont conclu à l'amélioration de la force de 14% à 52% selon le groupe musculaire ou le type d'activité pratiquée. (Lloyd CT, Enoka R, Kots YM, Maffiuletti NA, Selkowitz DM) L'étude phare demeure celle de Kots et collaborateurs qui a mis au point le protocole de stimulation russe.

Pour leur part, Eriksson et ses collaborateurs ont étudié les effets de l'ES intermittente du quadriceps à raison de 4 à 5 séances par semaine pendant 5 semaines. Malgré une augmentation moyenne de 18% de la force maximale du muscle, ils n'ont pas enregistré de modification du diamètre des fibres musculaires, pas plus que du pourcentage de fibres lentes et rapides du muscle. De même, ni l'activité des principaux enzymes des différents processus métaboliques, ni le nombre et la morphologie des mitochondries ne présentaient de modification significative après stimulation. (Erikson) Ceci suggère donc un mécanisme neurologique de l'amélioration de la force maximale de contraction. (Enoka RM, Maffiuletti NA (2000)) Rappelons également que l'ordre d'activation des unités motrices est inversée par rapport à la stimulation volontaire. Ceci pourrait être d'un intérêt particulier dans un programme d'entraînement spécifique.

On a également constaté qu'un cycle de 3 semaines modifie les trois types de force, c'est-à-dire la force maximale excentrique, isométrique et concentrique. En effet, une expérience de stimulation faite sur le grand dorsal a démontré une amélioration importante de la force et d'autant plus sur la force excentrique (40%). Ainsi, la **modification de la force maximale excentrique** représente certainement une des particularités de l'ES. Cette méthode fait donc progresser l'athlète sur la plage complète des paramètres de la force, ce qui entraîne une amélioration plus durable et transférable dans les diverses expressions de la force. (voir figure 4)

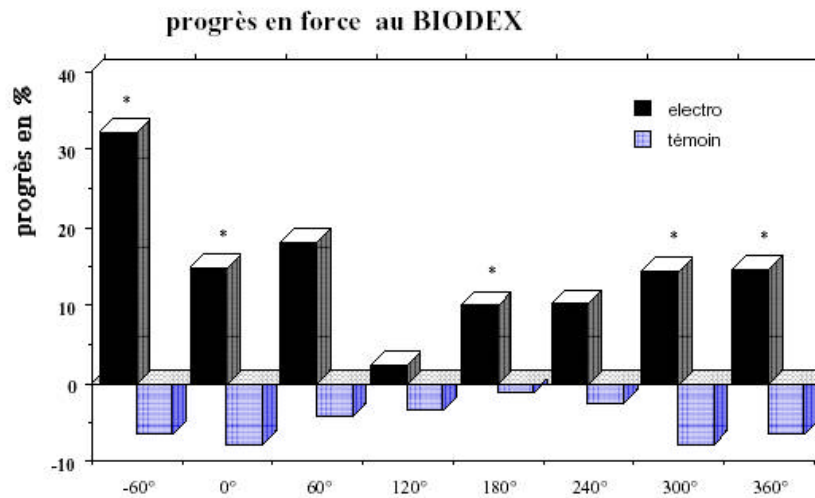


Figure 4 : les progrès en force mesurés au biodex sur un mouvement de flexion-extension de l'épaule, à l'issue d'un cycle de stimulation du grand dorsal. On constate les progrès importants en excentrique (-60°/s)

Les études comparatives concluent généralement à une efficacité similaire ou supérieure à l'entraînement par contraction volontaire (Thépaut M, Anzil, Mc Micken). Il ressort de cette synthèse de nos connaissances actuelles des effets de l'ES chez l'homme, présentant un système neuromusculaire intact, que cette méthode peut être intéressante pour l'entraînement en force musculaire. De plus, l'importance de ce facteur dans l'amélioration de la performance s'explique aisément que ce soit pour le kayakiste ou pour le cycliste. Pour un effort équivalent, un muscle plus fort utilisera moins d'énergie pour effectuer le travail.

La mise dans un contexte de performance sportive impliquant des mouvements complexes nécessitant une coordination neuromusculaire est nécessaire. Les athlètes sont généralement sceptique face à l'utilité de l'entraînement par ES en raison de la violation de la règle de spécificité. En effet, l'ES est effectuée en contraction isométrique versus un mouvement spécifique au sport. Bien qu'il est été démontré que l'ES améliore la force maximale lors de contraction en chaîne cinétique ouverte, son utilité lors de mouvement en chaîne cinétique fermée reste évasive. Des études d'efficacité ont été menées chez des cyclistes, des nageurs, des haltérophiles et des joueurs de basket-ball lors de mouvement en chaîne fermé tel que le saut vertical. (Maffiuletti NA (2002), (2000), Pichon F, Cometti G) L'ensemble de ces études conclue à une amélioration de la performance sportive via l'augmentation de la force isométrique, concentrique et excentrique. Chez le nageur, l'ES a permis de diminuer significativement le temps pour réaliser un sprint de 25 et 50 mètres et ce en seulement 3 semaines d'entraînement. (Pichon F.) Aucune différence n'a été notée pour le groupe contrôle effectuant seulement des exercices en piscine. Chez le joueur de Volley-ball, le saut vertical a été amélioré de 14% après 4 semaines d'ES. (Maffiuletti NA (2000)) En jumelant cette amélioration du saut statique à un programme d'entraînement spécifique de 4 semaines, les auteurs ont observé une

amélioration de 18% de la hauteur du saut dynamique. Ceci démontre l'utilité de l'ES utilisé seul ainsi qu'en conjonction avec un programme d'entraînement sportif habituel.

Une autre étude menée chez les joueurs de volley-ball a analysé l'effet d'un programme d'ES jumelé à un entraînement plyométrique sur la hauteur de différents sauts verticaux. Des améliorations intéressantes de 12 à 23% ont été notées. (Maffiulettie NA 2002) Fait notable, l'amélioration s'est poursuivie durant les 2 semaines d'entraînement spécifique suivant le programme d'ES. Cette étude souligne encore l'intérêt de jumeler l'ES et l'entraînement spécifique afin d'optimiser les gains au cours de mouvement en chaîne fermée et de permettre au système nerveux central d'optimiser le contrôle des propriétés neuromusculaires. Ces résultats probants viennent à l'encontre de l'argument voulant que la stimulation d'un seul groupe musculaire par l'ES ne soit pas suffisante pour l'amélioration de la performance sportive.

## **CONTRE-INDICATION**

Un examen attentif de la littérature révèle qu'il n'y a que peu de contre-indications à l'ES. En fait, les contre-indications retrouvées dans la littérature le sont souvent en raison de suspicion d'un rapport risque/bénéfice trop haut.

Une des raisons sous-jacente à la plupart des contre-indications est l'effet vasculaire de l'ES. Il a été démontré que l'ES améliore le flux sanguin. (Sersa G, Tang) Dans plusieurs cas, cet effet pourrait se révéler néfaste. Il n'y a qu'à citer toutes les pathologies hémorragiques (hémophilie), les affections cardiaques nécessitant un traitement anti-coagulant, les thromboses veineuses (risques d'embolies), faiblesses vasculaires et hémolytiques, ainsi que les applications d'ES sur des sites vasculaires (comme les sinus carotidiens, etc.). Une des plus grandes complications de l'ES, en ce qui concerne son effet vasculaire, réside certainement lorsqu'il y a une tumeur ou une infection. En effet, il a été démontré que l'ES était en mesure d'affecter le débit sanguin alimentant une tumeur. (Sersa G) Le même phénomène est extrapolé lors d'une infection.

Une autre contre-indication fréquemment retrouvée et qui n'est pas pleinement démontrée est la contre-indication de séance d'ES chez les sujets portant des pacemakers ou des stérilets métalliques. Alors que la contre-indication d'implant métallique lors de thérapie à ultrason est clairement démontrée, ce pas reste à faire dans le cas de l'ES.

Il est habituellement déconseillé aux patients souffrant de problèmes neuro-musculaires ou neurologiques (ex. épilepsie) de recourir à l'ES.

Aucune utilité n'est retrouvée à l'ES durant la grossesse. Il est déconseillé de renforcer la diastase physiologique des rectus abdominis durant la grossesse. L'ES peu toutefois servir à cet usage après la grossesse. (Meyer) Cependant, bien qu'en l'absence de bénéfice à exercer l'ES chez les femmes enceintes, des risques concernant la santé du fœtus n'ont pas été démontrés.

Il est évident que les applications sur des régions fragiles sont à proscrire. Dans ce chapitre, on inclut les yeux, les lésions cutanées, forte inflammation, région ayant une perte de sensibilité, trans-crânien, trans-thoracique (proximité du cœur), etc.

En résumé, il apparaît que l'entraînement par ES provoque des adaptations similaires à celles observées par contractions volontaires et que ces gains sont transposables en terme d'amélioration de la performance en situation réelle. Sans être une panacée, l'ES est un outil supplémentaire dans le développement d'athlète de tous les niveaux. Toutefois, l'implication de l'inversion de l'activation des unités motrices devra être éclaircie ainsi que la comparaison entre différents protocoles d'entraînement.

Parmi les avantages de l'ES on peut noter :

- une possibilité de gain de masse musculaire
- une augmentation de force qui touche tous les paramètres de la force.
- une amélioration des performances sportives.

La méthode est également intéressante :

- pour l'échauffement à la compétition
- pour travailler les jambes quand on ne peut soulever de charge.
- pour entretenir la force en période de compétition.

## RÉFÉRENCES :

- 1- Couturier A. « L'entraînement sous électrostimulation favorise-t-il l'endurance musculaire ? » [<http://www.savoir-sport.org>] 2004-11-01.
- 2- Maître S, Hautier C, Toumi H, Poumarat G, Fellmann N. « Influence de l'électromyostimulation de surface sur la récupération des paramètres musculaires et la lactémie sanguine au cours d'un exercice sur presse inclinée. » 3<sup>ème</sup> colloque de biologie de l'exercice musculaire, Clermont-Ferrand, 2001.
- 3- Thépaud M. « L'entraînement de la force par électrosimulation n'est pas aussi efficace que l'entraînement par contraction volontaire. » *Les cahiers de l'INSEP* n°21: 339-371.
- 4- Lloyd CT, De Dominicis G., Strauss G.R. and Singer K. - A review of the use of electro-motor stimulation in human muscles. *Australian J Physiotherapy*, 1986, 32:18-30.
- 5- Enoka R. - Muscle strength and its development: new perspectives. *Sports Medicine*, 1988,6:146-168.
- 6- Kots YM, Chiwlon BA « Entraînement de la force musculaire par la méthode d'électrostimulation, communiqué n 2: méthode d'entraînement. » *Teorija/praktika fisishekoi kuîtury*, 1971; 4 66-73.
- 7- Eriksson E, Haggmark T, Kiessling KH, Karlson J « Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. » *Int J Sports Med*, 1981; 2:18-22.
- 8- Anzil F, Modotto P, Zanon S. « Enfatungs bericht Ober die Vermehrung Isometrischen maximalen Muskelkraft durch Zusätzliche Elektrostimulation und die kriterien ihrer anvendung in sport. » *Leistungssport* 1974;2:143-146.

- 9- Mc Micken DF, Todd-Schmit M, Thomson C. « Strengthening of human quadriceps muscles by cutaneous electrical stimulation. » *Scand J Rehab Med* 1984;15 : 25-28
- 10- Maffiuletti NA, Pensini M, Martin A. « Activation of human plantar flexor muscles increases after electromyostimulation training. » *J Appl Physiol*, 2002; 92: 1383–92.
- 11- Cometti G. « Intérêt de l'électrostimulation dans l'entraînement des sportifs de haut niveau. » *Unité de formation et de recherches en sciences et techniques des activités physiques et sportives*, Université de Bourgogne.
- 12- Morrissey MC. « Electrostimulation from a clinical perspective : A review. » *Sports Med* 1988 ; 6 : 29-41.
- 13- Maffiuletti NA, Dugnani S, Folz M, Pierno ED, Mauro F. « Effect of combined electostimulation and plyometric training on vertical jump height. » *Med & Science in Sports & exercice* 2002; 1638-44.
- 14- Pichon F, Chatard J-C, Martin A, Cometti G. « Electrical stimulation and swimming performance. » *Med & Science in Sports & exercice* 1995; 1671-76.
- 15- Maffiuletti NA, Cometti G, Amiridis G, Martin A, Pousson M, Chatard J-C. « The effects of electromyostimulation training and basketball practice on muscle strength and jumping ability. » *Sports Med* 2000; 21: 437-43.
- 16- Selkowitz MD. « Improvement in isometric strength of the quariceps femoris muscle after training with electrical stimulation. » *Phys Ther* 1985; 65: 186-96.
- 17- Maitre S.«Électrostimulation et Électrostimulateurs» [http :// www.preparation-physique.net](http://www.preparation-physique.net) 1999-2002.
- 18- TANG TM Augustine. « Observation and basis of improved blood flow to the distal latissimus dorsi muscle: a case for electrical stimulation prior to grafting. » *Cardiovascular research* 1998, 40; 131-7.
- 19- SERSA G, « Tumor blood flow changes induced by application electric pulses. » *Euro J Cancer*, 1999, 35(4):.672-77.
- 20- MEYER S, « Pelvic floor education after vaginal delivery. » *Obst and gyneco* 1997, 97(5) part 1.

**Contacter le Dr Laflamme**  
**Clinique chiro-santé**  
**687-5372**  
**Chiro\_sport@hotmail.com**