

Comment pratiquer l'électrothérapie excito-motrice ?

B. POLLEZ, A. THÉVENON

Médecins de Rééducation, Unité de Rééducation (Pr B. Delcambre) du Centre de Soins pour les Personnes Âgées (Pr Ph. Dewailly), C.H.U., 59037 Lille Cedex.

A. Notions de base

Pour stimuler des cellules musculaires, obtenir leur contraction, il faut une impulsion électrique (fig. 1 A) :

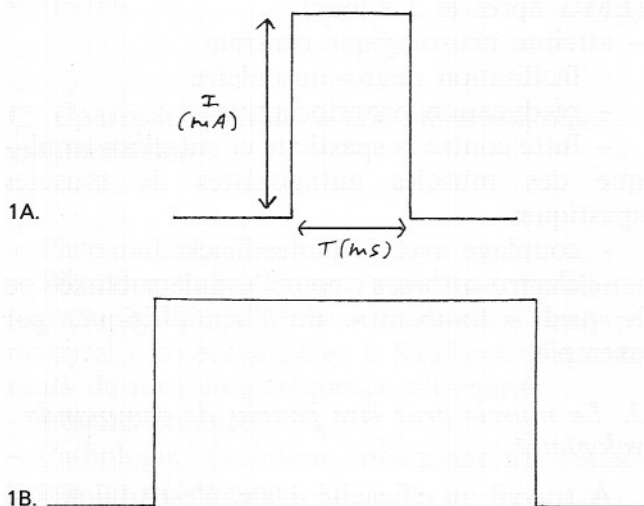


FIG. 1 A et 1 B. - Impulsions électriques.

Elle sera caractérisée par son intensité (milliampères, mA) et sa durée (milli-secondes, ms). Pour une certaine durée, il faut une certaine intensité, et réciproquement. Chaque muscle est ainsi caractérisé par la courbe établissant la

relation nécessaire entre intensité et durée d'une stimulation efficace, qui est une hyperbole équilatère (fig. 2 A) :

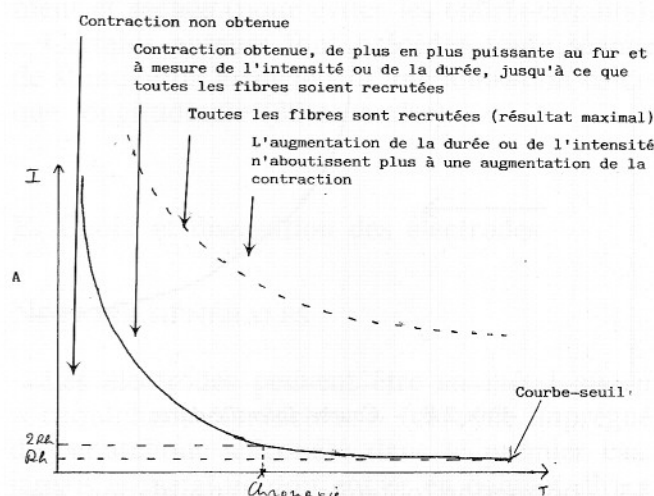


FIG. 2 A. - Courbes Intensité-durée.

- Si les cellules musculaires stimulées sont normalement innervées, c'est en fait automatiquement les branches nerveuses (divisions des axones) que l'on stimulera, car la fibre nerveuse est plus sensible à l'excitation électrique que la cellule musculaire. La contraction musculaire obtenue sera donc le résultat d'une stimulation passée par la ramification nerveuse et la synapse neuromusculaire.

Dans ce cas, l'impulsion électrique n'aura pas besoin d'être de longue durée (moins d'1 ms suffit). Pour une certaine intensité, nous obtenons la contraction.

Cette contraction résultant d'une stimulation

électrique d'un muscle innervé sera vive, rapide, en éclair.

Comme les impulsions sont courtes, on pourra les répéter à une certaine fréquence.

• *Si les cellules musculaires stimulées ne sont plus innervées* (à la suite d'une lésion neurologique périphérique avec dégénérescence Wallerienne), la stimulation exercée pourra encore obtenir une contraction mais il faut qu'elle ait une durée plus longue (fig. 1 B), souvent plus de 100 ms, car cette fois, la stimulation devra exciter directement la fibre musculaire, sans passer par le nerf ou ses ramifications disparues, et la fibre musculaire est naturellement moins excitable que la fibre nerveuse. On sait en effet que la chronaxie d'un muscle dénervé est augmentée, et que sa courbe I/T est décalée vers la droite (fig. 2 B).

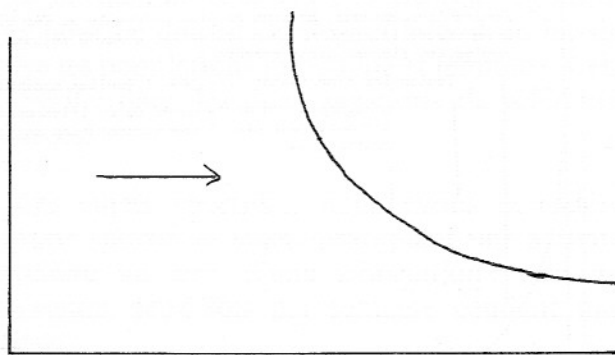


FIG. 2 B. - Courbe Intensité-durée.

La contraction obtenue par stimulation électrique d'un muscle dénervé sera lente à croître et lente à décroître (« réaction de ralentissement » de l'électrodiagnostic de stimulation), comme si le muscle était englué.

Comme les impulsions doivent être longues et que la structure neuromusculaire est malade, on les laissera isolées, sans répétition rapide.

B. Pourquoi stimuler ?

MUSCLE DÉNERVÉ (*atteinte neurologique périphérique avec dégénérescence wallerienne*)

La réinnervation est parfois très longue à apparaître : la repousse nerveuse, quant elle peut

se faire correctement (qualité de la canalisation effectuée par les gaines), est lente (1 mm/jour en moyenne). Dans l'intervalle, un muscle non stimulé risquerait de se fibroser définitivement.

L'électrothérapie excito-motrice n'aura aucune influence sur la repousse nerveuse mais permettra que celle-ci ne se fasse pas en vain en entretenant dans l'attente la contractilité des fibres musculaires et un minimum de trophicité.

MUSCLE INNERVÉ

1. *Le muscle peut être dénué de commande volontaire :*

- levée d'une inhibition réflexe ou d'une sidération musculaire dans un contexte traumatologique, chirurgical ou rhumatologique ; réapprentissage du schéma corporel ;
- atteinte neurologique périphérique, ne constituant qu'une neurapraxie (simple blocage de la conduction) sans axonotmesis ou neurotmesis caractérisés par une dégénérescence wallerienne (EMG après le 21^e jour) ;
- atteinte neurologique centrale :
 - facilitation neuro-musculaire
 - rééducation proprioceptive
 - lutte contre la spasticité et entretien trophique des muscles antagonistes de muscles spastiques
 - couplage avec le biofeedback
 - électro-orthèses : pour l'épaule subluxée ou le pied « tombant » de l'hémiplégique, par exemple.

2. *Le muscle peut être pourvu de commande volontaire :*

À travail ou efficacité égale, c'est toujours la contraction volontaire que l'on choisira. L'électrothérapie stimulante ne garde ici sa place que quand elle apporte un « plus ». L'ordre moteur volontaire doit toujours être associé.

- préparation trophique musculaire (sélective) à une prothésisation articulaire ;
- insertion dans un protocole de transplantation musculaire :
 - préparation sélective du futur transplant
 - initiation de la contraction volontaire du muscle transplanté, et facilitation du nouveau schéma moteur

- traitement excitomoteur des scolioses, ou des pieds-bots ;
- rééducation sphinctérienne et périnéale ;
- électrokinésithérapie des affections vasculaires des membres ;
- traitement électrique de la constipation des personnes alitées ;
- kinésithérapie active aidée ;
- assistance électrique fonctionnelle, renforçant un mouvement naturel.

DANS TOUS LES CAS

Quand la commande volontaire de la contraction n'est plus possible ou se fait mal, il est important que, de façon précoce, on se soucie que les fibres musculaires soient activées pour éviter leur atrophie et, indirectement, ce qui est tout aussi important, pour entretenir la trophicité régionale vasculaire, osseuse, etc., qui souffre dès que les muscles ne se contractent plus ; ce faisant, on préservera aussi le schéma corporel.

C. Contre-indications à une électrothérapie excitomotrice

- Pace-maker.
- Pièces métalliques exo- ou endotissulaires (agrafe, stérilet, prothèse articulaire ou dentaire, matériel d'ostéosynthèse...). Sauf pour les courants de moyenne fréquence alternatifs.
- Lésions cutanées.
- Pathologie évolutive inflammatoire, infectieuse ou néoplasique.
- Grossesse ou période menstruelle (pour un traitement sur la région abdominale).
- Pas de basse fréquence sur l'aire cardiaque (risque d'arrêt cardiaque ou de fibrillation ventriculaire).
- Prudence en cas d'altération des sensibilités, de réaction à la douleur atténuée, ou de troubles de la conscience.

Règle impérative : si en cours de séance d'électrothérapie excitomotrice, la réponse mécanique s'épuise, signe de fatigue musculaire, la séance doit être interrompue. Lors de la séance

suivante, les temps de repos intermittents seront majorés. De même, dans le calendrier des séances, il faut faire des fenêtres thérapeutiques.

D. Préparation du patient

- Les conditions d'installation, d'ambiance et d'information doivent aboutir à la plus grande détente du patient.
- Le muscle à stimuler sera installé de façon à n'être pas étiré mais légèrement raccourci.
- Les muscles doivent être éventuellement réchauffés et irrigués par massothérapie et physiothérapie préalables.
- La peau doit être nettoyée, dégraissée (pour diminution de sa résistance), rincée soigneusement et séchée (pour éviter les courts-circuits).
- Certains auteurs font précéder toute séance de stimulation artificielle d'une ionisation calcique longitudinale (30 secondes).

E. Choix et disposition des électrodes

NOTIONS GÉNÉRALES

Les électrodes peuvent être en métal ou en « caoutchouc conducteur » (carbone imprégné de caoutchouc siliconé) ; dans le premier cas, jamais le métal ne doit entrer en contact direct avec la peau, il y a lieu d'interposer au moins 1 cm d'éponge végétale propre et rincée imbibée d'eau salée si possible (7/1000) ; avec les électrodes de caoutchouc, il est conseillé d'interposer un peu de gel, non salin. Ces dernières électrodes sont sans danger de brûlure pour la peau, mais ne peuvent être utilisées que pour des basses fréquences car leur résistance au passage du courant augmente avec la fréquence.

Attention aussi de choisir de façon appropriée la (les) dimension(s) des électrodes : elles doivent être adaptées à la morphologie du muscle à stimuler et à l'intensité nécessaire (risque de brûlure si trop grande « densité de courant » sur trop petite surface, en considérant éventuellement bien sûr la taille de la plus petite des 2 électrodes).

Le maintien en place des électrodes doit recourir à des éléments strictement isolants, en pratique souvent des bandes de caoutchouc.

QUAND LA STRUCTURE MUSCULAIRE EST INNERVÉE

On peut la stimuler en posant l'électrode —, c'est-à-dire la cathode, sur le point moteur du nerf (ce qui stimulera tout le territoire moteur du nerf en aval du point de stimulation), ou sur le point moteur du muscle. Il suffit de se reporter à des cartes de topographie des points moteurs nerveux et musculaires et d'affiner localement la recherche sur le patient (meilleure réponse).

Cette technique est dite « monopolaire active ». C'est l'électrode — que l'on choisit car le nerf ou le muscle sont polarisés au repos avec des charges + à l'extérieur.

Quant à l'électrode +, qui ferme le circuit, on pourra la placer à l'extrémité du muscle, ou sur la partie proximale ou distale du membre, ou, sous forme d'une plaque, dans le dos au niveau des émergences radiculaires vertébrales du nerf considéré, avec les mêmes précautions en fonction de sa constitution.

La localisation relative des 2 électrodes dépend de la profondeur de l'effet excitomoteur recherché : plus elles sont proches l'une de l'autre sur un même versant de membre, plus l'influence électrique restera superficielle.

Leurs dimensions relatives influenceront la dispersion ou la focalisation du courant :

Une cathode (—) de dimensions relativement limitées permettra la focalisation de l'effet excitomoteur sur le point moteur considéré. Une large anode (+) permettra au courant de diffuser ensuite sans effet.

Ces éléments, localisations relatives et dimensions relatives des électrodes, influencent donc l'intensité nécessaire du stimulus à appliquer, en permettant de la minimiser.

QUAND LA STRUCTURE MUSCULAIRE EST DÉNERVÉE

Il n'y aura par définition plus de point moteur et il suffira de placer les 2 électrodes, dont il n'y a plus de raison que leurs dimensions soient

différentes, et avec les mêmes précautions quant à la peau, indifféremment aux 2 extrémités du muscle ou faisceau musculaire à stimuler. C'est la technique bipolaire.

F. Comment stimuler ?

Dans tous les cas, muscle innervé ou muscle dénervé, pourvu que la durée et l'intensité aient des valeurs adéquates supralimentaires (« tatonnement » très progressif) une impulsion obtient une contraction, d'autant plus puissante que l'intensité est forte, par augmentation du recrutement des fibres nerveuses et/ou musculaires, dans les limites tolérées par le patient et imposées par la taille des électrodes.

Une précaution est indispensable : avant d'ouvrir ou de fermer le courant, il faut toujours que le potentiomètre (intensité) soit à 0, faute de quoi le patient ressentira alors de très désagréables petits chocs électriques.

- *Si le muscle est dénervé*, une séance d'électrothérapie excitomotrice ne sera constituée que de quelques (4 à 5) stimulations isolées sur chaque faisceau musculaire dénervé.

La durée nécessaire de chaque impulsion est souvent comprise entre 400 et 1 400 ms. L'intensité est trouvée par « tâtonnement » très lentement progressif.

Pour éviter de fatiguer les cellules musculaires dénervées ou de risquer de léser les ramifications axonales en cours de repousse, on ne fera pas davantage de stimulations que ce qui vient d'être indiqué, et surtout on laissera entre 2 impulsions consécutives un temps de repos confortable : par sécurité on a l'habitude de calculer des temps de repos de 100 fois la durée de la stimulation (par exemple : 60 000 ms soit 1 minute entre des stimulations de 600 ms).

- *Si le muscle est innervé*, qu'il soit ou non dénué de commande volontaire, l'électrothérapie prendra alors un autre aspect :

- toute stimulation artificielle devra être obligatoirement très précisément associée à un effort de commande volontaire de la part du patient ;

– on pourrait aussi effectuer quelques stimulations isolées, à la différence que la durée de chaque impulsion n'a pas besoin d'être aussi longue, une impulsion très courte (≤ 1 ms) pouvant même suffire à déclencher la contraction pour une certaine intensité.

En fait, on sait qu'à intensité égale, l'action trophique sur le muscle et la force de contraction développée seront meilleures s'il est un court instant téтанisé, c'est-à-dire si les contractions individuelles ne se dissocient plus les unes des autres dans le temps, mais s'enchaînent les unes aux autres sans relaxation intermittente.

Il suffit souvent que les impulsions se répètent à une fréquence de 50 à 60 fois par minute (50 à 60 Hz), pour obtenir une téтанisation d'un muscle innervé (selon les muscles, la fréquence nécessaire à une téтанisation varie de 20 Hz à 350 Hz).

Comme elles peuvent être très courtes, c'est maintenant possible. C'est pourquoi on pratiquera non plus des impulsions isolées mais des « trains d'impulsions téтанisantes », chacun durant quelques secondes et séparé du suivant par des temps de repos au moins égaux à la durée du train d'impulsions, souvent triples par sécurité (fig. 3 A) :

En fait, on considère alors la *courbe-enveloppe* du courant et non plus les impulsions une à une (fig. 3 B) :

– Un train est donc fait d'impulsions très courtes répétées à une certaine fréquence (en Hz, ou c/sec.).

– La plupart des muscles innervés sont téтанisés à partir de 50 à 60 Hz et on pourrait se contenter de cette fréquence, mais Djourné a montré que, par dissociation des seuils excito-moteur et sensitif, le confort du patient était amélioré à des fréquences relativement élevées, relevant du domaine de la moyenne fréquence : en pratique, selon les auteurs, les fréquences employées vont de 600 à 4 500 Hz.

Bien sûr, à ces fréquences, la majeure partie des impulsions individuelles est perdue car elles tombent dans des périodes réfractaires de l'excitabilité musculaire (maxi. : $\simeq 60$ c/s) ou nerveuse (maxi. : $\simeq 1\,000$ c/s), mais la stimulation est beaucoup plus agréable pour le patient.

Notons toutefois que, comme d'Arsonval l'a montré, l'effet excitomoteur est à peu près stable

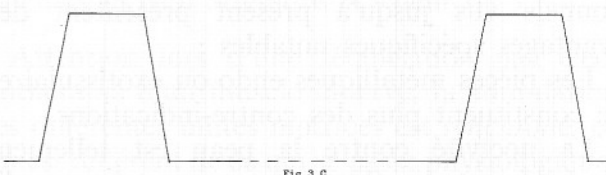


FIG. 3 A et 3 B et 3 C. – Trains d'impulsions téтанisantes.

et optimal de 2 500 à 5 000 Hz, puis diminue au-dessus de 5 000 Hz pour s'éteindre aux abords de la Haute Fréquence.

Par ailleurs, toujours pour le confort du patient, on donnera à la courbe de chaque train (et non plus de chaque impulsion, rectangulaire) non pas une forme rectangulaire, mais une forme trapézoïdale, si l'appareil le permet (fig. 3 C) : – Ce qui réalisera un recrutement progressivement croissant des unités motrices et un établissement progressif de la contraction musculaire, a fortiori s'il y a une spasticité antagoniste.

Une séance d'électrothérapie excitomotrice de structures musculaires innervées sera faite de 15 à 20 trains d'impulsions téтанisantes, chacun de quelques secondes (6 secondes par exemple), séparés par des intervalles de repos au moins égaux souvent triples (soit 18 sec.), par sécurité, la fréquence des impulsions constituant un train étant comprise entre 600 et 4 500 Hz.

La contraction obtenue doit approcher les 2 au testing et pour obtenir ce résultat il faut progressivement augmenter l'intensité. On fera attention de n'augmenter l'intensité que pendant le passage du courant (les trains) et non pendant les intervalles de repos.

Fig 4

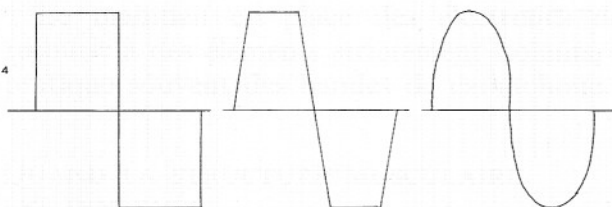


FIG. 4. — Courants alternatifs.

Notons enfin que nous avons une dernière alternative : on peut choisir que les impulsions qui se succèdent ne soient pas unidirectionnelles comme on l'a fait jusqu'à présent, mais de polarité alternative (fig. 4). Ces courants dits *bidirectionnels*, à l'opposé des courants unidirectionnels vus jusqu'à présent présentent des avantages spécifiques notables :

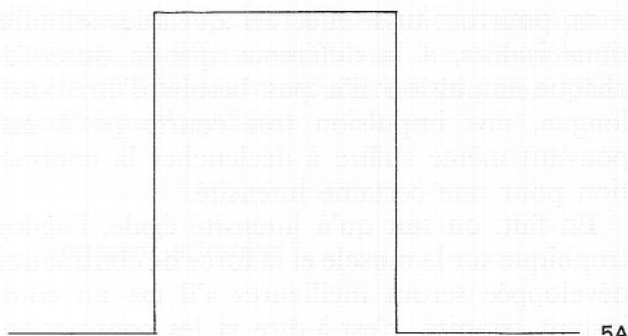
- Les pièces métalliques endo-ou exotissulaires ne constituent plus des contre-indications.
- La nocivité contre la peau est tellement diminuée que les électrodes peuvent être appliquées à même la peau (traitement sous plâtre).
- Le corps humain condensateur oppose à ce type de courant une résistance moins grande que pour les courants unidirectionnels, et ces courants bidirectionnels se propagent plus en profondeur (d'autant plus que leur fréquence est élevée).

• Enfin, il y a un dernier cas possible : celui où dans le muscle il y a des fibres dénervées et d'autres encore innervées (dénervation partielle : muscle innervé par plusieurs nerfs ou atteinte d'un seul contingent de fibres axonales à l'intérieur d'un nerf).

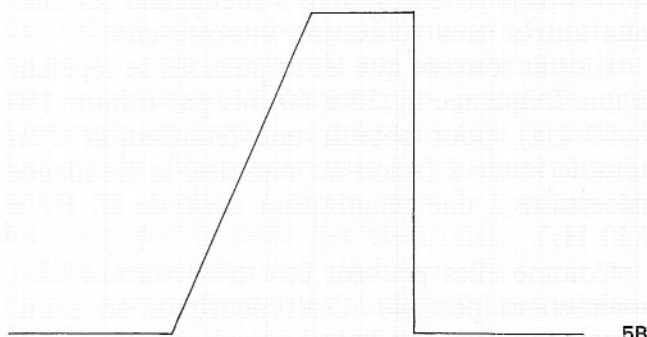
L'électrodiagnostic de stimulation reflétera l'existence de structures musculaires dans les 2 états et aboutira à une courbe I/T faite de 2 portions, l'une de type nerveux, et l'autre de type musculaire (décalée vers la droite).

L'électrodiagnostic de détection (EMG) enregistrera lors de l'ordre moteur volontaire une prédominance de la sommation temporelle sur la sommation spatiale puisque le nombre des unités motrices saines et activables est diminué : le tracé sera appauvri, simple ou intermédiaire, mais pas interférentiel.

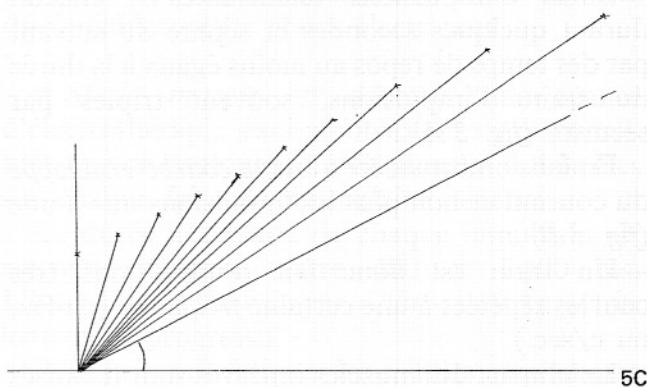
Pour stimuler *électivement* les fibres musculaires dénervées, on va employer une faculté qu'ont les fibres musculaires innervées et que perdent les fibres musculaires dénervées : l'accommodation. De quoi s'agit-il ?



5A



5B



5C

(La croix représente le déclenchement de la contraction)

FIG. 5 A, 5 B et 5 C. — Pentes croissantes d'installation d'une impulsion.

Si l'on stimule des fibres musculaires innervées avec une impulsion isolée rectangulaire (fig. 5 A) puis que, sans toucher à l'intensité, on installe l'impulsion beaucoup plus progressivement (fig. 5 B), on s'apercevra qu'elles ne se contractent plus, c'est-à-dire que la stimulation est devenue inefficace (notion de *climalyse*), parce qu'elles se sont accommodées. Il faut augmenter l'intensité pour obtenir une réponse.

Jusqu'à une certaine limite cependant, car au-delà d'une certaine lenteur à établir l'impulsion on peut augmenter son intensité indéfini-

ment sans déclencher de réponse musculaire (fig. 5 C).

Cette pente est la « pente limite » au-delà de laquelle l'accommodation est telle que l'impulsion perd tout pouvoir de stimulation.

Or les fibres musculaires dénervées, elles, n'ont plus cette faculté d'accommodation. Pour les stimuler électivement, il suffira alors de choisir des impulsions isolées de pente d'établissement plus inclinée que la pente-limite des fibres musculaires encore innervées, les autres conditions observant le même protocole que détaillé plus haut pour la stimulation de fibres dénervées. La réponse musculaire sera effectivement lente (réaction de ralentissement).

Conclusion

L'électrothérapie excito-motrice est une technique de rééducation assez systématisée, dans ses indications comme dans sa mise en œuvre.

A résultat égal, chaque fois que cela est possible la commande volontaire doit être préférée à toute stimulation artificielle.

L'électrothérapie excito-motrice est justifiée dans tous les cas où elle peut apporter un « plus ».

Le souci du thérapeute doit être de ne pas nuire, ni sur le plan physique (état neuromusculaire, état cutané, état général) ni sur le plan psychologique (cela reste un mode artificiel qui ne préjuge pas d'une possible récupération).

En dehors de la recherche d'une compensation (électro-orthèse) le relais doit être pris par la kinésithérapie active et la programmation naturelle du mouvement volontaire.

Les perspectives de l'électrothérapie excito-motrice sont actuellement agrandies par l'apparition de nouveaux moyens techniques prometteurs (gestion informatisée des stimuli, association au biofeedback) qui la rapprochent un peu plus des schémas physiologiques et accroissent son efficacité.

Notions annexes

- Dans une atteinte neuromusculaire partielle, on pourra placer l'électrode négative (cathode)

sur le point moteur musculaire et l'autre au niveau du tendon : c'est un combiné de technique bipolaire et de technique monopolaire active (« bipolaire avec monopolaire active »).

- La réinnervation, après atteinte neurologique périphérique avec dégénérescence, peut certes se faire par repousse axonale, mais peut se faire aussi par *adoption collatérale* de fibres musculaires dénervées par des axones restés sains. Cela aboutit à la constitution d'*unités motrices « géantes »*. Les possibilités de rotation des unités motrices seront donc réduites et le muscle restera fatigable, non transplantable, mais son testing fonctionnel peut atteindre la valeur de 5.

- Attention lors d'une tétanisation par électrothérapie d'un muscle innervé, la stimulation des différentes unités motrices est *synchrone*, ce qui est différent de ce qui se passe physiologiquement lors de la commande motrice volontaire naturelle où il y a une protection musculaire contre l'ischémie et la fatigue par une *rotation des unités motrices*, qui se relayent les unes les autres assurant à la contraction une valeur globale stable alors que les fibres musculaires travaillent en fait alternativement. L'électrothérapie excito-motrice qui stimule toutes les unités motrices de façon synchrone ôte au muscle cette protection, ce qui justifie qu'elle soit réalisée de façon prudente et intermittente par des trains d'impulsions assez courts (2 à 15 sec. par exemple) entrecoupés de repos assez longs pour permettre le métabolisme de la fibre musculaire.

- Tous les courants faits d'impulsions itératives ne se ressemblent pas ; ils sont caractérisés par la forme de leurs impulsions : les impulsions très courtes avec lesquelles nous avons constitué plus haut les trains tétanisants sont dites « homofaradiques » (0,1 à 1 ms). Elles ne sont pas toujours aussi courtes et n'ont pas toujours une forme rectangulaire.

Les figures 6A et 6B nous montrent la différence entre 2 courants de fréquence 100 Hz :
 . la figure 6A représente un courant de fréquence 100 Hz hémisinusoïdal,
 . la figure 6B représente un courant de fréquence 100 Hz homofaradique.

Remarquons que, si tous deux stimulent 100 fois par seconde, la perception douloureuse

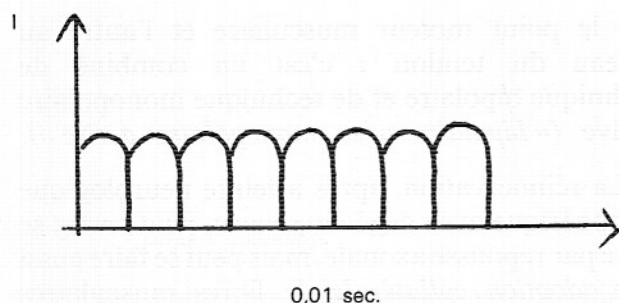


FIG. 6 A. – Courant de fréquence 100 Hz hémisinusoïdal.

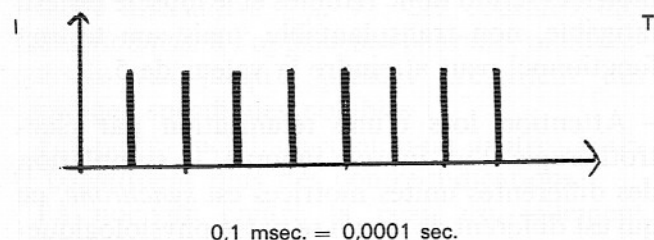


FIG. 6 B. – Courant de fréquence 100 Hz homofaradique.

est bien inférieure avec le courant fait d'impulsions itératives « homofaradiques » car chaque impulsion ne dure que 0,1 ms, ce qui est l'équivalent en sensation des impulsions d'un courant hémisinusoïdal de 10 000 Hz et non de 100 Hz.

En conséquence, cette impulsion est bien tolérée, grâce à l'effet de la dissociation des seuils mise en évidence par Djournio, même si elle est répétée 100 fois moins que dans un véritable courant de 10 000 Hz.

– Les impulsions itératives qui constituent un courant ou un « morceau » de courant comme un « train », que ce courant soit uni ou bi-directionnel, peuvent subir des *variations de leur intensité ou de leur fréquence* à l'intérieur du temps de passage du courant : ainsi le courant est-il *modulé*, en amplitude ou en fréquence ;

a) dans le premier cas, la courbe-enveloppe globale du courant, suivant les modulations d'amplitude (ou variations d'intensité) des impulsions individuelles, aura une forme variable ; si la variation de l'intensité des impulsions itératives est cyclique, le courant sera alors défini par 2 fréquences : l'une correspond au nombre d'impulsions par seconde, et l'autre, plus faible, au nombre de modulations cycliques de la

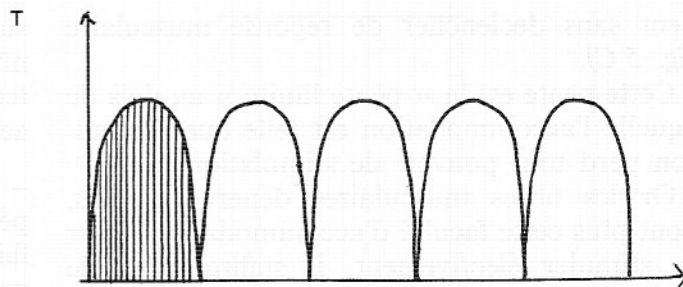


FIG. 7. – Impulsions itératives de fréquence 2 000 Hz modulées en amplitude de façon cyclique ; la courbe-enveloppe globale a une forme hémisinusoïdale de fréquence 100 Hz.

courbe-enveloppe par seconde. Ainsi des courants de moyenne fréquence peuvent être modulés en basse fréquence (sous-entendu : de modulation d'amplitude, 100, 10, voire 1 ou 0,5 Hz) ce qui détermine alors des variations cycliques de la force de contraction du muscle tétanisé (fig. 7).

b) quant au second cas, les courants à fréquence variable (courants syncopés, à balayage de fréquence, ou apériodiques), ils servent surtout à l'électrothérapie antalgique car leur propriété est de lutter contre l'accoutumance des tissus nerveux, très gênante dans ce cas thérapeutique. Ils sont très peu utilisés en électrothérapie excito-motrice.

– Il existe des générateurs *multicanaux*, des petits appareils *ambulatoires*, et depuis peu une gamme des générateurs asservis à un *programme informatique* permettant d'améliorer la qualité ou les services d'une électrothérapie excito-motrice par des stimulations alternées ou séquentielles, ou de chaînes musculaires, par des programmations se rapprochant le plus possible des trains d'influx nerveux physiologiques, et recrutant les fibres nerveuses et musculaires aux natures et excitabilités différentes, ou par des stimulations à but fonctionnel palliatif (électro-orthèses).

– Le courant *interférentiel* est une méthode particulière d'électrothérapie excito-motrice, fort usitée, exploitant l'effet interférentiel de basse fréquence résultant du croisement précis, en profondeur, de 2 courants de moyenne fréquence légèrement déphasés l'un par rapport à l'autre par une petite différence entre leurs 2 fréquences (ex. : 4 000 et 4 100 Hz). On a ainsi

en profondeur l'effet souhaité (au point de croisement) : une stimulation de basse fréquence égale à la différence des fréquences des courants originels ($4\,100 - 4\,000 = 100\text{ Hz}$) et d'intensité variable selon que le battement d'interférences se fait tantôt en opposition de phase, tantôt en phase. Dans ce dernier cas l'intensité est maximale et vaut : $I_{\text{max}} = \sqrt{i_1^2 + i_2^2}$ ce qui est supérieur à l'intensité des 2 courants pris séparément (i_1 et i_2) et appliqués en superficie, où elles sont trop faibles pour provoquer un effet physiologique notable. La basse fréquence est produite en profondeur alors qu'au niveau de la peau c'est de la moyenne fréquence, mieux tolérée.

Enfin, l'énergie apparaît au sein des tissus, contrairement à tous les autres courants qui nécessitent, pour atteindre la profondeur, une énergie élevée au niveau de la peau.

- tout mauvais contact dû à un matériel en mauvais état, ou à une pose des électrodes de façon non stable et non régulière sur toute leur surface (ce qui fait varier la « densité du courant ») risque de se traduire par des petites décharges électriques ou des brûlures.

Référence

1. BERTHELIN F. Apport de l'électrocinésie dans la rééducation des sidérations musculaires. *Annales de kinésithérapie*, 3, 367-380, 1976.
2. BERTHELIN F. Électrothérapie de la main spastique hémiplegique. *Annales de kinésithérapie*, 10, 387-390, 1983.
3. DE BISSCHOP G., DUMOULIN J., AARON Cl. Électrothérapie appliquée. *Monographies de Bois Lariss*, n° 17, Masson Éditeur, 1984.
4. CREPON F. Notions d'Électrothérapie. *Édit par l'Électrotechnie Médicale*, 6 bis, rue Auguste-Vitu - 75015 Paris.
5. DELEGAY J.-M. Électrologie E.M.C. Paris. *Kinésithérapie Rééducation Fonctionnelle*, 4, 4, 10, 26145 A.10.
6. DELPRAT J. Les courants excito-moteurs et leurs indications. *Journal de Réadaptation Médicale*, 3, n° 2, 56-64, 1983.
7. DUMOULIN J. et de BISSCHOP G. Les courants excito-moteurs en Rééducation Fonctionnelle. *Maloine S.A. Éditeur*, Paris 1972.
8. DUMOULIN J. et de BISSCHOP G. Électrothérapie 4^e édition, *Maloine S.A. Éditeur*, Paris 1980.
9. ISCH F. Électrothermothérapie. Chapitre 20 in « Médecine de Rééducation » de GROSSIORD A. et HELD J.-P. *Flammarion médecine*.
10. POLLEZ B. Approche de l'Électrothérapie excito-motrice, supports théoriques, mise en œuvre pratique. *Mémoire pour le C.E.S. de Rééducation et Réadaptation Fonctionnelles*, Lille 1985.