

Électrothérapie et physiothérapie

Applications en rééducation
et réadaptation



Francis Crépon



Électrothérapie et physiothérapie

Applications en rééducation et réadaptation

Chez le même éditeur

Électrothérapie. Électrostimulation par F. Crépon, J.-F. Doubrère, M. Vanderthommen, E. Castel-Kremer, G. Cadet. EMC Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation 2007; 3(4) : 1-19 [Article 26-145-A-10].

Électrothérapie. Ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et biofeedback par F. Crépon, Y. Darlas EMC Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation 2008; 4(2) : 1-14 [Article 26-145-A-20].

Electrostimulation et rééducation périnéale de l'incontinence urinaire et des troubles mictionnels non neurologiques, par M. Perrigot, B. Pichon, A. Peskine, K. Vassilev, in Annales réadaptation médecine physique 51 (2008) 479-490, ELSEVIER MASSON

Électrothérapie et Physiothérapie

Applications en rééducation et réadaptation

Francis Crépon

Enseignant à l'École nationale de kinésithérapie et de rééducation de Saint-Maurice, à l'École nationale de chimie physique et biologie de Paris, au Centre européen d'enseignement en rééducation et réadaptation fonctionnelle de Saint-Denis, à l'IFMK du CHU de Rouen, à l'Institut de formation de Bois-Larris et dans plusieurs Instituts de formation initiale et continue.

Rédacteur de la revue Kinésithérapie scientifique, chef de rubrique « Électrothérapie physiothérapie », l'auteur est également concepteur de programmes d'électrostimulation élaborés dans une recherche constante de complémentarité entre les thérapies physiques.

1^{re} édition



ELSEVIER
MASSON



Ce logo a pour objet d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, tout particulièrement dans le domaine universitaire, le développement massif du « photo-copillage ». Cette pratique qui s'est généralisée, notamment dans les établissements d'enseignement, provoque une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que la reproduction et la vente sans autorisation, ainsi que le recel, sont passibles de poursuites. Les demandes d'autorisation de photocopier doivent être adressées à l'éditeur ou au Centre français d'exploitation du droit de copie : 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris. Tél. 01 44 07 47 70.

Illustrations de Carole Fumat

Figures : 2.2, 2.3, 2.4, 2.9, 2.19, 2.20, 4.5, 4.10, 4.37, 4.42, 4.43, 5.1, 5.3, 4.19, et 5.23

© Crépon F, Doubrère J-F, Vanderthommen M, Castel-Kremer E, Cadet G. Électrothérapie. Électrostimulation. EMC Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation 2007; 3(4) : 1-19 [Article 26-145-A-10]. Copyright © 2007 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Figures : 8.1, 8.4, 9.3, 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.7, 11.1 et 13.1

©Crépon F, Darlas Y. Électrothérapie. Ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et biofeedback. EMC Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation 2008; 4(2) : 1-14 [Article 26-145-A-20]. Copyright © 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (art. L. 122-4, L. 122-5 et L. 335-2 du Code de la propriété intellectuelle).

© 2012, Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés

ISBN : 978-2-294-70956-2

Elsevier Masson SAS, 62, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex
www.elsevier-masson.fr

REMERCIEMENTS

Le difficile mais nécessaire travail de relecture a été assumé par le Docteur Jean-François Doubrère et par Gabrielle Cadet. Experts en la matière, leurs appréciations ont permis de parachever cet ouvrage. Qu'ils en soient ici remerciés.

Ces remerciements s'adressent également à toutes celles et à tous ceux, bien trop nombreux pour être nommés, qui ont activement participé à ce travail, aux professionnels qui ont apporté leur expérience et les résultats de leurs essais afin de perfectionner les techniques décrites et aux étudiants qui ont accepté de consacrer un peu de leur temps à la réalisation de l'iconographie.

Francis Crépon

Introduction

Dans la quasi-totalité des pays, le terme physiothérapie désigne l'utilisation des agents physiques naturels ou artificiels dans un but thérapeutique. Ces agents physiques sont l'eau, l'air, le climat, l'altitude, la chaleur, le froid, le repos, le mouvement, l'exercice, le massage, l'électricité, les ondes mécaniques produites par les vibrations manuelles ou artificielles, les ondes électromagnétiques... Le terme physiothérapie désigne donc l'ensemble des techniques de thérapie physique. C'est le sens universel du terme et il respecte l'étymologie. Les praticiens sont des physiothérapeutes.

En France et dans certains pays francophones, on a conservé le terme de masseur-kinésithérapeute, pléonasme restrictif qui ne désigne que le mouvement, et on attribue au terme physiothérapie le sens de thérapie par les agents physiques, à l'exception du mouvement, de l'exercice, du massage et des techniques manuelles.

L'électrologie médicale appartient au domaine de la physique et concerne les applications médicales de l'électricité : électrodiagnostic, échographie, électroradiologie, électrothérapie...

Électrothérapie désigne l'emploi de l'électricité comme moyen thérapeutique.

Électro-physiothérapie, terme employé par le décret n° 96-879 du 8 octobre 1996 (*Kiné Presse* 1998 ; 113 : 10-1), puis par le décret n° 2000-577 du 27 juin 2000 relatif aux actes professionnels et à l'exercice de la profession de masseur-kinésithérapeute, désigne les applications des courants électriques et les applications des agents physiques produits par l'électricité : ondes mécaniques et ondes électromagnétiques.

La première partie de cet ouvrage est réservée à l'électrothérapie proprement dite, c'est-à-dire à l'application des courants électriques directement sur les tissus et notamment à l'électrostimulation. Par ses propriétés antalgiques et excito-motrices, l'électrostimulation présente un intérêt majeur en rééducation fonctionnelle puisqu'elle participe à la sédation de la douleur et à la facilitation du mouvement.

Les parties suivantes envisagent les techniques de physiothérapie produites par le courant électrique mais qui n'appliquent pas les courants électriques directement sur les tissus : ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et *biofeedback*.

CHAPITRE 1

Rappels et classification

Points essentiels

- ♦ Les courants unidirectionnels sont utilisés pour l'électrodiagnostic et la stimulation du muscle dénervé ainsi que pour le traitement de l'hyperhidrose. Ils peuvent produire de graves brûlures chimiques dues à leurs effets électrolytiques si les modalités d'application, les précautions et les contre-indications ne sont pas respectées.
- ♦ Les courants bidirectionnels sont utilisés pour l'électrostimulation antalgique et excito-motrice. Leur innocuité et leur confort augmentent leur efficacité, leurs contre-indications sont plus limitées et leurs modalités d'application sont beaucoup plus simples.

PLAN DU CHAPITRE

- 1.1. [Notions élémentaires](#)
- 1.2. [Brûlures électriques](#)
- 1.3. [Classification des courants : état – direction](#)

1.1. Notions élémentaires

Le courant électrique est un déplacement de charges électriques à travers un corps conducteur.

- L'énergie potentielle, qu'on appelle également différence de potentiel ou tension, s'exprime en volts (V).
- La résistance opposée par le circuit s'exprime en ohms (Ω). L'impédance électrique mesure l'opposition d'un circuit électrique au passage d'un courant alternatif.
- Le courant électrique est défini par son intensité qui s'exprime en ampères (A). Un ampère correspond à un débit de charges électriques de 1 coulomb (C) par seconde, c'est-à-dire au passage de $6,24 \times 10^{18}$ électrons par seconde. En électrothérapie, on n'utilise que des intensités faibles qui se mesurent en milliampères.
- La loi d'Ohm, $U_{(V)} = R_{(\Omega)} \cdot I_{(A)}$, d'où $I = U/R$, indique que l'intensité est proportionnelle à la tension et inversement proportionnelle à la résistance.

Le générateur à intensité constante (ou courant constant) permet d'éviter l'augmentation d'intensité lorsque la résistance diminue.

- La puissance s'exprime en watts (W) : $P_{(W)} = U_{(V)} \cdot I_{(A)} = R_{(\Omega)} \cdot I_{(A)}^2$
- La loi de Joule définit le dégagement de chaleur provoqué par le courant électrique qui parcourt le conducteur : $W_{(J)} = R_{(\Omega)} \cdot I_{(A)}^2 \cdot t_{(s)} = P_{(W)} \cdot t_{(s)}$

1.2. Brûlures électriques

1.2.1. Types de brûlures

1.2.1.1. Brûlure physique

La loi de Joule ($W_{(J)} = R_{(\Omega)} \cdot I_{(A)}^2 \cdot t_{(s)}$) nous indique que la chaleur produite est principalement due à l'intensité. La brûlure physique par effet Joule peut se produire avec tous les courants dont l'intensité est suffisamment importante.

1.2.1.2. Brûlure chimique

La brûlure chimique est due aux effets électrolytiques des courants unidirectionnels qui produisent la formation d'acides sous l'anode et de bases sous la cathode.

1.2.2. Risques de brûlures selon la technique employée

Le risque de brûlure est très différent selon que l'on considère :

- les courants directement appliqués sur la peau pour pratiquer la galvanisation et l'électrostimulation ;
- ou la thermothérapie produite par des courants de haute fréquence (tableau 1.1).

1.2.2.1. Galvanisation, électrostimulation

Les électrodes étant appliquées directement sur la peau, les normes des appareils sont très strictes et les intensités utilisées sont très faibles, limitées à quelques mA. L'effet Joule est insignifiant, il n'y a donc pas de risque de brûlure physique.

En conséquence :

- un courant bidirectionnel à moyenne nulle ne présente aucun risque de brûlure, ni physique ni chimique ;
- un courant unidirectionnel présente uniquement un risque de brûlure chimique dont il faut tenir compte dans le protocole d'application.

TABLEAU 1.1. Types de brûlures selon la technique.

	Brûlure physique	Brûlure chimique
Courant bidirectionnel	0	0
Courant unidirectionnel	0	+++
Thermothérapie	+++	0

1.2.2.2. Thermothérapie

Les courants de haute fréquence permettent de produire des ondes électromagnétiques (ondes courtes, ondes centimétriques, infrarouges) et des ondes mécaniques (ultrasons) qui peuvent atteindre des températures élevées.

En thermothérapie, l'effet Joule est important et la chaleur dégagée considérable. Il y a donc un risque de brûlure physique si l'intensité est trop élevée, si l'appareil émetteur est trop près des tissus ou si la séance est de trop longue durée.

1.3. Classification des courants : état – direction

Le courant électrique peut être :

- à l'état constant ou à l'état variable ;
- unidirectionnel ou bidirectionnel.

Selon son état et sa direction, il présente des propriétés et des dangers bien distincts (figure 1.1).

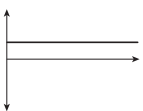
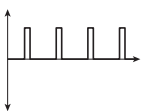
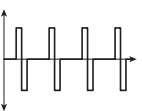
ÉTAT	CONSTANT	VARIABLE	
Courant	Continu ou galvanique	Basse Fréquence (BF) : < 100 Hz Très Basse Fréquence (TBF) : 1 à 10 Hz	
Contre-indications spécifiques		Aire cardiaque, région antéro-latérale du cou, pacemaker, grossesse, phlébites...	
Propriétés		Électrostimulation antalgique, excito-motrice, trophique	
Indications	Bain galvanique : traitement de l'hyperhidrose	Électrodiagnostic et stimulation du muscle dénervé	Douleur Stimulation du muscle innervé
			
DIRECTION	UNIDIRECTIONNEL polarisé : ⊕ et ⊖		BIDIRECTIONNEL omnipolaire
Propriétés	lontophorèse (diélectrolyse ou ionisation) ? Stimulation prédominante : ⊖		Pas d'électrolyse Stimulation prédominante : impulsions asymétriques
Danger	Risque de brûlure chimique		Pas de risque de brûlure chimique
Précautions	Intensité limitée : 0,01 à 0,05 mA / cm ² de surface de la plus petite électrode pour une séance de 30 min		Facilité d'application
Contre-indication spécifique	Pièces métalliques incluses		
Avantages Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de brûlure chimique - Effets, résultats, intérêt et indications restreints par le protocole rigoureux : intensité et durée de séance limitées - Désagrément : irritation galvanique 		<ul style="list-style-type: none"> - Innocuité - Efficacité - Indications élargies - Confort

FIGURE 1.1. Classification des courants selon leur état et leur direction.

1.3.1. Courant à l'état constant

C'est le courant continu ou galvanique. Son intensité est constante. Il est toujours unidirectionnel.

Sa principale indication est le bain galvanique pour le traitement de l'hyperhidrose de la paume des mains, de la plante des pieds ou du moignon de l'amputé.

1.3.2. Courant à l'état variable

La variation de son intensité produit des impulsions. Une impulsion est une variation de courte durée d'une grandeur physique avec retour à l'état initial. Les impulsions peuvent être unidirectionnelles ou bidirectionnelles.

Les courants de basse fréquence ($BF < 150\text{ Hz}$) et de très basse fréquence (TBF $< 10\text{ Hz}$) produisent l'électrostimulation des tissus excitables, c'est-à-dire des nerfs et des muscles, et présentent des propriétés antalgiques, excito-motrices et trophiques d'un intérêt essentiel en rééducation fonctionnelle.

1.3.3. Courant unidirectionnel

Le courant unidirectionnel est polarisé : les électrons se dirigent toujours dans le même sens, du pôle négatif (cathode), vers le pôle positif (anode).

Il présente des propriétés électrolytiques aptes à produire des brûlures chimiques des tissus par formation d'acides sous l'anode et de bases sous la cathode.

Pour éviter de brûler les tissus, il faut :

- utiliser un générateur à intensité constante (ou courant constant) ;
- respecter un protocole rigoureux, notamment pour le réglage de l'intensité et de la durée de la séance ;
- ne jamais l'appliquer sur des patients porteurs de pièces métalliques incluses.

Désagréable, il peut produire une sensation d'échauffement et d'irritation galvanique.

À l'état constant, on utilise le courant continu pour le traitement de l'hyperhidrose par le bain galvanique, et avec de grandes précautions.

À l'état variable, les impulsions unidirectionnelles produisent une stimulation qui prédomine sous le pôle négatif. Vu leurs dangers et leurs inconvénients, on ne les utilise que pour l'électrodiagnostic et la stimulation du muscle dénervé.

1.3.4. Courant bidirectionnel

Le courant bidirectionnel est dépolarisé. Le pôle négatif et le pôle positif s'inversent à chaque impulsion.

L'impulsion bidirectionnelle est dite à moyenne nulle lorsque les quantités d'électricité sont égales de chaque côté de la ligne isoélectrique. Les impulsions bidirectionnelles à moyenne nulle ne présentent pas de propriétés électrolytiques donc ne produisent pas de brûlure chimique.

Le protocole d'application du courant bidirectionnel est beaucoup plus simple : on règle l'intensité supportée par le patient, et on n'est pas limité par la durée de la séance, ce qui permet d'être beaucoup plus efficace. De plus, on peut l'appliquer sur des patients porteurs de pièces métalliques incluses, ce qui élargit le champ d'action.

Les impulsions bidirectionnelles asymétriques produisent une stimulation qui prédomine sous une électrode.

Le courant bidirectionnel ne produit pas de sensation d'échauffement ou d'irritation comme le courant galvanique. Confortable, il est en général bien accepté par le patient, ce qui augmente encore son efficacité.

Vu ses qualités, ses propriétés thérapeutiques, son confort et son innocuité, on l'utilise pour la quasi-totalité des traitements d'électrostimulation antalgique et excito-motrice.

CHAPITRE 2

Paramètres et propriétés des impulsions et des courants

Points essentiels

- ♦ Les 4 paramètres de l'impulsion optimale déterminent l'efficacité, le confort et l'innocuité de l'électrostimulation antalgique et excito-motrice.
- ♦ Les 3 courants types représentent la quasi-totalité des applications en rééducation fonctionnelle.

PLAN DU CHAPITRE

- 2.1. Impulsion unidirectionnelle
- 2.2. Impulsion bidirectionnelle
- 2.3. Impulsions : paramètres et propriétés
- 2.4. Courant d'impulsions
- 2.5. Impulsions optimales : 4 paramètres
- 2.6. Courants types
- 2.7. Courants spécifiques

Les définitions suivantes sont utilisées au cours de cet ouvrage pour définir les paramètres des courants décrits. La plupart de ces définitions sont conformes aux normes UTE et Afnor NF C74-300 qui établissent la terminologie concernant les appareils d'électricité médicale [1]. Mais il a été nécessaire, pour les besoins descriptifs, d'ajouter d'autres définitions qui ne figurent pas dans ces normes.

2.1. Impulsion unidirectionnelle

L'impulsion progressive de longue durée a été prise pour exemple parce que c'est la seule impulsion qui permet de mettre en évidence tous les paramètres, notamment la durée (ou pente) d'établissement ([figure 2.1](#)).

Néanmoins, cette impulsion n'est pas utilisée pour l'électrostimulation car elle présente tous les défauts qui vont être décrits ci-après. Unidirectionnelle,

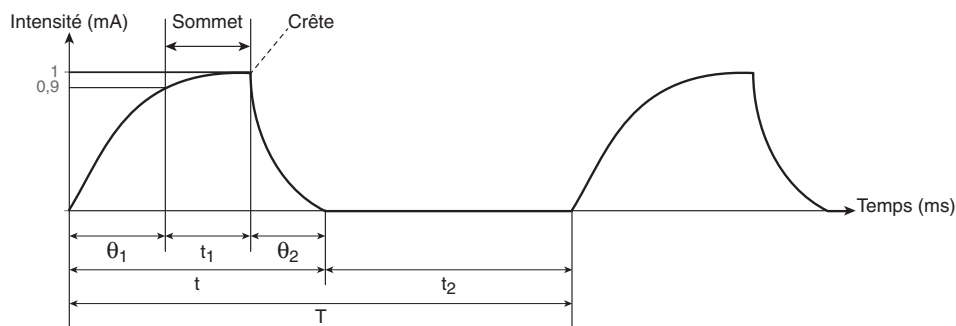


FIGURE 2.1. **Impulsion unidirectionnelle.**

Durée du sommet (t_1). Durée totale (t). Durée d'établissement (θ_1). Durée d'extinction (θ_2). Espacement (t_2). Période d'impulsions (T).

elle est dangereuse et désagréable à cause de ses propriétés électrolytiques; progressive, elle présente un rapport efficacité/confort très défavorable; enfin, elle ne possède pas de propriétés thérapeutiques particulières.

L'impulsion optimale décrite à la fin de ce chapitre ne présente aucun de ces paramètres.

- **Impulsion** : variation de courte durée d'une grandeur physique, avec retour à l'état initial.
- **Crête d'une impulsion** : partie d'une impulsion correspondant à l'écart maximum du paramètre caractéristique.
- **Sommet d'une impulsion unidirectionnelle** : partie d'une impulsion pour tous les points de laquelle l'écart du paramètre caractéristique est égal ou supérieur à 0,9 fois la valeur de crête.
- **Durée du sommet d'une impulsion** (symbole t_1) : intervalle de temps pendant lequel l'écart du paramètre caractéristique est égal ou supérieur à 0,9 fois la valeur de crête.
- **Durée totale d'une impulsion** (appelée aussi durée d'impulsion) (symbole t) : intervalle de temps qui sépare le début et la fin d'une impulsion.
- **Durée d'établissement** (appelée aussi temps de montée ou pente d'établissement) (symbole θ_1) : intervalle de temps qui sépare le début de l'impulsion de son sommet.
- **Durée d'extinction** (appelée aussi temps de descente) (symbole θ_2) : intervalle de temps qui sépare le sommet de la fin d'une impulsion.
- **Espacement des impulsions** (symbole t_2) : intervalle de temps qui sépare la fin d'une impulsion et le début de l'impulsion suivante.
- **Période d'impulsions** (symbole T) : intervalle de temps entre les débuts de deux impulsions successives ($T = t + t_2$).
- **Fréquence d'impulsions** (symbole f) : dans une suite régulière d'impulsions, nombre d'impulsions par seconde ($f = 1/T$). La fréquence s'exprime en hertz (Hz).
- **Impulsion (de forme) rectangulaire** ($\theta_1 = \theta_2 \approx 0$) : impulsion voisine de la forme idéale dans laquelle le paramètre caractéristique passe, en un temps nul, d'une valeur constante à une autre valeur constante avec retour à la valeur initiale

en un temps nul (figure 2.2). L'impulsion rectangulaire est également appelée impulsion à début brusque (Lapicque) ou impulsion à front raide.

- **Impulsion homofaradique** : impulsion unidirectionnelle d'une durée totale inférieure ou égale à 1 ms. Si la forme de l'impulsion est rectangulaire, elle est dite homofaradique rectangulaire.
- **Impulsion galvanique** : impulsion unidirectionnelle de forme rectangulaire et de durée totale supérieure à 2 ms.
- **Impulsion progressive** : impulsion unidirectionnelle qui s'établit avec une constante de temps supérieure à 2 ms ($\theta_1 > 2$ ms) (figure 2.3).
- **Impulsion exponentielle** : impulsion unidirectionnelle dont l'établissement et l'extinction suivent une loi exponentielle et dont la constante de temps d'établissement est inférieure à 2 ms et supérieure à 0,2 ms.

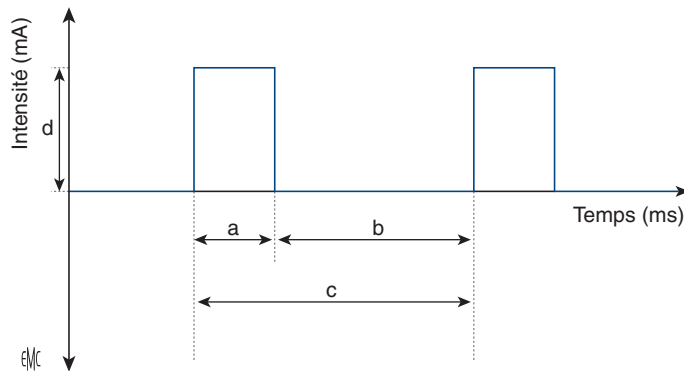


FIGURE 2.2. Impulsion rectangulaire.

a : durée d'impulsion (t); b : espacement (t_2); c : période d'impulsions (T) déterminant la fréquence (Hz); d : intensité (I).

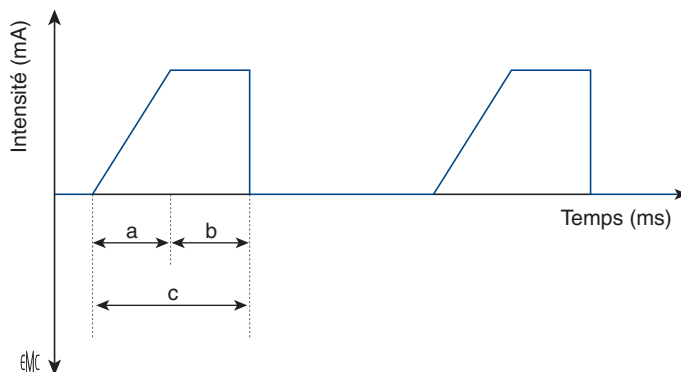


FIGURE 2.3. Impulsion progressive.

a : durée d'établissement de l'impulsion (θ_1); b : durée du sommet de l'impulsion (t_2); c : durée totale de l'impulsion (t).

2.2. Impulsion bidirectionnelle

Les définitions suivantes vont permettre de différencier les impulsions unidirectionnelles et bidirectionnelles.

- **Impulsion bidirectionnelle : symétrique ou asymétrique**
 - une impulsion unidirectionnelle se présente toujours dans le même sens (figure 2.4.a);
 - une impulsion bidirectionnelle est constituée de deux impulsions consécutives de sens inverse (figure 2.4.b, c);
 - une impulsion bidirectionnelle symétrique est constituée de deux impulsions consécutives de sens inverse qui sont strictement identiques (figure 2.4.b);
 - une impulsion bidirectionnelle asymétrique est constituée de deux impulsions consécutives de sens inverse dont la forme est différente (figure 2.4.c).
- **Moyenne nulle**

Une impulsion bidirectionnelle est dite à moyenne nulle lorsque les quantités d'électricité sont égales de part et d'autre de la ligne isoélectrique; dans ce cas, elle ne présente pas de propriétés électrolytiques.

En conséquence :

- une impulsion unidirectionnelle présente des propriétés électrolytiques (figure 2.4.a);
- une impulsion bidirectionnelle symétrique est toujours à moyenne nulle et ne provoque pas d'électrolyse (figure 2.4.b);
- une impulsion bidirectionnelle asymétrique doit être à moyenne nulle pour ne pas provoquer d'électrolyse (figure 2.4.c).
- **Impulsion bidirectionnelle : propriétés**

L'impulsion bidirectionnelle à moyenne nulle est donc plus sûre, plus confortable et par conséquent plus efficace que l'impulsion unidirectionnelle. Hormis ces propriétés dues à la direction, les propriétés dues à la durée, à l'intensité,

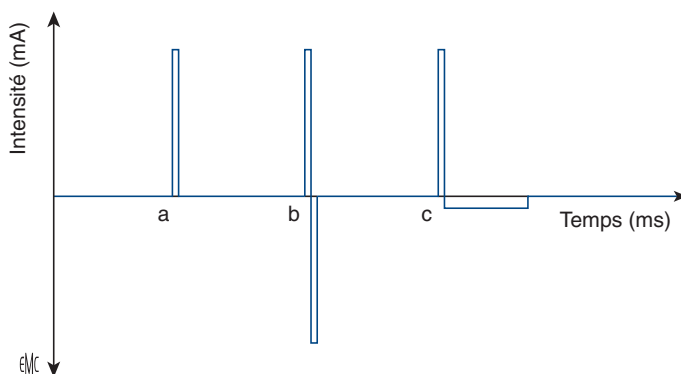


FIGURE 2.4. Direction des impulsions : impulsion unidirectionnelle, impulsion bidirectionnelle.

a : impulsion unidirectionnelle; b : impulsion bidirectionnelle symétrique; c : impulsion bidirectionnelle asymétrique à moyenne nulle : les quantités d'électricité sont identiques de part et d'autre de la ligne isoélectrique.

au rapport intensité/durée et à la pente d'établissement sont identiques aux propriétés dues à ces mêmes paramètres des impulsions unidirectionnelles.

- **Impulsion faradique**

L'usage a donné ce nom à un groupe de deux impulsions de sens inverse se succédant à un intervalle inférieur ou égal à 30 ms. L'une des impulsions a une forme homofaradique, l'autre a une amplitude inférieure au 1/5 de l'amplitude de l'impulsion homofaradique, les quantités d'électricité étant égales à 10 % près. L'ordre des deux impulsions est indifférent (figure 2.5.a). Si la forme de l'impulsion homofaradique est rectangulaire, l'impulsion est dite faradique rectangulaire (figure 2.5.b).

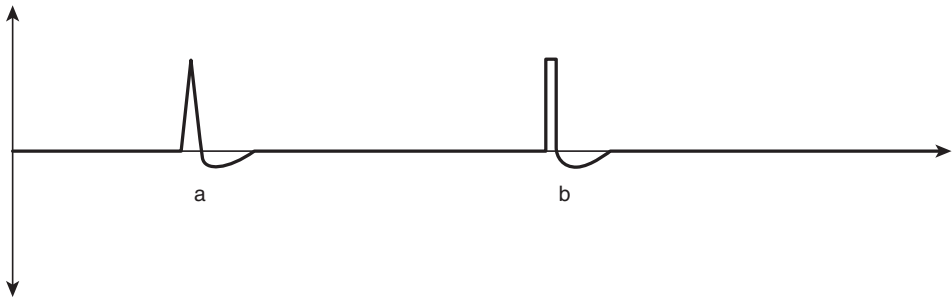


FIGURE 2.5. Impulsion faradique.

a : impulsion faradique; b : impulsion faradique rectangulaire.

2.3. Impulsions : paramètres et propriétés

Les propriétés dues à la durée, à l'intensité, au rapport intensité/durée et à la pente d'établissement sont identiques, quelle que soit la direction des impulsions.

2.3.1. Durée

Quand on augmente la durée d'une impulsion, on augmente la stimulation et la perception par le patient. La durée d'impulsion doit être suffisante pour que l'impulsion soit efficace, mais ne doit pas être trop longue pour que l'impulsion soit confortable (figure 2.6).

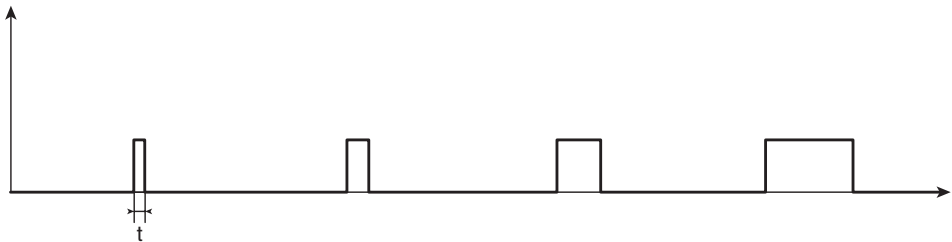


FIGURE 2.6. Durée d'impulsion.

Plus on augmente la durée d'une impulsion, plus la stimulation et la perception augmentent.

2.3.2. Intensité

Quand on augmente l'intensité d'une impulsion, on augmente la stimulation et la perception par le patient. L'intensité doit être suffisante pour que l'impulsion soit efficace, mais ne doit pas être trop élevée pour que l'impulsion soit confortable (figure 2.7).

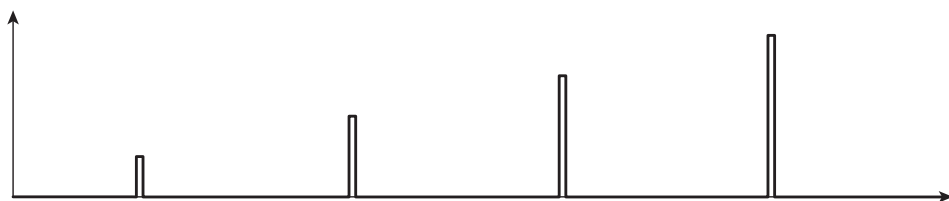


FIGURE 2.7. **Intensité.**

Plus on augmente l'intensité d'une impulsion, plus la stimulation et la perception augmentent.

2.3.3. Rapport intensité/durée

L'efficacité d'une impulsion est déterminée par son intensité et par sa durée. Plus on diminue la durée d'une impulsion, plus il faut augmenter son intensité pour obtenir une stimulation équivalente sur une fibre donnée (figure 2.8).

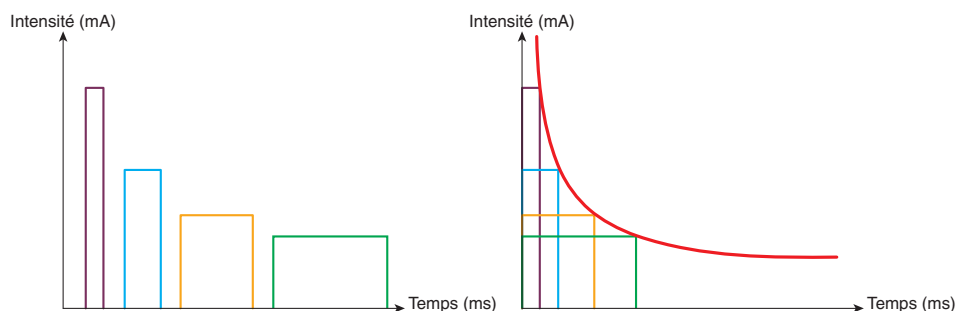


FIGURE 2.8. **Rapport intensité/durée.**

Les quatre impulsions qui sont juxtaposées à gauche et superposées à droite déterminent la courbe d'excitabilité. Ces quatre impulsions produisent une stimulation équivalente, mais la perception par le patient peut être différente.

Cependant, pour une stimulation équivalente, la perception par le patient peut être différente. Le choix du meilleur rapport intensité/durée permet d'obtenir le meilleur rapport efficacité/confort. Ce rapport est différent selon les effets antalgiques ou excito-moteurs recherchés (figure 2.9.b, c).

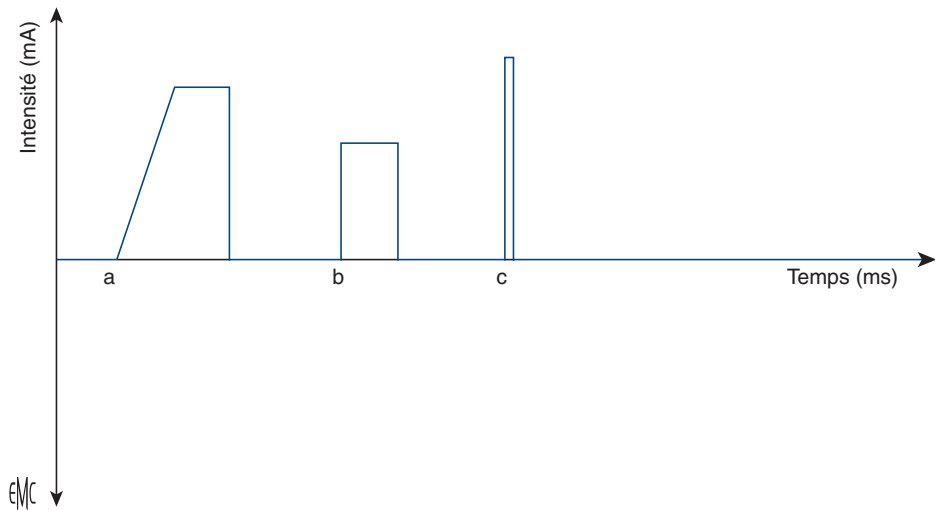


FIGURE 2.9. **Pente d'établissement et rapport intensité/durée.**

a : impulsion progressive; b : impulsion rectangulaire; c : impulsion rectangulaire de brève durée.

2.3.4. Pente (ou durée) d'établissement

- *Inefficacité.* La pente d'établissement est un facteur d'inefficacité. Si on augmente la durée d'établissement, on abaisse la pente d'établissement. Si on abaisse la pente sans augmenter l'intensité, la réponse disparaît : c'est la pente limite, sous laquelle on n'obtient plus de réponse, et qu'on appelait auparavant climalse lorsque l'intensité était égale à la rhéobase (figure 2.10).
- *Douleur.* La pente d'établissement est un facteur de douleur. Si on abaisse la pente d'établissement d'une impulsion de longue durée, il faut augmenter son intensité pour produire une excitation équivalente; la stimulation est de plus en plus désagréable, voire douloureuse (figure 2.11.A). Si on redresse la pente d'établissement d'une impulsion progressive de longue durée, on peut diminuer son intensité et sa durée pour produire une excitation équivalente et plus confortable (figure 2.11.B).
- *Rapport efficacité/confort.* En conséquence, une impulsion rectangulaire, aussi efficace avec une intensité moindre, est plus confortable qu'une impulsion progressive (figure 2.9.a, b).

2.3.5. Direction

Les impulsions unidirectionnelles (figure 2.4.a) ont des effets électrolytiques qui peuvent provoquer des brûlures chimiques si on ne respecte pas les précautions et contre-indications.

Les impulsions bidirectionnelles (figure 2.4.b, c) ne produisent pas d'effets électrolytiques, en conséquence :

- la sécurité est assurée puisqu'il n'y a aucun risque de brûlure chimique;

- l'efficacité est renforcée puisque l'intensité et la durée d'application peuvent être augmentées selon la tolérance du patient;
- le champ des indications est élargi puisqu'on peut les appliquer sur les pièces métalliques;
- le confort est accru puisqu'il n'y a pas de sensation d'irritation galvanique.

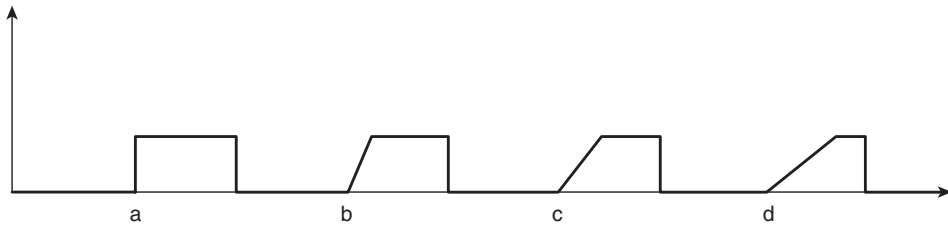
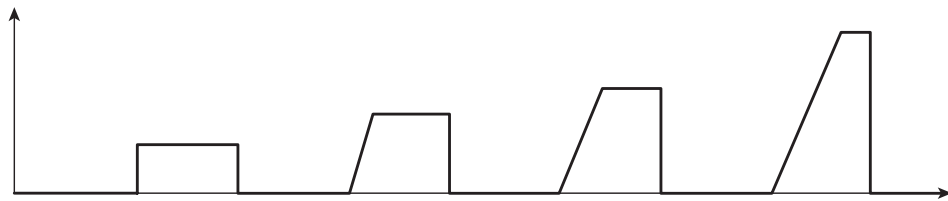
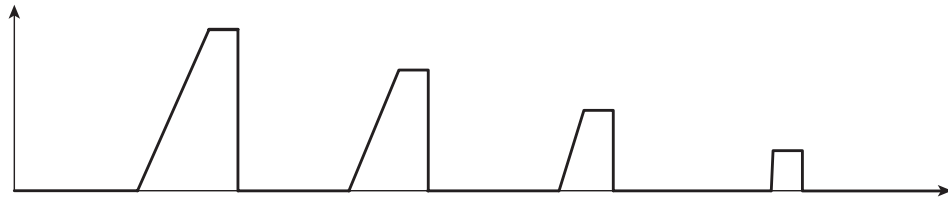


FIGURE 2.10. **Pente d'établissement : impulsion rectangulaire et impulsions progressives.**

Si on abaisse la pente sans augmenter l'intensité, la réponse disparaît (pente limite).



A



B

FIGURE 2.11. **Rapport pente/intensité : impulsion rectangulaire et impulsions progressives.**

A. Plus on abaisse la pente d'établissement d'une impulsion de longue durée, plus il faut augmenter son intensité pour produire une excitation équivalente.

B. Plus on redresse la pente d'établissement d'une impulsion de longue durée, plus on peut diminuer son intensité et sa durée pour produire une excitation équivalente.

2.4. Courant d'impulsions

Le courant d'impulsions est constitué d'une série d'impulsions unidirectionnelles ou bidirectionnelles.

2.4.1. Paramètres du courant d'impulsions

Le courant d'impulsions est défini par la fréquence, la durée, la forme, et la direction des impulsions qui le composent. Par exemple, on désigne un courant de 60 Hz, 150 μ s, rectangulaire, bidirectionnel.

2.4.2. Modulations

Un courant modulé est un courant de forme quelconque dont l'un des paramètres variables (durée, amplitude, fréquence) varie périodiquement ou non autour d'une valeur moyenne.

2.4.2.1. Modulation de durée

La modulation de durée consiste à faire varier la durée des impulsions ([figure 2.12](#)).

2.4.2.2. Modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude consiste à faire varier l'amplitude des impulsions. Cette modulation va créer une courbe-enveloppe tangente à chacune des impulsions. Cette courbe-enveloppe peut se reproduire périodiquement selon une fréquence qui est inférieure à celle des impulsions, engendrant ainsi une modulation de fréquence ([figure 2.13](#)).

2.4.2.3. Modulation de fréquence

La modulation de fréquence consiste à faire varier la fréquence des impulsions.

Cette variation peut être :

- instantanée, c'est le passage immédiat d'une fréquence à une autre fréquence ([figure 2.14.A](#));

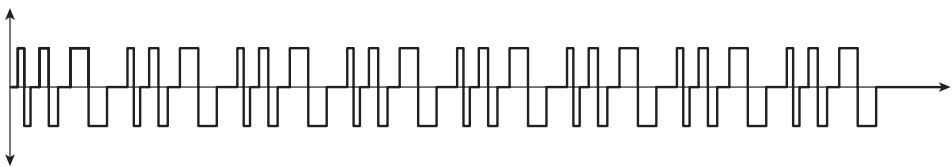


FIGURE 2.12. **Modulation de durée.**
Variation de la durée des impulsions.

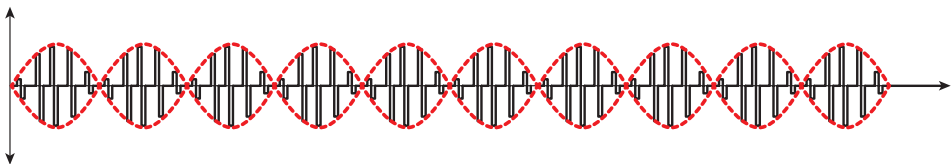


FIGURE 2.13. **Modulation d'amplitude.**
La variation de l'amplitude des impulsions crée une courbe-enveloppe (en pointillés) dont la fréquence est inférieure à celle des impulsions.

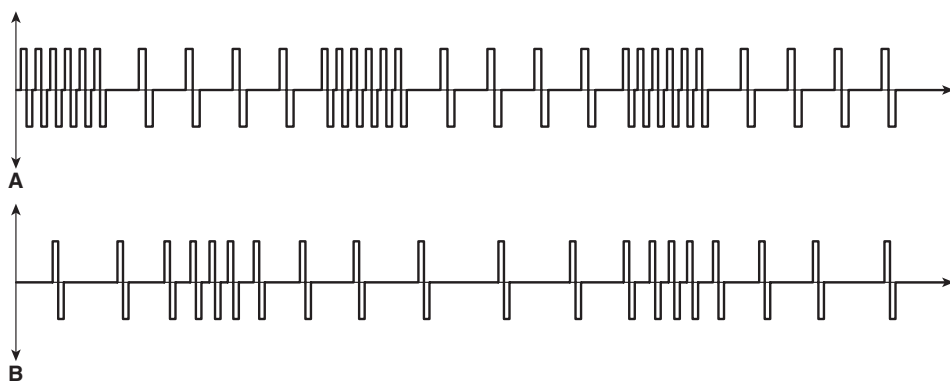


FIGURE 2.14. **Modulation de fréquence.**

A. Variation instantanée de la fréquence des impulsions.

B. Variation progressive de la fréquence des impulsions : vibulation.

- progressive, appelée vibulation (ou wobulation), et qui consiste à balayer une gamme de fréquences de manière régulière et périodique (figure 2.14.B).

On peut aussi combiner entre elles ces différentes modulations en faisant varier plusieurs paramètres afin de créer des courants spécifiques.

Les modulations modifient la perception du courant par le patient et les effets biologiques de la stimulation. Les modulations permettent d'obtenir différents types de contraction musculaire (secousse élémentaire et/ou tétanisation), différents types de stimulation antalgique (*gate control* et/ou libération d'endorphines), de lutter contre l'accoutumance...

2.4.3. Courant inversé

Courant d'impulsions dans lequel les impulsions forment des groupes, deux groupes successifs étant de sens inverse. L'inversion est périodique et automatique (figure 2.15). Le courant inversé permet de mobiliser la stimulation d'une électrode à l'autre.

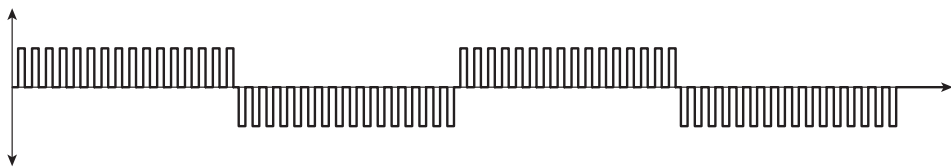


FIGURE 2.15. **Courant inversé.**

Deux groupes d'impulsions successifs sont de sens inverse.

2.4.4. Courant alterné

Courant d'impulsions dans lequel deux impulsions successives sont de sens inverse. L'inversion est automatique. Les impulsions sont séparées par un espacement (figure 2.16).

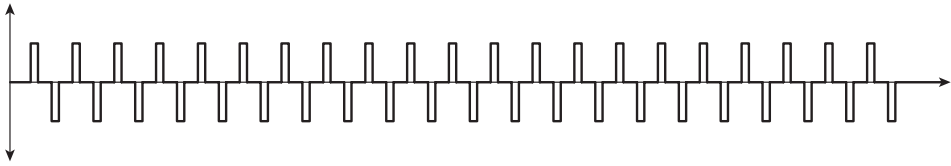


FIGURE 2.16. **Courant alterné.**
Deux impulsions successives sont de sens inverse.

2.4.5. Courant rythmé

Courant d'impulsions interrompu périodiquement et automatiquement, ces interruptions ayant une durée d'au moins deux périodes d'impulsions (figure 2.17).

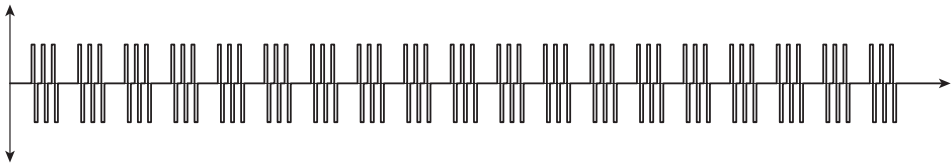


FIGURE 2.17. **Courant rythmé.**
Les interruptions ont une durée d'au moins deux périodes d'impulsions.

2.4.6. Courant intermittent

Courant d'impulsions interrompu, les interruptions ayant une durée d'au moins une seconde (figure 2.18).

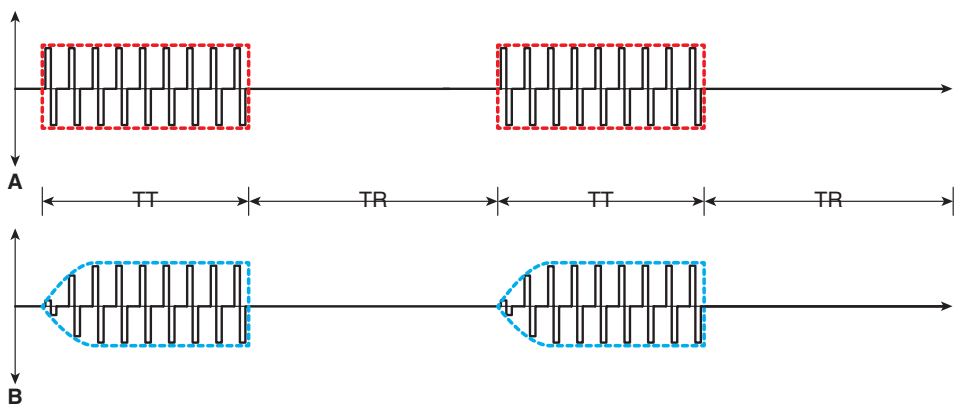


FIGURE 2.18. **Courant intermittent.**
A. Courbes enveloppes rectangulaires.
B. Courbes enveloppes progressives.
Les impulsions sont toujours rectangulaires.

Ce courant, principalement utilisé pour tétaniser les muscles innervés et pour permettre au muscle de se reposer entre deux contractions, présente les caractéristiques suivantes :

- l'émission est fractionnée en trains d'impulsions qu'on appelle temps de travail (TT) et temps d'inactivité électrique qu'on appelle temps de repos (TR);
- la durée du temps de repos doit être au moins égale voire supérieure à la durée du temps de travail;
- le déclenchement des temps de travail et des temps de repos peut être :
 - soit automatique selon une cadence programmée par le générateur,
 - soit commandé manuellement par le praticien ou par le patient, par exemple pour accompagner une rééducation active assistée par électrostimulation;
- la courbe-enveloppe des trains d'impulsions peut être rectangulaire ou progressive, mais les impulsions qui composent ce train d'impulsions doivent toujours être rectangulaires (figure 2.18);
- il faut éviter d'employer le terme « courant progressif » qui prête à confusion afin de différencier une impulsion d'un train d'impulsions :
 - une impulsion dont la durée d'établissement est supérieure à 2 ms est dénommée « impulsion progressive » (figures 2.1, 2.3),
 - un train d'impulsions dont la courbe-enveloppe présente une pente d'établissement progressive ou rampe est dénommé « train d'impulsions à enveloppe progressive » (figure 2.18.B).

2.5. Impulsions optimales : 4 paramètres

Le courant d'électrostimulation optimal doit être le plus efficace, le plus confortable et le plus sûr.

Les paramètres de l'impulsion, sa forme et particulièrement son début, sa durée, sa direction et sa fréquence, doivent lui permettre d'atteindre le seuil d'excitabilité avec le moins d'énergie électrique possible, sans effets électrolytiques et dans la gamme de fréquences qui présente un intérêt thérapeutique (figure 2.19).

- **Début : brusque, rectangulaire** = efficacité + confort.

L'impulsion rectangulaire est plus efficace et plus confortable qu'une impulsion progressive puisqu'elle produit une stimulation identique avec une intensité moindre.

- **Durée : brève, adaptée** = confort + efficacité.

La durée d'impulsion doit être suffisante pour être efficace, mais ne pas dépasser la durée utile pour être confortable. La durée optimale, compromis entre l'efficacité et la tolérance, correspond à la chronaxie.

- **Direction : moyenne nulle** = innocuité + confort + efficacité.

Les impulsions bidirectionnelles à moyenne nulle sont :

- plus sûres puisque l'absence d'effets électrolytiques écarte le risque de brûlure chimique;
 - plus agréables puisqu'elles ne provoquent pas de sensation d'irritation galvanique;
 - plus efficaces puisque, mieux tolérées et sans risque, elles permettent des applications de longue durée, y compris avec des intensités élevées et sur des zones comportant des pièces métalliques.
- **Fréquence : basse ou très basse** = effets thérapeutiques.

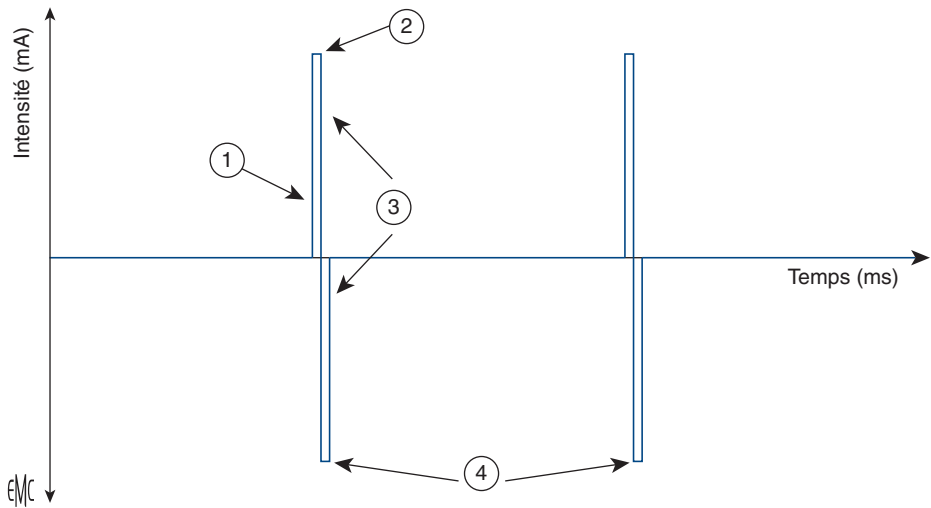


FIGURE 2.19. Paramètres des impulsions optimales.

- ① Début : brusque, rectangulaire = efficacité + confort.
- ② Durée : brève, adaptée = confort + efficacité.
- ③ Direction : moyenne nulle = innocuité + confort + efficacité.
- ④ Fréquence : basse ou très basse = effets thérapeutiques antalgiques et excito-moteurs.

Les courants de basse fréquence inférieure à 100 Hz, et de très basse fréquence inférieure à 10 Hz, compatibles avec les fréquences physiologiques, sont les seuls à présenter un intérêt antalgique et excito-moteur.

La fréquence des impulsions sera choisie en fonction de l'objectif de la stimulation électrique et du type de fibre à dépolariser en priorité.

Seules les fréquences de stimulation inférieures à 150 Hz se révèlent antalgiques. Cela peut être dû à l'impossibilité des fibres et des synapses nerveuses, impliquées dans la somesthésie, de répondre à des fréquences de stimulation plus élevées [2]. En pratique, on utilise de préférence des fréquences de stimulation inférieures à 100 Hz.

Seules les fréquences de stimulation inférieures à 80 Hz présentent un intérêt excito-moteur. Les fréquences de stimulation plus élevées sont incompatibles avec les fréquences physiologiques de tétanisation.

À noter

Toute électrostimulation antalgique ou excito-motrice doit impérativement respecter les paramètres des impulsions optimales. À défaut, elle serait moins efficace, moins confortable, voire dangereuse.


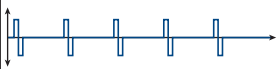
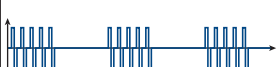
2.6. Courants types

En combinant les fréquences, les durées et les intensités, on obtient des effets différents, antalgiques, excito-moteurs et trophiques.

Nous sériions trois grands types de courants d'électrostimulation (figure 2.20) :

- **BF BI** (basse fréquence, 50 à 100 Hz, basse intensité) : antalgique par *gate control* (durée d'impulsion $\leq 0,1$ ms).
- **TBF IE** (très basse fréquence, 2 à 8 Hz, intensité élevée) :
 - excito-moteur par secousses élémentaires (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms),
 - antalgique par libération d'endorphines (durée d'impulsion : 0,5 à 3 ms).
- **BF IT** (basse fréquence, 20 à 80 Hz, intensité suffisante pour tétaniser) : excito-moteur tétanisant (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms).

Ces trois courants types sont conformes aux quatre paramètres des impulsions optimales et peuvent être perfectionnés par des spécificités et modulations qui leur donneront des propriétés complémentaires afin d'augmenter leur efficacité [3].

Paramètres	Courants types	Propriétés	Indications
BF BI Basse fréquence 50 à 100 Hz Basse intensité		Antalgique par <i>gate control</i> (durée d'impulsion $\leq 0,1$ ms)	Douleurs localisées
TBF IE Très basse fréquence 2 à 8 Hz Intensité élevée		Antalgique par libération d'endorphines (durée d'impulsion : 0,2 à 2 ms) Excitomoteur par secousses élémentaires (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms)	Douleurs diffuses Éveil musculaire
BF IT Basse fréquence 20 à 80 Hz Intensité suffisante pour tétaniser		Excitomoteur tétanisant (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms)	Amyotrophies Renforcement musculaire

CMC

FIGURE 2.20. Courants types : BF BI, TBF IE et BF IT.

2.7. Courants spécifiques

Ces courants présentent des paramètres conformes à ceux des impulsions optimales. Ils sont bidirectionnels à moyenne nulle, ce qui permet des applications de longue durée sans risque de brûlure chimique des tissus, y compris sur des patients porteurs de pièces métalliques incluses, et en supprimant la sensation d'irritation galvanique. Leur impulsion rectangulaire de brève durée produit une stimulation efficace et confortable.

Les courants spécifiques VIF®, BIOPP® et STIPL® sont des options qui s'intègrent dans la classification des trois courants types BF BI, TBF IE et BF IT décrits ci-dessus, en y ajoutant leurs particularités et modulations afin de lutter contre l'accoutumance, de localiser ou de mobiliser la stimulation ou de combiner plusieurs effets biologiques.

2.7.1. Courants VIF®

2.7.1.1. Définition

Courants d'électrostimulation, antalgiques et excito-moteurs, bidirectionnels rectangulaires aperiodiques, aléatoires, dits à « variation d'intensité et de fréquence », destinés notamment à limiter les phénomènes d'accoutumance (figures 2.21 et 2.22) [4, 5].

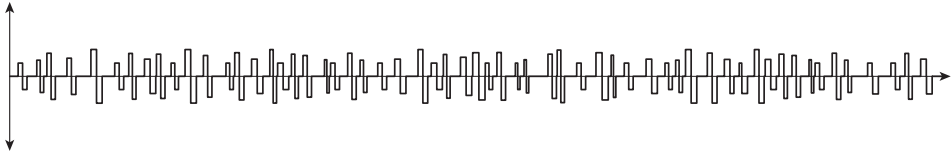


FIGURE 2.21. Courant VIF antalgique par *gate control*.

Courant de type BF BI : la variation aléatoire d'intensité, de fréquence et de durée modifie la perception du courant afin de repousser l'accoutumance.

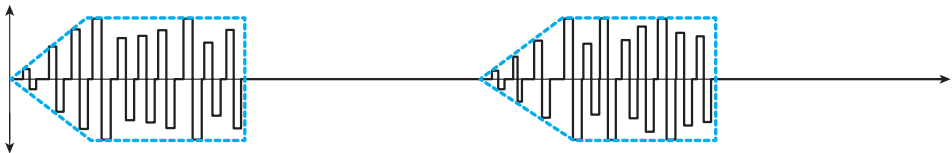


FIGURE 2.22. Courant VIF tétanisant.

Courant VIF de type BF IT : la variation aléatoire d'intensité, de fréquence et de durée modifie la perception du courant afin de repousser l'accoutumance et produit une vibration associée à la tétanisation ; la courbe-enveloppe progressive atténue la perception du début de la stimulation.

2.7.1.2. Propriétés spécifiques

La variation aléatoire de tous les paramètres, intensité, fréquence et durée d'impulsion, provoque une irrégularité qui accroît l'efficacité thérapeutique :

- en repoussant l'accoutumance, phénomène d'adaptation qui diminue la sensibilité au courant ;
- en prolongeant la durée effective de la stimulation ;
- en diminuant la dégradation de la contraction musculaire électro-induite ;
- en produisant simultanément un effet excito-moteur et une vibration antalgique.

2.7.1.3. Principales indications

Les courants VIF sont utilisés pour amplifier les effets du courant type BF BI, antalgique par *gate control*, particulièrement enclin à l'accoutumance (figure 2.21). Ils ont par conséquent les mêmes indications : douleurs localisées (cf. 5.3.2.3).

Ces courants sont aussi utilisés pour intensifier les effets du courant type BF IT, excito-moteur tétanisant (figure 2.22), en lui adjoignant des effets complémentaires, notamment dans les indications suivantes :

- Renforcement musculaire des amyotrophies sans dénervation.

L'irrégularité des courants VIF permet de conserver la meilleure réponse musculaire en prévenant la dégradation de cette réponse lorsque l'électrostimulation est appliquée de manière prolongée. Ils permettent d'obtenir au test de fatigue des résultats significativement supérieurs aux courants réguliers [6, 7].

- Contractures musculaires douloureuses.

Les courants VIF, en produisant une tétanisation et une vibration mécanique, associent « contracté-relâché » et stimulation antalgique afin de favoriser la sédation des contractures douloureuses lorsque le muscle est installé en course externe (spinaux, triceps suraux, ischio-jambiers...).

- Cellulalgies.

Les courants VIF, en produisant simultanément une tétanisation et une vibration mécanique, présentent des propriétés excito-motrices, trophiques, antalgiques et sclérolytiques destinées à assouplir les tissus conjonctifs sous-cutanés.

2.7.2. Courants BIOPP® : orientation polaire prédominante

2.7.2.1. Définition

Courants d'électrostimulation, antalgiques et excito-moteurs, rectangulaires, bidirectionnels asymétriques à moyenne nulle, dits « bidirectionnels à orientation polaire prédominante », destinés à orienter la stimulation pour la localiser sous l'une ou l'autre électrode ou, s'ils sont inversés, à diriger la stimulation tour à tour sous les deux électrodes.

Les courants BIOPP sont constitués :

- d'un côté de la ligne isoélectrique, d'une impulsion rectangulaire de très brève durée et d'intensité élevée;
- de l'autre côté de la ligne isoélectrique, d'une impulsion rectangulaire de plus longue durée et d'intensité moins élevée ([figure 2.4.c](#)).

2.7.2.2. Propriétés spécifiques

Ces courants associent les avantages des courants unidirectionnels et des courants bidirectionnels :

- Les courants unidirectionnels ([figure 2.4.a](#)) produisent une stimulation qui prédomine au pôle négatif, ce qui permet de localiser la stimulation sous cette électrode, mais ils présentent des propriétés électrolytiques qui les rendent désagréables et dangereux.
- Les courants bidirectionnels symétriques ([figure 2.4.b](#)) produisent une stimulation confortable et sûre mais sans prédominance sous une électrode, ce qui ne permet pas de localiser la stimulation.
- Les courants BIOPP, bidirectionnels asymétriques à moyenne nulle ([figure 2.4.c](#)), produisent une stimulation confortable et sûre qui prédomine sous une électrode. L'orientation polaire prédominante (OPP) désigne le pôle où la stimulation est la plus importante. Ces courants peuvent être orientés ou inversés.

- **Courants BIOPP orientés.**

Ils localisent l'OPP sous une électrode pour stimuler avec plus de précision sur un muscle défini ou sur le site de la douleur (figures 2.23, 2.25). On peut ainsi diriger la stimulation avec précision sur la zone où elle est la plus efficace et la mieux tolérée.

- **Courants BIOPP inversés.**

- S'ils sont inversés, ils localisent l'OPP tour à tour sous l'une puis l'autre électrode. Ce déplacement rythmé de la stimulation modifie les sensations perçues par le patient et repousse l'accoutumance (figure 2.24).
- S'ils sont inversés pendant le temps de travail (TT), ils localisent l'OPP tour à tour sous l'une puis l'autre électrode, produisant ainsi une contraction électro-induite et un pétrissage musculaire à visée trophique (figure 2.26).
- S'ils sont inversés à chaque temps de travail, ils localisent l'OPP successivement sur deux muscles différents, agonistes ou antagonistes, permettant ainsi d'aborder une articulation en réduisant simultanément deux de ses fonctions (figure 2.27).

2.7.2.3. Principales indications

Antalgiques, les courants BIOPP orientés ou inversés sont particulièrement efficaces pour rechercher les effets du courant type TBF IE, antalgique par libération d'endorphines [8]. Ils ont par conséquent les mêmes indications : douleurs diffuses (cf. 5.4.2.3). Ils peuvent également être utilisés afin de rechercher les effets du courant type BF BI, antalgique par *gate control* pour les douleurs localisées (cf. 5.3.2.3). Dans les deux cas, ils permettent de localiser ou de mobiliser la stimulation.

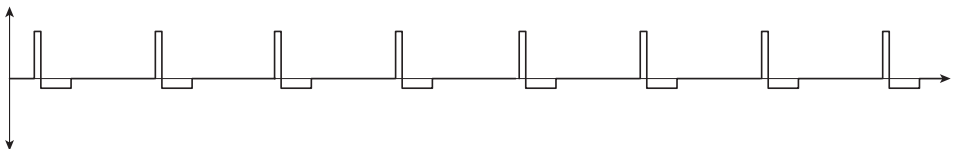


FIGURE 2.23. **Courant BIOPP orienté.**

Courant BIOPP de type TBF IE : la stimulation prédominante est localisée sur une électrode; une intervention manuelle du praticien peut la diriger sur l'autre électrode.

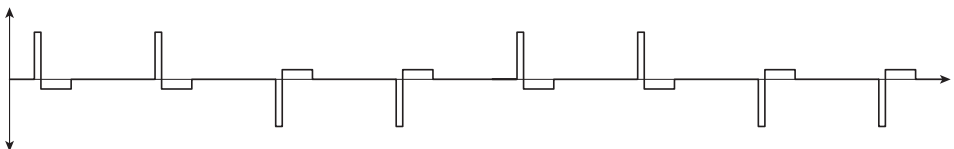


FIGURE 2.24. **Courant BIOPP inversé.**

Courant BIOPP de type TBF IE : la stimulation prédominante est dirigée tour à tour sur une et sur l'autre électrode; l'inversion est automatique, programmée sur l'appareil.

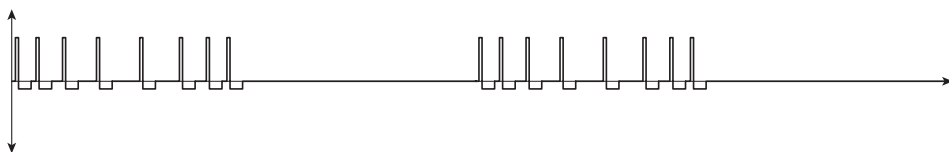


FIGURE 2.25. **Courant BIOPP téтанisant orienté.**

Courant de type BF IT : la stimulation prédominante est localisée sur une électrode. Une intervention manuelle du praticien peut la diriger sur l'autre électrode.

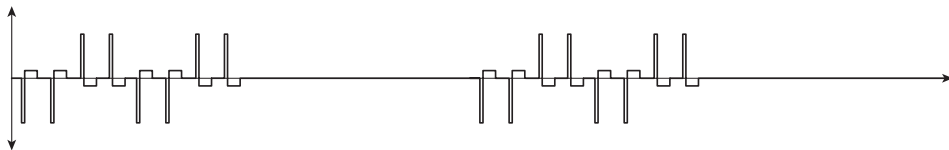


FIGURE 2.26. **Courant BIOPP téтанisant inversé pendant le train d'impulsions.**

Courant de type BF IT : l'inversion produit un pétrissage musculaire à but trophique.

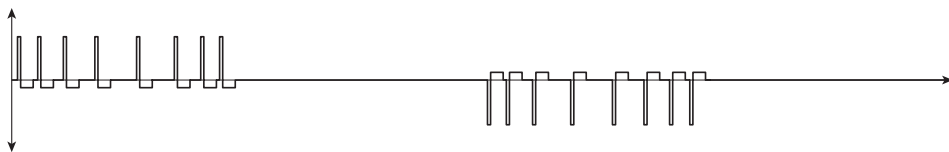


FIGURE 2.27. **Courant BIOPP téтанisant inversé à chaque nouveau train d'impulsions.**

Courant de type BF IT : l'inversion permet de contracter tour à tour deux muscles ou groupes musculaires différents, agonistes ou antagonistes.

Ces courants sont aussi utilisés pour diversifier les effets du courant type TBFIE, excito-moteur par secousses élémentaires, et du courant type BF IT, excito-moteur téтанisant [9], en leur adjoignant les effets complémentaires décrits ci-dessus, notamment dans les indications suivantes.

- Courant TBF IE :
 - éveil musculaire, facilitation de la circulation,
 - assouplissement des tissus cicatriciels,
 - préparation du sportif à l'effort [10].
- Courant BF IT :
 - renforcement musculaire,
 - récupération des amplitudes articulaires lorsque la mobilisation est impossible [11],
 - troubles circulatoires et trophiques.
- Rééducation périnéale : on utilise une sonde à électrodes latérales afin de localiser la stimulation pour traiter l'incontinence urinaire d'effort, l'insuffisance sphinctérienne, l'incontinence par impériosité (instabilité vésicale), le prolapsus et le périnée douloureux cicatriciel du post-partum [12].

2.7.3. Courants STIPL® : stimulation polyvalente

2.7.3.1. Définition

Il s'agit de courants d'électrostimulation, antalgiques et excito-moteurs, bidirectionnels symétriques ou asymétriques, dits de « stimulation polyvalente », destinés à associer les effets de la basse fréquence (10 à 100 Hz) et de la très basse fréquence (< 10 Hz).

Les courants STIPL symétriques (figure 2.28) sont constitués :

- d'impulsions bidirectionnelles rectangulaires de brève durée (0,5 à 2 ms), d'intensité élevée et de très basse fréquence (1 à 10 Hz);
- d'impulsions bidirectionnelles rectangulaires de très brève durée (50 à 200 μ s), d'intensité plus faible et de basse fréquence (10 à 100 Hz), qui s'intercalent entre les précédentes.

Les courants STIPL asymétriques à moyenne nulle (figure 2.29) sont constitués :

- d'un côté de la ligne isoélectrique, d'impulsions rectangulaires de brève durée (0,5 à 2 ms), d'intensité élevée et de très basse fréquence (1 à 10 Hz);
- de l'autre côté de la ligne isoélectrique, d'impulsions rectangulaires de très brève durée (50 à 200 μ s), d'intensité plus faible et de basse fréquence (10 à 100 Hz).

Ces courants asymétriques permettent de localiser la stimulation de basse fréquence sous une électrode et de localiser la stimulation de très basse fréquence sous l'autre électrode.

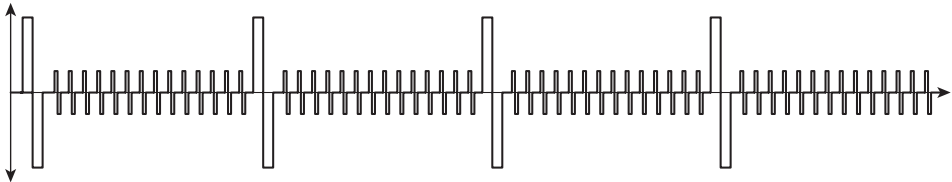


FIGURE 2.28. Courant STIPL symétrique.

Stimulation polyvalente : application simultanée de courant TBF IE antalgique par libération d'endorphines et de courant BF BI antalgique par *gate control*. Le courant est symétrique : l'action est identique sous les deux électrodes.

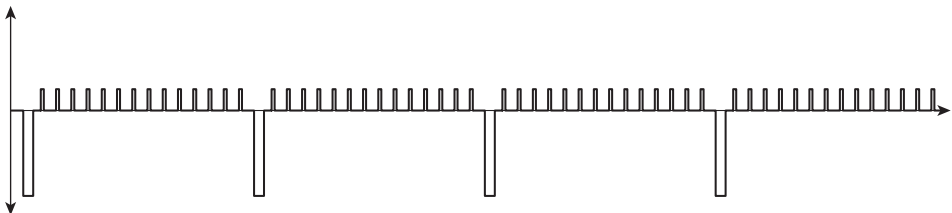


FIGURE 2.29. Courant STIPL asymétrique orienté.

Stimulation polyvalente, TBF IE et BF BI, orientée. Le courant est asymétrique : l'action est différenciée sous chaque électrode. Une prédominance de la stimulation BF BI est localisée sur une électrode; une prédominance de la stimulation TBF IE est localisée sur l'autre électrode. Une intervention sur l'appareil peut inverser ces orientations.

2.7.3.2. Propriétés spécifiques

Les courants STIPL produisent une stimulation polyvalente qui associe en même temps les effets de deux modalités de stimulation : antalgique par *gate control* et antalgique par libération d'endorphines (courant BF BI + courant TBF IE). Ils permettent, par leur double action, d'aborder le traitement de la douleur en tenant compte de ses multiples aspects.

Si on utilise des courants symétriques les effets sont identiques sous les deux électrodes (figure 2.28).

Si on utilise des courants asymétriques (figure 2.29) :

- l'électrode où prédomine la basse fréquence s'applique sur le site de la douleur localisée ;
- l'électrode où prédomine la très basse fréquence s'applique sur le site rachidien correspondant.

Si on utilise des courants asymétriques inversés (figure 2.30), la basse fréquence et la très basse fréquence sont dirigées tour à tour sur l'une puis sur l'autre électrode pour limiter les phénomènes d'accoutumance.

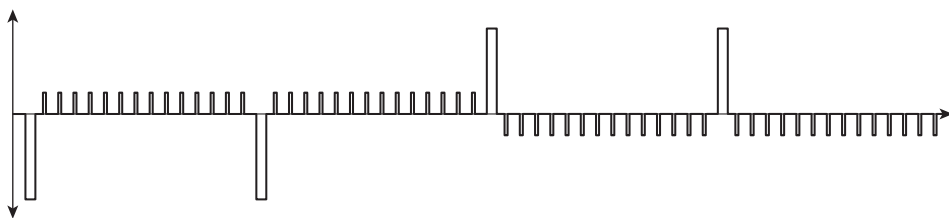


FIGURE 2.30. Courant STIPL asymétrique inversé.

Stimulation polyvalente, TBF IE et BF BI, inversée. Le courant est asymétrique inversé : les actions différenciées, TBF IE et BF BI, sont dirigées tour à tour sur l'une puis sur l'autre électrode.

2.7.3.3. Principales indications

Les courants STIPL peuvent être utilisés pour toutes les douleurs diffuses (cf. 5.4.2.3) en y ajoutant un effet sédatif local [13].

Cependant, cette modalité de stimulation par courants composites à double fréquence est principalement indiquée pour le traitement des douleurs mixtes (cf. 5.5.2.3) :

- douleurs de mécanismes générateurs associés (origine neurogène et par excès de nociception) ;
- syndrome douloureux régional complexe (SDRC), anciennement appelé algodystrophie ;
- rachialgies accompagnées de névralgies, douleurs localisées accompagnées de douleurs satellites.

Références

- [1] Anonyme. Terminologie concernant les appareils d'électricité médicale. Abrégé des normes UTE. Ann Kinésithér 1983 ; 10(9) : 343-6.
- [2] Bruxelles J. La stimulation électrique périphérique à visée antalgique. Encycl Méd Chir, Kinésithérapie, 26145 C 10, 7-1988, Paris. 4 p
- [3] Crépon F. Électrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle. 3^e éd Paris : Frison-Roche; 2002.
- [4] Crépon F. Utilisation thérapeutique des courants à variation d'intensité et de fréquence pour limiter les phénomènes d'accoutumance. Ann Kinésithér 1985 ; 12(3) : 87-9.
- [5] Crépon F. Les courants bidirectionnels à Variation d'Intensité et de Fréquence. Kinésithér Scient 1987 ; 261 : 42-4.
- [6] Pougheon M. Thépaut-Mathieu C. L'électrostimulation. Variations de la réponse musculaire selon différents types de courant. Kinésithér Scient 1992 ; 308 : 7-12.
- [7] Thépaut-Mathieu C, Pougheon M. Électrostimulation appliquée de manière prolongée. Réponse du système neuromusculaire. Kinésithér Scient 1992 ; 308 : 15-20.
- [8] Bruat A, Crépon F. Étude comparative de deux modalités d'électrostimulation antalgique. Colloque médico-technique national. Mérignac : Fédération française d'athlétisme ; 19-21. octobre 1990. p. 92.
- [9] Vanderthommen M, Crielaard JM. Le courant excito-moteur au niveau du quadriceps : détermination de paramètres optimaux de stimulation. Cah Kinésithér 1993 ; 161(3) : 36-40.
- [10] Colin X, Cordier JP, Crépon F. Influence de l'électrostimulation sur la performance : application chez le cycliste. Profession Kiné Plus 1998 ; 70 : 17-21.
- [11] Dispan de Florian H, Dhennin Ch. Intérêt de l'électrostimulation pour récupérer les amplitudes articulaires chez un brûlé. Cah Kinésithér 1993 ; 161(3) : 32-5.
- [12] Crépon F. Electrostimulation in the rehabilitative treatment of urinary incontinence. Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult 1992 May-Jun ; (3) : 50-3.
- [13] Crépon F. Intérêt de l'électrostimulation polyvalente en rééducation fonctionnelle. Kinésithér Scient 2003 ; 437 : 59-60.

CHAPITRE 3

Diélectrolyse

Points essentiels

- ♦ La diélectrolyse médicamenteuse n'a pas fait la preuve de son efficacité.
- ♦ Le bain galvanique est utilisé pour le traitement de l'hyperhidrose en respectant strictement les modalités d'application, les précautions et les contre-indications afin d'éviter les brûlures chimiques dues aux effets électrolytiques des courants unidirectionnels.

PLAN DU CHAPITRE

- 3.1. [Courants unidirectionnels, galvanisation et électrolyse](#)
- 3.2. [Diélectrolyse médicamenteuse](#)
- 3.3. [Bain galvanique et hyperhidrose](#)

3.1. Courants unidirectionnels, galvanisation et électrolyse

3.1.1. Galvanisation

On appelle courant galvanique le courant continu employé en électrothérapie. La galvanisation est l'application de courants continus. Tous les courants unidirectionnels, le courant continu et le courant d'impulsions unidirectionnelles, présentent des effets électrolytiques.

3.1.2. Électrolyse

L'électrolyse est un phénomène de décomposition chimique de certaines substances en solution soumises à l'action d'un courant unidirectionnel, c'est-à-dire polarisé. Elle a deux effets : le transport des ions et la formation d'acide et de base.

3.1.2.1. Transport des ions

Les ions négatifs (ou anions) migrent vers l'anode (pôle positif). Les ions positifs (ou cations) migrent vers la cathode (pôle négatif). Certains auteurs ont utilisé ce principe pour essayer d'introduire des ions médicamenteux dans les

tissus. Cette technique est appelée diélectrolyse médicamenteuse, ionophorèse, iontophorèse, ionothérapie ou ionisation.

3.1.2.2. Formation d'acide et de base

L'électrolyse produit la formation d'acide à l'anode et de base à la cathode, entraînant ainsi de graves brûlures chimiques des tissus si l'intensité est trop élevée, si le protocole d'application, les précautions et contre-indications ne sont pas strictement respectés.

3.2. Diélectrolyse médicamenteuse

Le passage transcutané est très contesté et les essais cliniques montrent que la diélectrolyse n'a pas fait la preuve de son efficacité. De plus, la technique est dangereuse mais elle est encore pratiquée. Il faut donc respecter un protocole rigoureux pour éviter la brûlure chimique.

3.2.1. Protocole d'application

3.2.2.1. Courant, polarité

Le produit est déposé sur une compresse appliquée sur la peau et recouverte d'un spongieux humidifié puis de l'électrode de même signe que l'ion actif du produit.

On utilise un courant continu (figure 3.3A) ou galvanique, ou un courant variable unidirectionnel.

3.2.2.2. Intensité

L'intensité est réglée progressivement, de la 1^{re} à la 5^e séance, de 0,01 à 0,05 mA/cm² de surface de la plus petite électrode, pour une séance de 30 minutes. Le tableau 3.1 donne quelques exemples d'intensités à appliquer selon la surface d'électrode. L'augmentation progressive de l'intensité à la séance suivante n'est effectuée que si la séance précédente a été bien supportée.

TABLEAU 3.1. Intensités en mA/cm² de surface.

Séance de 30 min	Intensité en mA/cm ² de surface	Intensité en mA pour une surface de		
		100 cm ² (petite main)	200 cm ²	300 cm ² (grand pied)
1 ^{re} séance	0,01	1	2	3
2 ^e séance	0,02	2	4	6
3 ^e séance	0,03	3	6	9
4 ^e séance	0,04	4	8	12
5 ^e et suivantes	0,05	5	10	15

Pour une diélectrolyse, on considère la surface d'électrode.

Pour un bain galvanique, on considère la surface de peau immergée.

En début de séance, l'intensité est augmentée progressivement afin d'éviter une secousse de fermeture due à un début brusque du courant. En fin de séance, l'intensité est diminuée progressivement afin d'éviter une secousse d'ouverture due à une interruption brusque du courant.

3.2.2.3. Précautions et contre-indications spécifiques

Elles sont identiques à celles du bain galvanique (cf. 3.3.1.4, 3.3.1.5).

3.2.2. Passage transcutané

Plusieurs publications – dont certaines très anciennes datant du XIX^e siècle – soutiennent que le courant continu permet d'introduire des substances à travers la peau. D'autres auteurs ne constatent aucun passage transcutané.

Plusieurs séries de recherches sur le passage dans la circulation générale de substances administrées par ionophorèse chez l'homme ont été publiées. Quatre AINS ont été testés : indométacine, kétoprofène, diclofénac et phénylbutazone. Les dosages chromatographiques à haute performance n'ont décelé aucune trace de passage sérique de ces produits [1].

Le passage transcutané de la cortisone par ionophorèse n'est pas mieux établi. Une iontophorèse de corticoïdes (dexaméthasone 3H) a été pratiquée chez 5 patients présentant un épanchement du genou d'étiologie post-traumatique, avec ponction de l'article en fin de séance. Les résultats confirment l'absence de diffusion transcutanée iontophorétique de dexaméthasone *in vivo* [2].

Des expérimentations *in vitro* et *in vivo* ont été effectuées.

1. Électrophorèse sur papier des corticoïdes hydrosolubles :

À pH physiologique, les corticoïdes utilisés ne migrent pas, soit parce qu'ils ne sont pas chargés (ionisés), soit parce qu'ils ne sont pas solubles.

À pH 8,6 : les stéroïdes phosphatés solubles (Kenacort) migrent vers l'anode, mais une telle solution serait trop irritante pour la peau et créerait des lésions sérieuses.

2. Essais sur modèle réduit

Des ionisations de cortisone ont été réalisées à différentes conditions de pH du milieu, d'intensité, de courant et de durée, sans pouvoir constater un quelconque passage transcutané des corticoïdes utilisés, quel que soit le sens du courant.

3. Étude animale

Sur 4 lapins, dont les poils de la cuisse ont été rasés, 2 éponges imbibées de 10 cc d'une solution de triamcinolone marquée au tritium ont été appliquées et recouvertes des électrodes (positive et négative). Après ionisation avec 3 mA/cm² pendant 20 min, chaque jour pendant 10 jours, aucune trace du marqueur n'a été retrouvée dans l'urine.

Ces travaux n'ont pas permis de mettre en évidence le passage transcutané de la cortisone par l'ionisation [3].

Il faut rester circonspect quant à la pénétration tissulaire des molécules par ionisation. De nombreux facteurs relatifs au produit, à la localisation, au courant électrique, interférant les uns avec les autres à différents niveaux, conditionnent les capacités de passage [4].

Partant du principe qu'il est théoriquement possible d'administrer un soluté ionisé en utilisant un courant électrique transcutané, l'iontophorèse a été l'objet d'une étude pour évaluer si elle pouvait permettre l'administration d'insuline.

Les auteurs concluent que les tentatives faites pour administrer l'insuline par iontophorèse ont échoué [5].

Le principe physique de l'électrolyse et le principe de l'absorption cutanée sont bien établis. Néanmoins, compte tenu des travaux mentionnés ci-dessus, on ne peut pas soutenir que la diélectrolyse permet d'améliorer le passage d'ions médicamenteux à travers la peau.

3.2.3. Effets cliniques

Les résultats des études cliniques sont très nuancés. Plusieurs essais montrent qu'il n'y a pas de différence entre les groupes traités par ionophorèse et les groupes témoins, les améliorations constatées n'étant donc pas dues au traitement par ionophorèse.

Une étude associant l'ionophorèse d'acide acétique en solution à 5 % sur l'électrode négative, avec un courant galvanique de 5 mA pendant 20 minutes, suivie d'une application d'ultrasons continus (0,8 W/cm², 1 MHz, 5 minutes) a évalué les effets de ces techniques sur la tendinite calcifiante de l'épaule. Le groupe contrôle n'a reçu aucun traitement. Les mesures radiologiques ont montré une diminution de densité des dépôts de calcium dans les deux groupes, sans aucune différence significative. Les auteurs concluent que la réduction de densité est le résultat probable d'un processus naturel plutôt que du traitement par ionophorèse et ultrasons [6].

Un essai contrôlé randomisé en double aveugle a évalué les effets de l'ionophorèse d'acide acétique dans le traitement de la tendinite calcifiante de l'épaule en mesurant la douleur, le score SPADI, les mouvements de l'épaule et le nombre moyen de calcifications par sujet. L'analyse des résultats montre une amélioration dans les deux groupes. Les auteurs concluent que, malgré une tendance vers l'amélioration du score SPADI plus grande dans le groupe de traitement, on n'observe pas de différence significative des résultats cliniques et radiologiques entre le groupe traité par ionophorèse et le groupe traité par la physiothérapie seule [7].

Un essai contrôlé randomisé en double aveugle montre que l'ionophorèse de corticostéroïdes (dexaméthasone à 0,4 %) n'est pas efficace dans le traitement des formes légères à modérées de syndrome du canal carpien [8].

Une revue *Cochrane* indique qu'il y a peu de preuve de l'efficacité des corticostéroïdes topiques administrés par ionophorèse pour réduire la douleur de la talalgie plantaire [9].

Plusieurs études concernent les effets de l'iontophorèse sur l'épicondylalgie latérale.

L'iontophorèse de corticostéroïdes a fait l'objet d'une étude sur 64 patients souffrant d'épicondylalgie latérale qui ont été répartis en deux groupes randomisés. Les deux groupes se sont améliorés au cours de l'étude, mais aucune différence significative n'a été observée entre le groupe traité

par l'iontophorèse de corticostéroïdes et le groupe traité par placebo. Les auteurs concluent que les résultats de leur étude ne soutiennent pas l'utilisation de l'iontophorèse de corticostéroïdes dans le traitement de l'épicondylalgie latérale [10].

Un essai contrôlé randomisé en double aveugle *versus* placebo sur 199 épicondylalgies traitées par iontophorèse de dexaméthasone montre que le traitement a été bien toléré par la plupart des patients, qu'il était efficace à deux jours, mais que la différence avec le groupe placebo n'était pas significative à un mois [11].

Une nouvelle technique d'iontophorèse propose d'utiliser un patch avec une batterie intégrée appliqué pendant 24 heures avec une tension d'1 volt. Un essai comparatif a été réalisé sur des patients atteints d'épicondylalgie latérale avec des groupes qui ont reçu des injections de cortisone. Les résultats ont été évalués selon la douleur et la fonction. À six mois, tous les groupes ont obtenu une amélioration de la douleur et de la fonction. Cependant, à six semaines, seul le groupe iontophorèse s'est amélioré [12].

Cette dernière étude, à défaut de prouver une réelle efficacité, montre l'avantage des techniques non invasives et corrobore une étude qui a amené le Collège hollandais des praticiens généralistes des Pays-Bas à publier des directives recommandant une politique attentiste dans les cas d'épicondylalgie latérale. Une étude économique a été réalisée au cours d'un essai contrôlé randomisé ayant pour objectif d'évaluer les effets de trois types d'interventions sur des patients atteints d'épicondylalgie latérale : 1) politique attentiste ; 2) injections de corticostéroïdes ; 3) physiothérapie. À 12 mois, le taux de réussite était significativement plus élevé dans le groupe traité par physiothérapie (91 %) que dans le groupe traité par injections (69 %), mais seulement légèrement plus élevé que dans le groupe d'attente (83 %). La comparaison des dépenses et des effets n'a montré aucune prédominance pour chacun des trois groupes. Les auteurs concluent que les résultats de cette étude économique ne donnent aucune raison d'amender les directives hollandaises qui recommandent une politique attentiste pour les patients atteints d'épicondylalgie latérale [13].

3.2.4. Discussion et conclusion

Devant l'absence d'études démontrant l'efficacité antalgique de cette technique et une tolérance non exempte de problèmes, la conférence de consensus « Prise en charge kinésithérapique du lombalgique » ne recommande pas l'iontophorèse [14].

Les recommandations pour les pratiques de soins mentionnent qu'il faut attendre de futurs travaux pour utiliser les ionisations dans le traitement de l'entorse externe de la cheville [15].

La mention de mode d'administration par ionisation a été supprimée sur la notice de tous les médicaments sur lesquels elle apparaissait.

Enfin, on constate que l'iontophorèse est responsable d'un grand nombre de brûlures galvaniques. Ces brûlures se produisent insidieusement, rendent

la technique particulièrement délicate à appliquer et exigent une surveillance constante, tenant compte du fait que pendant une ionophorèse avec de l'eau, la température de la peau augmente plus à la cathode qu'à l'anode [16].

L'efficacité de la diélectrolyse médicamenteuse n'est donc pas prouvée. Et ses dangers sont bien réels. En conséquence, on ne peut qu'émettre des réserves sur son éventuel intérêt dans le traitement des affections de l'appareil locomoteur, et il est recommandé de privilégier l'électrostimulation antalgique pour laquelle on constate, en pratique courante, une innocuité et une efficacité nettement supérieures.

3.3. Bain galvanique et hyperhidrose

Le bain galvanique à l'eau naturelle (eau de la ville) est utilisé pour le traitement de l'hyperhidrose palmaire, plantaire ou du moignon de l'amputé [17, 18]. Comme pour la diélectrolyse, on utilise le courant galvanique qui produit les mêmes risques. En conséquence, il faut respecter un protocole tout aussi rigoureux pour éviter la brûlure chimique.

3.3.1. Protocole d'application

3.3.1.1. Bain galvanique

Deux bassines en plastique sont nécessaires pour immerger séparément la paume des mains ou la plante des pieds. S'il s'agit de moignons, l'immersion se fera dans des seaux en plastique.

Il faut interposer des caillebotis en plastique pour séparer la peau et les électrodes immergées.

Les mains ou les pieds sont immergés à mi-hauteur dans l'eau de la ville (figures 3.1 et 3.2).

On utilise un courant continu ou galvanique. Le traitement d'attaque est d'environ trois séances par semaine, le traitement d'entretien est d'environ une séance par semaine.

3.3.1.2. Intensité

L'intensité est réglée progressivement de la 1^{re} à la 5^e séance, de 0,01 à 0,05 mA/cm² de surface de peau immergée d'une seule main ou d'un seul pied (100 à 300 cm²) pour une séance de 30 à 40 min. Le tableau 3.1 donne quelques exemples d'intensités à appliquer selon la surface de peau immergée. La surface de l'électrode immergée n'intervient pas dans le calcul de l'intensité.

L'augmentation progressive de l'intensité à la séance suivante n'est effectuée que si la séance précédente a été bien supportée. Certains auteurs utilisent jusqu'à 20 mA [19]. Dans ce cas, il est important de bien respecter la progression du réglage de l'intensité, ainsi que les précautions et contre-indications.

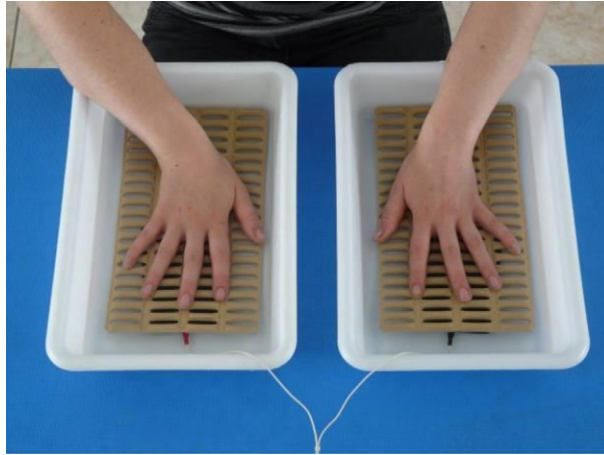


FIGURE 3.1. Bain galvanique pour l'hyperhidrose palmaire.

Les mains sont immergées à mi-hauteur dans l'eau, un caillebotis en plastique les protège de l'électrode.

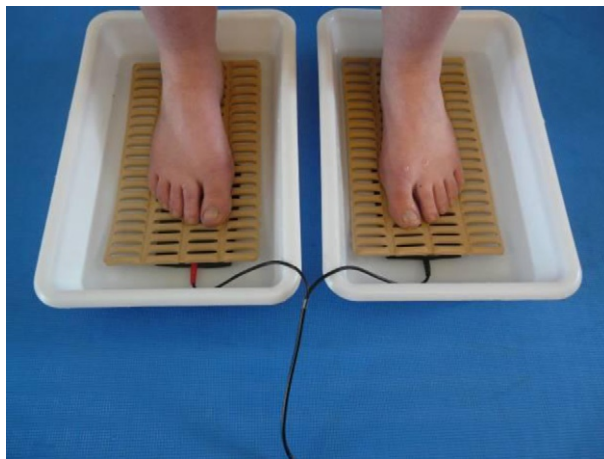


FIGURE 3.2. Bain galvanique pour l'hyperhidrose plantaire.

Les pieds sont immergés à mi-hauteur dans l'eau, un caillebotis en plastique les protège de l'électrode.

3.3.1.3. Ordre des manipulations

L'anode étant plus efficace que la cathode [20–23], la séance se déroule en deux séquences identiques hormis la polarité :

- vérifier que les potentiomètres d'intensité sont à zéro et immerger les mains ou les pieds à mi-hauteur ;
- régler progressivement l'intensité ;
- effectuer une galvanisation pendant 15 à 20 min ; en début de traitement, commencer par 15 min, puis augmenter progressivement jusqu'à 20 min si le traitement est bien supporté ;
- diminuer progressivement l'intensité avant d'arrêter ;

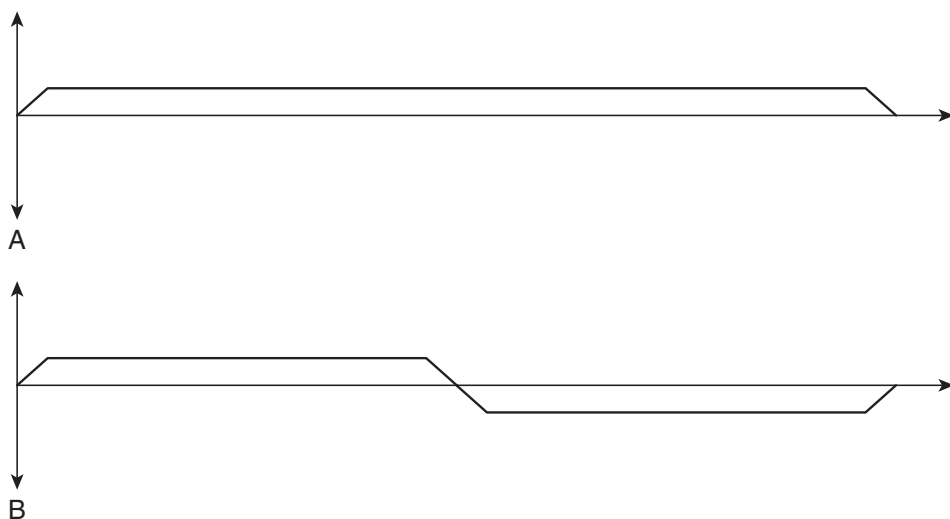


FIGURE 3.3. **Courant continu.**

A. Le courant continu est permanent.

B. Le courant continu est inversé en milieu de séance.

- inverser la polarité des électrodes et recommencer l'opération afin que les deux pieds ou les deux mains soient traités par l'anode ([figure 3.3B](#)).

Les mains, les pieds ou les moignons ne doivent jamais être plongés dans l'eau ni retirés pendant le passage du courant, ce qui provoquerait :

- une violente secousse de fermeture ou d'ouverture ;
- un effet de pointe, c'est-à-dire une forte concentration de courant sur une faible surface de peau.

Il faut donc préalablement ramener l'intensité à zéro.

3.3.1.4. Précautions

Tous les objets métalliques (bagues, bijoux...) doivent être enlevés.

Un examen préalable de la peau doit être effectué : toute lésion cutanée risque de concentrer l'intensité du courant sur une faible surface (effet de pointe) et d'entraîner une brûlure.

La sensibilité du patient doit être prise en compte : les téguments blancs, blonds et roux sont particulièrement vulnérables au courant galvanique.

L'apparition d'un érythème impose d'interrompre le traitement et de ne le reprendre qu'avec une intensité inférieure.

Une surveillance constante est indispensable : risque de brûlure chimique.

3.3.1.5. Contre-indications spécifiques

En plus des contre-indications générales, on n'applique pas de courant unidirectionnel dans les cas suivants :

- lésions cutanées, zones d'anesthésie ou d'hypoesthésie ;
- pièces métalliques incluses, notamment le stérilet en cuivre.

3.3.2. Effets cliniques

L'ionophorèse par bain galvanique à l'eau naturelle (eau du réseau) apparaît actuellement comme le moyen le plus simple et le plus efficace pour traiter l'hyperhidrose de la paume des mains, de la plante des pieds ou du moignon de l'amputé [17, 18] bien que son mode d'action reste hypothétique.

Plusieurs auteurs indiquent que l'anode est le pôle le plus efficace [20–23]. Pour l'un d'eux, le choix de l'anode pour traiter une main pendant les cinq ou sept premières séances semble être plus efficace que le changement de polarité à chaque séance [23].

La pathogénie de l'hyperhidrose palmaire ou plantaire demeure inconnue. Le mécanisme d'action de l'ionophorèse a déjà été étudié, mais n'est pas encore complètement élucidé. Une hypothèse largement acceptée est que l'anode entraînerait une accumulation d'ions H^+ dans le canal excréteur des glandes sudoripares. Il est présumé que l'acidité ainsi produite provoquerait une réaction dans l'acrosyngium (portion intra-épidermique du canal sudoripare) qui inhiberait la transpiration [21, 22].

Une récente étude histologique ne soutient pas l'hypothèse traditionnelle d'obstruction de la partie distale du canal excréteur après ionophorèse. Cette étude conclut que les biopsies après ionophorèse montrent une progression vers la normalisation morpho-structurale [24].

Le bain galvanique a aussi des effets indésirables. L'ionophorèse est un traitement bien établi pour l'hyperhidrose idiopathique, néanmoins les accidents observés sont des brûlures avec nécrose secondaire. Ces accidents sont dus à des erreurs de manipulation dans le protocole d'application. Les appareils sont fiables et doivent être employés correctement [25].

3.3.3. Discussion et conclusion

Les effets du courant continu sur les glandes sudoripares pour supprimer la transpiration locale sont décrits depuis près d'un siècle [26]. En pratique, on constate l'efficacité de cette technique bien qu'on n'en connaisse pas exactement les mécanismes.

Selon une récente revue de littérature, l'iontophorèse est considérée comme un traitement de troisième ligne de haute efficacité pour l'hyperhidrose plantaire [27].

L'hyperhidrose est une pathologie beaucoup plus pénible à vivre qu'on ne le pense, aussi bien au niveau de la vie personnelle que de la vie sociale et professionnelle.

Sous réserve de respecter les précautions indispensables pour écarter tout risque de brûlure chimique, le bain galvanique semble indiqué pour traiter cette pathologie et améliorer la qualité de vie des patients qui en sont atteints.

Références

- [1] Solassol A, Allas T, Benard V, Moulin M, Bouvard G, Debruyne D. Le passage dans la circulation générale de substances administrées par ionophorèse chez l'homme. *Ann Réadapt Méd Phys* 1986; 28 : 395–407.

- [2] Gobelet C, Follonier A, Meylan F, Maeder E. Iontophorèse aux corticoïdes. *Cinésiologie* 1982; 21 : 279–84.
- [3] Ludy JP, Berger D, Chantraine A. Ionisation à la cortisone : mythe ou réalité? *Rhumatologie* 1986; 38(2) : 45–8.
- [4] Calmels P, Minaire P. L'ionisation des substances anti-inflammatoires : les facteurs de pénétration tissulaire. *Ann Réadapt Méd Phys* 1986; 28 : 425–33.
- [5] Stephen RL, Petelenz TJ, Jacobsen SC. Potential novel methods for insulin administration : I. Iontophoresis. *Biomed Biochim Acta* 1984; 43(5) : 553–8.
- [6] Perron M, Malouin F. Acetic acid iontophoresis and ultrasound for the treatment of calcifying tendinitis of the shoulder : a randomized control trial. *Arch Phys Med Rehabil* 1997 Apr; 78(4) : 379–84.
- [7] Leduc BE, Caya J, Tremblay S, Bureau NJ, Dumont M. Treatment of calcifying tendinitis of the shoulder by acetic acid iontophoresis : a double-blind randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2003 Oct; 84(10) : 1523–7.
- [8] Amirjani N, Ashworth NL, Watt MJ, Gordon T, Chan KM. Corticosteroid iontophoresis to treat carpal tunnel syndrome : a double-blind randomized controlled trial. *Muscle Nerve* 2009 May; 39(5) : 627–33.
- [9] Crawford F, Thomson CE. Interventions for treating plantar heel pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2010 Jan; 20(1) CD000416.
- [10] Runeson L, Haker E. Iontophoresis with cortisone in the treatment of lateral epicondylalgia (tennis elbow) - a double-blind study. *Scand J Med Sci Sports* 2002 Jun; 12(3) : 136–42.
- [11] Nirschl RP, Rodin DM, Ochiai DH, Maartmann-Moe C, DEX-AHE-01-99 Study Group. Iontophoretic administration of dexamethasone sodium phosphate for acute epicondylitis. A randomized, double-blinded, placebo-controlled study. *Am J Sports Med* 2003 Mar-Apr; 31(2) : 189–95.
- [12] Stefanou A, Marshall N, Holdan W, Siddiqui A. A randomized study comparing corticosteroid injection to corticosteroid iontophoresis for lateral epicondylitis. *J Hand Surg [Am]* 2012 Jan; 37(1) : 104–9.
- [13] Korthals-de Bos IB, Smidt N, van Tulder MW, Rutten-van Mölken MP, Adèr HJ, van der Windt DA, et al. Cost effectiveness of interventions for lateral epicondylitis : results from a randomised controlled trial in primary care. *Pharmacoeconomics* 2004; 22(3) : 185–95.
- [14] AFREK. Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus; Paris, 13 et 14 novembre 1998; Paris : SPEK; 2000.
- [15] ANAES. Rééducation de l'entorse externe de la cheville. Recommandations et références professionnelles. Paris : ANAES; janvier 2000.
- [16] Berliner MN. Skin microcirculation during tapwater iontophoresis in humans : cathode stimulates more than anode. *Microvasc Res* 1997 Jul; 54(1) : 74–80.
- [17] Haulot A, Chieza G, Ménager D. Traitement de l'hyperhidrose du moignon par iontophorèse. À propos de 31 cas. In : Simon L, Pélissier J, Hérisson Ch, editors. *Act Réed Fonct Réadapt*. 17^e série. Paris : Masson; 1992. p. 100–4.
- [18] Gillick BT, Kloth LC, Starsky A, Cincinelli-Walker L. Management of postsurgical hyperhidrosis with direct current and tap water. *Phys Ther* 2004 Mar; 84(3) : 262–7.
- [19] Henriët JP, Desnos P, Hamel C, Maiza D, Evrard C. A misunderstood treatment for hyperhidrosis : ionization. Principles, material, methodology, early results. *J Mal Vasc* 1988; 13(1) : 50–4.
- [20] Shrivastava SN, Singh G. Tap water iontophoresis in palmo-plantar hyperhidrosis. *Br J Dermatol* 1977 Feb; 96(2) : 189–95.
- [21] Sato K, Timm DE, Sato F, Templeton EA, Meletiou DS, Toyomoto T, et al. Generation and transit pathway of H⁺ is critical for inhibition of palmar sweating by iontophoresis in water. *J Appl Physiol* 1993 Nov; 75(5) : 2258–64.

-
- [22] Kreyden OP. Iontophoresis for palmoplantar hyperhidrosis. *J Cosmet Dermatol* 2004 Dec; 3(4) : 211–4.
 - [23] Aydemir EH, Kalkan MT, Karakoc Y. Quantitative effect of anodal current in the treatment of primary hyperhidrosis by direct electrical current. *Int J Dermatol* 2006 Jul; 45(7) : 862–4.
 - [24] Moreno-Lorenzo C, Castro-Sánchez AM, Guisado-Barrilao R, Linares-Solano J, Ruiz-Villaverde R, Villaverde-Gutiérrez C. Dermatologic iontophoresis in palmar hyperhidrosis : immunohistochemical study. *Eur J Dermatol* 2010 Mar-Apr; 20(2) : 235–6.
 - [25] Lambert D, Guillet G, Denoeux JP, Thivolet J, Labeille B, Dalac S. Accidents caused by iontophoresis. *Ann Dermatol Venereol* 1993; 120(12) : 907–8.
 - [26] Ichihashi T. Effect of drugs on the sweat glands by cataphoresis, and an effective method for suppression of local sweating. Observation on the effect of diaphoretics and adia-phoretics. *J Orient Med* 1936; 25 : 101–2.
 - [27] Walling HW, Swick BL. Treatment options for hyperhidrosis. *Am J Clin Dermatol* 2011 Oct 1; 12(5) : 285–95.

CHAPITRE 4

Électrostimulation et muscle

Points essentiels

- ♦ L'électrostimulation musculaire et la contraction volontaire sont des techniques complémentaires, leur association améliore les résultats.
- ♦ L'électrostimulation musculaire est particulièrement indiquée pour traiter l'amyotrophie lorsque la contraction volontaire est difficilement réalisable en fonction de l'état général du patient.
- ♦ L'électrostimulation du muscle dénervé se pratique avec une impulsion rectangulaire dont la durée doit être suffisamment longue pour stimuler la fibre musculaire dénervée, mais doit être limitée à la durée efficace pour être bien tolérée. La stimulation doit être accompagnée d'une contraction volontaire ou d'un mouvement imaginé.

PLAN DU CHAPITRE

- 4.1. [Excitabilité neuromusculaire](#)
- 4.2. [Électrostimulation musculaire](#)
- 4.3. [Effets cliniques de l'ESM](#)
- 4.4. [Excitabilité de la fibre musculaire dénervée](#)
- 4.5. [Électrostimulation du muscle dénervé](#)
- 4.6. [Effets cliniques sur le muscle dénervé](#)

4.1. Excitabilité neuromusculaire

4.1.1. Rappels de physiologie

4.1.1.1. Excitabilité

L'excitabilité est la propriété des nerfs et des muscles qui leur permet de répondre à un stimulus.

4.1.1.2. Potentiel d'action

Lorsqu'on stimule un nerf, il se produit une brusque inversion du potentiel de membrane : la face interne devient positive et la face externe négative pendant une brève durée [1, 2]. À ce pic, succède une chute du potentiel de membrane, qui rejoint ensuite la valeur initiale du potentiel de repos. L'ensemble de ces phénomènes électriques correspond au potentiel d'action qui présente une amplitude d'environ 110 mV et une durée d'environ 1 ms.

Périodes réfractaires

Pendant le déroulement d'un potentiel d'action, l'excitabilité est complètement modifiée : la fibre nerveuse est d'abord totalement inexcitable (période réfractaire absolue), puis moins excitable (période réfractaire relative).

Loi du tout ou rien

Le potentiel d'action n'apparaît pas si le stimulus a une amplitude inférieure au seuil critique (stimulus infraliminaire). Quand l'intensité du stimulus atteint le seuil (stimulus liminaire) ou dépasse le seuil (stimulus supraliminaire), quelle que soit l'amplitude du stimulus, le potentiel d'action apparaît avec une amplitude constante, caractéristique de la fibre stimulée.

4.1.2. Excitabilité musculaire

4.1.2.1. Réponses musculaires selon l'intensité et la durée de l'impulsion

Loi fondamentale

L'électrostimulation consiste à déclencher un potentiel d'action au moyen d'une impulsion dont l'intensité liminaire (I) augmente quand sa durée (t) diminue suivant la relation $I = q/t + i_0$.

Dans cette équation :

- q est la quantité de charges électriques constituant l'impulsion;
- i_0 est l'intensité minimale pour stimuler avec une impulsion de durée infinie.

Rhéobase

$I = q/t + i_0$. Si $t = \infty$, l'équation devient $I = i_0 = Rh$.

La rhéobase (Rh) est l'intensité minimale d'une impulsion à début brusque (rectangulaire) et de durée infinie (en pratique : 100 ms) nécessaire pour atteindre le seuil de la contraction (figure 4.1).

Donc, dans le cas d'une impulsion rectangulaire, la relation peut s'écrire $I = q/t + Rh$.

La rhéobase se mesure en milliampères.

Chronaxie

Si $I = 2Rh$, l'équation devient $2Rh = q/t + Rh \Leftrightarrow Rh = q/t \Leftrightarrow t = q/Rh = Chr$.

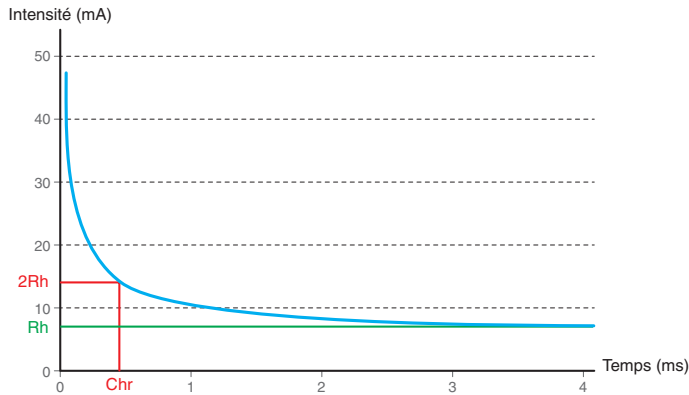


FIGURE 4.1. **Réponses musculaires selon l'intensité et la durée de l'impulsion.**

Rhéobase (Rh) : intensité minimale d'une impulsion rectangulaire de durée infinie nécessaire pour atteindre le seuil de la contraction. Chronaxie (Chr) : durée minimale d'une impulsion rectangulaire d'intensité double de la rhéobase nécessaire pour atteindre le seuil de la contraction.

La chronaxie (Chr) est la durée minimale d'une impulsion rectangulaire d'intensité double de la rhéobase nécessaire pour atteindre le seuil de la contraction (figure 4.1).

La chronaxie se mesure en microsecondes (muscles innervés) ou en millisecondes (muscles dénervés). Les chronaxies normales sont inférieures à 1 ms : 100 à 700 μ s.

La rhéobase et la chronaxie ont été définies par Lapicque en 1909. La recherche de l'intensité minimale pour contracter avec différentes durées d'impulsion détermine la courbe I/t d'excitabilité musculaire (figure 2.8).

Durée utile

La durée utile (ou temps utile) est la durée minimale d'une impulsion rectangulaire d'intensité rhéobasique, capable de provoquer une contraction. Si on diminue la durée de l'impulsion au-dessous de la durée utile, on doit augmenter son intensité pour obtenir une réponse équivalente. L'ensemble de ces impulsions liminaires dont l'intensité augmente proportionnellement à la diminution de la durée de l'impulsion détermine la courbe d'excitabilité du muscle (figure 2.8).

Durées optimales de stimulation

Les durées optimales de stimulation sont comprises entre la chronaxie et la durée utile : 100 μ s à 3 ms.

4.1.2.2. Réponses musculaires selon la pente d'établissement de l'impulsion

Pente d'établissement de l'impulsion

La pente d'établissement est définie par la durée d'établissement (ou temps de montée) de l'impulsion. La pente d'établissement est d'autant plus raide que la

durée d'établissement de l'impulsion est brève. Quand on augmente la durée d'établissement de l'impulsion, on abaisse la pente d'établissement (figure 4.2).

Pente limite

Considérons une impulsion rectangulaire de longue durée et d'intensité suffisante pour obtenir une contraction. Si on abaisse sa pente d'établissement sans augmenter l'intensité, la réponse disparaît (figure 4.2). La pente limite est la pente d'établissement au-dessous de laquelle il n'y a plus de réponse, quelle que soit l'intensité.

Rapport intensité/pente

Pour obtenir une contraction, on doit augmenter l'intensité d'autant plus que l'angle de la pente d'établissement de l'impulsion est petit (figure 4.3).

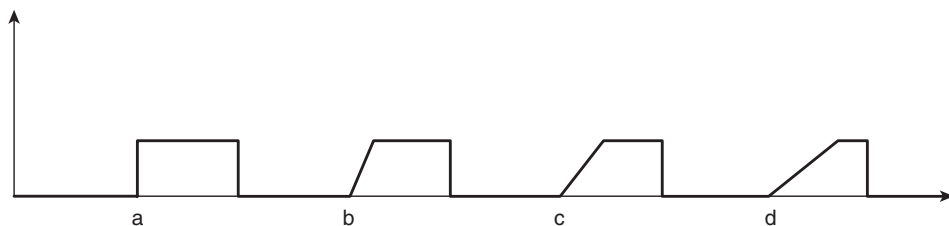


FIGURE 4.2. Pente d'établissement : impulsion efficace et pente limite.

a : impulsion rectangulaire; b,c,d : si on abaisse la pente d'établissement d'une impulsion sans augmenter l'intensité, la réponse disparaît (pente limite). On appelle climalyse la pente limite d'une impulsion rectangulaire d'intensité rhéobasique.

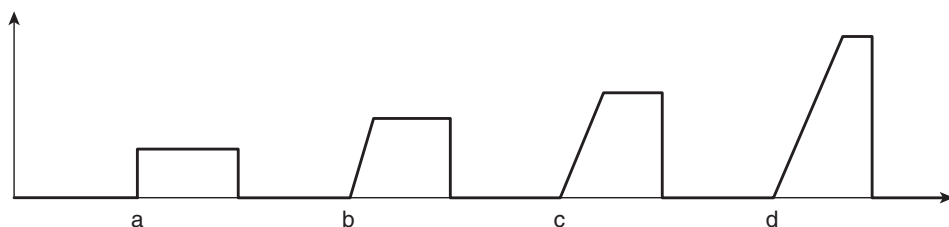


FIGURE 4.3. Rapport intensité/pente : impulsion rectangulaire et impulsions progressives.

a : impulsion rhéobasique; b,c,d : plus on abaisse la pente d'établissement d'une impulsion de longue durée, plus il faut augmenter son intensité pour obtenir une réponse équivalente.

4.1.2.3. Réponses musculaires selon l'intensité de l'impulsion

Au niveau de la fibre musculaire : loi du tout ou rien

Un stimulus d'intensité infraliminaire ne provoque pas de réponse musculaire. Un stimulus d'intensité liminaire ou supraliminaire provoque une réponse d'emblée maximale. On n'observe pas de réponses progressivement croissantes.

Au niveau du muscle : sommation spatiale

L'unité motrice est l'ensemble constitué par le motoneurone, cellule de gros diamètre dont le corps cellulaire est situé dans la moelle épinière, l'axone et l'ensemble des fibres musculaires qui en dépendent. La force de la contraction musculaire est proportionnelle au nombre d'unités motrices recrutées.

En appliquant sur le muscle des impulsions d'intensité progressivement croissante, on observe les effets suivants (figure 4.4) :

- des stimuli d'intensité infraliminaire ne provoquent aucune réponse musculaire;
- un stimulus d'intensité liminaire provoque une contraction musculaire liminaire;
- des stimuli d'intensité supraliminaire et supérieure provoquent une contraction musculaire progressivement croissante en excitant un nombre croissant d'unités motrices;
- un stimulus d'intensité « maximale efficace » qui recrute toutes les unités motrices provoque une contraction musculaire maximale;
- des stimuli d'intensité supérieure au précédent provoquent une contraction musculaire maximale qui ne peut pas être supérieure à la précédente puisque toutes les unités motrices sont recrutées.

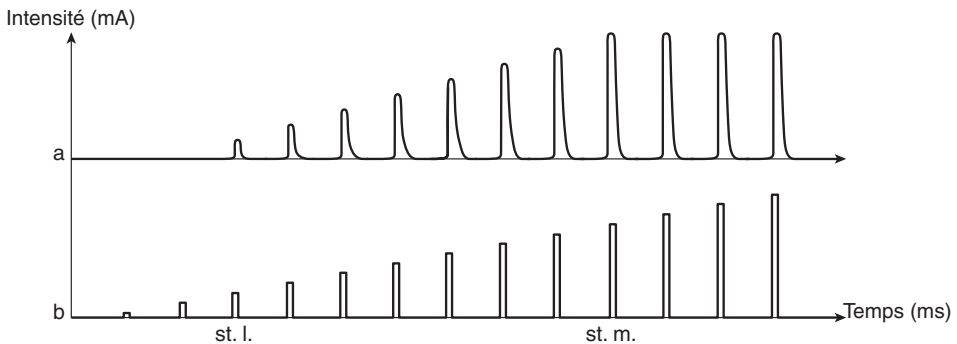


FIGURE 4.4. Réponses musculaires selon l'intensité de l'impulsion.

a : réponses musculaires; b : stimuli; st. l. : stimulus liminaire; st. m. : stimulus maximal efficace.

La contraction musculaire électro-induite est caractérisée par une sollicitation métabolique importante dans les zones superficielles du muscle, comparativement aux zones profondes, témoignant d'un recrutement spatial relativement superficiel [3]. Ce recrutement spécifique de l'électrostimulation transcutanée résulte de la propagation du courant dans les tissus à partir des zones situées sous l'électrode cutanée. Ainsi, les unités motrices superficielles sont activées les premières et le recrutement atteint ensuite des unités motrices situées d'autant plus profondément que l'intensité du courant s'élève (figure 4.5) [4].

L'intensité du courant permet donc de recruter les différents types de fibres musculaires. Les fibres les plus rapides, mais aussi les plus fatigables, sont les plus superficielles. En conséquence, les fibres rapides sont les premières à répondre lorsqu'on commence à augmenter l'intensité. Pour stimuler les fibres lentes qui sont situées plus profondément, il faut continuer d'augmenter l'intensité.

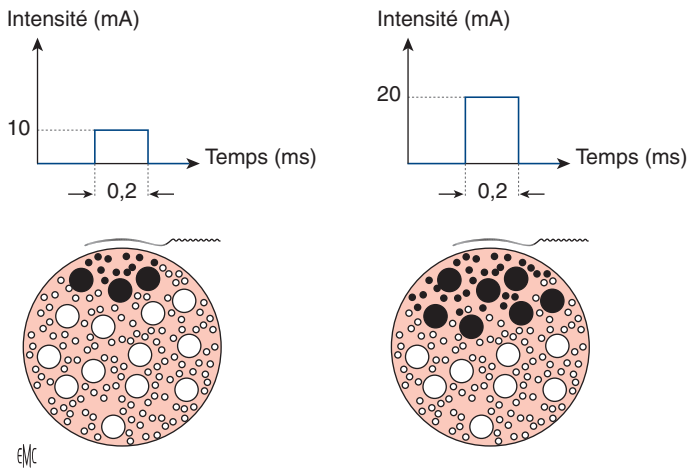


FIGURE 4.5. **Somme spatiale.**

Recrutement des unités motrices selon l'intensité de l'impulsion.

Contrairement à la contraction volontaire qui peut recruter la presque totalité des unités motrices, on observe au cours de la stimulation électrique une limite du recrutement spatial des unités motrices : le muscle n'est pas activé dans sa totalité [5].

4.1.2.4. Réponses musculaires selon la fréquence des impulsions

L'excitation du motoneurone par un potentiel d'action unique entraîne une réponse motrice unique que l'on appelle secousse élémentaire. La durée du potentiel d'action est de l'ordre de la milliseconde. La durée de la secousse musculaire est environ de 10 ms pour les muscles les plus rapides à 100 ms pour les muscles les plus lents.

Lors de la contraction volontaire, les unités motrices les plus lentes se téta- nisent aux environs de 20 Hz et les unités motrices les plus rapides se téta- nisent aux environs de 80 Hz. Les fréquences utilisées en électrostimulation s'adaptent aux fréquences physiologiques, mais on ne peut en aucun cas prétendre que la fréquence d'électrostimulation puisse effectuer un recrutement sélectif d'un type de fibre musculaire.

En appliquant sur le muscle des impulsions dont la fréquence est progressi- vement croissante, on observe les effets suivants qui sont dus à la sommation temporelle (figure 4.6) :

- si la fréquence des stimuli est inférieure à 10 Hz, le muscle répond par des secousses élémentaires, contractions isolées et successives ;
- si la fréquence des stimuli est augmentée au-dessus de 10 Hz, on observe une trémulation ; chaque secousse élémentaire débute avant que la secousse pré- cédente ne soit terminée, les secousses s'additionnent et la tension musculaire augmente « en escalier » ;
- quand la fréquence des stimuli atteint environ 20 à 80 Hz, on observe une fusion des secousses élémentaires qui se traduit par une contraction continue du muscle, la téta- nisation, au cours de laquelle le niveau de tension musculaire est plusieurs fois supérieur à celui qui est provoqué par une simple secousse élémentaire [2, 6] ;

- si on continue d'augmenter la fréquence des stimuli au-delà des fréquences physiologiques de tétanisation, la contraction musculaire va diminuer puis disparaître ; en effet, quand les stimuli sont trop rapprochés, le stimulus suivant se produit pendant la période réfractaire induite par le précédent.

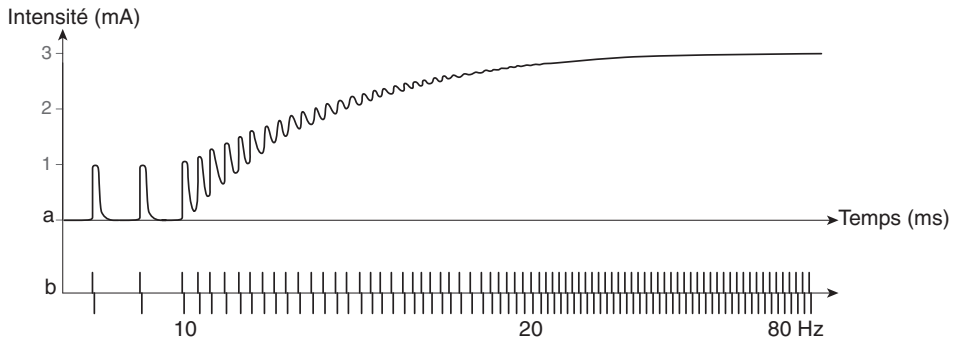


FIGURE 4.6. Réponses musculaires selon la fréquence des impulsions.

a : réponses musculaires ; b : fréquence des stimuli.

$f < 10$ Hz : secousses élémentaires. De 20 à 80 Hz : tétanisation.

4.2. Électrostimulation musculaire

L'électrostimulation musculaire (ESM) consiste à appliquer sur le muscle des programmes de courants excito-moteurs destinés à produire des secousses élémentaires ou une tétanisation.

4.2.1. Courants TBF IE, excito-moteurs par secousses élémentaires

4.2.1.1. Paramètres des impulsions

Courant TBF IE

On utilise un courant de très basse fréquence et d'intensité élevée (TBF IE) (figure 4.7).

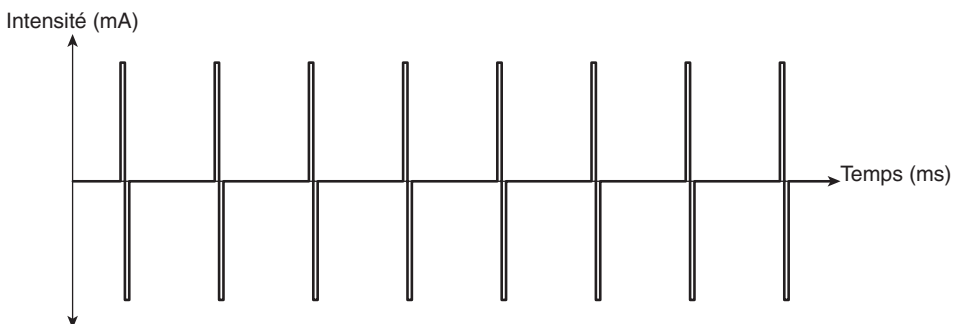


FIGURE 4.7. Courant TBF IE.

Courant de très basse fréquence et d'intensité élevée : excito-moteur par secousses élémentaires.

Fréquence

La fréquence est comprise entre 1 et 10 Hz (TBF).

Durée d'impulsion

La durée d'impulsion correspond à la chronaxie des muscles normalement innervés : 100 μ s à 600 μ s (0,1 à 0,6 ms).

Intensité

L'intensité doit être suffisamment élevée pour contracter tout en restant bien tolérée.

Forme et direction

Les impulsions sont rectangulaires, bidirectionnelles et à moyenne nulle afin de pouvoir pratiquer une séance efficace confortable et sûre d'une durée de 20 à 40 minutes, voire plus, sans risque de brûlure chimique.

Accoutumance

Différentes modulations permettent de repousser l'accoutumance (cf. 2.7.2.2) (figure 2.24).

4.2.1.2. Protocole d'application, critères d'efficacité

Les électrodes sont appliquées sur les corps charnus musculaires. Leur taille et leur forme doivent se rapprocher le plus possible de la zone musculaire à contracter. Plus leur surface est importante, mieux le courant est réparti, plus efficace et plus confortable est la stimulation. Pour localiser l'endroit où doivent être appliquées les électrodes, on demande au patient une contraction active du ou des muscles à stimuler.

Électrodes de surface identique

Les électrodes de même surface sont appliquées sur le muscle ou sur le groupe de muscles à contracter (figure 4.8). Cette stimulation est dite « bipolaire active », puisque les deux électrodes d'une même sortie ont le même effet.

Électrodes de surface différente

Des électrodes de surface différente peuvent être utilisées pour localiser la stimulation sous une seule électrode dans le but de stimuler un nerf, un petit muscle ou une zone musculaire limitée.

L'efficacité de l'électrostimulation s'évalue en mA/cm² d'électrode, donc plus l'électrode est petite, plus l'intensité par cm² est élevée. En conséquence :

- La stimulation prédomine sous l'électrode de petite surface, dite électrode active, où l'intensité est plus « concentrée ». Cette électrode active est appliquée sur le nerf, sur le muscle ou sur le faisceau musculaire à contracter ou sur un point de moindre résistance cutanée permettant d'atteindre ces objectifs (figure 4.9).
- La stimulation n'est pas ressentie sous l'électrode de grande surface, dite électrode indifférente, qui n'a pas d'effet thérapeutique et qui est appliquée en un endroit quelconque, confortable et facile d'accès. Son utilité est limitée à la fermeture du circuit électrique.



FIGURE 4.8. Renforcement musculaire des quadriceps.

- Effets recherchés : contraction active contre résistance, assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT, sorties simultanées.
- Montage : « Bipolaire actif » sur 4 sorties, électrodes sur les corps musculaires des quadriceps.



FIGURE 4.9. Électrostimulation du muscle tibial antérieur.

- Effets recherchés : recherche de la zone de stimulation la plus efficace et la mieux tolérée avec une électrode mobile. Ensuite, on applique sur cette zone une électrode de petite surface, très inférieure à l'électrode indifférente.
- Courant : TBF IE ou BF IT.
- Montage : « Monopolaire actif » la stimulation est localisée au niveau de la petite électrode, dite électrode active.

Cette stimulation est dite « monopolaire active », puisque seule l'électrode active, ressentie par le patient, est efficace.

Zones de moindre résistance cutanée

On utilise un courant TBF IE d'intensité liminaire. En déplaçant sur la peau une électrode recouverte d'un spongieux, on constate que certaines zones cutanées présentent une résistance plus faible au courant électrique et augmentent l'amplitude de la contraction. On observe que certaines de ces zones varient d'une façon importante d'un individu à l'autre [7]. Il est donc préférable de rechercher les zones propres à chaque patient pour trouver celle qui est la plus efficace et la mieux tolérée [8].

Perception du courant

Le courant doit être bien perçu et bien toléré. Les zones sensibles qui supportent mal le courant doivent être évitées.

En déplaçant l'électrode, on recherche la zone de meilleur rapport efficacité/confort.

Selon une étude, le seuil de détection sensitive serait moins élevé chez les femmes que chez les hommes ($p < 0,001$), et les seuils sensitif et moteur seraient plus élevés chez les sujets obèses que chez les sujets non obèses ($p < 0,05$) [9].

Conditions d'efficacité

Les contractions musculaires produites par la stimulation doivent être nettes, visibles et persister pendant toute la durée de l'application.

4.2.1.3. Indications

Cette modalité de stimulation est utilisée comme approche pour familiariser le patient avec l'électrostimulation avant d'appliquer un courant BF IT, et est appliquée au cours de nombreux traitements de rééducation fonctionnelle.

Éveil musculaire

La perception des contractions induites par l'électrostimulation participe à l'éveil musculaire et proprioceptif.

Assouplissement des fibroses

L'électrostimulation mobilise les tissus dans un but sclérolytique (cicatrices, séquelles pleurales...).

Relaxation, décontraction musculaire

Ces courants peuvent s'appliquer entre deux trains d'impulsions de courant BF IT (cf. 4.2.3).

Facilitation de la circulation et récupération après effort

Ces courants non téтанisants sont appliqués pendant environ 20 min. Leurs effets sur la qualité de la récupération de la fonction musculaire à la suite d'efforts maximaux ou sous-maximaux ont été étudiés. Ces courants

apparaissent supérieurs à une récupération passive en termes de disparition des douleurs résiduelles et de vitesse de restauration des potentialités musculaires. Cependant, cette efficacité n'est pas supérieure à celle d'une récupération active classique. Les effets de ces courants peuvent s'expliquer par un effet antalgique et par une amélioration du débit sanguin musculaire d'origine à la fois mécanique (effet de pompe) et métabolique [10, 11].

Incontinence par impériosité

Les courants de très basse fréquence sont utilisés pour inhiber les contractions intempestives du détrusor dans le traitement de l'incontinence par impériosité (instabilité vésicale ou hyperactivité vésicale) [12]. La stimulation en rééducation périnéale est décrite ci-dessous (cf. 4.2.2.6).

Stimulation antalgique

Employés avec une durée d'impulsion plus longue (0,5 à 3 ms), ces courants peuvent déclencher une libération d'endorphines dans un but antalgique (cf. 5.4.2). Ils peuvent être utilisés avant les postures et les mobilisations passives ou actives, permettant au patient de mieux les tolérer.

De plus, le courant TBF IE est utilisé avec le courant BF IT dans de nombreuses applications qui sont décrites ci-dessous (cf. 4.2.2.6 et 4.2.3.3).

4.2.2. Courants BF IT excito-moteurs téтанisants

4.2.2.1. Paramètres des impulsions

Courant BF IT

On utilise un courant de basse fréquence et d'intensité suffisante pour tétaniser (BF IT) (figure 4.10).

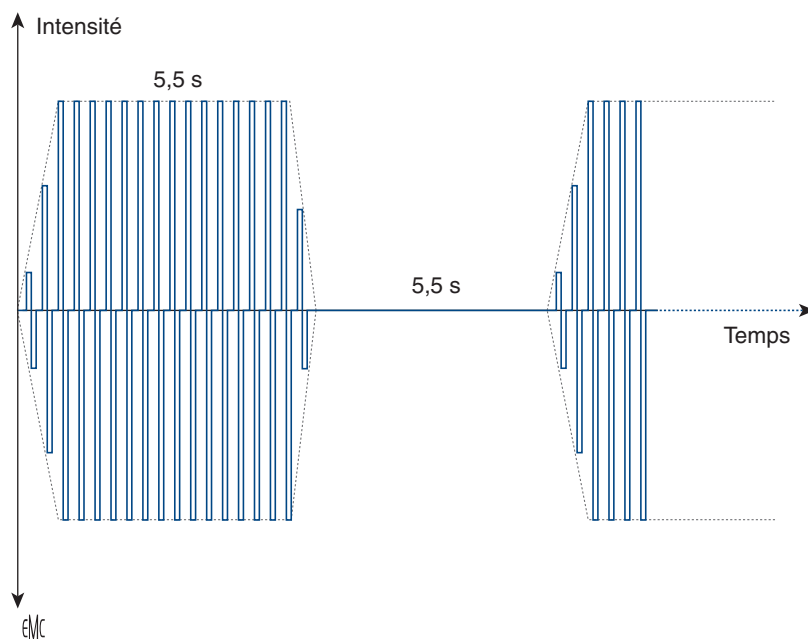
Fréquence

La fréquence est comprise entre 20 et 80 Hz, les fréquences supérieures ne correspondent pas à la physiologie musculaire [13]. En règle générale, les muscles constitués principalement de fibres rapides sont stimulés avec une fréquence de 60 à 80 Hz, les muscles constitués principalement de fibres lentes sont stimulés avec une fréquence de 20 à 40 Hz, et les muscles composites sont stimulés avec une fréquence de 40 à 60 Hz.

Les fréquences et les durées d'impulsion sont données à titre indicatif et n'ont pour objectif que de s'adapter à la physiologie musculaire. En aucun cas ces différents paramètres ne peuvent prétendre permettre un recrutement différentiel des unités motrices [14].

Durée d'impulsion

La durée d'impulsion correspond à la chronaxie des muscles normalement innervés : 100 μ s à 600 μ s (0,1 à 0,6 ms).

FIGURE 4.10. **Courant BF IT.**

Courant de basse fréquence et d'intensité suffisante pour tétaniser : excito-moteur tétanisant.

Intensité

L'intensité doit être suffisamment élevée pour contracter tout en restant bien tolérée.

Forme et direction

Les impulsions sont rectangulaires, bidirectionnelles et à moyenne nulle afin de pouvoir pratiquer une séance efficace confortable et sûre d'une durée de 20 à 40 minutes, voire plus, sans risque de brûlure chimique.

Accoutumance

Différentes modulations permettent de repousser l'accoutumance (cf. 2.7.1 et 2.7.2), (figures 2.22 et 2.24).

4.2.2.2. Protocole d'application, critères d'efficacité

Le protocole d'application et les critères d'efficacité sont identiques à ceux du courant TBF IE (cf. 4.2.1.2), notamment en ce qui concerne l'application des électrodes. Il convient d'y ajouter les techniques spécifiques des courants tétanisants intermittents.

Déclenchement des trains d'impulsions

Il existe deux modes de déclenchement des trains d'impulsions d'un courant intermittent :

- le mode automatique, programmé par l'appareil, qui délivre les temps de travail (TT = 1 à 12 s) et les temps de repos (TR ≥ TT);
- le mode manuel, commandé par le praticien ou par le patient, qui permet d'adapter TT et TR à chaque cas et de sécuriser le patient.

Les temps de travail ont en général une durée moyenne qui se situe autour de 6 secondes.

Programmes de sorties

Les courants téтанisants sont intermittents. Sur les appareils disposant de plusieurs sorties, il est possible de programmer l'enchaînement des temps de travail (TT) et des temps de repos (TR) selon différentes modalités de sorties pour obtenir des effets spécifiques.

Sorties simultanées

Les TT et les TR sont simultanés sur toutes les sorties (figure 4.11).

Cette modalité est utilisée pour stimuler simultanément plusieurs muscles ou groupes musculaires (figure 4.8).

Sorties alternées

Si on prend pour exemple un appareil à quatre sorties, les TT sur les sorties 1 et 3 coïncident avec les TR sur les sorties 2 et 4 et inversement (figure 4.12).

Cette modalité est utilisée pour stimuler alternativement plusieurs muscles ou groupes de muscles et pour produire un mouvement de pétrissage musculaire (figures 4.13, 4.14).

Sorties successives à sens unique

Les TT se succèdent « en arpège » sur les sorties 1, puis 2, puis 3, puis 4, puis 1, puis 2, puis 3, puis 4, toujours dans le même sens, en vagues successives, reproduisant les manœuvres de massage circulaire des membres (figure 4.15).

Cette modalité est utilisée pour stimuler successivement quatre muscles ou quatre groupes de muscles d'une même chaîne musculaire et pour faciliter la circulation de retour par une manœuvre de drainage.

Au niveau des membres, la sortie 1 est appliquée sur la partie distale, la sortie 4 est appliquée sur la partie proximale ou sur le tronc, les sorties 2 et 3 sont appliquées entre les sorties 1 et 4 (figure 4.16).

Au niveau du dos, la sortie 1 est appliquée sur la partie inférieure, la sortie 4 est appliquée sur la partie supérieure, les sorties 2 et 3 sont appliquées entre les sorties 1 et 4 (figure 4.14).

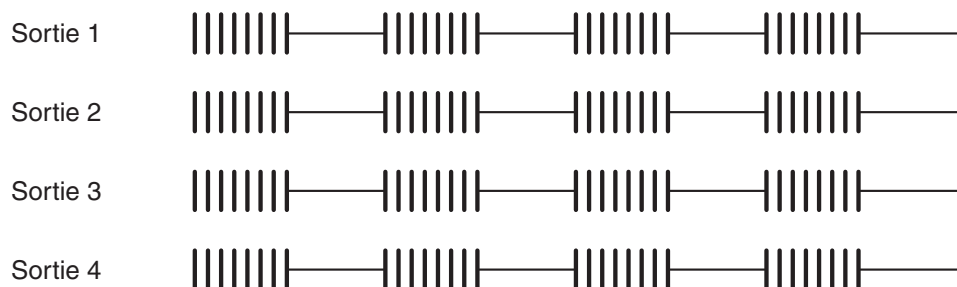


FIGURE 4.11. **Sorties simultanées.**

Les TT et les TR se produisent simultanément sur toutes les sorties.

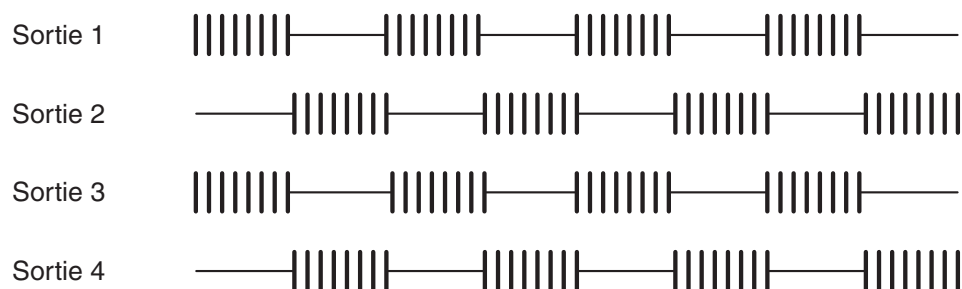


FIGURE 4.12. **Sorties alternées.**

Les TT et les TR se produisent alternativement sur deux sorties : quand une sortie est en TT, l'autre est en TR et inversement.

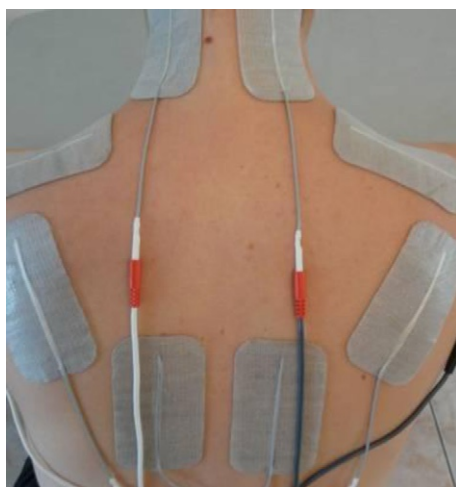


FIGURE 4.13. **Cervicalgie avec contractures des muscles trapèzes et des spinaux.**

- Effets recherchés : renforcement musculaire et sédation des contractures.
- Courant : BF IT, sorties alternées, successives ou additionnelles à 4 temps.
- Montage : électrodes de chaque côté du rachis.

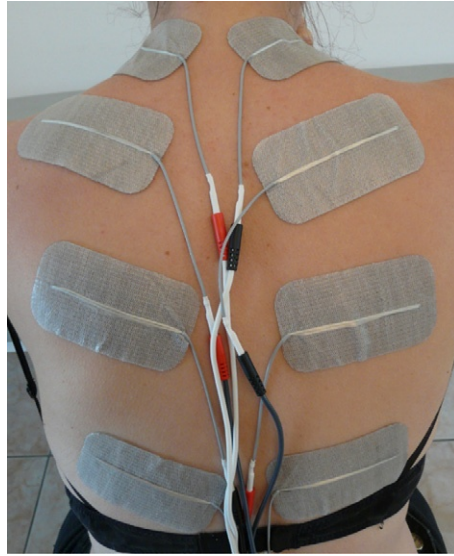


FIGURE 4.14. Dorsalgie avec contractures.

- Effets recherchés : renforcement musculaire et sédation des contractures.
- Courant : BF IT, sorties alternées, successives ou additionnelles à 4 temps.
- Montage : électrodes de chaque côté du rachis.

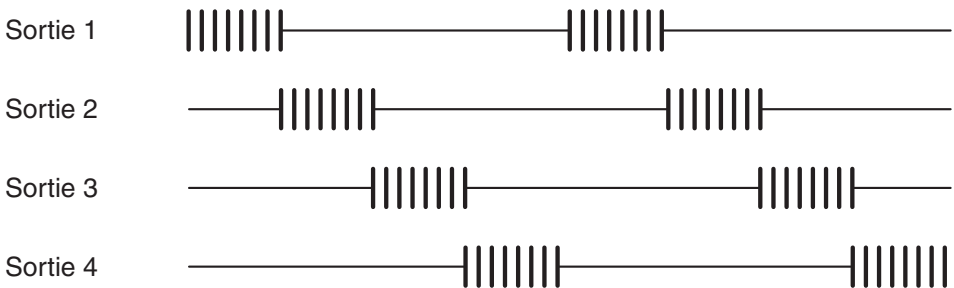


FIGURE 4.15. Sorties successives à sens unique.

Les TT se succèdent sur les sorties, toujours dans le même sens, en « vagues » successives.

Au niveau de l'abdomen, la sortie 1 est appliquée sur la fosse iliaque droite, la sortie 2 est appliquée sur l'hypochondre droit, la sortie 3 est appliquée sur l'hypochondre gauche, la sortie 4 est appliquée sur la fosse iliaque gauche, dans le sens du transit, pour le traitement de la constipation (figure 4.17).

Sorties successives à double sens

Les TT se succèdent « en arpège » sur les sorties 1, puis 2, puis 3, puis 4, puis 3, puis 2, puis 1, puis 2, en va-et-vient, dans un sens puis dans l'autre, « en flux et en reflux », reproduisant les manœuvres de massage (figure 4.18).

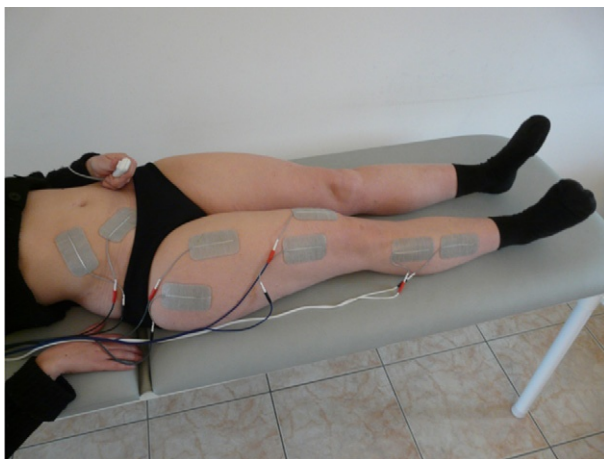


FIGURE 4.16. **Renforcement d'une chaîne musculaire.**

- Effets recherchés : contraction active assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT, sorties additionnelles à 4 temps, partant des muscles proximaux vers les muscles distaux pour contracter en « débordement d'énergie » ; sorties successives ou additionnelles à 4 temps, partant des muscles distaux vers les muscles proximaux si l'objectif est de faciliter la circulation de retour.
- Montage : Électrodes sur les muscles abdominaux (ou sur les stabilisateurs du pelvis), sur les quadriceps et sur les muscles releveurs du pied.

La succession des contractions produit une sensation de pressions glissées.

Cette modalité est utilisée pour stimuler successivement de bas en haut, puis de haut en bas, les muscles spinaux et les muscles des ceintures.

Au niveau du dos, la sortie 1 est appliquée sur la partie inférieure, la sortie 4 est appliquée sur la partie supérieure, les sorties 2 et 3 sont appliquées entre les sorties 1 et 4 ([figure 4.14](#)).

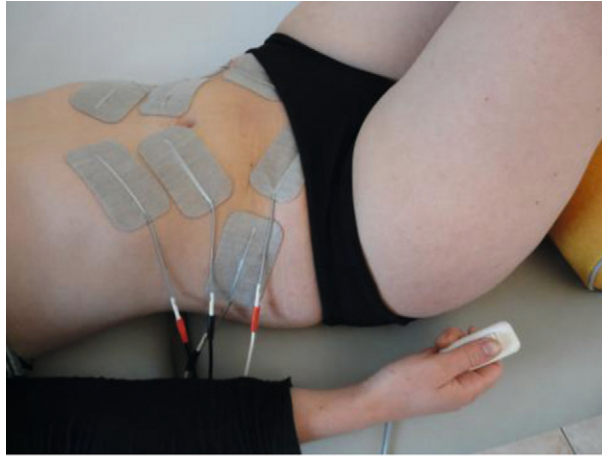
Sorties additionnelles

Sorties additionnelles à 4 temps

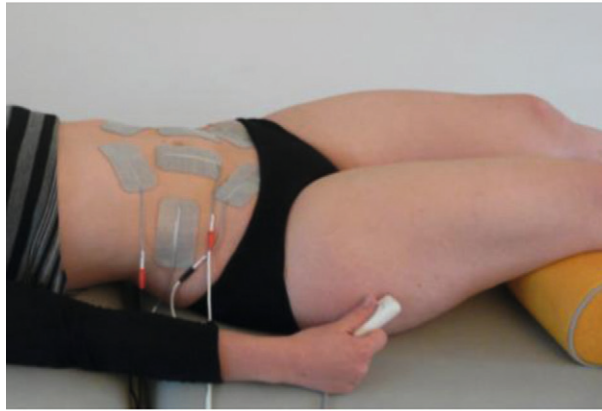
Les temps de travail se succèdent et s'ajoutent à celui de la précédente sortie. Les TT se superposent sur les sorties 1, puis 2, puis 3, puis 4. C'est-à-dire que le train d'impulsion continue sur la sortie 1 quand le train d'impulsion se produit sur la sortie 2 et ainsi de suite pour les sorties 3 et 4. Ensuite, on respecte un temps de repos ([figure 4.19](#)). Cette modalité est utilisée pour stimuler successivement quatre muscles ou quatre groupes de muscles d'une même chaîne musculaire en « débordement d'énergie » ([figure 4.16](#)).

Sorties additionnelles à 2 ou 3 temps

On peut n'utiliser que 2 ou 3 sorties pour ne stimuler successivement que 2 ou 3 muscles ou groupes de muscles d'une même chaîne musculaire en « débordement d'énergie » ([figure 4.20](#)). On peut aussi utiliser 4 sorties pour stimuler bilatéralement en « débordement d'énergie », successivement et en 2 temps, les deux quadriceps puis les releveurs du pied ([figure 4.21](#)).



A



B

FIGURE 4.17. **Hypotonie abdominale.**

- Effets recherchés : renforcement musculaire dans les cas de lombalgie, obésité, constipation et en rééducation respiratoire active assistée (figures A et B). Selon les cas, l'électrostimulation est pratiquée pendant le mouvement actif ou séparément.
- Courant : BF IT. Lombalgie, obésité, hypotonie... : sorties simultanées. Syndromes ventilatoires obstructifs : sorties simultanées; l'électrostimulation commandée accompagne l'expiration active. Syndromes ventilatoires restrictifs : sorties simultanées; l'électrostimulation commandée intervient à la fin de l'expiration active pour la compléter. Constipation : sorties successives ou additionnelles installées pour que la contraction se produise dans le sens horaire (figure A uniquement).
- Montage : électrodes sur l'ensemble des muscles abdominaux.

4.2.2.3. Rééducation active aidée : rééducation assistée

Les courants excito-moteurs doivent aider la contraction volontaire; ils ne doivent pas la remplacer. Ils doivent être utilisés en complément de la rééducation active et ne pas s'y substituer.

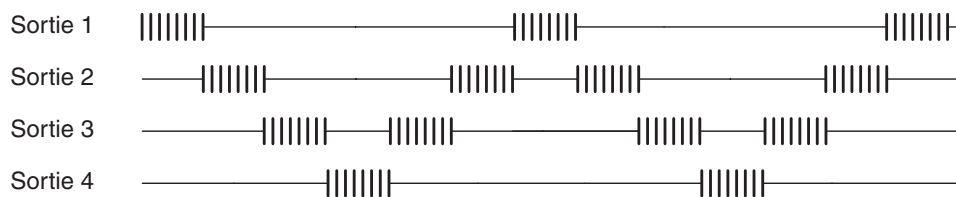


FIGURE 4.18. **Sorties successives à double sens.**

Les TT se succèdent sur les sorties, dans un sens puis dans l'autre, en « flux » et en « reflux ».

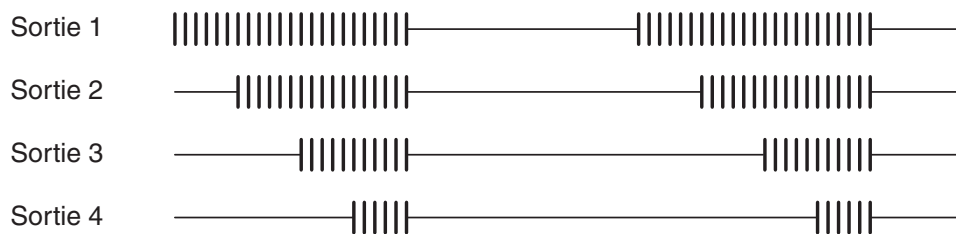


FIGURE 4.19. **Sorties additionnelles à 4 temps.**

Les TT se succèdent et s'ajoutent à celui de la précédente sortie afin de stimuler une chaîne musculaire en « débordement d'énergie ».



FIGURE 4.20. **Renforcement des muscles releveurs du pied.**

- Effets recherchés : renforcement musculaire en « débordement d'énergie », contraction active contre résistance, assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT, sorties additionnelles à 3 ou 4 temps, des muscles proximaux aux muscles distaux.
- Montage : électrodes sur les muscles du pelvis, sur les quadriceps et sur les muscles releveurs du pied.

Si l'objectif est la correction d'un trouble orthopédique, l'apprentissage d'un mouvement ou d'une fonction est requis, et pour toute rééducation à visée proprioceptive, on applique des techniques actives et interactives.



FIGURE 4.21. **Renforcement bilatéral des muscles releveurs du pied.**

- Effets recherchés : renforcement musculaire en « débordement d'énergie » des muscles releveurs du pied, contraction active contre résistance, assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT, sorties additionnelles à 2 temps, quadriceps puis releveurs du pied.
- Montage : électrodes sur les muscles quadriceps et releveurs du pied.

Plutôt que de laisser le patient subir passivement la contraction électro-induite, il est préférable de lui demander de l'accompagner par une contraction active afin de maintenir la commande volontaire du mouvement, condition indispensable à la rééducation du schéma moteur. L'électrostimulation participe ainsi à l'éveil proprioceptif. Elle initie, guide, assiste et renforce la contraction volontaire.

Cette association de la contraction volontaire et de la contraction électro-induite s'intègre dans les traitements de rééducation musculaire active aidée en rééducation fonctionnelle, en rééducation neurologique, en rééducation respiratoire et en rééducation périnéale.

4.2.2.4. Électrostimulation commandée

Plutôt que d'imposer un rythme de temps de travail et de temps de repos automatique préprogrammé qui se substitue à la commande volontaire, il est préférable d'utiliser un déclencheur manuel commandé par le patient qui lui permet de régler lui-même les temps de travail et les temps de repos ([figures 4.16, 4.17, 4.20, 4.21](#)).

L'électrostimulation commandée permet de faire intervenir la contraction électro-induite au moment opportun du mouvement actif :

- dès le début de la contraction volontaire pour l'initier et la guider ;
- pendant la contraction volontaire pour l'accompagner ;
- à la fin de la contraction volontaire pour la compléter.

Cette technique présente d'autres avantages :

- elle permet de laisser un temps de repos adapté aux besoins de récupération de chaque patient ;
- elle sécurise le patient qui ne craint plus l'arrivée automatique des trains d'impulsions.

4.2.2.5. Stimulation électrique fonctionnelle

La stimulation électrique fonctionnelle (SEF) est une technique ambulatoire pratiquée avec un stimulateur portatif, utilisée essentiellement en rééducation neurologique. Parmi ses principales indications, la SEF est une orthèse de marche pour pallier le steppage en stimulant les muscles releveurs du pied (figures 4.22, 4.23) ou une orthèse d'épaule pour éviter le diastasis en stimulant les muscles deltoïde et supra-épineux afin de prévenir la subluxation inférieure de l'épaule hémiplégique (figure 4.24) [15]. La SEF est également une technique de stimulation du schéma moteur qui sollicite le patient et participe ainsi activement à sa rééducation [16, 17].

La SEF du steppage se traduit, pendant la phase oscillante, par une flexion dorsale de cheville équilibrée dans le plan frontal et, durant la phase d'appui par une répartition homogène du poids du corps. Le réglage préalable de l'intensité du courant BF IT se réalise de la manière suivante : dans un premier temps, sur le canal du muscle tibial antérieur afin d'obtenir une flexion dorsale satisfaisante, puis au niveau du muscle long fibulaire afin de corriger le positionnement du pied en inversion et donc de le replacer dans l'axe dans le plan frontal. Cette stimulation se réalise soit durant le cycle complet (stimulation continue), soit uniquement en phase oscillante à



FIGURE 4.22. Stimulation électrique fonctionnelle et steppage.

- Effets recherchés : marche avec canne et stimulation des muscles releveurs du pied pour éviter le steppage chez un patient traumatisé crânien.
- Courant : BF IT.
- Montage : le générateur est fixé à la ceinture, les électrodes sur les muscles stimulés, le contacteur dans la chaussure au niveau du talon. Pendant la marche, le contacteur déclenche le train d'impulsions lorsque le talon quitte le sol et l'arrête lorsque le talon appuie au sol [17].

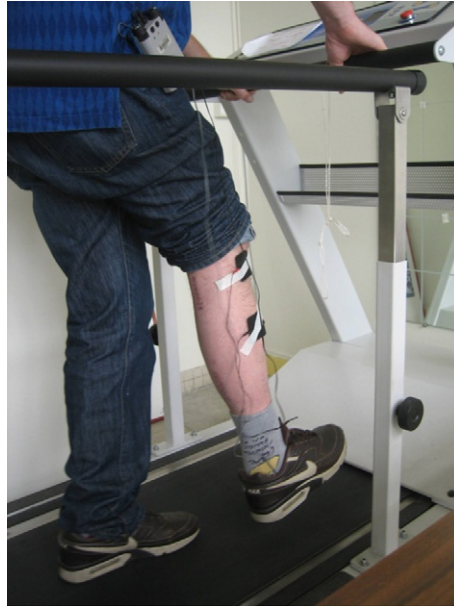


FIGURE 4.23. Stimulation électrique fonctionnelle pendant la marche sur tapis roulant.

- Effets recherchés : stimulation des muscles releveurs du pied lors de l'entraînement à la marche sur tapis roulant chez un patient traumatisé crânien.
- Courant : BF IT.
- Montage : le générateur est fixé à la ceinture, les électrodes sur les muscles stimulés, le contacteur dans la chaussure au niveau du talon [17].

l'aide d'un contacteur qui est placé sous le pied du patient et qui déclenche le train d'impulsions lorsque le talon quitte le sol et l'arrête lorsque le talon appuie au sol.

L'objectif initial de la SEF était de suppléer la fonction neuromusculaire perdue. Par la suite, on a constaté que la marche assistée par la SEF avait des effets thérapeutiques, dont l'amélioration de la force musculaire, de la fonction cardiovasculaire et de la marche qui persistaient après l'arrêt de la SEF [18].

Un essai contrôlé randomisé a été effectué sur un total de 50 patients hémiplegiques présentant une subluxation d'épaule. La SEF a été appliquée au niveau des muscles supra-épineux et deltoïde postérieur. Les mesures millimétriques réalisées sur les radiographies ont mis en évidence une amélioration significative de la subluxation en faveur du groupe d'étude [19].

4.2.2.6. Indications

Les courants BF IT sont utilisés pour aider le patient à localiser un muscle à rééduquer. Ils participent ainsi à l'éveil proprioceptif indispensable au début du traitement. Leur indication la plus usuelle est le renforcement musculaire. Associés à la contraction active, ils sont complémentaires de la rééducation dans un grand nombre d'indications.

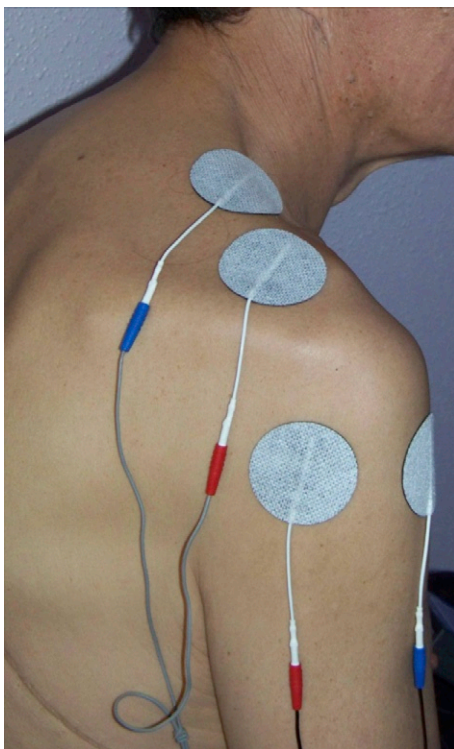


FIGURE 4.24. Stimulation électrique fonctionnelle de l'épaule hémiparalysée.

- Effets recherchés : élévation et recentrage de la tête humérale.
- Courant : BF IT, sorties simultanées.
- Montage : les électrodes sont installées par paires, une paire sur le supra-épineux et sur le trapèze supérieur, et une paire sur le deltoïde antérieur et sur le deltoïde postérieur [15].

Amyotrophies sans dénervation : renforcement musculaire

Les courants BF IT excito-moteurs de renforcement musculaire sont utilisés, de préférence en rééducation active assistée par électrostimulation, pour accélérer la récupération musculaire (figures 4.25, 4.26, 4.27). Ces courants téтанisants sont indiqués dans les affections de l'appareil locomoteur, notamment en traumatologie, après chirurgie, en rhumatologie, mais ils sont surtout indiqués pour pallier l'absence d'exercice physique chez les patients dont l'état général ou psychique ne permet pas de réaliser une rééducation active, par exemple dans les cas de broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou d'insuffisance cardiaque chronique (ICC).

Correction de troubles orthopédiques

L'électrostimulation participe à la correction de troubles statiques ou dynamiques (figure 4.28), aux techniques de recentrage de la patella (figure 4.29), de la tête humérale (figure 4.30) ou du centre de gravité (figure 4.17).

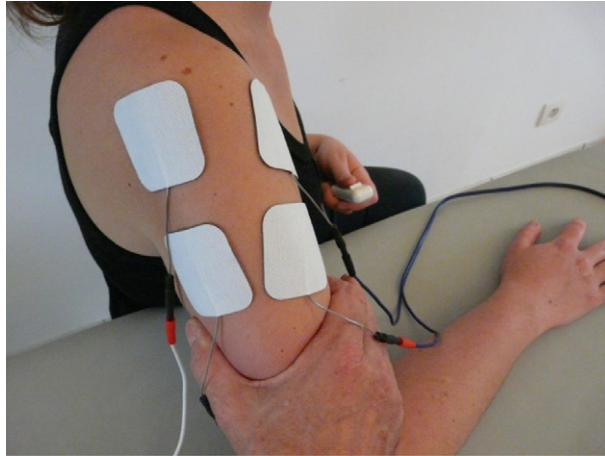


FIGURE 4.25. **Amyotrophie sans dénervation du deltoïde.**

- Effets recherchés : renforcement musculaire, contraction active contre résistance, assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT, sorties simultanées.
- Montage : électrodes sur le muscle deltoïde.



FIGURE 4.26. **Amyotrophie sans dénervation du triceps brachial.**

- Effets recherchés : renforcement musculaire et récupération des amplitudes articulaires après immobilisation; contraction active contre résistance, assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT.
- Montage : électrodes sur le muscle triceps brachial.

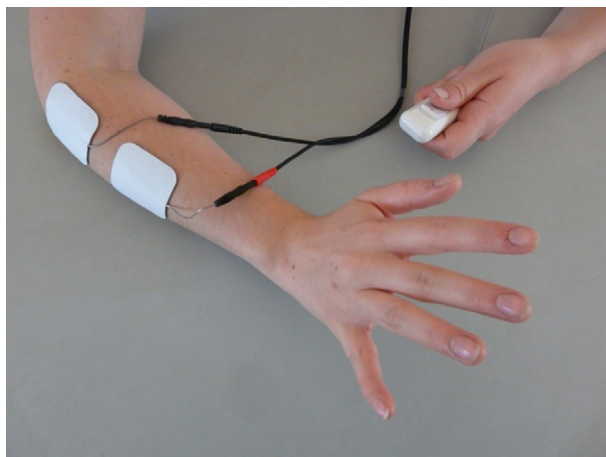


FIGURE 4.27. Amyotrophie sans dénervation des muscles épicondyliens latéraux.

- Effets recherchés : renforcement musculaire, contraction active, assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT.
- Montage : électrodes sur les muscles épicondyliens latéraux.



FIGURE 4.28. Lombalgie par hyperlordose ou spondylolisthésis.

- Effets recherchés : rééducation de la rétroversion du pelvis et renforcement des muscles rétroverseurs par contraction active assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT, sorties simultanées.
- Montage : électrodes sur les muscles droits de l'abdomen et sur les muscles grands fessiers.



FIGURE 4.29. **Arthrose fémoro-patellaire externe.**

- Effets recherchés : recentrage de la patella par renforcement musculaire des muscles vastes médiaux en contraction active contre résistance, assistée par électrostimulation et commandée par le patient.
- Courant : BF IT, sorties simultanées.
- Montage : « Bipolaire actif » sur 2 sorties, électrodes sur les muscles vastes médiaux.

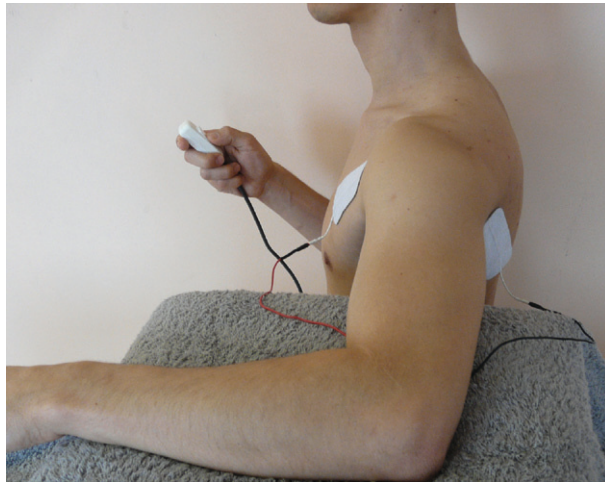


FIGURE 4.30. **Conflit sous-acromial (impingement syndrome).**

- Effets recherchés : recentrage de la tête humérale par contraction active assistée par électrostimulation et commandée par le patient. Le coude étant en appui, il devient point fixe; la contraction des muscles adducteurs abaisse, donc recentre, la tête humérale.
- Courant : BF IT.
- Montage : électrodes sur les muscles grand pectoral et grand dorsal.

Raideurs articulaires

L'électrostimulation facilite la récupération des amplitudes articulaires en rééducation active aidée (figure 4.26).

Contractures

Les contractures, fréquentes en rhumatologie et en traumatologie, par exemple les contractures des muscles spinaux, des muscles adducteurs, des muscles ischio-jambiers et triceps suraux, les contractures satellites des coxarthroses, peuvent être traitées en « contracté-relâché » par électrostimulation sur ces muscles.

L'électrostimulation se pratique sur les muscles contracturés en étirement ou installés en course externe avec des courants :

- TBF IE, excito-moteurs par secousses élémentaires;
- BF IT, excito-moteurs téтанisants dont l'intensité des trains d'impulsions augmente progressivement puis redescend à zéro instantanément (figures 4.31, 4.32, 4.33, 4.34).

L'électrostimulation se pratique aussi sur les muscles antagonistes installés en course interne avec des courants BF IT.

Troubles circulatoires et trophiques

La flexion dorsale de la cheville provoquée par stimulation électrique produit une augmentation de la vitesse du flux veineux au niveau du segment jambier [20]. Ces courants peuvent être appliqués sur les muscles releveurs du pied, avec un TT et un TR de 2 à 3 secondes, pour le traitement de l'œdème post-traumatique de la cheville (figure 4.35).

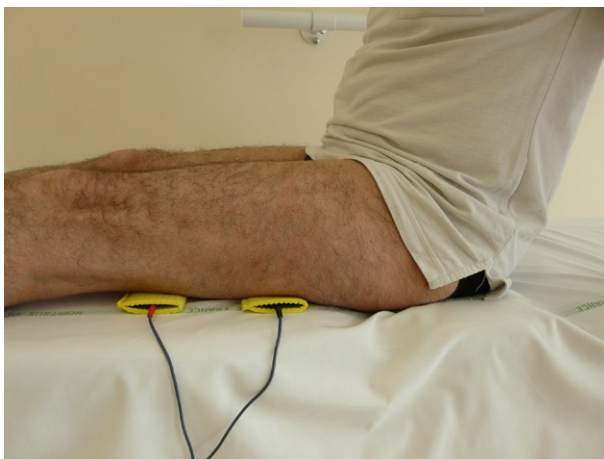


FIGURE 4.31. Contractures des muscles ischio-jambiers.

- Effets recherchés : « contracté-relâché ».
- Courant : TBF IE ou BF IT.
- Montage : électrodes sur les muscles ischio-jambiers installés en course externe.



FIGURE 4.32. **Contractures des muscles ischio-jambiers et triceps suraux.**

- Effets recherchés : « contracté-relâché ».
- Courant : TBF IE ou BF IT.
- Montage : électrodes sur les muscles ischio-jambiers et triceps suraux installés en course externe.



FIGURE 4.33. **Contractures des muscles ischio-jambiers.**

- Effets recherchés : « contracté-relâché » assisté par électrostimulation et commandé par le patient.
- Courant : TBF IE ou BF IT.
- Montage : électrodes sur les muscles ischio-jambiers en étirement.



FIGURE 4.34. Contractures des muscles adducteurs.

- Effets recherchés : « contracté-relâché » assisté par électrostimulation et commandé par le patient.
- Courant : TBF IE ou BF IT.
- Montage : électrodes sur les muscles adducteurs en étirement.



FIGURE 4.35. Troubles circulatoires des membres inférieurs, œdème de la cheville.

- Effets recherchés : accélération de la circulation de retour par contraction active aidée des muscles releveurs du pied et étirement des muscles triceps suraux.
- Courant : BF IT, avec TT et TR de 2 à 3 secondes.
- Montage : électrodes sur les muscles releveurs du pied.

SDRC

Le syndrome douloureux régional complexe, qu'on appelait auparavant algodystrophie, est traité par les courants TBF IE, excito-moteurs par secousses élémentaires et antalgiques par libération d'endorphines ainsi que par les courants BF IT, tétanisants. La stimulation électrique est destinée à solliciter la musculature et la circulation locale afin d'améliorer la trophicité.

Rééducation respiratoire

Rééducation assistée des muscles expirateurs

On utilise les courants BF IT dans la rééducation des syndromes ventilatoires obstructifs et restrictifs. L'électrostimulation des muscles abdominaux commandée par le patient permet d'assister les exercices d'expiration active (figure 4.17).

Électrostimulation musculaire

L'électrostimulation permet de lutter contre l'amyotrophie des membres inférieurs et particulièrement des muscles quadriceps qu'on observe chez les patients atteints de broncho-pneumopathie chronique obstructive, d'insuffisance respiratoire ou d'insuffisance cardiaque chronique.

Assouplissement thoracique

L'électrostimulation des muscles thoraciques et abdominaux participe aux exercices d'assouplissement du thorax dans la rééducation des séquelles pleurales et des séquelles pariétales de chirurgie thoracique (figure 5.22). Vu la proximité de l'aire cardiaque, on n'utilise pas de courants BF IT, excito-moteurs tétanisants. On utilise des courants TBF IE, excito-moteurs par secousses élémentaires, à la fréquence de 2 Hz.

Rééducation neurologique

Paralysies centrales

La stimulation électrique fonctionnelle (SEF) s'intègre dans la rééducation active des paralysies centrales (cf. 4.2.2.5). La stimulation électrique participe également au traitement de la spasticité [21].

Héminégligence

L'électrostimulation transcutanée appliquée au niveau cervical sur le côté opposé à la lésion réduit l'instabilité posturale chez des patients présentant une héminégligence après accident vasculaire cérébral. Aucun effet n'a été observé chez les patients ne présentant pas d'héminégligence [22].

Paralysies périphériques

Les muscles dénervés doivent être l'objet d'un électrodiagnostic de stimulation puis traités selon un protocole particulier avec des impulsions isolées de longue durée adaptées à la chronaxie des fibres musculaires dénervées (cf. 4.4 et 4.5).

Rééducation périnéale

L'électrostimulation est utilisée en rééducation périnéale pour traiter les prolapsus, l'insuffisance sphinctérienne et les incontinences. Selon le critère de l'énergie minimale dissipée, les durées d'impulsion à utiliser en rééducation urogénitale

s'étendent de 230 μ s à 1 ms. En dessous, l'effet excito-moteur est insuffisant dans des conditions de confort supportables et de sécurité [23]. Selon la synthèse pour la rééducation périnéo-sphinctérienne des JFK 2011, la stimulation électrique fonctionnelle doit être pratiquée selon le protocole suivant : fréquence de 50 Hz, durée d'impulsion de 200 à 500 μ s, séance de 30 min et traitement de 3 mois [24].

Incontinence urinaire d'effort

L'incontinence urinaire d'effort (IUE) se caractérise par des fuites involontaires d'urine lors d'efforts importants (toux, sport) ou minimes. L'IUE est la conséquence d'un défaut du système de clôture de la vessie. Celui-ci est altéré après un accouchement dystocique, une intervention pelvienne (prostatectomie), une pathologie neurologique périphérique ou la carence œstrogénique de la femme ménopausée.

L'électrostimulation permet la prise de conscience de la contraction des muscles périnéaux puis leur renforcement [25]. Le gain de pression obtenu par l'effort de retenue volontaire (ERV) est mis en évidence lors de l'enregistrement de la pression urétrale [26].

L'électrostimulation excito-motrice des IUE se pratique sur les muscles de soutien du périnée avec une électrode intracavitaire et avec des courants :

- TBF IE, excito-moteurs par secousses élémentaires, pour familiariser le patient ;
- puis BF IT, excito-moteurs téтанisants, en rééducation active assistée.

Le déclenchement des trains d'impulsions est commandé par le patient qui se sent sécurisé puisqu'il ne craint plus l'arrivée automatique des trains d'impulsions, et qui règle lui-même un temps de travail approprié à ses capacités et un temps de repos adapté à ses propres besoins de récupération.

Selon les recommandations de l'EAU (*European Association of Urology*) la stimulation électrique fonctionnelle permet un meilleur éveil musculaire (grade C) et l'IUE se traite par stimulation électrique fonctionnelle à 50 Hz pendant six mois, deux fois par jour, à domicile (grade C). Cependant l'efficacité des exercices du plancher pelvien est supérieure à l'ESF (grade B) [27].

Incontinence par impériosité

L'incontinence urinaire par impériosité se caractérise par des fuites involontaires d'urine précédées d'un besoin urgent, difficile à différer, et elle s'accompagne d'une pollakiurie (> 8 mictions/24 h). Il s'agit d'une hyperactivité vésicale (ou instabilité vésicale) c'est-à-dire d'une contraction non inhibée du détrusor qui survient pour un volume vésical diminué. Ceci est la conséquence d'une activation anormale du parasympathique. Ce dysfonctionnement a des origines nombreuses : locorégionales, neurologiques ou idiopathiques.

L'électrostimulation participe à :

- l'inhibition des centres médullaires sacrés parasympathiques par l'intermédiaire des réflexes du cône médullaire dont la voie afférente est le nerf pudendal (nerf honteux interne) ;
- l'amélioration de la contraction des muscles périnéaux, point de départ de cette inhibition [28].

L'électrostimulation excito-motrice se pratique avec des courants TBF IE excito-moteurs par secousses élémentaires. Les fréquences qui semblent les

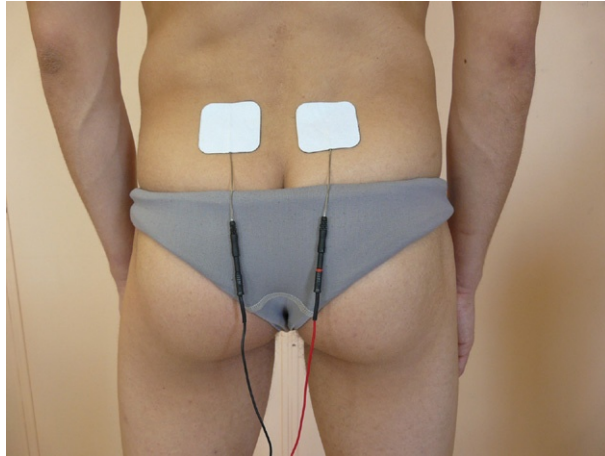


FIGURE 4.36. **Incontinence par impériosité (instabilité vésicale).**

- Effets recherchés : inhibition des contractions intempestives du détrusor.
- Courant : TBF IE, excito-moteur par secousses élémentaires.
- Montage : électrodes de chaque côté du sacrum, en regard de S3.

mieux tolérées se situent autour de 4 Hz [12]. Ces courants peuvent être appliqués sur les muscles du périnée avec une électrode intracavitaire.

Des protocoles de stimulation non invasifs appliqués avec des électrodes transcutanées ont été proposés. Les positions des électrodes et les fréquences utilisées diffèrent selon les auteurs.

Les électrodes sont appliquées sur le nerf tibial au niveau de la gouttière rétro-malléolaire interne. Certains auteurs appliquent les électrodes de chaque côté du sacrum, en regard de S3 (figure 4.36). Les résultats montrent une amélioration des paramètres urodynamiques et des symptômes cliniques (cf. 4.3.3.5).

4.2.3. Courants BF IT et TBF IE associés

4.2.3.1. Paramètres des impulsions

Ces courants sont constitués d'une alternance de phases de contractions téтанisantes (courant BF IT : 20 à 80 Hz) d'une durée de 5 à 10 secondes et de secousses élémentaires (courant TBF IE : < 10 Hz) d'une durée de 10 à 30 secondes (figure 4.37).

4.2.3.2. Protocole d'application, critères d'efficacité

Les modalités d'application et les critères d'efficacité sont les mêmes que celles des courants BF IT et TBF IE. La durée d'une séance est d'environ 30 à 60 minutes.

4.2.3.3. Indications

Ces courants excito-moteurs permettent d'associer renforcement musculaire et traitement des troubles trophiques. Les phases de secousses élémentaires procurent une sensation de détente et de relaxation musculaire. Elles sont desti-

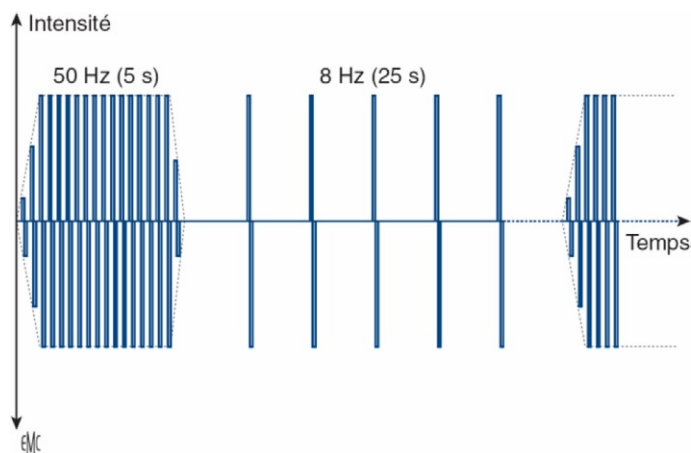


FIGURE 4.37. Courants BF IT et TBF IE associés.

Courant de basse fréquence (tétanisation) et de très basse fréquence (secousses élémentaires).

nées à faciliter la circulation locale entre deux contractions tétanisantes. Les courants BF IT et TBF IE associés sont utilisés notamment en période d'immobilisation complète ou segmentaire, et dans les cas d'amyotrophie sévère [29].

4.3. Effets cliniques de l'ESM

4.3.1. Objectif et méthode

Quels sont les effets de l'électrostimulation musculaire ? Afin d'évaluer les résultats de l'électrostimulation sur le muscle, une revue de la littérature a été effectuée à partir des bases de données PEDro et PubMed jusqu'à mars 2012 avec les mots-clés suivants : *electrotherapy*, *functional electrical stimulation*, *electromyostimulation*, *neuromuscular electrical stimulation*, et à partir de publications françaises [30].

4.3.2. Effets physiologiques

4.3.2.1. Contraction volontaire et électrostimulation musculaire

L'électrostimulation musculaire (ESM) produit une contraction dont les caractéristiques sont différentes de celles de la contraction volontaire.

L'ESM stimule en premier lieu les axones des nerfs moteurs périphériques puis les cellules musculaires dont le seuil d'excitabilité est nettement supérieur [31]. La contraction musculaire serait produite par la dépolarisation des axones moteurs sous les électrodes de stimulation et par la dépolarisation simultanée d'axones sensoriels. Cette contribution centrale pourrait faciliter la récupération de l'atrophie musculaire et la rééducation fonctionnelle [32].

La contraction volontaire recrute en priorité les unités motrices lentes. Cependant, le recrutement produit par l'ESM n'est pas sélectif [33–35].

Lors de la contraction volontaire, les unités motrices se contractent de manière asynchrone. Lors de l'ESM, les unités motrices se contractent de

manière synchrone, ce qui expliquerait probablement pourquoi la force maximale volontaire diminue significativement après électrostimulation (-21% ; $p < 0,001$), tandis qu'aucun changement n'est observé après l'exercice volontaire [36].

L'ESM produit une plus grande fatigue musculaire que la contraction volontaire et a mis en évidence une meilleure adaptation cardio-respiratoire à l'effort. La consommation d'oxygène, la ventilation minute et le quotient respiratoire sont significativement plus élevés pendant l'électrostimulation que pendant la contraction volontaire de même intensité ($p < 0,05-0,001$) [36].

L'étude des effets métaboliques montre que l'ESM entraîne une sollicitation énergétique globale très importante et très supérieure à celle qui est engendrée par une contraction volontaire comparable du point de vue de la force développée [37]. Une étude par tomographie d'émission positronique liée à l'administration d'isotopes radioactifs de l'oxygène, destinée à quantifier localement le débit sanguin et la consommation d'oxygène a mis en évidence que l'effort produit par l'ESM se caractérise par une sollicitation métabolique nettement supérieure à celle qui est engendrée par un effort volontaire comparable du point de vue de la force développée [37, 38].

Cette sollicitation métabolique exagérée sous électrostimulation s'interprète de la manière suivante [39] :

- l'électrostimulation entraîne le recrutement continu de la même population d'unités motrices durant la totalité de l'effort, alors que le système nerveux central remplace régulièrement le pool des unités motrices en activité;
- la fréquence de stimulation imposée est souvent proche de la fréquence maximale de décharges spontanées des unités motrices les plus rapides (fibres II b);
- l'effort volontaire recrute les unités motrices de manière asynchrone, alors que l'électrostimulation les recrute de manière synchrone.

Le muscle stimulé par ESM se fatigue beaucoup plus que le muscle contracté volontairement. Ceci est la conséquence du recrutement aléatoire des fibres musculaires et de l'activation de fibres principalement glycolytiques [5].

D'une façon générale, l'ESM ne doit pas être considérée comme une technique destinée à se substituer à la contraction volontaire, mais plutôt comme une technique destinée à s'associer à la contraction volontaire. La combinaison de ces deux techniques doit améliorer d'une façon optimale la fonction musculaire [40].

4.3.2.2. Sujet sain ou sportif

Plusieurs études ont montré que l'ESM augmente la force musculaire, mais sans améliorer la coordination musculaire ni le geste sportif [41].

L'ESM seule ou associée à la pliométrie augmente la force et la masse musculaire du quadriceps. Mais employée seule, elle n'augmente pas la force explosive du quadriceps [42].

L'ESM augmente de façon significative la force musculaire, mais doit être accompagnée par une séance d'entraînement [43].

Selon de nombreux auteurs, l'ESM est efficace pour augmenter la force musculaire, mais moins que la contraction volontaire, ce qui amène à considérer que

l'ESM associée aux contractions volontaires permettrait d'améliorer la performance musculaire [44]. Cependant, si l'on considère l'état actuel des connaissances, il n'y a aucune preuve scientifique que l'ESM seule pourrait apporter quelques avantages physiologiques à des sportifs [45].

4.3.3. Effets thérapeutiques

4.3.3.1. Orthopédie, traumatologie et immobilisations

La stimulation électrique musculaire renforce-t-elle le quadriceps? Une méta-analyse de 35 essais contrôlés randomisés a fait une distinction fondamentale entre les essais incluant des sujets présentant des quadriceps sains et les essais incluant des patients ayant subi un traumatisme ou une intervention chirurgicale. Les auteurs émettent des réserves sur la qualité des essais inclus. Les données évaluées suggèrent que, pour augmenter la force des quadriceps sains et atrophiés, l'ESM apparaît plus efficace que l'absence d'exercice, mais moins efficace que les exercices volontaires. Les auteurs concluent que l'ESM ne peut être préférée à l'exercice volontaire et peut être utilisée dans des situations spécifiques où l'exercice volontaire ne reçoit pas une adhésion suffisante du patient. Enfin, ils appellent des recherches pour déterminer les paramètres optimaux de stimulation [46].

La récupération de la mobilité a été plus rapide dans le groupe ESM que dans le groupe placebo chez 24 femmes de 75 ans ayant subi une ostéosynthèse pour fracture de hanche [47].

Plusieurs études confirment l'intérêt de l'ESM en orthopédie et en traumatologie. Néanmoins, l'ESM n'a pas montré sa supériorité sur la contraction volontaire. Un an après chirurgie, il n'y a pas de différence entre le groupe de patients traité par ESM et le groupe traité par contractions volontaires [48].

L'association de l'ESM et de la contraction volontaire reste la règle généralement admise. Cette association est plus efficace qu'une seule des deux techniques employée séparément [49].

Dans un contexte de réadaptation, l'électromyostimulation complète l'exercice volontaire en augmentant la force musculaire pendant la première phase de réadaptation [50].

Afin d'évaluer si l'électrostimulation du quadriceps apporte un avantage supplémentaire dans la rééducation après mise en place d'une prothèse totale de genou, un essai contrôlé randomisé sans insu a inclus 66 patients âgés de 50 à 80 ans qui ont été répartis en deux groupes avant la chirurgie. Le groupe 1 a bénéficié d'une rééducation standard, alors que le groupe 2 a bénéficié de cette même rééducation plus de l'ESM du quadriceps, commencée 48 heures après la chirurgie et appliquée deux fois par jour pendant six semaines. Après trois semaines et demi, le groupe électrostimulation présente des améliorations significatives en termes de force (quadriceps et ischio-jambiers), de fonction et d'amplitudes. À un an, les différences sont atténuées mais restent significatives pour la force et la fonction [51].

L'objectif à atteindre est de comprendre les effets neuromusculaires de l'ESM chez les individus sains, de sorte que les résultats puissent être utilisés en toute sécurité pour traiter les pathologies des patients. L'ESM est particulièrement utile pour préserver la masse musculaire pendant des périodes prolongées d'immobilisation

partielle ou totale, comme c'est le cas chez les patients qui sont en unité de soins intensifs, chez les patients atteints d'insuffisance cardiaque chronique ou de broncho-pneumopathie chronique obstructive, ou après un accident vasculaire cérébral [52].

4.3.3.2. Broncho-pneumopathie chronique obstructive

Une étude sur la prévalence de l'amyotrophie du quadriceps dans la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) et sa relation avec la sévérité de la maladie a mis en évidence que :

- l'amyotrophie du quadriceps a été démontrée chez un tiers des patients atteints de BPCO fréquentant les services de pneumologie en ambulatoire ;
- l'amyotrophie du quadriceps existe en l'absence d'obstruction grave des voies respiratoires ou de dyspnée ;
- la proportion augmente du stade 1 au stade 4 (GOLD) [53].

Chez des patients présentant une dénutrition sévère et une BPCO, l'ESM associée à la réhabilitation respiratoire augmente la force et l'endurance du quadriceps, améliore la tolérance à l'effort, l'indice de masse corporelle, le périmètre de marche, la dyspnée et la qualité de vie significativement plus que la réhabilitation respiratoire seule [54–56].

La méta-analyse de trois études a montré des augmentations significatives de la force musculaire et du périmètre de marche après ESM chez des patients atteints de BPCO. En revanche, les mensurations musculaires ne sont pas concluantes. Les patients présentant les BPCO les moins sévères ont eu tendance à montrer moins d'amélioration. Selon les auteurs, le petit nombre d'études et leurs résultats n'apportent qu'un faible niveau de preuve de l'efficacité de l'électrostimulation pour améliorer la fonction musculaire des membres inférieurs chez des patients BPCO et des études complémentaires sont nécessaires, notamment pour définir les paramètres optimaux d'électrostimulation [57].

Vingt patients présentant une BPCO sévère ont été aléatoirement répartis en deux groupes, ESM ($n = 12$) ou placebo ($n = 8$), pour une étude contrôlée en double aveugle afin d'évaluer les effets fonctionnels et musculaires de l'ESM chez des patients atteints de BPCO. L'ESM du quadriceps a amélioré la distance de marche ($p < 0,001$). Parmi les effets associés, on observe une augmentation de la force musculaire et une ventilation réduite pendant la marche. Les auteurs précisent que l'amélioration de la distance de marche est fonction de la capacité à tolérer des augmentations d'intensité du courant pendant le traitement [58].

Une étude contrôlée randomisée a évalué l'intérêt de l'ESM chez les malades atteints de BPCO à la suite d'une exacerbation aiguë. Une stimulation de 35 Hz a été pratiquée sur le quadriceps et les muscles ischio-jambiers durant six semaines chez 15 patients hospitalisés pour une exacerbation de BPCO.

Les résultats montrent :

- une augmentation significative de la force du quadriceps uniquement dans le groupe ESM ($p = 0,01$) ;
- une augmentation significative de la distance de marche au TDM 6 dans le groupe ESM ($p = 0,003$) ;
- une augmentation significative de la proportion de fibres de type I dans le groupe ESM.

Les auteurs concluent qu'à la suite d'une exacerbation de BPCO, l'ESM est efficace dans la lutte contre l'atrophie musculaire sans augmenter le stress oxydatif [59].

Les auteurs utilisent des fréquences de 5 à 8 Hz pour produire des secousses élémentaires, des fréquences de 35 à 50 Hz pour tétaniser, des durées d'impulsions de 250 à 400 μ s, et des durées de séance de 30 à 60 min à raison de cinq séances par semaine pendant six semaines.

L'ESM présente le même intérêt en unité de soins intensifs où les patients présentent d'importantes fontes de la masse musculaire [60]. Un essai contrôlé randomisé a été effectué sur 33 patients hospitalisés en unité de soins intensifs. L'ESM a été appliquée sur les muscles extenseurs du genou pendant une période de 4 semaines (séances de 30-60 minutes, cinq jours par semaine). Les résultats ont montré que seuls les patients qui ont eu une ESM à long terme ont montré une augmentation significative de la masse musculaire (+4,9 %) ($p = 0,013$) par rapport aux patients qui ont reçu une stimulation placebo (-3,2 %) [61].

La stimulation magnétique musculaire du quadriceps a été étudiée comme méthode d'entraînement physique chez 18 patients atteints de BPCO sévère. Les patients ont été stimulés pendant 15 minutes sur chaque quadriceps, trois fois par semaine pendant huit semaines. Les résultats ont montré une amélioration significative de la force du quadriceps (17,5 %), une augmentation moyenne de 23 mètres à l'épreuve des six minutes de marche et une amélioration de la qualité de vie. Les auteurs concluent que chez les patients BPCO limités par la dyspnée, la stimulation magnétique du quadriceps a des effets positifs sur la fonction musculaire et la capacité à l'effort, et qu'elle est mieux tolérée que l'ESM [62]. De plus, la stimulation magnétique musculaire du quadriceps n'augmente pas le stress oxydatif [63].

4.3.3.3. Insuffisance cardiaque chronique

L'ESM à basse fréquence intervient sur les anomalies musculaires squelettiques qui font la gravité de l'intolérance à l'effort au cours de l'insuffisance cardiaque chronique (ICC). Elle améliore les capacités oxydatives musculaires et augmente ainsi les performances aérobies et les capacités physiques de façon comparable à un entraînement actif conventionnel. Le stimulateur cardiaque et le défibrillateur implantable font partie des contre-indications. L'ESM à basse fréquence peut être utilisée chez des patients en attente de greffe cardiaque ou chez les insuffisants cardiaques non motivés par l'activité physique [64].

Une étude a évalué les effets de l'ESM des muscles de la cuisse chez des patients souffrant d'ICC avancée. Chez 32 patients randomisés a été pratiquée une ESM des quadriceps, de faible fréquence et de longue durée : 15 Hz appliqués quatre heures par jour, sept jours par semaine, pendant dix semaines. Dans le groupe ESM, l'intensité de la stimulation était augmentée jusqu'à produire de fortes contractions musculaires. Dans le groupe de contrôle, l'intensité de la stimulation était augmentée jusqu'au seuil sensoriel, mais sans contractions musculaires. Les résultats montrent, dans le groupe ESM, une augmentation de la distance au TDM 6 ($p < 0,001$), une augmentation des fibres lentes de type I oxydatives et une diminution des fibres rapides de type II ($p < 0,01$). Dans le groupe contrôle, les valeurs correspondantes sont inchangées. Les auteurs

concluent que leurs résultats suggèrent que l'ESM est un traitement approprié pour prévenir les modifications néfastes dans le muscle squelettique et pour augmenter la capacité d'exercice chez les patients atteints d'ICC sévère [65].

Une revue systématique de la littérature de langue anglaise a analysé les effets de la stimulation électrique neuromusculaire des muscles de la marche chez des patients atteints d'ICC ou de BPCO.

Le nombre limité d'études (14), la disparité des populations et la variabilité des méthodes de stimulation n'ont pas permis de réaliser une méta-analyse. Néanmoins, plusieurs études ont montré des améliorations significatives de la force musculaire et des capacités d'exercice. La stimulation électrique neuromusculaire semble prometteuse comme moyen de réhabilitation des patients atteints d'ICC et de BPCO. Il y a suffisamment de preuves pour justifier une plus grande prospective par des essais contrôlés randomisés [66].

4.3.3.4. Neurologie

En neurologie périphérique, la fibre musculaire dénervée ne peut bénéficier que d'impulsions isolées rectangulaires de longue durée (10 à 100 ms) adaptées à l'augmentation de la chronaxie et destinées à prévenir la fibrose en attendant la ré-innervation.

En neurologie centrale, la stimulation électrique fonctionnelle (SEF) est utilisée pour restaurer la marche des patients atteints de paralysie ou de faiblesse musculaire liées à un accident vasculaire cérébral ou à un traumatisme de la moelle épinière. Au début, l'objectif était de remplacer la fonction neuromusculaire perdue. Puis on a constaté que la marche assistée par la SEF avait des effets thérapeutiques, dont l'amélioration de la force musculaire, de la fonction cardiovasculaire et de la marche qui persistaient après l'arrêt de la SEF [67].

La SEF est également utilisée pour éviter le diastasis afin de prévenir la subluxation inférieure de l'épaule hémiplegique [15] et pour améliorer les mouvements de préhension et de manipulation des objets. Une étude montre des résultats significatifs par rapport au groupe témoin [68].

Une étude récente propose d'associer l'ESM et l'injection de toxine botulique pour traiter le pied spastique équin des patients hémiplegiques adultes. La mesure de la dorsiflexion maximale de la cheville à l'échelle modifiée d'Ashworth a montré que le groupe traité par ESM et injection de toxine botulique obtenait sur la spasticité des résultats supérieurs et plus durables comparativement au groupe traité par étirements et injection de toxine botulique [21].

L'électrostimulation transcutanée appliquée au niveau cervical sur le côté opposé à la lésion réduit l'instabilité posturale chez des patients présentant une hémiparésie après AVC. Aucun effet n'a été observé chez les patients ne présentant pas d'hémiparésie [22].

4.3.3.5. Vessie neurologique

Les protocoles de stimulation non invasifs appliqués avec des électrodes transcutanées ont fait l'objet de plusieurs études. Avec des électrodes appliquées sur le nerf tibial au niveau de la gouttière rétromalléolaire interne et une fréquence de 10 Hz, les résultats suggèrent un effet objectif sur les paramètres

urodynamiques. Les auteurs considèrent que ces résultats sont un argument encourageant pour proposer la stimulation du nerf tibial comme modalité de traitement dans la pratique clinique [69].

D'autres auteurs appliquent les électrodes de chaque côté du sacrum, en regard de S3. Plusieurs études confirment les résultats cliniques de ces techniques. Dans le traitement de la vessie neurologique, la stimulation des racines sacrées, la neurostimulation tibiale postérieure et la neurostimulation pudendale se sont révélées susceptibles d'améliorer, au moins à court et moyen termes, les symptômes cliniques et urodynamiques associés à l'hyperactivité neurogène du détrusor [70–74].

Une étude prospective multicentrique incluant 70 patients atteints de sclérose en plaques a évalué les effets de la stimulation électrique transcutanée du nerf tibial appliquée par séances quotidiennes de 20 minutes pour traiter le syndrome de vessie hyperactive. Le traitement a été bien toléré. Les résultats montrent une amélioration significative de l'urgence mictionnelle, des symptômes et de la qualité de vie [75].

4.3.3.6. Gériatrie

Très peu d'études ont analysé les effets de l'ESM chez les sujets âgés.

Des femmes âgées de 62 à 75 ans ont été randomisées en trois groupes réalisant les programmes suivants : 1) électrostimulation, 2) exercices de montée et descente d'escalier, 3) électrostimulation + exercices de montée et descente d'escalier. Les résultats sur la force musculaire ont été efficaces de manière comparable pour les trois groupes [76].

L'ESM devrait permettre de lutter contre la sarcopénie des sujets âgés chez lesquels la réalisation de protocoles de renforcement musculaire est souvent difficile. Cependant, on ne trouve pas d'étude spécifique à cette pathologie [31].

4.3.4. Discussion et conclusion

Malgré quelques études qui soutiennent son efficacité et bien que certains résultats apparaissent acceptables, le niveau de preuve d'efficacité de l'ESM reste faible, notamment à cause du petit nombre d'études contrôlées [31].

L'ESM ne donne pas de résultats supérieurs à la contraction volontaire. En ce qui concerne le sujet sain et le sujet sportif, il apparaît que la contraction volontaire et le geste sportif doivent être privilégiés. L'ESM doit être accompagnée d'entraînement, d'exercice actif.

La rééducation active assistée par électrostimulation et la SEF ambulatoire permettent l'association concomitante de l'ESM et de la contraction volontaire. Plusieurs études montrent que l'électrostimulation et la contraction volontaire sont des techniques complémentaires et que leur association améliore les résultats, non seulement en ce qui concerne la force musculaire, mais aussi dans les traitements de rééducation fonctionnelle [50].

L'ESM est particulièrement indiquée pour traiter l'amyotrophie :

- comme traitement complémentaire des techniques actives de renforcement musculaire, notamment en orthopédie et en traumatologie ;
- et surtout lorsque la contraction volontaire est difficilement réalisable en fonction de l'état général, physique ou psychique du patient (immobilisations,

alitement prolongé, réanimation, cachexie, dénutrition, BPCO, insuffisance cardiaque, gériatrie...).

4.4. Excitabilité de la fibre musculaire dénervée

4.4.1. Muscle dénervé : électrodiagnostic

La rhéobase et la chronaxie ont été définies plus haut. L'électrodiagnostic de stimulation est fondé sur l'étude de la chronaxie. Il se pratique sur tout muscle atteint de dénervation et met en évidence l'interruption de la conductibilité nerveuse au niveau du neurone moteur périphérique. Cet examen simple, indolore et non invasif permet de confirmer et d'évaluer la dénervation, d'instaurer le traitement et de définir les durées d'impulsion à utiliser, puis de suivre l'évolution et, le cas échéant, de constater la ré-innervation [77].

Après la dénervation du tibial antérieur du lapin, la rhéobase augmente transitoirement alors que la chronaxie augmente pendant les deux premières semaines et reste élevée [78].

4.4.1.1. Mesure de la rhéobase

La rhéobase (Rh) est l'intensité minimale d'une impulsion à début brusque et de durée infinie nécessaire pour atteindre le seuil de la contraction (figure 4.38).

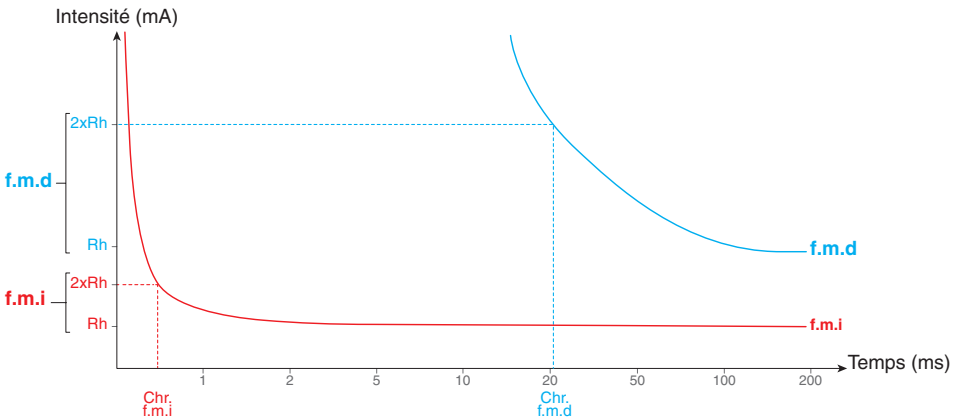


FIGURE 4.38. Excitabilité de la fibre musculaire dénervée.

1. La fibre musculaire innervée (fmi) a une chronaxie inférieure à 1 ms.
2. La fibre musculaire dénervée (fmd) présente une réaction de ralentissement. Sa chronaxie augmente, donc sa courbe d'excitabilité s'éloigne de l'axe des ordonnées. Au cours de la ré-innervation, la chronaxie diminue.

On utilise des impulsions rectangulaires dont la durée est de 100 ms. Ces impulsions sont isolées, c'est-à-dire que leur espacement, supérieur à une seconde, est tel que les réponses musculaires sont de simples secousses élémentaires, séparées par des intervalles réguliers. L'intensité est augmentée progressivement jusqu'au seuil de la réponse (figure 4.39). La rhéobase se mesure en milliampères (mA) et permet de mesurer la chronaxie.

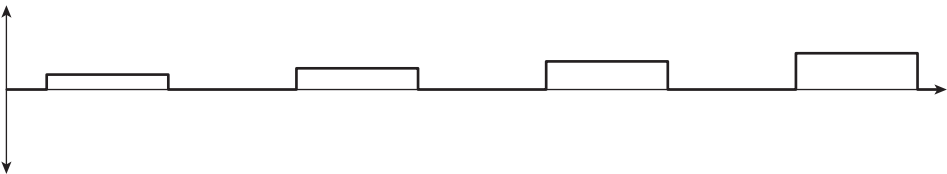


FIGURE 4.39. Recherche de la rhéobase.
On utilise une impulsion rectangulaire de longue durée (100 ms) dont on augmente progressivement l'intensité jusqu'au seuil de la contraction.

4.4.1.2. Mesure de la chronaxie

La chronaxie (Chr) est la durée minimale d'une impulsion rectangulaire d'intensité double de la rhéobase nécessaire pour atteindre le seuil de la contraction (figure 4.38).

On utilise des impulsions rectangulaires, isolées, dont l'intensité est le double de la rhéobase. La durée d'impulsion est augmentée progressivement de 100 μ s à 100 ms jusqu'au seuil de la réponse (figure 4.40). La chronaxie se mesure en millisecondes (ms) ou en microsecondes (μ s).

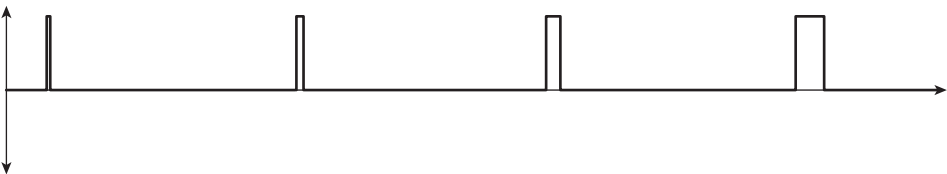


FIGURE 4.40. Recherche de la chronaxie.
On utilise une impulsion rectangulaire de très brève durée (100 μ s) et d'intensité double de la rhéobase dont on augmente progressivement la durée jusqu'au seuil de la contraction.

4.4.1.3. Résultat : réaction de ralentissement

L'électrodiagnostic de stimulation permet de distinguer si les fibres musculaires sont innervées ou dénervées. Ce diagnostic est quantitatif (mesure de la chronaxie) ou qualitatif (qualité de la réponse : rapide ou lente).

La chronaxie d'un muscle normalement innervé est inférieure à 1 ms : de 100 à 700 μ s. L'augmentation de la chronaxie au-dessus de 5 ms traduit une dénervation totale [79].

La fibre musculaire normalement innervée répond à une impulsion de brève durée (< 1 ms) par une contraction rapide.

La fibre musculaire dénervée ne répond qu'à une impulsion de longue durée, d'autant plus longue que la chronaxie est élevée, par une contraction lente : réaction de ralentissement (tableau 4.1).

TABEAU 4.1. Résultats de l'électrodiagnostic.

	Électrodiagnostic quantitatif : chronaxie	Électrodiagnostic qualitatif : réaction
Muscle innervé	< 1 ms (100 à 700 μ s)	réponse rapide
Muscle dénervé	> 1 ms (5 à 100 ms)	réponse lente

Réaction de dégénérescence

La réaction de dégénérescence, ou réaction de ralentissement, est un ensemble de phénomènes qui traduisent l'interruption de la conductibilité nerveuse au niveau du neurone moteur périphérique :

- inexcitabilité du nerf aux impulsions de brève ou de longue durée;
- inexcitabilité du muscle aux impulsions de brève durée;
- réponse lente du muscle aux impulsions de longue durée;
- réaction longitudinale.

Réaction longitudinale

La réaction longitudinale est une excitabilité plus grande du muscle dénervé aux impulsions de longue durée lorsque l'on place les deux électrodes à ses extrémités.

4.4.1.4. Pente d'établissement et pente limite

Quand on augmente la durée d'établissement d'une impulsion, on abaisse sa pente d'établissement. Si on abaisse la pente de cette impulsion progressive, on observe la disparition de la contraction à partir d'une certaine durée d'établissement. La pente limite est la pente d'établissement au-dessous de laquelle il n'y a plus de réponse musculaire, quelle que soit l'intensité (cf. 4.1.2.2). On appelle « climalyse » la pente limite d'une impulsion rectangulaire d'intensité rhéobasique. Le mot « climalyse » a été supprimé du dictionnaire des termes techniques de médecine.

Certains auteurs partant du principe que la pente limite des fibres innervées (PLI) est plus raide que la pente limite des fibres dénervées (PLD) ont proposé, si le muscle n'est que partiellement dénervé, qu'on abaisse la pente de l'impulsion au-dessous de la PLI tout en restant au-dessus de la PLD afin d'éliminer la contraction vive et rapide des fibres innervées et de laisser apparaître la contraction lente et vermiculaire des fibres dénervées (figure 4.41).

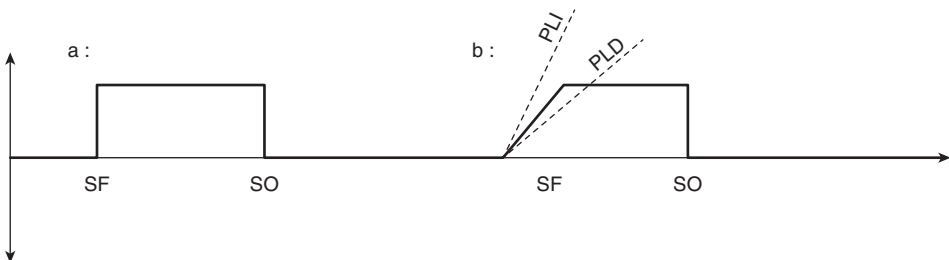


FIGURE 4.41. Impulsions isolées de longue durée.

SF : secousse de fermeture. SO : secousse d'ouverture.

a : impulsion de longue durée rectangulaire (courant LD R).

b : impulsion de longue durée progressive (PLI : pente limite des fibres innervées; PLD : pente limite des fibres dénervées).

Ces théories sur la pente d'établissement qui permettrait de dissocier la contraction des fibres musculaires innervées et dénervées ont amené à proposer des impulsions progressives dont la pente d'établissement se situerait entre la PLI et la PLD pour stimuler les muscles partiellement dénervés (figure 4.41.b). Mais ces considérations fondées sur les caractéristiques des contractions obtenues selon la pente d'établissement ne peuvent induire que la perplexité pour quatre raisons :

1. Aucun critère objectif ne permet de calculer ni d'ajuster cette pente d'établissement. On ne dispose que d'un moyen subjectif et discutable : l'évaluation des caractéristiques de la contraction, son amplitude, sa vivacité ou sa lenteur. Or, sur un sujet sain normalement innervé, lorsqu'on abaisse la pente d'établissement, on constate qu'on modifie les caractéristiques de la contraction. Il est donc évident que cette modification n'est pas due à l'élimination des fibres innervées d'un muscle partiellement dénervé. Elle est due au simple fait qu'en abaissant la pente d'établissement, on diminue la stimulation.
2. Les réponses musculaires à une impulsion de longue durée sont la secousse de fermeture qui est due au début de l'impulsion, et la secousse d'ouverture qui est due à la fin de l'impulsion (figure 4.41). Si l'on considère une impulsion rectangulaire de longue durée, la secousse de fermeture est une réponse musculaire plus importante que la secousse d'ouverture : $SF > SO$ (figure 4.41.a).

En conséquence :

- a. si on utilise une impulsion rectangulaire de longue durée, la réponse musculaire observée est la plus importante, c'est donc la secousse de fermeture ;
- b. si on utilise une impulsion à pente d'établissement progressive et à extinction brusque et si on abaisse la pente d'établissement au-dessous de la pente limite, la secousse de fermeture disparaît laissant apparaître la secousse d'ouverture qui est due à l'extinction brusque ($SO > SF$) et qui apparaîtra de moindre amplitude que la secousse de fermeture d'une impulsion rectangulaire (figure 4.41.b).

Là encore, la modification de la réponse n'est pas due à la dissociation des fibres innervées et des fibres dénervées.

3. La pente d'établissement d'une impulsion progressive n'est pas destinée à stimuler la fibre musculaire dénervée ; elle est uniquement destinée à éliminer la contraction des fibres musculaires normalement innervées. Et l'élimination des fibres innervées ne présente aucun intérêt dans le traitement des fibres musculaires dénervées. En effet, la contraction concomitante des fibres musculaires normalement innervées ne peut en aucun cas nuire à la stimulation des fibres musculaires dénervées.

4. Plus on abaisse la pente d'établissement, plus il faut augmenter l'intensité pour obtenir une contraction équivalente et plus la stimulation est désagréable, voire douloureuse. Les impulsions progressives dont l'intensité doit être plus élevée sont donc moins bien tolérées que les impulsions rectangulaires qui sont aussi efficaces avec une intensité moindre. Or, les impulsions de longue durée sont déjà en tant que telles beaucoup moins confortables que les impulsions de brève durée. Si de surcroît l'abaissement de la pente d'établissement impose d'augmenter l'intensité, l'impulsion progressive de longue durée risque de devenir réellement douloureuse.

Il apparaît donc que l'utilisation de la pente d'établissement n'est pas justifiée, qu'elle ne présente pas d'intérêt thérapeutique et qu'elle augmente le

désagrément de la stimulation. En conséquence, pour le traitement du muscle totalement ou partiellement dénervé, il ne faut utiliser que des impulsions rectangulaires qui sont plus efficaces avec une intensité moindre, donc plus supportables que des impulsions progressives. La priorité doit être donnée à la stimulation qui respecte le confort du patient.

4.5. Électrostimulation du muscle dénervé

4.5.1. Courant LD R, excito-moteur du muscle dénervé

4.5.1.1. Paramètres des impulsions

Dans les cas de dénervation périphérique, on utilise des impulsions galvaniques :

- unidirectionnelles à polarité fixe qui produisent une stimulation prédominante sous la cathode pour localiser la stimulation (figure 4.42) ou à polarité alternée qui dirigent la stimulation prédominante tour à tour sur les deux électrodes pour stimuler le muscle plus globalement (figure 4.43) [80];
- isolées, c'est-à-dire séparées par des espacements d'au moins une seconde, et ce temps de repos doit être d'autant plus long que la chronaxie est augmentée;
- rectangulaires, plus efficaces avec une intensité moindre et donc mieux tolérées;
- de longue durée, supérieure à 5 ou 10 ms mais de préférence inférieure à 100 ms, adaptées à l'augmentation de la chronaxie, sans toutefois dépasser la durée utile afin d'être bien tolérées par le patient.

La durée d'impulsion doit être suffisante pour contracter, cependant on recherche la plus brève durée efficace afin de respecter le confort du patient.

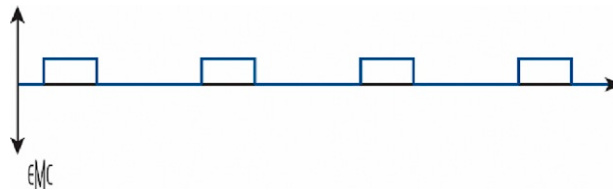


FIGURE 4.42. Impulsions unidirectionnelles à polarité fixe.

Impulsions isolées de longue durée destinées à la stimulation localisée du muscle dénervé.

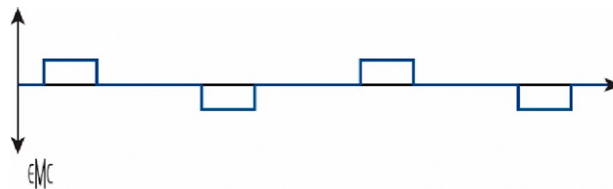


FIGURE 4.43. Impulsions à polarité alternée.

Impulsions isolées de longue durée destinées à la stimulation globale du muscle dénervé.

4.5.1.2. Protocole d'application

Les électrodes sont appliquées longitudinalement sur le muscle [81], en cherchant les zones où l'on obtient la meilleure réponse pour une intensité donnée

(figures 4.44, 4.45, 4.46). Afin d'éviter les effets nocifs dus à un excès de stimulations et afin d'éviter les risques de brûlures chimiques des tissus dus aux effets électrolytiques des courants unidirectionnels, on pratique moins de dix impulsions par jour et par muscle.



FIGURE 4.44. **Stimulation des muscles releveurs du pied dénervés.**

- Effets recherchés : entretien de la contractilité et prophylaxie de la fibrose en attendant la ré-innervation.
- Courant : LD R, impulsions isolées de longue durée, rectangulaires.
- Montage : électrodes mobiles, stimulation longitudinale.



FIGURE 4.45. **Stimulation des muscles épicondyliens latéraux dénervés.**

- Effets recherchés : entretien de la contractilité et prophylaxie de la fibrose en attendant la ré-innervation.
- Courant : LD R, impulsions isolées de longue durée, rectangulaires.
- Montage : électrodes mobiles, stimulation longitudinale.



FIGURE 4.46. **Stimulation du muscle deltoïde dénervé.**

- Effets recherchés : entretien de la contractilité et prophylaxie de la fibrose en attendant la ré-innervation.
- Courant : LD R, impulsions isolées de longue durée, rectangulaires.
- Montage : électrodes mobiles, stimulation longitudinale.

Au décours, on observe une diminution progressive de la chronaxie et on réduit proportionnellement la durée de l'impulsion. Lorsque la ré-innervation se produit, la contraction active apparaît puis augmente graduellement. À ce stade, on remplace progressivement l'électrostimulation par la rééducation active et on n'applique pas de courants téтанisants afin de ne pas risquer d'entraver la ré-innervation des dernières unités motrices.

4.5.1.3. Procédure simplifiée

Cette procédure permet de pratiquer successivement :

- une mesure de la durée d'impulsion nécessaire au muscle dénervé avec des impulsions unidirectionnelles rectangulaires de durée dégressive;
- puis la stimulation de ce muscle avec des impulsions unidirectionnelles à polarité fixe ou alternée dont la durée est adaptée à l'augmentation de la chronaxie, mais aussi la plus brève durée efficace afin de respecter le confort du patient [82].

Première séance : réglage de la durée d'impulsion

1. Appliquer sur le muscle dénervé des impulsions rectangulaires de 100 ms avec des temps de repos d'une durée minimale d'une seconde et augmenter l'intensité jusqu'à la réponse musculaire.
2. Conserver l'intensité qui a déclenché la réponse musculaire et diminuer la durée d'impulsion par pas progressifs (figure 4.47) : 100 ms, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 15, 12, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1...
3. Quand la réponse musculaire disparaît, augmenter la durée d'une ou deux valeurs pour retrouver la contraction et effectuer le traitement avec la durée minimale efficace ainsi obtenue (figures 4.42 et 4.43).

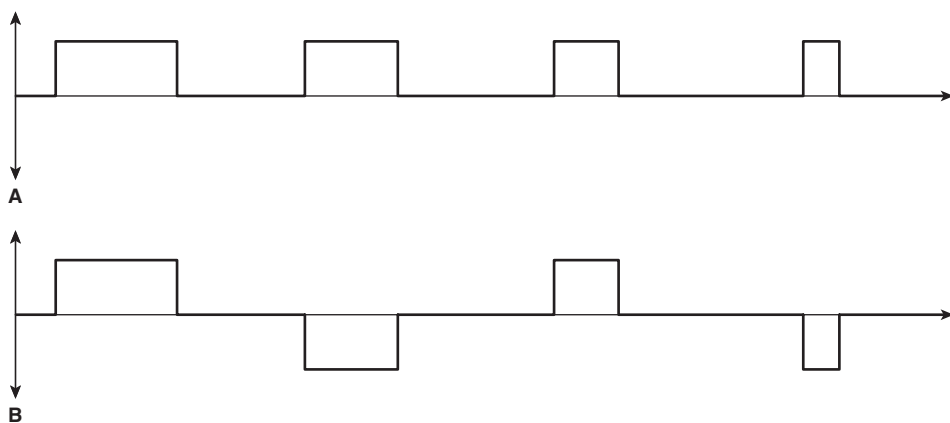


FIGURE 4.47. Procédure simplifiée.

On utilise une impulsion rectangulaire de longue durée (100 ms) et d'intensité suffisante pour contracter dont la durée diminue progressivement jusqu'à la disparition de la contraction.

- A. Impulsions unidirectionnelles à polarité fixe.
B. Impulsions à polarité alternée.

Séances suivantes :

- Reprendre le même protocole pour ajuster la durée d'impulsion, mais au lieu de commencer avec une impulsion de 100 ms, commencer avec la durée minimale efficace définie lors de la séance précédente.
- Au décours, on observe une diminution progressive de la chronaxie. On doit donc constater une diminution progressive de la durée efficace et on réduit proportionnellement la durée de l'impulsion utilisée pour le traitement.

4.5.1.4. Précautions

Vu les risques de brûlure chimique des tissus, l'application de courants unidirectionnels impose au praticien :

- le strict respect du protocole défini ci-dessus et des contre-indications;
- un examen attentif de l'état de la peau sous les électrodes et une surveillance constante;
- l'utilisation exclusive d'électrodes recouvertes d'un sachet spongieux correctement humidifié;
- l'exclusion de tous les autres types d'électrodes, et notamment des électrodes autocollantes.

4.5.1.5. Indications

Les causes des atteintes des nerfs périphériques sont multiples : polynévrites, polyradiculonévrites, multinévrites, maladies du motoneurone α , compressions ou traumatismes des nerfs, axonotmésis, neurotmésis, lésions post-radiques...

Les objectifs de la stimulation électrique sont l'entretien de la contractilité de l'élasticité et de la trophicité afin de prévenir la fibrose et l'atrophie en attendant

la ré-innervation. De plus, la stimulation met en évidence que le muscle peut encore se contracter, ce qui est motivant et encourageant pour le patient.

Certaines études soutiennent que la stimulation électrique pourrait favoriser la régénération nerveuse et la récupération du muscle dénervé (cf. 4.6).

4.5.2. Techniques complémentaires

4.5.2.1. Contraction active ou mouvement imaginé

Afin d'entretenir le schéma moteur, le patient doit accompagner les stimulations électriques :

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

4.5.2.2. Mobilisation passive

Les mobilisations passives, notamment les étirements modérés, et l'électrostimulation ont des effets différents et complémentaires dans le traitement prophylactique de la fibrose.

4.6. Effets cliniques sur le muscle dénervé

4.6.1. Objectif et méthode

En 1791, Galvani publie *Commentaire sur l'effet de l'électricité sur le mouvement musculaire*. En 1867, Duchenne de Boulogne publie *Physiologie des mouvements démontrée à l'aide de l'expérimentation électrique et de l'observation clinique et applicable à l'étude des paralysies et des déformations* et en 1909, Lopicque définit la rhéobase et la chronaxie [83, 84]. Les principes fondamentaux – et toujours actuels – de l'électrostimulation étaient énoncés.

Qu'en est-il à ce jour, quel est l'intérêt et quelles sont les limites de l'électrostimulation du muscle dénervé ? Afin d'évaluer les résultats de l'électrostimulation sur le muscle dénervé, une revue de la littérature a été effectuée à partir des bases de données PEDro et PubMed jusqu'à avril 2012 avec les mots-clés suivants : *electrical stimulation, denervated muscle, muscle reinnervation, axon regeneration, nerve regeneration*, et à partir de publications françaises.

4.6.2. Effets physiologiques et thérapeutiques

La dénervation entraîne une paralysie flasque et une atrophie sévère des muscles qui amène à considérer l'intérêt de la stimulation électrique pour récupérer leur fonction [85]. L'électrostimulation doit être adaptée aux caractéristiques du muscle dénervé [86–88].

L'électrostimulation du muscle dénervé se pratique pendant la phase de paralysie périphérique, jusqu'à la ré-innervation, pour prévenir l'atrophie et la fibrose dues à l'inactivité musculaire. Son intérêt et ses limites sont discutés depuis très longtemps, les résultats et les conclusions sont souvent contradictoires [89].

Plusieurs auteurs font état de résultats favorables sur la trophicité musculaire [90], sur la densité osseuse [91], sur la vitesse de conduction et sur la période réfractaire [92].

Une revue *Cochrane* a analysé toutes les techniques de physiothérapie (stimulation électrique, acupuncture, packs chauds, massage, exercices faciaux) utilisées dans le traitement de la paralysie faciale idiopathique. Les auteurs concluent qu'il n'y a pas de preuve pour soutenir ni l'avantage significatif ni l'inconvénient de n'importe quelle technique de physiothérapie [93].

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

Après une lésion nerveuse périphérique chez le rat, la stimulation électrique percutanée à 2 Hz, avec une faible intensité de 1, 2 ou 4 mA pourrait favoriser la régénération des nerfs, mais une intensité trop élevée semble avoir un effet néfaste sur le processus de régénération [94].

Sur 19 rats, la stimulation électrique du muscle dénervé a été appliquée avec des impulsions rectangulaires d'une durée de 0,5 ms à la fréquence de 2 Hz et une intensité de 4 mA pendant une heure. Après quatre semaines, les auteurs constatent que la stimulation électrique empêche l'apoptose et ils proposent la stimulation électrique comme un traitement potentiel pour la prévention de l'atrophie des muscles dénervés [95].

La stimulation électrique avec une période brève et une fréquence de 20 Hz est considérée comme efficace pour favoriser la régénération des axones après la suture chirurgicale du nerf [96].

Un protocole de stimulation de muscles dénervés après lésion du motoneurone spinal a été effectué sur plusieurs années en quatre phases. Le traitement commence avec des impulsions de 150 à 200 ms à la fréquence de 2 Hz pendant une séance de 15 min par jour, cinq jours par semaine ; puis la durée des impulsions est de 80 à 100 ms ; puis une stimulation téтанisante avec des impulsions de 40 ms et un espacement de 10 ms délivrées à 20 Hz avec des temps de travail de 2 s et des temps de repos de 2 s pendant 3 à 5 min de stimulation avec 1 min de repos, deux fois par jour, cinq jours par semaine ; puis une phase de stimulation en force et en endurance. Les chronaxies des muscles dénervés étaient au-dessus de 20 à 30 ms. Les chronaxies des muscles stimulés se sont améliorées, elles étaient de 5 à 10 ms, mais n'ont jamais atteint les valeurs normales. Après biopsie, les auteurs concluent à l'efficacité de la stimulation électrique et invitent d'autres chercheurs à vérifier leurs hypothèses et conclusions [97].

Les biopsies des muscles de patients ayant subi un traumatisme médullaire et qui ont été traités avec un protocole de stimulation électrique fonctionnelle pendant des périodes prolongées (de 2,4 à 9,3 années) ont montré une récupération de la structure du muscle, de sa masse et de sa force, même chez des patients dont les muscles avaient été dénervés pendant des périodes

prolongées, jusqu'à deux ans, avant le commencement du traitement de stimulation électrique. Il est important de préciser que cette récupération s'est produite en l'absence totale d'innervation motrice et sensitive, c'est-à-dire uniquement sous l'influence de l'activité musculaire produite par la stimulation électrique [98].

Plusieurs études confirment la récupération de la trophicité musculaire [91, 99, 100].

La stimulation électrique fonctionnelle des patients paraplégiques a pour objectif à long terme de restaurer la fonction musculaire. Elle présente plusieurs autres effets positifs qui sont l'amélioration de la circulation sanguine, des maladies de la peau, de la trophicité et du métabolisme, mais aussi la prophylaxie de l'ulcère de décubitus. De plus, elle procure une meilleure condition physique. Étant donné que les muscles sont dénervés, ils doivent être activés directement à l'aide de modèles informatiques électrophysiologiques. La validation expérimentale de ces résultats n'a pas encore été établie. Il faut donc étudier la distribution spatiale des effets de la stimulation électrique fonctionnelle dans les tissus musculaires des patients paraplégiques dénervés [101].

Une étude effectuée sur des blessés médullaires montre, par l'imagerie tridimensionnelle, une restauration des structures musculaires, des tendons et de l'os après stimulation électrique fonctionnelle des muscles dénervés, ainsi qu'une dégénérescence des mêmes tissus quand le traitement n'est pas effectué [102].

Les électrodes peuvent être implantées chirurgicalement. Chez un jeune homme présentant une lésion de la moelle épinière avec dénervation partielle des extenseurs du genou, la stimulation électrique a été pratiquée avec une électrode percutanée implantée près du nerf fémoral. La circonférence de la cuisse a été améliorée, cependant les résultats ne se maintiennent pas après l'arrêt du traitement [103].

Un essai contrôlé randomisé a mis en évidence, chez des patients présentant un syndrome du canal carpien, que la stimulation électrique post-chirurgicale immédiate du nerf médian à 20 Hz pendant une heure accélère la régénération de l'axone et la ré-innervation musculaire [104].

4.6.3. Discussion et conclusion

La stimulation du muscle dénervé en cours de ré-innervation est une technique ancienne et bien établie dans la pratique de la rééducation fonctionnelle bien qu'on ne trouve que très peu de publications sur ses effets cliniques. La stimulation du muscle dénervé du paraplégique est une technique plus récente qui selon certains auteurs semble donner des résultats sur la trophicité musculaire, mais le problème de la commande motrice n'est toujours pas résolu. Enfin, la stimulation électrique du nerf destinée à accélérer la régénération nerveuse semble être une technique prometteuse mais, là encore, on ne peut que regretter le faible nombre de publications.

Références

- [1] Godaux E, Cheron G. Le Mouvement. Paris : Medsi/McGraw-Hill ; 1989.
- [2] Jones D, Round J, de Haan A. Physiologie du muscle squelettique. Paris : Elsevier ; 2005.
- [3] Vanderthommen M, Depresseux JC, Dauchat L, Degueldre C, Croisier JL, Crielaard JM. Spatial distribution of blood flow in electrically stimulated human muscle : a positron emission tomography study. *Muscle Nerve* 2000 ; 23 : 482–9.
- [4] Vanderthommen M, Depresseux JC, Dauchat L, Degueldre C, Croisier JL, Crielaard JM. Blood flow variation in the human muscle during electrically stimulated exercise bouts. *Arch Phys Med Rehabil* 2002 ; 83 : 936–41.
- [5] Bigard AX. Électrostimulation : effets sur le muscle normal. Lyon : SPLF : 9^e Journées françaises Alvéole ; 2012.
- [6] Kayser C. Physiologie. Système nerveux. Muscle. Paris : Flammarion ; 1976.
- [7] Botter A, Oprandi G, Lanfranco F, Allasia S, Maffiuletti NA, Minetto MA. Atlas of the muscle motor points for the lower limb : implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning. *Eur J Appl Physiol* 2011 Oct ; 111(10) : 2461–71.
- [8] Gobbo M, Gaffurini P, Bissolotti L, Esposito F, Orizio C. Transcutaneous neuromuscular electrical stimulation : influence of electrode positioning and stimulus amplitude settings on muscle response. *Eur J Appl Physiol* 2011 Oct ; 111(10) : 2451–9.
- [9] Maffiuletti NA, Morelli A, Martin A, Duclay J, Billot M, Jubeau M, et al. Effect of gender and obesity on electrical current thresholds. *Muscle Nerve* 2011 Aug ; 44(2) : 202–7.
- [10] Vanderthommen M, Soltani K, Maquet D, Crielaard JM, Croisier JL. Does neuromuscular electrical stimulation influence muscle recovery after maximal isokinetic exercise ? *Isokinetics Exerc Sci* 2007 ; 15 : 143–9.
- [11] Crépon F, Doubrère JF, Vanderthommen M, Castel-Kremer E, Cadet G. Électrothérapie. Électrostimulation. EMC, : (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-145-A-10, 2007.
- [12] Crépon F. Electrostimulation in the rehabilitative treatment of urinary incontinence. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 1992 May-Jun ; (3)50–3.
- [13] Faure F, Chatrenet Y. Comparaison de la force électro-induite par la moyenne fréquence modulée et par la basse fréquence. *Ann Kinésithér* 1997 ; 34(6) : 259–66.
- [14] Thépaut-Mathieu C. Électrostimulation et recrutement différentiel des unités motrices. *Ann Kinésithér* 1998 ; 25(3) : 115–8.
- [15] Crépon F. Stimulation électrique fonctionnelle de l'épaule. *Kinésithér Scient* 2012 ; 530 : 47–8.
- [16] Crépon F. Intérêt de la stimulation électrique fonctionnelle en rééducation neurologique centrale. *Kinésithér Scient* 2008 ; 485 : 57–9.
- [17] Crépon F. Pratique de la stimulation électrique fonctionnelle en rééducation neurologique centrale. *Kinésithér Scient* 2008 ; 489 : 61–3.
- [18] Thrasher TA, Popovic MR. Functional electrical stimulation of walking : function, exercise and rehabilitation. *Ann Readapt Med Phys* 2008 Jul ; 51(6) : 452–60.
- [19] Koyuncu E, Nakipoğlu-Yüzer GF, Doğan A, Özgürin N. The effectiveness of functional electrical stimulation for the treatment of shoulder subluxation and shoulder pain in hemiplegic patients : A randomized controlled trial. *Disabil Rehabil* 2010 ; 32(7) : 560–6.
- [20] Gillet O. Influence de la dorsiflexion de la cheville provoquée par stimulation électrique sur la vitesse veineuse au niveau du segment jambier. (Doppler - vélocimétrie ultrasonique). Mémoire ECK, Bois-Larris, 1985.
- [21] Baricich A, Carda S, Bertonni M, Maderna L, Cisari C. A single-blinded, randomized pilot study of botulinum toxin type A combined with non-pharmacological treatment for spastic foot. *J Rehabil Med* 2008 Nov ; 40(10) : 870–2.
- [22] Perennou DA, Leblond C, Amblard B, Micallef JP, Herisson C, Pélissier JY. Transcutaneous electric nerve stimulation reduces neglect-related postural instability after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2001 Apr ; 82(4) : 440–8.

- [23] Malissard M, Souquet J, Mellier G, Gallaup JP. Chronaxie et énergie maximale de stimulation : influence des propriétés électriques du tissu vaginal. In : Pélissier J, editor. Rééducation vésico-sphinctérienne et ano-rectale. Paris : Masson; 1992. p. 108–16.
- [24] JFK 2011. Périnéologie. Kinésithérapie, la revue 2011 ; (109–110)76–86.
- [25] Petros P, Ulmsten U. An integral theory and its method for the diagnosis and management of female urinary incontinence. *Scand J Urol Nephrol* 1993 ; 153 : 1–93.
- [26] Hebert N, Barre C, et al. Rééducation périnéale dans l'incontinence urinaire chez la femme. *Ann Readapt Med Phys* 1986 ; 29 : 245–52.
- [27] Thüroff JW, Abrams P, Andersson KE, Artibani W, Chapple CR, Drake MJ, et al. Tubaro A. EAU guidelines on urinary incontinence. *Eur Urol* 2011 Mar ; 59(3) : 387–400.
- [28] Hasan ST, Robson WA. Outcome of transcutaneous electrical stimulation in patients with detrusor instability. *Neurourol Urodyn* 1994 ; 13 : 349–50.
- [29] Vanderthommen M, Cohnen A, Crielaard JM. Intérêt de l'électromyostimulation de basse fréquence dans le cadre d'un alitement prolongé. In : Pélissier J, Roques CF, editors. Électrostimulation des nerfs et des muscles. Paris : Masson; 1992. p. 62–6.
- [30] Crépon F. Électrostimulation et muscle. *Kinésithér Scient* 2010 ; 507 : 58–60.
- [31] Dehail P, Duclos C, Barat M. Electrical stimulation and muscle strengthening. *Ann Readapt Med Phys* 2008 Jul ; 51(6) : 441–51.
- [32] Collins DF. Central contributions to contractions evoked by tetanic neuromuscular electrical stimulation. *Exerc Sport Sci Rev* 2007 Jul ; 35(3) : 102–9.
- [33] Bickel CS, Gregory CM, Dean JC. Motor unit recruitment during neuromuscular electrical stimulation : a critical appraisal. *Eur J Appl Physiol* 2011 Oct ; 111(10) : 2399–407.
- [34] Gregory CM, Bickel CS. Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys Ther* 2005 Apr ; 85(4) : 358–64.
- [35] Jubeau M, Gondin J, Martin A, Sartorio A, Maffiuletti NA. Random motor unit activation by electrostimulation. *Int J Sports Med* 2007 Nov ; 28(11) : 901–4.
- [36] Theurel J, Lepers R, Pardon L, Maffiuletti NA. Differences in cardiorespiratory and neuromuscular responses between voluntary and stimulated contractions of the quadriceps femoris muscle. *Respir Physiol Neurobiol* 2007 Aug 1 ; 157(2–3) : 341–7.
- [37] Vanderthommen M, Gilles R, Carlier P, Ciancabilla F, Zahlan O, Sluse F, et al. Human muscle energetics during voluntary and electrically induced isometric contractions as measured by ^{31}P NMR spectroscopy. *Int J Sports Med* 1999 ; 20 : 279–83.
- [38] Vanderthommen M, et al. Évaluation du débit sanguin au niveau du quadriceps électrostimulé et contracté volontairement. *Ann Kinésithér* 1996 ; 23(1) : 20–3.
- [39] Vanderthommen M, Duteil S, Raynaud JS, Wary C, Leroy-Willig A, Crielaard JM, et al. A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved ^1H and ^{31}P NMRS. *J Appl Physiol* 2003 ; 94 : 1012–24.
- [40] Gondin J, Cozzzone PJ, Bendahan D. Is high-frequency neuromuscular electrical stimulation a suitable tool for muscle performance improvement in both healthy humans and athletes ? *Eur J Appl Physiol* 2011 Oct ; 111(10) : 2473–87.
- [41] Babault N, Cometti G, Bernardin M, Pousson M, Chatard JC. Effects of electromyostimulation training on muscle strength and power of elite rugby players. *J Strength Cond Res* 2007 May ; 21(2) : 431–7.
- [42] Herrero JA, Izquierdo M, Maffiuletti NA, García-López J. Electromyostimulation and plyometric training effects on jumping and sprint time. *Int J Sports Med* 2006 Jul ; 27(7) : 533–9.
- [43] Requena Sánchez B, Padial Puche P, González-Badillo JJ. Percutaneous electrical stimulation in strength training : an update. *J Strength Cond Res* 2005 May ; 19(2) : 438–48.
- [44] Vanderthommen M, Duchateau J. Electrical stimulation as a modality to improve performance of the neuromuscular system. *Exerc Sport Sci Rev* 2007 Oct ; 35(4) : 180–5.

- [45] Maffiuletti NA, Minetto MA, Farina D, Bottinelli R. Electrical stimulation for neuromuscular testing and training : state-of-the art and unresolved issues. *Eur J Appl Physiol* 2011 Oct; 111(10) : 2391–7.
- [46] Bax L, Staes F, Verhagen A. Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials. *Sports Med* 2005; 35(3) : 191–212.
- [47] Lamb SE, Oldham JA, Morse RE, Evans JG. Neuromuscular stimulation of the quadriceps muscle after hip fracture : a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2002 Aug; 83(8) : 1087–92.
- [48] Lieber RL, Silva PD, Daniel DM. Equal effectiveness of electrical and volitional strength training for quadriceps femoris muscles after anterior cruciate ligament surgery. *J Orthop Res* 1996 Jan; 14(1) : 131–8.
- [49] Paillard T, Noé F, Passelergue P, Dupui P. Electrical stimulation superimposed onto voluntary muscular contraction. *Sports Med* 2005; 35(11) : 951–66.
- [50] Paillard T. Combined application of neuromuscular electrical stimulation and voluntary muscular contractions. *Sports Med* 2008; 38(2) : 161–77.
- [51] Stevens-Lapsley JE, Balter JE, Wolfe P, Eckhoff DG, Kohrt WM. Early neuromuscular electrical stimulation to improve quadriceps muscle strength after total knee arthroplasty : a randomized controlled trial. *Phys Ther* 2012 Feb; 92(2) : 210–26.
- [52] Hortobágyi T, Maffiuletti NA. Neural adaptations to electrical stimulation strength training. *Eur J Appl Physiol* 2011 Oct; 111(10) : 2439–49.
- [53] Seymour JM, Spruit MA, Hopkinson NS, Natanek SA, Man WD, Jackson A, et al. The prevalence of quadriceps weakness in COPD and the relationship with disease severity. *Eur Respir J* 2010 Jul; 36(1) : 81–8.
- [54] Vivodtzev I, Lacasse Y, Maltais F. Neuromuscular electrical stimulation of the lower limbs in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2008 Mar-Apr; 28(2) : 79–91.
- [55] Vivodtzev I, Pépin JL, Vottero G, Mayer V, Porsin B, Lévy P, et al. Improvement in quadriceps strength and dyspnea in daily tasks after 1 month of electrical stimulation in severely deconditioned and malnourished COPD. *Chest* 2006 Jun; 129(6) : 1540–8.
- [56] Couillard A, Préfaut C. L'électrostimulation dans la réhabilitation des patients BPCO sévères : pertinence ou facétie ? *Rev Mal Respir* 2010; 27 : 113–24.
- [57] Roig M, Reid WD. Electrical stimulation and peripheral muscle function in COPD : a systematic review. *Respir Med* 2009 Apr; 103(4) : 485–95.
- [58] Vivodtzev I, Debigaré R, Gagnon P, Mainguy V, Saey D, Dubé A, et al. Functional and muscular effects of neuromuscular electrical stimulation in patients with severe COPD : a randomized clinical trial. *Chest* 2012 Mar; 141(3) : 716–25.
- [59] Abdellaoui A, Préfaut C, Gouzi F, Couillard A, Coisy-Quivy M, Hugon G, et al. Skeletal muscle effects of electrostimulation after COPD exacerbation : a pilot study. *Eur Respir J* 2011 Oct; 38(4) : 781–8.
- [60] Crépon F, Dupuis J, Labeix P, Costes F. Électrostimulation musculaire, BPCO et soins intensifs. *Rev Mal Respir Actual* 2010; 2 : 71–4.
- [61] Gruther W, Kainberger F, Fialka-Moser V, Paternostro-Sluga T, Quittan M, Spiss C, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation on muscle layer thickness of knee extensor muscles in intensive care unit patients : a pilot study. *J Rehabil Med* 2010 Jun; 42(6) : 593–7.
- [62] Bustamante V, López de Santa María E, Gorostiza A, Jiménez U, Gáldiz JB. Muscle training with repetitive magnetic stimulation of the quadriceps in severe COPD patients. *Respir Med* 2010 Feb; 104(2) : 237–45.
- [63] Bustamante V, Casanova J, López de Santamaría E. Redox balance following magnetic stimulation training in the quadriceps of patients with severe COPD. *Free Radic Res* 2008 Nov; 42(11–12) : 939–48.

- [64] Casillas JM, Gremeaux V, Labrunee M, Troigros O, Laurent Y, Deley G, et al. Électrostimulation musculaire à basse fréquence et insuffisance cardiaque chronique. *Ann Readapt Med Phys* 2008 Jul; 51(6) : 461–72.
- [65] Nuhr MJ, Pette D, et al. Beneficial effects of chronic low-frequency stimulation of thigh muscles in patients with advanced chronic heart failure. *Eur Heart J* 2004 Jan; 25(2) : 136–43.
- [66] Sillen MJ, Speksnijder CM, Eterman RM, Janssen PP, Wagers SS, Wouters EF, et al. Effects of neuromuscular electrical stimulation of muscles of ambulation in patients with chronic heart failure or COPD : a systematic review of the English-language literature. *Chest* 2009 Jul; 136(1) : 44–61.
- [67] Thrasher TA, Popovic MR. Functional electrical stimulation of walking : function, exercise and rehabilitation. *Ann Readapt Med Phys* 2008 Jul; 51(6) : 452–60.
- [68] Thrasher TA, Zivanovic V, McIlroy W, Popovic MR. Rehabilitation of reaching and grasping function in severe hemiplegic patients using functional electrical stimulation therapy. *Neurorehabil Neural Repair* 2008 Nov-Dec; 22(6) : 706–14.
- [69] Amarenco G, Ismael SS, Even-Schneider A, Raibaut P, Demaille-Wlodyka S, Parratte B, et al. Urodynamic effect of acute transcutaneous posterior tibial nerve stimulation in overactive bladder. *J Urol* 2003 Jun; 169(6) : 2210–5.
- [70] De Sèze M, Delleci C, Denys P, Amarenco G. Peripheral electrical stimulation in neurogenic bladder. *Ann Readapt Med Phys* 2008 Jul; 51(6) : 473–8.
- [71] Vandoninck V, van Balken MR, Finazzi Agro E, Petta F, Micali F, Heesakkers JP, et al. Percutaneous tibial nerve stimulation in the treatment of overactive bladder : urodynamic data. *Neurourol Urodyn* 2003; 22(3) : 227–32.
- [72] Vandoninck V, Van Balken MR, Finazzi Agro E, Petta F, Caltagirone C, Heesakkers JP, et al. Posterior tibial nerve stimulation in the treatment of urge incontinence. *Neurourol Urodyn* 2003; 22(1) : 17–23.
- [73] Skeil D, Thorpe AC. Transcutaneous electrical nerve stimulation in the treatment of neurological patients with urinary symptoms. *BJU Int* 2001 Dec; 88(9) : 899–908.
- [74] Zaoui A, Moussa H, Mallat F, Slama A, Bouassida K, Bouker S, et al. La stimulation nerveuse électrique transcutanée (TENS) dans le traitement de l'hyperactivité vésicale neurogène et idiopathique : à propos de 24 cas. Nantes : Sofmer; 2011.
- [75] De Sèze M, Raibaut P, Gallien P, Even-Schneider A, Denys P, Bonniaud V, et al. Transcutaneous posterior tibial nerve stimulation for treatment of the overactive bladder syndrome in multiple sclerosis : results of a multicenter prospective study. *Neurourol Urodyn* 2011 Mar; 30(3) : 306–11.
- [76] Paillard T, Lafont C, Soulat JM, Montoya R, Costes-Salon MC, Dupui P. Short-term effects of electrical stimulation superimposed on muscular voluntary contraction in postural control in elderly women. *J Strength Cond Res* 2005 Aug; 19(3) : 640–6.
- [77] Crépon F. Électrodiagnostic de stimulation des dénervations. *Kinésithér Scient* 2003; 434 : 57–9.
- [78] Ashley Z, Sutherland H, Lanmuller H, Unger E, Li F, Mayr W, et al. Determination of the chronaxie and rheobase of denervated limb muscles in conscious rabbits. *Artif Organs* 2005 Mar; 29(3) : 212–5.
- [79] Diverrez JP. Électrologie. Exploration en rééducation fonctionnelle. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Rééducation fonctionnelle, 26-015-A-10, 1995 : 11 p
- [80] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 2. Polarité des impulsions et techniques complémentaires. *Kinésithér Scient* 2004; 444 : 53–4.
- [81] Martinek J, Reichel M, Rattay F, Mayr W. Analysis of calculated electrical activation of denervated muscle fibers in the human thigh. *Artif Organs* 2005 Jun; 29(6) : 444–7.
- [82] Crépon F. Électrostimulation des muscles dénervés. 1. Procédure de traitement simplifiée. *Kinésithér Scient* 2004; 440 : 55–6.

- [83] Duchenne de Boulogne GB. Physiologie des mouvements démontrée à l'aide de l'expérimentation électrique et de l'observation clinique et applicable à l'étude des paralysies et des déformations. Paris : J.B. Baillière et Fils; 1867.
- [84] Irnich W. The terms "chronaxie" and "rheobase" are 100 years old. *Pacing Clin Electrophysiol* 2010 Apr; 33(4) : 491–6.
- [85] Salmons S, Ashley Z, Sutherland H, Russold MF, Li F, Jarvis JC. Functional electrical stimulation of denervated muscles : basic issues. *Artif Organs* 2005 Mar; 29(3) : 199–202.
- [86] Kleinknecht B, Breton G, Carzon J, Courtillon A, Daniel F, Darnault A, et al. Méthodologie électrologique. In : Heuleu JN, Simon L, editors. *Muscle et rééducation*. Paris : Masson; 1998. p. 151–9.
- [87] Mercier J. Bases électriques et biochimiques du fonctionnement du nerf et du muscle. In : Péliissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris : Masson; 1992. p. 1–16.
- [88] Pouget J. Électrostimulation neuromusculaire : bases expérimentales. In : Péliissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris : Masson; 1992. p. 20–4.
- [89] Sengler J, Grosse D. Électrostimulation du muscle dénervé. Application au plancher pelvien. *Ann Kinésithér* 1993; 20(3) : 129–40.
- [90] Kern H, Rossini K, Carraro U, Mayr W, Vogelauer M, Hoellwarth U, et al. Muscle biopsies show that FES of denervated muscles reverses human muscle degeneration from permanent spinal motoneuron lesion. *J Rehabil Res Dev* 2005 May-Jun; 42(3 Suppl. 1) : 43–53.
- [91] Helgason T, Gargiulo P, Johannesdottir F, Ingvarsson P, Knutsdottir S, Gudmundsdottir V, et al. Monitoring muscle growth and tissue changes induced by electrical stimulation of denervated degenerated muscles with CT and stereolithographic 3D modeling. *Artif Organs* 2005 Jun; 29(6) : 440–3.
- [92] Hofer C, Forstner C, Modlin M, Jager H, Mayr W, Kern H. In vivo assessment of conduction velocity and refractory period of denervated muscle fibers. *Artif Organs* 2005 Jun; 29(6) : 436–9.
- [93] Teixeira LJ, Valbuza JS, Prado GF. Physical therapy for Bell's palsy (idiopathic facial paralysis). *Cochrane Database Syst Rev* 2011 Dec 7; 12 CD006283..
- [94] Lu MC, et al. Use of electrical stimulation at different current levels to promote recovery after peripheral nerve injury in rats. *J Trauma* 2009 Nov; 67(5) : 1066–72.
- [95] Arakawa T, Katada A, Shigyo H, Kishibe K, Adachi M, Nonaka S, et al. Electrical stimulation prevents apoptosis in denervated skeletal muscle. *NeuroRehabilitation* 2010; 27(2) : 147–54.
- [96] Gordon T, Sulaiman O, Boyd JG. Experimental strategies to promote functional recovery after peripheral nerve injuries. *J Peripher Nerv Syst* 2003 Dec; 8(4) : 236–50.
- [97] Kern H, Rossini K, Carraro U, Mayr W, Vogelauer M, Hoellwarth U, et al. Muscle biopsies show that FES of denervated muscles reverses human muscle degeneration from permanent spinal motoneuron lesion. *J Rehabil Res Dev* 2005 May-Jun; 42(3 Suppl. 1) : 43–53.
- [98] Boncompagni S, Kern H, Rossini K, Hofer C, Mayr W, Carraro U, et al. Structural differentiation of skeletal muscle fibers in the absence of innervation in humans. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2007 Dec 4; 104(49) : 19339–44.
- [99] Marqueste T, Alliez JR, Alluin O, Jammes Y, Decherchi P. Neuromuscular rehabilitation by treadmill running or electrical stimulation after peripheral nerve injury and repair. *J Appl Physiol* 2004 May; 96(5) : 1988–95.

-
- [100] Mödlin M, Forstner C, Hofer C, Mayr W, Richter W, Carraro U, et al. Electrical stimulation of denervated muscles : first results of a clinical study. *Artif Organs* 2005 Mar; 29(3) : 203–6.
 - [101] Meyerspeer M, Mandl T, Reichel M, Mayr W, Hofer C, Kern H, et al. Effects of functional electrical stimulation in denervated thigh muscles of paraplegic patients mapped with T2 imaging. *MAGMA* 2008 May; 21(3) : 219–26.
 - [102] Gargiulo P, Reynisson PJ, Helgason B, Kern H, Mayr W, Ingvarsson P, et al. Muscle, tendons, and bone : structural changes during denervation and FES treatment. *Neurol Res* 2011 Sep; 33(7) : 750–8.
 - [103] Johnston TE, Smith BT, Betz RR. Strengthening of partially denervated knee extensors using percutaneous electric stimulation in a young man with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 2005 May; 86(5) : 1037–42.
 - [104] Gordon T, Amirjani N, Edwards DC, Chan KM. Brief post-surgical electrical stimulation accelerates axon regeneration and muscle reinnervation without affecting the functional measures in carpal tunnel syndrome patients. *Exp Neurol* 2010 May; 223(1) : 192–202.

CHAPITRE 5

Électrostimulation et douleur

Points essentiels

- ♦ L'électrostimulation antalgique par *gate control* est utilisée pour la sédation des douleurs localisées ; son effet est rapide et de courte durée.
- ♦ L'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines est utilisée pour la sédation des douleurs diffuses avec des électrodes de grande surface ; son effet est notable et de plus longue durée.
- ♦ L'électrostimulation antalgique à double action est utilisée notamment pour la sédation des douleurs mixtes avec des électrodes de grande surface ; son effet est plus complet et de plus longue durée.
- ♦ L'électrostimulation antalgique de très basse fréquence est utilisée pour la sédation des points douloureux très localisés, des points gâchettes et pour stimuler les points d'acupuncture.
- ♦ L'électrostimulation antalgique fait l'objet de nombreux essais contrôlés randomisés destinés à préciser ses indications.

PLAN DU CHAPITRE

- 5.1. Douleur
- 5.2. Électrostimulation antalgique
- 5.3. Électrostimulation antalgique par *gate control*
- 5.4. Électrostimulation antalgique par libération d'endorphines
- 5.5. Électrostimulation antalgique à double action
- 5.6. Électrostimulation antalgique de très basse fréquence
- 5.7. Électrostimulation antalgique et rééducation
- 5.8. Effets cliniques

5.1. Douleur

5.1.1. Définition, étiologie

La douleur est une expérience sensorielle et émotionnelle désagréable, associée à une lésion tissulaire réelle ou potentielle, ou décrite en termes d'une telle lésion. IASP (*International Association for the Study of Pain*)

Le traitement de la douleur doit être associé au traitement de sa cause. En rééducation fonctionnelle, on recherche et on traite la cause de la douleur : conflit mécanique, réaction inflammatoire, contracture, trouble orthopédique...

5.1.2. Voies de la nociception

Une stimulation nociceptive des récepteurs périphériques entraîne une excitation des fibres A δ et C de petit calibre et à conduction lente. L'influx nociceptif atteint la corne postérieure de la moelle épinière où il se connecte avec d'autres neurones qui vont constituer les voies ascendantes, lesquelles se dirigent vers le thalamus puis vers les aires corticales sensibles. La douleur est une intégration, au niveau cortical, des influx nociceptifs.

5.1.3. Mécanismes générateurs de la douleur

5.1.3.1. Douleurs neurogènes

Les douleurs neurogènes, qu'on appelle également douleurs neuropathiques, et qu'on appelait auparavant douleurs de désafférentation, surviennent en cas de lésion du système nerveux périphérique ou central. Elles sont toujours chroniques (> 3 mois).

5.1.3.2. Douleurs par excès de nociception

Souvent aiguës, elles sont dues à une excitation par un processus inflammatoire ou post-traumatique de récepteurs nociceptifs.

L'excès de stimulations nociceptives sous-tend la majorité des douleurs aiguës et un certain nombre de douleurs chroniques. La douleur s'exprime sur un plan sémiologique selon un rythme mécanique (augmentation de la douleur par l'activité physique) ou inflammatoire. L'examen clinique retrouve ce facteur mécanique de déclenchement. Le traitement étiologique agit sur le processus causal périphérique lui-même, le traitement antalgique en limite les effets excitateurs.

5.1.3.3. Douleurs symptômes médicalement non expliquées

Certaines entités pathologiques sont reconnues sans qu'on en ait une compréhension satisfaisante ou des critères diagnostiques incontestables. Leur identification permet cependant une reconnaissance du trouble, essentielle au contrat thérapeutique. L'exemple le plus fréquent est la fibromyalgie dont le tableau clinique est constitué de douleurs diffuses invalidantes avec cortège de troubles fonctionnels. Dans ces cas, il faut accompagner un patient reconnu comme malade, mais sans pouvoir s'appuyer sur un consensus diagnostique ni thérapeutique clairement établi.

5.1.3.4. Douleurs avec dysfonctionnement du système nerveux sympathique

Il s'agit du syndrome douloureux régional complexe (SDRC), anciennement appelé algodystrophie, associant enraidissement articulaire, modifications vasomotrices cutanées, déminéralisation osseuse et hyperalgésie dans un segment somatique étendu autour du site initial de la lésion tissulaire. Il peut survenir après un traumatisme, une lésion nerveuse ou une contusion initialement peu significative [1].

5.1.3.5. Douleurs de mécanismes générateurs associés

De nombreuses situations cliniques réalisent des douleurs dont les mécanismes sont multiples.

5.1.3.6. Douleurs psychogènes

Elles n'ont pas d'explication somatique satisfaisante. Elles sont liées à une perturbation psychopathologique associée. Le diagnostic de douleur psychogène repose sur la mise en évidence d'une sémiologie psychopathologique. Dans tous les cas, il s'agit bien d'une douleur exprimée en termes d'une lésion tissulaire [2].

5.1.3.7. Choix du traitement

À chaque type de douleur correspond une modalité d'électrostimulation antalgique.

- Les douleurs neurogènes, toujours localisées, sont traitées par les courants BF BI, antalgiques par *gate control*.
- Les douleurs par excès de nociception, localisées ou diffuses, sont traitées par les courants BF BI, antalgiques par *gate control*, si elles sont localisées, ou par les courants TBF IE, antalgiques par libération d'endorphines, si elles sont diffuses.
- Les douleurs mixtes, neurogènes et par excès de nociception, sont traitées par les courants BF BI, antalgiques par *gate control*, et par les courants TBF IE, antalgiques par libération d'endorphines. Les applications de ces deux types de courants peuvent être pratiquées successivement ou concomitamment. Pour une application simultanée de ces deux modalités de stimulation, on peut utiliser des courants combinés BF BI + TBF IE, tels que les courants de stimulation polyvalente.
- Les douleurs symptômes médicalement non expliquées, généralement diffuses, sont traitées par les courants TBF IE, antalgiques par libération d'endorphines.
- Les douleurs avec dysfonctionnement du système nerveux sympathique sont traitées comme les douleurs mixtes.
- Les douleurs de mécanismes générateurs associés, sont traitées comme les douleurs mixtes.
- Les douleurs psychogènes ne sont pas une indication de l'électrostimulation antalgique.

Une récapitulation des différents types de douleurs, de leur mécanisme générateur et de leur localisation (localisées ou diffuses) permet de déterminer le traitement par électrostimulation le mieux adapté ([tableau 5.1](#)) [3].

TABLEAU 5.1. Douleurs : mécanismes générateurs, localisation et électrostimulation.
D'après J-F. Doubrère, F. Crépon [3]

Mécanismes générateurs	Douleurs	Localisation	Électrostimulation
Douleurs neurogènes	<ul style="list-style-type: none"> – Lombosciatique opérée – Plaies des nerfs – Douleurs post-zostériennes – Neuropathies diabétiques – Cicatrices anciennes – Fibro-arachnoïdites lombaires – Membre fantôme – Paraplégies – Certaines séquelles chirurgicales – Plexite post-radique – Lésions nerveuses liées au cancer 	Douleurs localisées	Courants BF BI Antalgiques par <i>gate control</i>
Douleurs par excès de nociception	<ul style="list-style-type: none"> – Arthrites – Tendinites aiguës, tendinopathies – Entorses, elongations – Névralgies : sciatalgies (à distinguer des sciatiques opérées), cruralgies, meralgies – paresthésiques, névralgies cervico-brachiales – Compressions d'origine tumorale – Douleurs générées par les postures et mobilisations – Rachialgies : lombalgies, dorsalgies, cervicalgies – Arthroses du rachis ou des membres – Douleurs musculo-aponévrotiques satellites des arthroses ou post-traumatiques, contractures – Douleurs pariétales postopératoires – Séquelles fonctionnelles douloureuses des symphyses pleurales – Douleurs de sièges multiples 		
Douleurs symptômes médicalement non expliquées	<ul style="list-style-type: none"> – Fibromyalgie, anciennement appelée syndrome polyalgique idiopathique diffus (SPID) 	Douleurs diffuses	Courants TBF IE Antalgiques par libération d'endorphines

Mécanismes générateurs	Douleurs	Localisation	Électrostimulation
Douleurs avec dysfonctionnement du système nerveux sympathique	– Syndrome douloureux régional complexe (SDRC), anciennement appelé algodystrophie	Douleurs mixtes	Courants combinés BF BI + TBF IE Antalgiques par <i>gate control</i> et par libération d'endorphines
Douleurs de mécanismes générateurs associés	– Douleurs neurogènes liées à une plaie de nerf et douleurs par excès de nociception liées aux lésions articulaires ou musculaires associées – Douleurs pariétales post-chirurgicales d'origine neurogène (cicatrice) et nociceptive (musculo-squelettique)		
Douleurs psychogènes	– Dépression, trouble anxieux – Trouble somatoforme douloureux – Conversion hystérique, hypocondrie...		Électrostimulation non indiquée

5.1.4. Topographie de la douleur

On distingue la douleur directe et la douleur projetée.

La systématisation du système nerveux et le fonctionnement des neurones convergents au niveau de la corne postérieure de la moelle ont pour effet que certaines douleurs sont ressenties :

- soit à distance de leur site lésionnel générateur, par exemple au genou pour une douleur de hanche;
- soit principalement dans la zone de projection sur le revêtement cutané des fibres nerveuses issues du site générateur, par exemple douleurs lombaires basses dues à un syndrome de la charnière dorsolombaire (arthrose interapophysaire postérieure).

5.1.4.1. Douleur directe

La douleur directe est ressentie au niveau du site lésionnel.

5.1.4.2. Douleur projetée

La douleur projetée est ressentie à distance du site lésionnel. Parmi les douleurs projetées, on distingue la douleur rapportée et la douleur référée ([figure 5.1](#)).

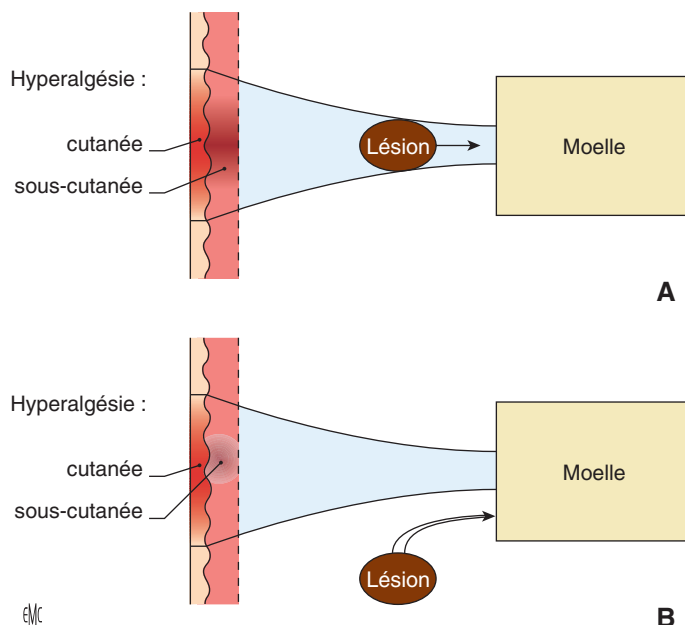


FIGURE 5.1. **Douleur projetée.**

A. Douleur rapportée. La douleur est perçue comme provenant du champ périphérique cutané ou sous-cutané, alors que le foyer lésionnel est situé sur le cheminement des voies nociceptives.

B. Douleur référée. La sensation douloureuse est faussement localisée dans une zone périphérique dont l'innervation est bien distincte de celle du foyer lésionnel (muscle, articulation, ou viscère), mais qui converge au même niveau sur la moelle.

D'après Boureau F. et Willer J.C. [4].

Douleur rapportée

La douleur rapportée est due à des influx nociceptifs qui prennent naissance d'un foyer lésionnel situé sur les voies périphériques ou centrales qui transmettent des messages douloureux. La douleur est ressentie comme provenant du champ périphérique correspondant, cutané ou sous-cutané. Par exemple, la douleur d'une névralgie par compression radiculaire est une douleur rapportée.

Douleur référée

La douleur référée correspond à une dissociation topographique entre la zone périphérique, où la sensation douloureuse est faussement localisée, et le foyer réel de souffrance tissulaire [4].

Généralement cette projection s'explique par une concordance métamérique et un décalage anatomique entre le dermatome, le myotome et le viscérotome d'un même segment médullaire. La douleur de l'avant-bras lors d'une lésion du myocarde et la douleur scapulaire lors d'une lésion vésiculaire sont des exemples de douleurs référées.

Points gâchettes

La recherche des points gâchettes ou *trigger points* s'intègre dans une séméiologie palpatoire des douleurs musculo-aponévrotiques. Il s'agit du point le plus sensible du muscle dont la stimulation avec un certain degré de pression digitale réveille la douleur spontanée du patient et reproduit parfois la douleur référée aux territoires périphériques voisins [5].

L'application thérapeutique est fondamentale : c'est en traitant ces points gâchettes (massages profonds, cryothérapie, électrostimulation, vibrations mécaniques) que l'on traite la douleur ressentie principalement à distance, c'est-à-dire référée.

Des points gâchettes fessiers donnent lieu à des pseudo-sciatiques. Des points gâchettes dans le trapèze donnent lieu à des pseudo-néuralgies cervico-brachiales. Certaines céphalées de tension s'accompagnent de points gâchettes à l'insertion des muscles péri-crâniens. La douleur des coxarthroses comporte une composante musculo-aponévrotique avec points gâchettes musculaires.

5.2. Électrostimulation antalgique

La première demande d'un patient qui entreprend un traitement de rééducation est, avant tout, de soulager sa douleur. Celle-ci doit donc être traitée en priorité ; sa sédation facilitera la récupération du mouvement ou de la fonction. Parmi les nombreuses techniques de physiothérapie antalgique, techniques manuelles, thérapie ou vibrations, l'électrostimulation antalgique occupe une place essentielle.

L'électrostimulation antalgique, ou neurostimulation électrique transcutanée (NSET), est appelée TENS (*transcutaneous electrical nerve stimulation*) dans les pays anglo-saxons. Elle consiste à appliquer sur la peau un courant destiné à stimuler les fibres nerveuses sensibles sous-jacentes dans un but antalgique. L'acronyme TENS désigne donc toutes les techniques d'électrostimulation antalgique.

On distingue classiquement deux modalités d'électrostimulation antalgique :

1. l'électrostimulation antalgique par *gate control* qui utilise des fréquences de 50 à 100 Hz, des durées d'impulsion très brèves et une intensité faible pour le traitement des douleurs localisées ;
2. l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines qui utilise des très basses fréquences, inférieures à 10 Hz, des durées d'impulsion plus longues que pour le *gate control*, des électrodes de très grande surface et une intensité élevée pour le traitement des douleurs diffuses.

Cependant, l'électrostimulation de très basse fréquence, inférieure à 10 Hz est également utilisée avec des électrodes de faible surface, notamment pour stimuler avec précision des sites très circonscrits, très ponctuels tels que les points gâchettes, ou pour stimuler les points d'acupuncture. Cette technique d'électrostimulation de très basse fréquence est souvent appelée « endorphinique » ou « électroacupuncture ». Il s'agit en réalité de modes de stimulation bien distincts de l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines décrite ci-dessus, particulièrement en ce qui concerne la surface d'électrode, laquelle semble déterminante pour obtenir les effets physiologiques escomptés.

5.3. Électrostimulation antalgique par *gate control*

C'est la modalité d'électrostimulation antalgique la plus ancienne, la plus connue et communément la plus pratiquée.

Cette modalité est communément appelée « neurostimulation électrique transcutanée conventionnelle » ou TENS « conventionnel » pour la distinguer de l'électroacupuncture qui utilise de très basses fréquences (< 10 Hz).

5.3.1. *Gate control*

La corne postérieure de la moelle épinière est un endroit stratégique pour le contrôle de la douleur [6].

Les fibres sensitives cutanées de gros calibre et à conduction rapide A β , myélinisées, véhiculent la sensibilité tactile et proprioceptive. Les fibres sensitives de petit calibre et à conduction lente A δ , faiblement myélinisées et C, amyéliniques, véhiculent les influx (ou messages) nociceptifs.

La théorie du *gate control*, théorie neurophysiologique d'inhibition sensitive segmentaire, a été proposée par Melzack et Wall en 1965 [7], puis revue par Wall en 1978 [8].

La stimulation des fibres sensitives cutanées A β inhibe, au niveau de la corne postérieure de la moelle épinière, la transmission des influx (ou messages) nociceptifs véhiculés par les fibres sensitives A δ et C (figure 5.2).

La NSET met en jeu le *gate control* lorsqu'on utilise des paramètres destinés à stimuler exclusivement les fibres A β [4] : impulsions de très brève durée et de basse intensité.

L'analgésie s'installe rapidement, persiste pendant la stimulation, mais elle diminue quand la stimulation s'arrête.

Le *gate control* produit une inhibition sensitive segmentaire, c'est-à-dire limitée au niveau de l'étage médullaire considéré, donc indiquée pour la sédation des douleurs localisées : douleurs neurogènes et douleurs par excès de nociception localisées.

5.3.2. Courants BF BI, antalgiques par *gate control*

5.3.2.1. Paramètres des impulsions

Courant BF BI

On utilise un courant de basse fréquence et de basse intensité (BF BI). Les paramètres des impulsions du courant BF BI (figure 5.3) et le protocole de stimulation sont adaptés à l'effet recherché [9–11].

Fréquence

La fréquence est comprise entre 50 et 100 Hz, les fréquences supérieures à 150 Hz n'ayant plus aucun effet de stimulation [12].

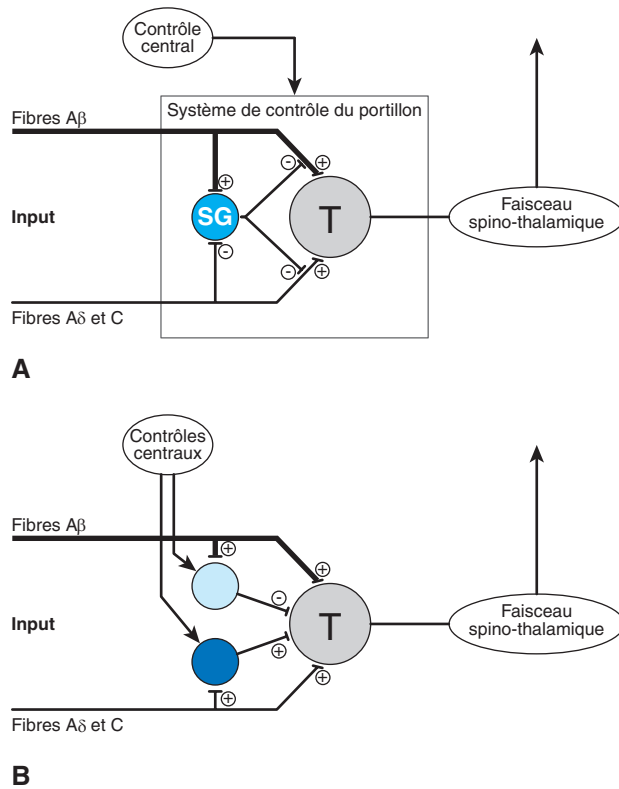


FIGURE 5.2. Théorie du portillon (*gate control*) au niveau de la corne postérieure de la moelle.

A. Description initiale par Melzack et Wall (1965). Les informations issues de la périphérie (« input ») vers les neurones convergents (T = triggers cells) au niveau de la corne postérieure profonde, sont "filtrées" par des interneurones de la substance gélatineuse (SG), qui exercent un effet inhibiteur présynaptique. L'activation des fibres Aβ augmente l'activité de ces interneurones et tend à fermer le portillon; l'activation des fibres Aδ et C déprime ce tonus inhibiteur et tend à ouvrir le portillon. Ces mécanismes sont soumis à des contrôles d'origine supraspinale.

B. Modification par Wall (1978). Pas de modification du concept d'ensemble. Les interneurones SG sont remplacés par un couple de neurones inhibiteur (cercle blanc) et excitateur (cercle noir) qui sont eux-mêmes soumis à l'influence de contrôles d'origine centrale. D'après Brasseur L. et al [1].

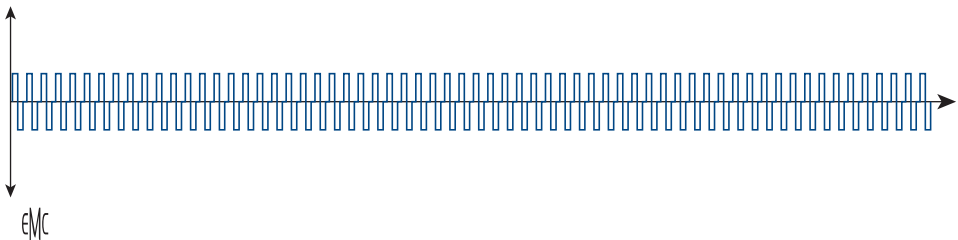


FIGURE 5.3. Courant BF BL.

Courant de basse fréquence et de basse intensité : *gate control*.

Durée d'impulsion

La durée d'impulsion est très brève, inférieure ou égale à 100 μ s (0,1 ms), pour stimuler les fibres A β sans stimuler les fibres A δ et C.

Intensité

L'intensité doit être modérée afin de ne produire que des « paresthésies » (ou fourmillements) et aussi afin de ne stimuler que les fibres A β sans stimuler les fibres A δ et C. Cependant, l'intensité ne doit pas être trop faible sous peine d'inefficacité.

Une étude a examiné les effets de différentes intensités de stimulation sur la douleur à la pression expérimentalement provoquée chez 130 sujets sains. Ce sont les intensités les plus élevées, supérieures au seuil sensitif mais non douloureuses, qui ont le plus grand effet de soulagement de la douleur. Les auteurs en déduisent que l'hypoalgésie dépend de l'intensité de stimulation [13].

Une autre étude sur la douleur expérimentale confirme qu'en termes d'hypoalgésie, le niveau d'efficacité de la NSET dépend clairement de l'intensité qui doit être suffisante [14].

Forme et direction

Les impulsions sont rectangulaires, bidirectionnelles et à moyenne nulle afin de pouvoir pratiquer une séance efficace confortable et sûre d'une durée de 20 à 30 minutes en cas d'application au cours d'une séance de rééducation, ou de 2 à 10 heures par jour en cas de traitement ambulatoire avec un stimulateur portable et ce sans risque de brûlure chimique.

Accoutumance

Vu la durée de la séance et la faible intensité de la stimulation, il est nécessaire de moduler le courant pour faire varier au maximum tous les paramètres des impulsions afin de repousser l'accoutumance qui diminue rapidement les effets antalgiques. À cet effet, on peut utiliser les courants VIF®, dont la variation aléatoire de tous les paramètres (intensité, durée d'impulsion et fréquence) permet d'augmenter la durée efficace de la séance de stimulation (figure 2.21) [15].

5.3.2.2. Protocole d'application, critères d'efficacité

Électrodes de surfaces identiques

Les électrodes de même surface sont appliquées sur le site de la douleur (figure 5.4) ou sur le trajet de la douleur (figure 5.5) ou sur des points de moindre résistance cutanée permettant d'atteindre un territoire douloureux (figure 5.13) afin d'acheminer la stimulation au niveau de l'étage médullaire considéré.

Cette stimulation est dite « bipolaire active », puisque les deux électrodes sont perçues identiquement par le patient.

Électrodes de surfaces différentes

Des électrodes de surfaces différentes peuvent être utilisées pour localiser la stimulation sous une seule électrode dans le but de stimuler une zone douloureuse unique très circonscrite, voire ponctuelle.

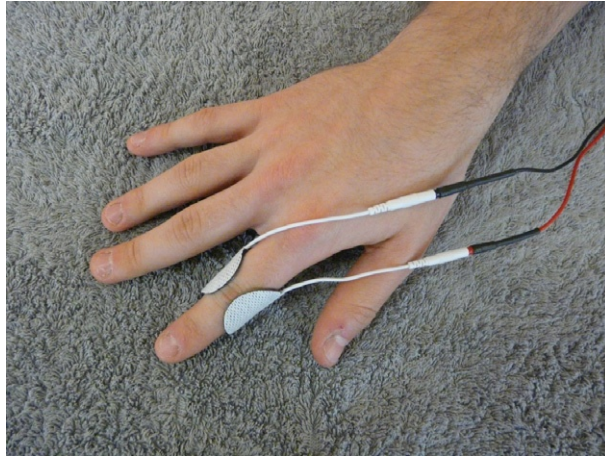


FIGURE 5.4. Entorse de l'articulation interphalangienne proximale de l'index.

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur le site de la douleur.



FIGURE 5.5. Névralgie cervico-brachiale.

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur le trajet de la douleur.

L'efficacité de l'électrostimulation s'évalue en mA/cm^2 d'électrode, en conséquence :

- la stimulation prédomine sous l'électrode de petite surface, dite électrode active où l'intensité est plus « concentrée » et qui est appliquée sur le site de la douleur (figures 5.6-5.9) ou sur un point de moindre résistance cutanée permettant d'atteindre un territoire douloureux (figure 5.10) ;
- la stimulation n'est pas ressentie sous l'électrode de grande surface, dite électrode indifférente, qui n'a pas d'effet thérapeutique et qui est appliquée en un endroit quelconque, confortable et facile d'accès, son utilité étant limitée à la fermeture du circuit électrique.

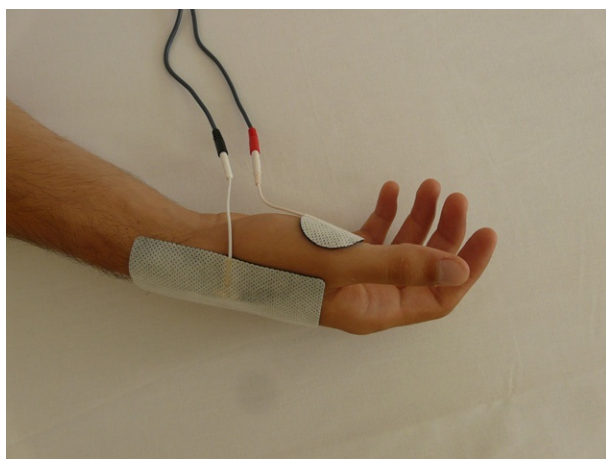


FIGURE 5.6. **Séquelles traumatiques.**

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : l'électrode active, de petite surface est appliquée sur le site de la douleur; l'électrode indifférente, de plus grande surface, est appliquée autre part.



FIGURE 5.7. **Tendinite du long biceps.**

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : l'électrode active, de petite surface est appliquée sur le site de la douleur, l'électrode indifférente, de plus grande surface, est appliquée autre part.

Cette stimulation est dite « monopolaire active », puisque seule l'électrode active, ressentie par le patient, est efficace.

Zones de moindre résistance cutanée

On utilise un courant BF BI d'intensité liminaire, voire subliminaire. En déplaçant sur la peau une électrode de très petite surface ($\approx 1 \text{ cm}^2$) recouverte d'un

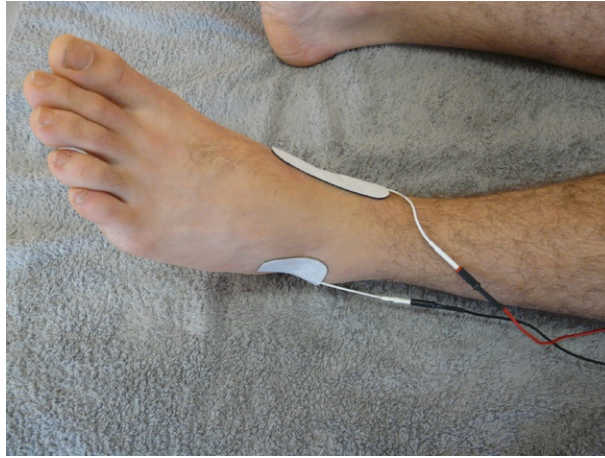


FIGURE 5.8. Entorse du ligament collatéral latéral de la cheville.

- Effets recherchés : Sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : l'électrode active, de petite surface est appliquée sur le site de la douleur, l'électrode indifférente, de plus grande surface, est appliquée sur la face médiale.



FIGURE 5.9. Épicondylalgie latérale.

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : l'électrode active, de petite surface est appliquée sur le site de la douleur; l'électrode indifférente, de plus grande surface, est appliquée autre part.

spongieux, on constate que certaines zones cutanées très ponctuelles présentent une résistance plus faible au courant électrique. Ces zones sur lesquelles le courant est davantage ressenti peuvent correspondre aux points d'émergence des nerfs cutanés ou à des zones où le trajet d'un nerf est superficiel. Les fourmillements produits par le courant BF BI sont ressentis par le patient dans un



FIGURE 5.10. **Sciatalgie L5.**

- Effets recherchés : recherche des zones cutanées de moindre résistance électrique.
- Courant : BF BI.
- Montage : l'électrode active, de petite surface est appliquée sur le point de moindre résistance cutanée qui permet de produire une « paresthésie » sur le site ou sur le trajet de la douleur; l'électrode indifférente, de plus grande surface, est appliquée autre part.

territoire sensitif à distance du lieu de la stimulation, par exemple jusqu'au niveau de la face dorsale du pied et du gros orteil lors de la stimulation de points situés sur le trajet du nerf fibulaire commun (figure 5.10).

On peut également détecter ces zones ponctuelles manuellement. Une électrode est appliquée sur le patient, l'autre électrode est appliquée sur le praticien. Le praticien enduit l'extrémité de son doigt d'un gel conducteur et déplace son doigt sur la peau du patient pour chercher la zone de moindre résistance électrique (figure 5.11). Quand il arrive sur cette zone, le praticien ressent, avant le patient, le fourmillement dû au passage du courant [16].

Pour que le courant BF BI provoque des « paresthésies » dans le territoire douloureux, on applique les électrodes sur les zones ponctuelles de moindre résistance détectées :

- sur des points situés sur le trajet du nerf ulnaire pour produire des « paresthésies » au niveau de la partie médiale de la main et dans les deux derniers doigts (figure 5.12);
- sur des points situés sur le trajet du nerf fibulaire commun pour produire des « paresthésies » jusqu'au niveau de la face dorsale du pied et du gros orteil (figure 5.13).

Perception sensitive du courant

Le courant doit être bien perçu et bien toléré.

Certaines zones dénervées ne permettent pas de percevoir le courant et sont une contre-indication, à moins d'appliquer le courant dans un métamère voisin. Certaines zones hyperalgiques ou allodyniques qui produisent une exacerbation de la douleur lors du passage du courant sont contre-indiquées.

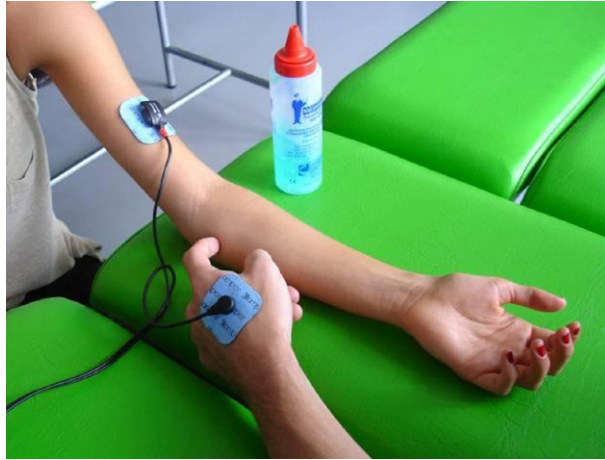


FIGURE 5.11. Névralgie.

- Effets recherchés : recherche des zones cutanées de moindre résistance électrique.
- Courant : BF BI, intensité liminaire ou subliminaire.
- Montage : une électrode est appliquée sur le patient, l'autre sur le praticien. Le doigt du praticien, enduit d'un gel conducteur, se déplace sur la peau du patient pour chercher la zone de moindre résistance électrique.

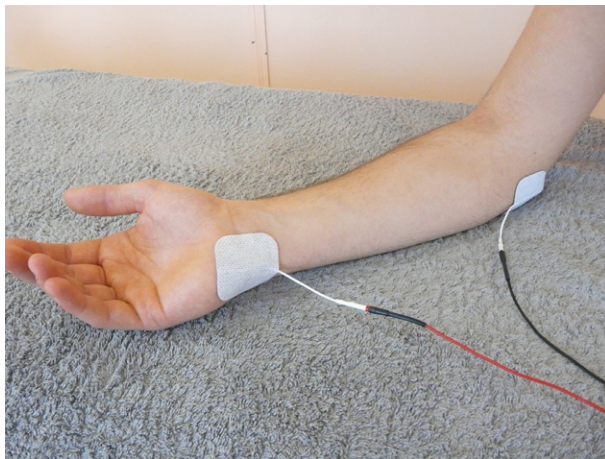


FIGURE 5.12. Névralgie.

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur les points de moindre résistance cutanée qui permettent de produire une « paresthésie » sur le territoire de la douleur.

Intérêt des sensations perçues et conditions d'efficacité

Les « paresthésies », ou sensations de fourmillements ressenties par le patient, produites par la stimulation doivent recouvrir la zone douloureuse spontanée et persister pendant toute la durée de l'application, ce qui contraint à faire varier les paramètres afin de limiter les phénomènes d'accoutumance.



FIGURE 5.13. **Sciatalgie L5.**

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur le trajet de la douleur.

Pendant le passage du courant, la douleur doit être masquée, moins intense ou non perçue [17].

5.3.2.3. Indications : douleurs localisées

Cette modalité de stimulation destinée à mettre en jeu le *gate control* produit une inhibition sensitive segmentaire, c'est-à-dire circonscrite au niveau de l'étage médullaire considéré [18]. Elle est utilisée pour le traitement des douleurs localisées.

Douleurs par excès de nociception localisées

- Entorses, élongations (figures 5.4, 5.8).
- Tendinites aiguës, tendinopathies (figures 5.7, 5.9).
- Arthrites, arthralgies.
- Douleurs musculo-aponévrotiques.
- Névralgies : sciatalgies (figures 5.10, 5.13, 5.14), cruralgies (figure 5.15), meralgies paresthésiques (figure 5.16), névralgies cervico-brachiales (figures 5.5, 5.11, 5.12).
- Stimulation antalgique pratiquée avant et/ou pendant les postures et mobilisations passives, permettant au patient de mieux les tolérer (figure 5.17).

Douleurs neurogènes

- Plaies des nerfs (figure 5.18).
- Lombosciatique opérée.
- Membre fantôme.

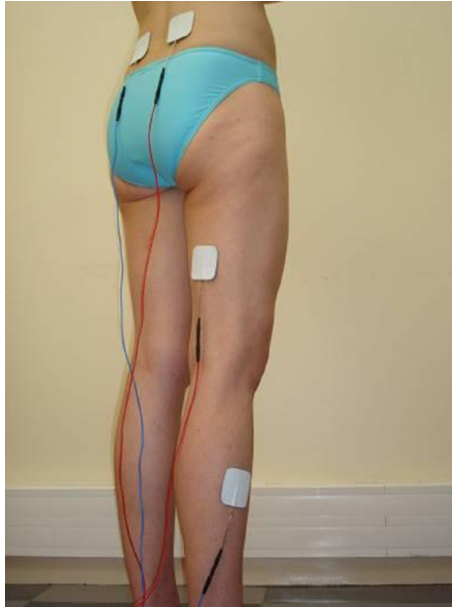


FIGURE 5.14. Sciatalgie L5.

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur le trajet de la douleur.



FIGURE 5.15. Cruralgie.

- Effets recherchés : recherche du nerf fémoral.
- Courant : BF BI.
- Montage : l'électrode active, de petite surface est appliquée sur le point qui permet de produire une « paresthésie » sur le territoire sensitif du nerf; l'électrode indifférente, de plus grande surface, est appliquée autre part.

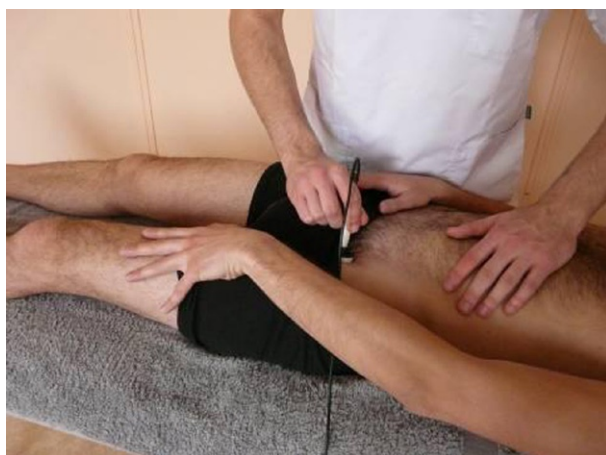


FIGURE 5.16. **Méralgie parasthésique (névralgie fémoro-cutanée).**

- Effets recherchés : recherche du nerf cutané latéral de la cuisse (fémoro-cutané).
- Courant : BF BL.
- Montage : l'électrode active, de petite surface est appliquée sur le point qui permet de produire une « parasthésie » sur le territoire sensitif du nerf; l'électrode indifférente, de plus grande surface, est appliquée autre part.

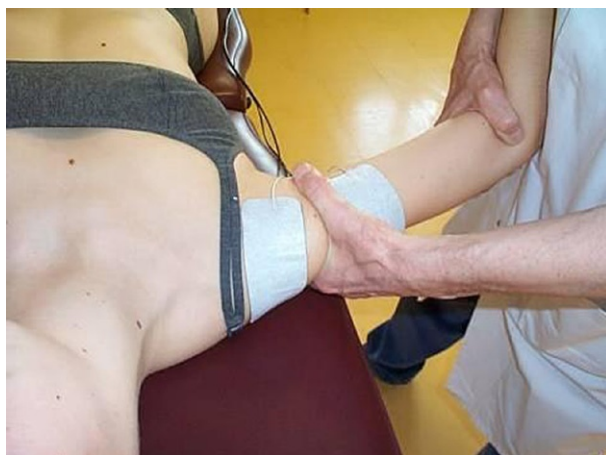


FIGURE 5.17. **Mobilisation passive de l'épaule.**

- Effets recherchés : sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BL.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur le site de la douleur.

5.3.2.4. Douleurs mixtes

Pour le traitement des douleurs mixtes, neurogènes et par excès de nociception, on peut associer l'électrostimulation antalgique par *gate control* et l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines en utilisant des programmes de stimulation à double action qui associent basse fréquence (50 à 100 Hz) et très basse fréquence (< 10 Hz) (cf. 5.5.).

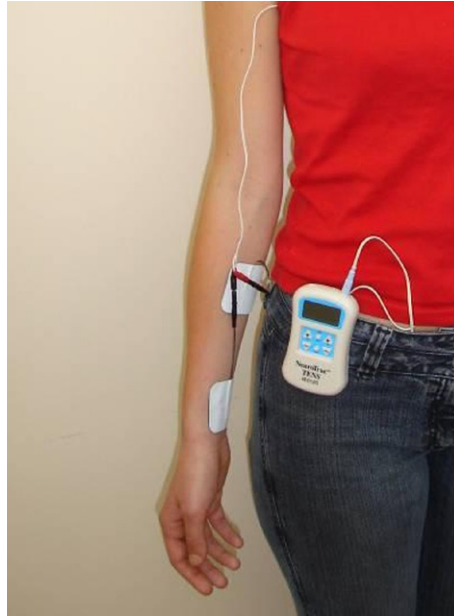


FIGURE 5.18. Douleur après plaie du nerf médian.

- Effets recherchés : masquage de la douleur neurogène, sédation de la douleur par *gate control*.
- Courant : BF BI.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur le trajet de la douleur.

5.3.2.5. Association des courants BF BI et de stimulations vibratoires transcutanées

Plusieurs auteurs proposent de combiner les stimulations vibratoires transcutanées (SVT) et l'électrostimulation antalgique par *gate control* [19,20]. En effet, les fréquences utilisées et le mode d'action sont analogues. Cette association de stimulations électriques et vibratoires à 100 Hz est significativement plus efficace que chacune de ces techniques utilisée seule [21].

5.4. Électrostimulation antalgique par libération d'endorphines

5.4.1. Électrostimulation et endorphines

5.4.1.1. Rôle des endorphines

Les endorphines ou endomorphines sont des morphines endogènes dont l'action antalgique de longue durée est due à leur fixation sur les récepteurs morphiniques des centres de la douleur, notamment au niveau du thalamus.

Le rôle des endorphines, dans la modulation du message nociceptif, se joue à plusieurs niveaux. Il y a, au niveau de la corne postérieure de la moelle, des interneurons sécrétant des endorphines. Ces neurotransmetteurs jouent un

rôle inhibiteur. Les récepteurs endorphiniques peuvent être stimulés par certains courants à effets antalgiques, soit par une stimulation métamérique, soit par une stimulation à distance : ils sont alors probablement activés par certaines voies bulbospinales, descendantes et opioïdiques, dont les effets sont abolis après administration de naloxone.

5.4.1.2. Modifications plasmatiques des β -endorphines : inhibition sensitive suprasegmentaire

Un dosage de β -endorphines a été effectué sur 27 sujets de 18 à 28 ans, avant et après une électrostimulation à la fréquence de 4 Hz, avec une intensité élevée capable de produire des contractions musculaires de type secousses élémentaires, avec de grandes électrodes lombaires (150 cm² x 2), pendant 30 minutes.

Après 30 minutes de stimulation, ces auteurs ont constaté une augmentation de 22 % du taux des β -endorphines par rapport au taux basal. Et 30 minutes après l'arrêt de la stimulation, ces taux étaient encore supérieurs à 20 %.

Cette étude a été réitérée dans des conditions différentes :

- à la fréquence de 50–100 Hz;
- à la fréquence de 4 Hz, mais avec des électrodes de petite surface (6 électrodes, Ø 2 cm).

Dans les deux cas, aucune modification du taux des β -endorphines n'a été observée [22, 23].

Ce travail met en évidence l'intérêt antalgique :

- des très basses fréquences (4 Hz);
- des électrodes de grande surface, absolument indispensables pour obtenir ces résultats.

Cet intérêt est largement confirmé en pratique courante. L'efficacité antalgique est remarquable si toutefois le protocole est strictement respecté. C'est manifestement la technique de physiothérapie antalgique qui donne les meilleurs résultats.

Cette modalité de stimulation destinée à libérer des endorphines produit une inhibition sensitive suprasegmentaire, c'est-à-dire au niveau des centres nerveux supérieurs.

5.4.2. Courants TBF IE, antalgiques par libération d'endorphines

5.4.2.1. Paramètres des impulsions

Courant TBF IE

On utilise un courant de très basse fréquence et d'intensité élevée (TBF IE). Les paramètres des impulsions du courant TBF IE (figure 5.19) et le protocole de stimulation sont adaptés à l'effet recherché [24].

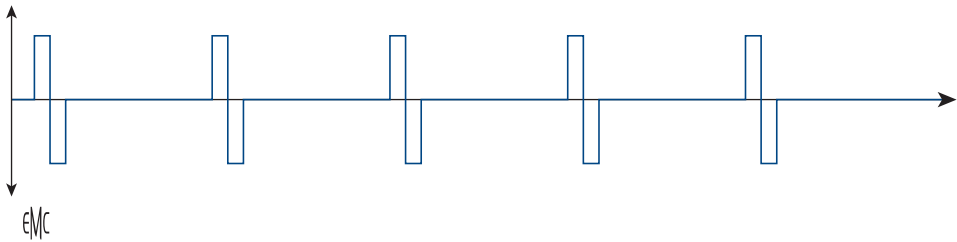


FIGURE 5.19. **Courant TBF IE.**

Courant de très basse fréquence et d'intensité élevée : libération d'endorphines.

Fréquence

La fréquence est inférieure à 10 Hz. Les fréquences les plus utilisées sont comprises entre 2 et 6 Hz. La fréquence de 4 Hz semble bien adaptée pour augmenter le taux des β -endorphines. Les fréquences de 50 à 100 Hz se sont révélées inefficaces à cet effet [22].

Durée d'impulsion

La durée d'impulsion, comprise entre 0,5 et 3 ms, est nettement plus élevée que pour la modalité antalgique par *gate control* afin de stimuler les fibres A δ et C.

Intensité

L'intensité est élevée, réglée progressivement selon la tolérance du patient, pour produire des secousses élémentaires et pour stimuler les fibres A δ et C.

Forme et direction

Les impulsions sont rectangulaires, bidirectionnelles et à moyenne nulle afin de pouvoir pratiquer une séance efficace confortable et sûre d'une durée minimale de 30 voire 40 minutes, sans irritation de la peau et sans risque de brûlure chimique des tissus.

Accoutumance

Étant donné la forte intensité de la stimulation, l'accoutumance est moindre que pour les courants BF BI. Toutefois, pour éviter l'accoutumance, on peut utiliser des volutions et des modulations de durée d'impulsion. On peut également utiliser les courants BIOPP®, bidirectionnels asymétriques inversés, qui produisent une mobilisation de la stimulation d'une électrode à l'autre (figure 2.24) [15].

5.4.2.2. Protocole d'application, critères d'efficacité

Électrodes de grande surface

Les électrodes doivent être :

- de grande surface, égale ou supérieure à 150 cm² chacune ;
- de grande longueur, égale ou supérieure à 20 cm.

Les deux électrodes doivent être de surface égale et de dimensions identiques.

L'utilisation d'électrodes de grande surface est indispensable pour obtenir les effets antalgiques escomptés (figure 5.20). Les électrodes de petite surface ne permettent pas d'obtenir une augmentation du taux plasmatique des β -endorphines [22].

Sachets spongieux

Les électrodes sont recouvertes de sachets spongieux humidifiés de façon homogène puis d'un non-tissé. Les sachets spongieux humidifiés permettent une intensité plus élevée et bien tolérée, la stimulation étant mieux répartie sur toute leur surface, donc plus confortable.

L'utilisation de spongieux exige que les règles d'hygiène soient strictement respectées [25]. Le sachet spongieux est à patient unique, il est nettoyé, désinfecté et rincé entre chaque utilisation. Le non-tissé qui recouvre le sachet spongieux est à usage unique.

Installation des électrodes

Dans la plupart des cas, notamment pour les rachialgies mais aussi pour les douleurs de sièges multiples, les électrodes sont appliquées longitudinalement de chaque côté du rachis, sur les muscles spinaux, afin d'obtenir les contractions musculaires qui sont indispensables à la libération d'endorphines et qui participent également à la sédation des contractures. Selon qu'il s'agit d'une lom-



FIGURE 5.20. Lombalgie, rachialgies, douleurs de sièges multiples, fibromyalgie.

- Effets recherchés : sédation de la douleur par libération d'endorphines, relâchement des contractures.
- Courant : TBF IE.
- Montage : les électrodes de grande surface et de grande longueur sont placées sur les muscles spinaux. Le patient est installé sur les électrodes afin que le poids de son corps assure un contact homogène sur toute la superficie des électrodes.

balgie, d'une dorsalgie ou d'une cervicalgie, les électrodes seront placées plus ou moins haut, le plus près possible de la zone douloureuse et des contractures.

Si le patient ne supporte pas la stimulation, par exemple au niveau du rachis cervical, le praticien redescend les électrodes au niveau du rachis dorsal, voire dorsolombaire. L'inhibition sensitive étant suprasegmentaire, les électrodes ne doivent pas obligatoirement être appliquées sur le site de la douleur. Néanmoins, l'application des électrodes sur les muscles contracturés, si toutefois elle est tolérée par le patient, permet d'obtenir de surcroît une action sédative sur les contractures.

Dans la mesure du possible, il est toujours préférable d'installer le patient sur les électrodes plutôt que les électrodes sur le patient. Les électrodes sont posées sur la table et le patient s'allonge sur les électrodes en décubitus dorsal (figure 5.20).

Cette installation présente de nombreux avantages :

- le décubitus dorsal est une position plus confortable que le décubitus ventral ;
- il est inutile de mettre des sangles ;
- et surtout, le poids du patient favorise le contact sur toute la surface de l'électrode afin que la stimulation soit mieux répartie, donc mieux tolérée [24].

Les électrodes peuvent aussi être appliquées sur le site de la douleur ou une paire d'électrodes appliquée sur le rachis et une autre paire d'électrodes appliquée sur le site de la douleur.

Perception sensitive du courant

Le courant doit être perçu intensément, mais non douloureux, sur toute la superficie des électrodes de grande surface, ce qui présuppose l'emploi d'un générateur de puissance suffisante.

Les zones dénervées ne permettent pas de percevoir le courant et sont contre-indiquées.

Si la zone de stimulation est hyperalgique, il faut déplacer légèrement les électrodes sur une zone où la stimulation est mieux tolérée.

Intérêt des contractions musculaires

Les contractions musculaires de type secousses élémentaires produites par l'intensité élevée de la stimulation doivent être apparentes et nettement perceptibles.

Ces contractions sont indispensables à la réussite du traitement antalgique et ont une double action, générale et locale :

- leur absence indiquerait que l'intensité est insuffisante pour permettre l'augmentation du taux plasmatique des β -endorphines ;
- elles ont un effet local de sédation des contractures.

Fin de séance

À l'arrêt du traitement, c'est-à-dire après 30 à 40 minutes de stimulation, le patient doit ressentir une impression de détente, de quiétude et de bien-être.

Évaluation de la douleur

La douleur doit être évaluée immédiatement avant et après la séance. L'effet antalgique doit être important et immédiat. Le cas échéant, notamment si les électrodes ont été mal positionnées sur une zone sensible, il peut se produire une légère exacerbation de la douleur en fin de séance. Dans ce cas, il faut attendre quelques minutes afin que cet effet indésirable s'estompe pour laisser apparaître l'effet antalgique. Puis, on évalue la douleur résiduelle.

Conditions essentielles d'efficacité

L'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines est d'une efficacité remarquable si toutefois on respecte :

- les paramètres des impulsions précisés ci-dessus, notamment la durée d'impulsion ;
- les modalités d'application et notamment la surface de chaque électrode qui doit être égale ou supérieure à 150 cm².

5.4.2.3. Indications : douleurs diffuses

Cette modalité de stimulation destinée à libérer des endorphines produit une inhibition sensitive suprasgmentaire, donc plus globale. Elle est utilisée pour le traitement des douleurs diffuses.

Douleurs par excès de nociception diffuses

- Rachialgies : lombalgies ([figure 5.20](#)), dorsalgies, cervicalgies.
- Douleurs des arthroses et douleurs post-traumatiques accompagnées de contractures satellites ([figure 5.21](#)).
- Séquelles fonctionnelles douloureuses des symphyses pleurales ([figure 5.22](#)).
- Douleurs pariétales postopératoires diffuses.
- Douleurs de sièges multiples.

Fibromyalgie

Cette modalité de stimulation est destinée à traiter les douleurs diffuses et généralisées de la fibromyalgie ([figure 5.20](#)).

On peut y ajouter une stimulation spécifique très localisée des points gâchettes décrite ci-dessous (cf. 5.6.2.3).

5.4.2.4. Douleurs mixtes

Pour le traitement des douleurs mixtes, neurogènes et par excès de nociception, on peut associer l'électrostimulation antalgique par *gate control* et l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines en utilisant des programmes de stimulation à double action qui associent basse fréquence (50 à 100 Hz) et très basse fréquence (< 10 Hz) (cf. 5.5).

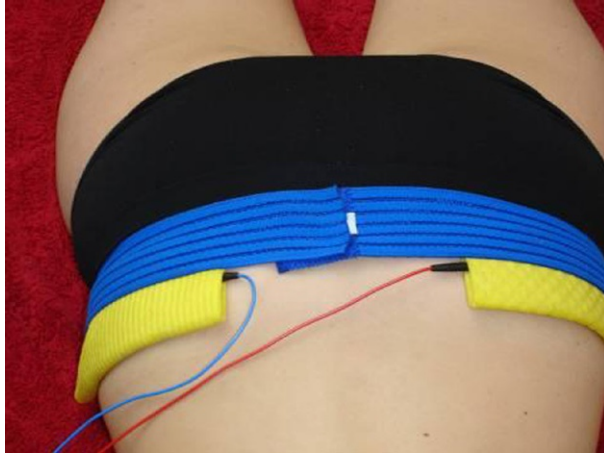


FIGURE 5.21. Douleurs accompagnées de contractures satellites.

- Effets recherchés : sédation de la douleur par libération d'endorphines, relâchement des contractures.
- Courant : TBF IE.
- Montage : les électrodes de grande surface sont placées sur les muscles contracturés.



FIGURE 5.22. Séquelles fonctionnelles douloureuses des symphyses pleurales.

- Effets recherchés : 1. Effet antalgique par libération d'endorphines. 2. Assouplissement de l'hémithorax destiné à faciliter la rééducation respiratoire.
- Courant : TBF IE. La stimulation s'effectuant sur la cage thoracique, la fréquence ne sera pas supérieure à 2 Hz.
- Montage : Les électrodes de grande surface et de grande longueur sont placées sur la base de l'hémithorax concerné.

5.5. Électrostimulation antalgique à double action

5.5.1. *Gate control* et endorphines

5.5.1.1. Douleurs complexes

Certaines douleurs peuvent relever des deux modalités de traitement antalgique, par *gate control* et par libération d'endorphines. Dans ces cas, on associe un effet antalgique direct localisé sous l'électrode et un effet antalgique plus général.

5.5.1.2. Courants composés BF BI et TBF IE : électrostimulation antalgique combinée

Pour associer les effets des deux modalités de stimulation, *gate control* et libération d'endorphines, il est possible de combiner des courants de basse fréquence et de très basse fréquence de différentes manières :

- soit en effectuant des séquences récurrentes de TBF IE et de BF BI (figure 5.23) ; dans ce cas, les paramètres des impulsions (fréquence, durée et intensité) sont identiques à ceux de chacun de ces deux courants pendant leur séquence, par exemple une séquence à 4 Hz, 1 ms et intensité élevée, puis une séquence à 60 Hz, 100 μ s et intensité faible ;
- soit en réalisant une wobulation dont la plage va de la très basse fréquence à la basse fréquence et vice versa, l'intensité et la durée d'impulsion variant inversement à la fréquence ;
- soit en procédant à une stimulation concomitante de TBF IE et de BF BI avec deux générateurs distincts ;
- soit en appliquant des courants de stimulation polyvalente, courants composites à double fréquence (figures 2.28 à 2.30).

5.5.2. Courants de stimulation polyvalente, BF BI et TBF IE

5.5.2.1. Paramètres des impulsions

Courant STIPL® : BF BI et TBF IE

Ces courants composites à double fréquence, à double durée d'impulsion et à double intensité permettent d'appliquer simultanément les deux modalités de stimulation, antalgique par *gate control* et antalgique par libération d'endorphines (figures 2.28 à 2.30) [26].

Fréquence, durée d'impulsion, intensité

On peut donner comme exemple un courant de 4 Hz, 1 ms et d'intensité élevée dans lequel s'intercalent des impulsions de 60 Hz, 100 μ s et d'intensité faible. Tous ces paramètres peuvent varier dans les limites qui ont été définies pour les courants BF BI et TBF IE.

L'intensité du courant de 4 Hz est élevée, réglée progressivement selon la tolérance du patient, produisant des secousses élémentaires, et aussi afin de stimuler les fibres A δ et C.

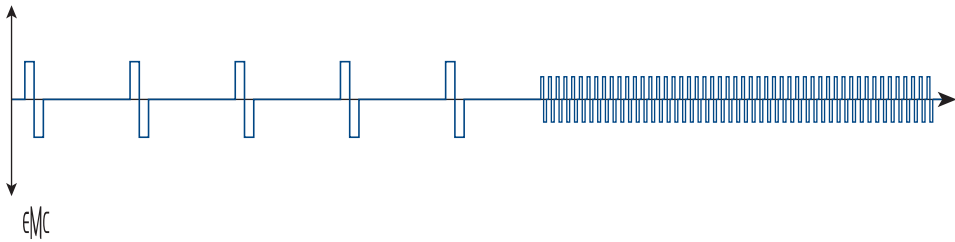


FIGURE 5.23. Courants composés.
Séquences récurrentes de TBF IE et de BF BI.

Forme et direction

Les impulsions sont rectangulaires, bidirectionnelles et à moyenne nulle afin de pouvoir pratiquer une séance efficace confortable et sûre d'une durée minimale de 30 voire 40 minutes, sans risque de brûlure chimique des tissus.

5.5.2.2. Protocole d'application, critères d'efficacité

Le protocole d'application est intégralement identique au protocole d'application des courants TBF IE, antalgiques par libération d'endorphines. Les critères d'efficacité sont également identiques. Il semble qu'ils permettraient d'évaluer un résultat antalgique au moins égal voire supérieur.

5.5.2.3. Indications : douleurs mixtes

Cette modalité de stimulation destinée à mettre en jeu le *gate control* et à libérer des endorphines produit une inhibition sensitive segmentaire et suprasegmentaire. Elle peut être utilisée pour toutes les douleurs diffuses énumérées au paragraphe précédent « courants TBF IE, antalgiques par libération d'endorphines » en y ajoutant un effet sédatif local.

Cependant, cette modalité de stimulation est essentiellement indiquée pour le traitement des douleurs mixtes :

- rachialgies accompagnées de névralgies (lombo-sciatalgies, névralgies cervico-brachiales), douleurs localisées accompagnées de douleurs satellites;
- syndrome douloureux régional complexe (SDRC), anciennement appelé algodystrophie;
- douleurs de mécanismes générateurs associés, d'origine neurogène et par excès de nociception.

5.6. Électrostimulation antalgique de très basse fréquence

5.6.1. Points gâchettes et électroacupuncture

Les courants de très basse fréquence, en général de 2 à 4 Hz, générés par des appareils portatifs de faible puissance sont également utilisés avec des impulsions de très brève durée et des petites électrodes.

Cette modalité de stimulation produit des secousses élémentaires et permet d'obtenir des résultats antalgiques réels, notamment sur les contractures et les points gâchettes ou *trigger points*. Néanmoins, on peut s'interroger sur les mécanismes de cette antalgie et être perplexe sur la libération de substances morphinomimétiques vu la brève durée des impulsions, la très faible surface des électrodes et la faible puissance des appareils.

5.6.1.1. Électroacupuncture

Cette modalité de stimulation est également utilisée pour l'électroacupuncture, stimulation électrique des points d'acupuncture qui, d'après les dosages effectués, ne modifie pas les taux plasmatiques des β -endorphines [27].

Un essai contrôlé randomisé montre que l'acupuncture et l'électroacupuncture améliorent significativement la douleur de la gonarthrose, et confirme que ces traitements ne modifient pas les taux plasmatiques des β -endorphines [28].

Un essai contrôlé randomisé en simple aveugle a été effectué pour comparer l'efficacité relative entre l'acupuncture manuelle et l'électroacupuncture avec une fréquence de stimulation de 4 Hz sur 20 patients présentant un tennis-elbow chronique. Après six séances de 20 minutes pendant une durée de deux semaines, des différences significatives ont été observées entre les groupes. Cette étude a montré que l'efficacité de l'électroacupuncture est supérieure à l'acupuncture manuelle en ce qui concerne le soulagement de la douleur (échelle visuelle analogique) et l'amélioration de la force musculaire [29].

En revanche, la validité des études sur l'électroacupuncture est largement discutée. Bien que des résultats d'études soutiennent qu'elle peut réduire la douleur du genou dans la polyarthrite rhumatoïde, une revue *Cochrane* émet des réserves sur la qualité des essais et écarte sa recommandation [30].

5.6.1.2. Très basse fréquence et sérotonine

La sécrétion de sérotonine pourrait produire un effet antalgique. La NSET dite conventionnelle (100 Hz), la NSET de très basse fréquence (4 Hz) et la NSET placebo ont été appliquées sur des articulations inflammatoires de rats pendant 20 minutes avec une durée d'impulsion de 100 μ s. Des prélèvements ont été effectués au niveau de la corne postérieure de la moelle épinière. La très basse fréquence (4 Hz) a significativement augmenté les concentrations de sérotonine pendant et immédiatement après le traitement. La fréquence de 100 Hz n'a produit aucun changement des concentrations de sérotonine. Il n'y a eu aucune modification de la noradrénaline avec aucune des deux fréquences. Les auteurs concluent que les très basses fréquences produisent un effet analgésiant par l'intermédiaire d'une sécrétion médullaire de sérotonine [31].

5.6.1.3. Points gâchettes

Après une stimulation du trapèze supérieur avec des salves de TENS en modalité de type *burst* (durée des impulsions : 200 μ s, fréquence des impulsions : 100 Hz; fréquence des salves : 2 Hz) pendant 10 minutes, les résultats montrent une augmentation faible, mais statistiquement significative, du seuil de sensibilité à la pression sur les points gâchettes et des amplitudes de rotation du rachis cervical [32].

Selon une autre étude, dans le traitement des points gâchettes des trapèzes supérieurs, la stimulation électrique donne des résultats significativement supérieurs au placebo uniquement pour la réduction de la douleur (échelle numérique), mais on n'observe pas de diminution significative de la douleur à la pression ni d'augmentation significative de l'inclinaison latérale du rachis cervical du côté opposé au point gâchette [33].

5.6.1.4. Très basse fréquence : deux modalités différentes

L'électrostimulation antalgique de très basse fréquence génère donc deux modalités de stimulation bien distinctes mais qui sont souvent assimilées ou amalgamées : l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines d'une part, l'électrostimulation des points gâchettes et l'électroacupuncture d'autre part. Il convient de les différencier clairement selon la nature de la douleur et selon les effets recherchés, et surtout de ne pas confondre les protocoles d'application, notamment en ce qui concerne la surface des électrodes : grande surface pour l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines, petite surface pour l'électrostimulation des points gâchettes et l'électroacupuncture.

5.6.2. Courants de stimulation TBF IE

5.6.2.1. Paramètres des impulsions

Courant TBF IE

On utilise un courant de très basse fréquence et d'intensité relativement élevée (TBF IE). L'aspect de ce courant est identique au courant TBF IE antalgique par libération d'endorphines, mais la durée d'impulsion est plus brève (figure 5.19).

Fréquence

La fréquence est inférieure à 10 Hz. Les fréquences les plus utilisées sont comprises entre 2 et 8 Hz.

Certains appareils portatifs donnent des salves appelées *burst* dont la fréquence est en général de 2 ou 4 Hz et qui sont elles-mêmes constituées d'impulsions dont la fréquence est d'environ 100 Hz.

Durée d'impulsion

La durée d'impulsion est en général comprise entre 0,1 et 0,3 ms.

Intensité

L'intensité est élevée, réglée progressivement selon la tolérance du patient, produisant des secousses élémentaires.

Forme et direction

Les impulsions sont rectangulaires, bidirectionnelles et à moyenne nulle afin de pouvoir pratiquer une séance efficace confortable et sûre d'une durée de 20 à 30 minutes en cas d'application au cours d'une séance de rééducation, ou de 2 à 10 heures par jour en cas de traitement ambulatoire avec un stimulateur portatif et ce sans risque de brûlure chimique.

5.6.2.2. Protocole d'application, critères d'efficacité

Électrodes

Les électrodes, en général de faible surface, sont appliquées sur les points douloureux, les points gâchettes ou les points d'acupuncture (figure 5.24).

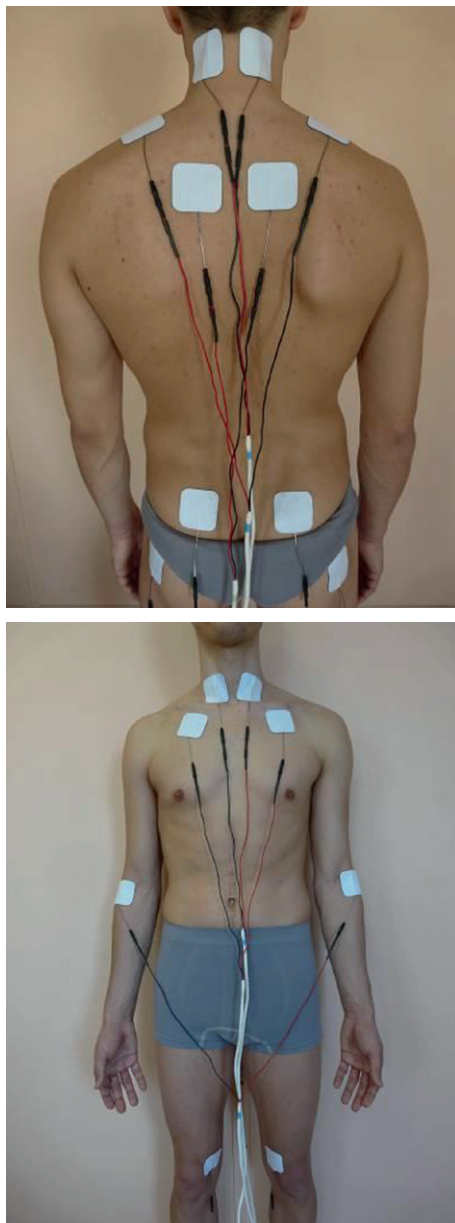


FIGURE 5.24. Points gâchettes de la fibromyalgie.

- Effets recherchés : sédation de la douleur et des contractures.
- Courant : TBF IE.
- Montage : les électrodes de même surface sont appliquées sur les points gâchettes.

Certaines zones dénervées ne permettent pas de percevoir le courant et sont une contre-indication, à moins d'appliquer le courant dans un métamère voisin.

Certaines zones hyperalgiques ou allodyniques qui produisent une exacerbation de la douleur lors du passage du courant sont contre-indiquées.

Perception sensitive du courant

Le courant doit être bien perçu, mais non douloureux.

Les zones dénervées ne permettent pas de percevoir le courant et sont contre-indiquées.

Si la zone de stimulation est hyperalgique, il faut déplacer légèrement les électrodes sur une zone où la stimulation est mieux tolérée.

Intérêt des contractions musculaires

Les contractions musculaires de type secousses élémentaires produites par l'intensité élevée de la stimulation doivent être apparentes et nettement perceptibles. Elles ont un effet local de sédation des contractures.

5.6.2.3. Indications

Cette modalité est utilisée pour la stimulation de zones ponctuelles très précises :

- points douloureux localisés, particulièrement s'ils sont accompagnés de contractures musculaires ;
- points gâchettes ou *trigger points*, notamment ceux qui sont décrits dans la fibromyalgie ([figure 5.24](#)) ;
- points d'acupuncture.

5.7. Électrostimulation antalgique et rééducation

5.7.1. Rééducation et douleur

L'électrostimulation antalgique facilite la rééducation fonctionnelle et optimise ses résultats. De plus, elle concourt à limiter l'anxiété d'anticipation qui accompagne certaines séances de kinésithérapie.

Les techniques d'électrostimulation antalgique doivent être appliquées en position corrigée afin de ne pas masquer la cause de la douleur et afin de ne pas conforter le patient dans son attitude vicieuse.

Il faut également tenir compte du rôle préventif de la douleur. En effet, les systèmes sensoriels informent le cerveau sur l'état de l'environnement et du milieu intérieur de l'organisme. Parmi ceux-ci, la nociception et son expression la plus élaborée sur le plan cognitif, la douleur, constituent un signal d'alarme qui protège l'organisme : elles déclenchent des réactions qui ont pour finalité de diminuer la cause qui les a suscitées et ainsi d'en limiter les conséquences [34]. L'attitude antalgique, réaction fréquemment observée, doit être considérée comme un élément important d'orientation de la rééducation fonctionnelle. Les techniques d'éducation posturale et d'électrostimulation antalgique sont

complémentaires. En aucun cas les techniques d'électrostimulation ne doivent se substituer aux techniques orthopédiques ou éducatives.

Enfin, il faut considérer l'ensemble des composantes de la douleur et ne pas se limiter à son traitement physiothérapique, notamment en proposant des thérapies comportementales de reconditionnement à l'effort qui font intervenir des techniques de kinésithérapie spécifiques [35].

5.7.2. Évaluation de la douleur

La douleur doit être évaluée par le patient afin de mesurer l'efficacité de la stimulation. À cet effet, on peut utiliser l'échelle numérique ou l'échelle visuelle analogique.

L'évaluation de la douleur doit être pratiquée immédiatement avant et immédiatement après l'électrostimulation antalgique afin de ne considérer que son seul résultat et d'écarter les effets des autres techniques de rééducation et des autres facteurs de sédation de la douleur (guérison spontanée, conseils d'hygiène de vie, médicaments...). L'évaluation de la douleur peut aussi être pratiquée une heure après l'électrostimulation antalgique afin d'apprécier la durée de son effet.

Les conditions d'exploration de la douleur (position du sujet, amplitude articulaire...) doivent être rigoureusement identiques avant et après le traitement. À défaut, les résultats de l'évaluation ne seraient pas comparables. Une fiche d'évaluation de la douleur récapitule l'ensemble des résultats obtenus au cours de la séance (figure 5.25).

5.7.3. Pour un meilleur résultat

La durée des effets antalgiques dépend de nombreux facteurs parmi lesquels les moyens mis en œuvre : rééducation fonctionnelle et proprioceptive, éducation posturale, prophylaxie, ergonomie...

Les centres spécialisés de traitement de la douleur et certains centres de rééducation peuvent proposer au patient de bénéficier d'une neurostimulation ambulatoire, pendant 2 à 10 heures par jour, qui facilite la reprise d'activités antérieures avec un minimum de douleur [18, 36].

Il faut insister auprès des patients pour que le soulagement obtenu pendant l'électrostimulation soit mis à profit pour s'engager dans des activités qui n'auraient pas été possibles du fait de la douleur.

Le patient doit développer une méthode active d'autocontrôle de sa douleur (relaxation, respiration profonde, correction de l'attitude vicieuse...) et ne pas se confiner dans une attitude passive basée sur la seule électrostimulation.

Nom :		Diagnostic :	
Prénom :		Douleur :	
Date :		Traitement :	
ÉVALUATION DE LA DOULEUR	AMPLITUDE articulaire et POSITION du sujet pendant l'examen	DOULEUR : de 0 à 10	
		Immédiatement AVANT traitement	Immédiatement APRÈS traitement
01. SPONTANÉE			
02. PALPATION			
03. FLEXION			
04. EXTENSION			
05. INCLIN. LAT. DROITE ou ABDUCTION			
06. INCLIN. LAT. GAUCHE ou ADDUCTION			
07. ROTATION DROITE ou EXT. ou SUPIN.			
08. ROTATION GAUCHE ou INT. ou PRON.			
09. POSITIONS :			
10. MVMTS COMBINÉS :			
TOTAL			

FIGURE 5.25. Fiche d'évaluation de la douleur.

La douleur est évaluée par 10 items notés de 0 à 10, soit un total de 100 lorsque les 10 items ont été explorés.

5.8. Effets cliniques

5.8.1. Objectif et méthode

L'électrostimulation antalgique est-elle efficace? Afin d'évaluer les effets de l'électrostimulation sur la douleur, une revue de la littérature a été effectuée à partir de la base de données PEDro et PubMed jusqu'à mars 2012 avec les mots-clés suivants : *pain*, *electrotherapy*, *tens*, *transcutaneous electrical nerve stimulation*, et à partir de publications françaises [37].

5.8.2. Effets sur la sensibilité

5.8.2.1. Neurostimulation et seuil de perception sensitive

La neurostimulation électrique transcutanée (NSET) appliquée sur le nerf médian de 16 volontaires pendant 10 minutes à 100 Hz avec une intensité produisant un picotement doux dans la main, élève les seuils de perception sensitifs sur l'éminence thénar ipsilatérale plus que sur l'éminence thénar controlatérale. Cet effet rapide et de courte durée est compatible avec les résultats des études sur l'animal et suggère un mécanisme central segmentaire. Les différences sont moins marquées lorsqu'on utilise des stimuli thermiques [17].

Les différences de perception de la douleur entre les hommes et les femmes sont fréquemment évoquées. Une étude a cherché à analyser les différences de réponse aux méthodes non pharmacologiques de traitement de la douleur selon le sexe. Les modifications du seuil de perception sensitive et du seuil de la douleur secondaires à la NSET dite conventionnelle pendant 20 minutes ont été analysées chez 58 sujets sains (29 femmes et 29 hommes). Tous les sujets, indépendamment du sexe, ont répondu par une augmentation significative du seuil de perception sensitive. En revanche, seules les femmes ont répondu par une augmentation significative du seuil de la douleur. La variation individuelle des réponses était plus importante dans le groupe de sujets féminins [38].

5.8.3. Effets sur la douleur

5.8.3.1. Douleur aiguë, douleur chronique

Une revue *Cochrane* sur l'intérêt de la NSET dans le traitement de la douleur aiguë n'a pas permis d'extraire suffisamment de données dans les études incluses pour faire une conclusion [39].

L'efficacité de la NSET sur la douleur chronique est peu concluante selon une revue de la littérature excluant la céphalée, la migraine, la dysménorrhée et la douleur du cancer. Les essais publiés et analysés dans cette revue ne fournissent pas d'information sur les paramètres de stimulation les plus plausibles pour obtenir un soulagement optimal de la douleur, ils ne répondent pas non plus aux interrogations sur l'efficacité antalgique à long terme [40, 41].

Un essai contrôlé randomisé *versus* placebo en double aveugle a évalué l'efficacité de la NSET dite conventionnelle appliquée pendant une durée de dix jours sur 163 patients atteints de douleur chronique. L'intensité de la douleur (échelle visuelle analogique) ainsi que la satisfaction du patient (oui ou non) ont été relevées. La proportion de patients satisfaits du résultat était significativement plus importante en faveur de la NSET comparativement au placebo (58 % *versus* 42,7 %, $p=0,05$). Cependant, les mesures de l'intensité de la douleur étaient semblables dans les deux groupes. Seuls les patients satisfaits de leur traitement quel qu'il soit, réel ou placebo, montraient une diminution progressive et identique de l'intensité de leur douleur au fil des séances [42].

Une étude des résultats à long terme de la NSET, effectuée sur 165 patients atteints de douleur chronique, montre qu'après un an, 30 % des patients du

groupe stimulé et 23 % des patients du groupe placebo ont été satisfaits du résultat. Ces patients ont constaté une amélioration moyenne de 62,7 %, mais il n'y avait pas de différence statistiquement significative entre les deux groupes [43].

Les résultats d'une méta-analyse incluant 38 études ont montré une diminution significative de la douleur avec la NSET ($p < 0,0005$). Les auteurs concluent que la NSET est une modalité de traitement efficace pour la douleur musculo-squelettique chronique [44].

Il y a trop peu d'essais contrôlés pour juger de l'efficacité de la NSET sur les douleurs neuropathiques [45]. Cependant, la NSET pourrait être envisagée pour le traitement de la douleur neuropathique des traumatisés médullaires [46] et des neuropathies diabétiques [47].

Une nouvelle technique d'électrostimulation crânienne par application une heure par jour pendant 21 jours d'une petite quantité de courant via des électrodes-clips qui pincent les oreilles a fait l'objet d'un essai contrôlé randomisé sur des patients présentant des douleurs neuropathiques après traumatisme médullaire. Les résultats montrent une amélioration de la douleur qui est faible, mais statistiquement significative ($p < 0,05$) [48].

5.8.3.2. Lombalgie chronique, cervicalgie

Une étude contrôlée randomisée a évalué les effets antalgiques de la NSET sur la lombalgie chronique chez 90 patients de 21 à 78 ans présentant une sclérose en plaques. Les participants ont été répartis en trois groupes : un groupe utilisant la NSET de très basse fréquence (4Hz, 200 microsecondes), un groupe utilisant la NSET dite conventionnelle (110 Hz, 200 microsecondes) et un groupe utilisant un placebo. L'application a duré pendant 45 minutes, un minimum de deux fois par jour, pendant six semaines. Une évaluation de la douleur, de la mobilité, de l'incapacité et de la qualité de vie a été effectuée aux semaines 1, 6, 10 et 32. Les auteurs concluent que les effets observés, bien que n'étant pas statistiquement significatifs, peuvent inciter à la prescription et à l'utilisation de NSET [49].

Une revue *Cochrane* sur quatre essais contrôlés randomisés totalisant 585 patients n'a pas mis en évidence l'intérêt de la NSET dans le traitement de la lombalgie chronique, quelles que soient les fréquences et intensités utilisées. L'hétérogénéité clinique a empêché de pratiquer une méta-analyse. Les auteurs ont noté des irritations mineures de la peau à l'emplacement des électrodes [50].

Un essai contrôlé randomisé multicentrique en simple aveugle a été effectué dans 21 centres de la douleur, incluant 236 patients adultes présentant une lombalgie chronique avec ou sans radiculaire. Dans le groupe traité par la NSET active, les résultats montrent une amélioration significative de la douleur lombaire seule ou de la douleur lombaire et radiculaire, mais il n'y a pas eu d'amélioration sur le plan fonctionnel [51].

Une revue *Cochrane* de 18 essais contrôlés randomisés incluant 1 043 patients atteints de cervicalgie n'a pas permis de mettre en évidence l'efficacité antalgique de différentes modalités d'électrothérapie. Cependant, en ce qui concerne la NSET, les auteurs concluent qu'elle pourrait être plus efficace que le placebo [52].

5.8.3.3. Polyarthrite rhumatoïde et arthrose

Les effets de la NSET pour le traitement des douleurs de la main atteinte de polyarthrite rhumatoïde ont été étudiés. Comparée au placebo, la NSET de très basse fréquence (< 10 Hz, à raison de 15 minutes pendant trois semaines) améliore la force musculaire et diminue significativement la douleur au repos, mais pas la douleur à l'effort. En revanche, la NSET de basse fréquence dite conventionnelle (50 à 100 Hz et une durée de traitement de 20 minutes) n'a mis en évidence aucune différence significative [53].

Une étude *Cochrane* incluant 18 essais et 813 patients conclut qu'on ne peut pas confirmer que l'électrostimulation transcutanée est efficace pour soulager la douleur de la gonarthrose [54].

5.8.3.4. Douleurs post-traumatiques

Quatre essais incluant 170 sujets présentant une douleur post-traumatique de l'épaule montrent que la NSET n'a pas amélioré la douleur, mais qu'elle a amélioré significativement les amplitudes articulaires [55].

La NSET est plus efficace que les AINS ou le placebo pour diminuer la douleur chez des patients présentant des fractures de côte mineures [56].

Une méta-analyse relative aux effets de la NSET sur la douleur postopératoire montre une réduction significative de la prise d'antalgiques. Les auteurs précisent que l'intensité doit être forte. La fréquence moyenne optimale est de 85 Hz, une seule étude a utilisé la fréquence de 2 Hz [57].

5.8.3.5. Chirurgie thoracique

Une étude contrôlée randomisée a été réalisée sur 45 patients de 41 à 74 ans ayant subi une chirurgie cardiaque (23 patients traités par NSET et 22 par placebo). Le traitement a été effectué pendant quatre heures sur le troisième jour postopératoire. Les résultats ont été mesurés avec l'échelle visuelle analogique, le spiromètre et l'électromyographie de surface. Dans le groupe stimulé, on observe une réduction significative de la douleur postopératoire spontanée et lors de la toux, une amélioration de la mécanique ventilatoire et des augmentations du volume courant et de la capacité vitale ($p < 0,05$). De plus, l'activité électrique des muscles trapèzes et grand pectoraux a été augmentée ($p < 0,05$) [58].

Une précédente étude contrôlée randomisée avait montré que la NSET est efficace après chirurgie thoracique uniquement quand la douleur postopératoire est douce à modérée, mais qu'elle n'était pas efficace lorsque la douleur est intense [59].

La NSET soulage la douleur après thoracotomie et réduit la prise d'antalgiques [60]. Ces résultats sont confirmés par une nouvelle étude qui ajoute que, de surcroît, la neurostimulation diminue les taux de cytokine et a des effets positifs sur la fonction de ventilation pulmonaire [61].

Sur neuf études sélectionnées, sept ont montré que la NSET est efficace pour soulager la douleur postopératoire après thoracotomie [62].

5.8.3.6. Douleur du cancer

Des revues *Cochrane* n'ont montré aucune différence significative entre la NSET et le placebo dans le traitement de la douleur du cancer de l'adulte, notamment chez des femmes présentant une douleur chronique secondaire au traitement du cancer du sein et chez des patients en soins palliatifs [63, 64].

Une nouvelle revue *Cochrane* sur le traitement de la douleur liée au cancer de l'adulte par la NSET conclut que les résultats restent peu probants en raison d'un manque d'essais contrôlés randomisés appropriés [65].

5.8.4. Discussion et conclusion

Les résultats des différentes études destinées à valider la NSET sont trop divergents et parfois mêmes contradictoires pour qu'on puisse se prononcer clairement. Il n'y a aucune certitude scientifique pour rejeter cette technique et on manque d'arguments significatifs pour la considérer comme véritablement validée [66].

Il est intéressant de noter la satisfaction des patients, y compris dans des études où l'intensité de la douleur est identique après traitement ou placebo [42]. La diminution, voire la disparition, de la douleur pendant la stimulation peut expliquer cette satisfaction [17]. L'innocuité de la technique, si toutefois les contre-indications sont respectées, et les résultats constatés par certains auteurs ont amené à recommander la NSET, même en l'absence de résultats statistiquement significatifs [49].

Étant donné les effets remarquables constatés en pratique courante, on ne peut que recommander l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines [22, 24], si toutefois elle est appliquée selon un protocole très rigoureux, c'est-à-dire avec des électrodes de grande surface et de grande longueur et avec les paramètres de stimulation adaptés décrits ci-dessus, ce qui suppose un générateur de puissance suffisante. Et il faut confirmer l'efficacité de cette technique par des études complémentaires.

La sédation de la douleur est la première demande du patient et doit être le premier objectif du praticien. L'électrostimulation antalgique répond à cette demande et y participe amplement, permettant ainsi de pratiquer la rééducation dans de meilleures conditions de confort, donc d'efficacité.

Références

- [1] Brasseur L, Chauvin M, Guilbaud G. Douleurs. Paris : Maloine; 1997.
- [2] Queneau P, Ostermann G. Le médecin, le malade et la douleur. Paris : Masson; 2004.
- [3] Crépon F, Doubrère J-F, Vanderthommen M, Castel-Kremer E, Cadet G. Électrothérapie. Électrostimulation. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-145-A-10, 2007.
- [4] Boureau F, Willer JC. La douleur. Exploration, traitement par neurostimulation et électro-acupuncture. Paris : Masson; 1982.
- [5] Travell JG, Simons DG. Douleurs et troubles fonctionnels myofasciaux. Traité des points-détente musculaires, 2 tomes. Bruxelles : Ed Haug international; 1993.
- [6] Le Bars D. The whole body receptive field of dorsal horn multireceptive neurones. Brain Res Brain Res Rev 2002 Oct; 40(1-3) : 29-44.

- [7] Melzack R, Wall PD. Pain mechanism : a new theory. *Science* 1965 ; 150 : 971–9.
- [8] Wall PD. The gate control theory of pain mechanisms : a re-examination and a restatement. *Brain* 1978 ; 101 : 1–18.
- [9] Berthelin F. L'électrostimulation à visée antalgique. *Kinésithér Scient* 1992 ; 310 : 11–4.
- [10] Berthelin F. La stimulation électrique transcutanée. *Technique d'analgésie articulaire. Kinésithér Scient* 1992 ; 310 : 15–20.
- [11] Crépon F. Électrostimulation antalgique par *gate control*. *Kinésithér Scient* 2009 ; 501 : 55–6.
- [12] Bruxelles J. La stimulation électrique périphérique à visée antalgique. *Encycl Méd Chir, Kinésithérapie*, 26145 C10, 7-1988, Paris. 4 p.
- [13] Moran F, Leonard T, Hawthorne S, Hughes CM, McCrum-Gardner E, Johnson MI, et al. Hypoalgesia in response to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) depends on stimulation intensity. *J Pain* 2011 Aug ; 12(8) : 929–35.
- [14] Claydon LS, Chesterton LS, Barlas P, Sim J. Dose-specific effects of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on experimental pain : a systematic review. *Clin J Pain* 2011 Sep ; 27(7) : 635–47.
- [15] Crépon F. Électrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle. 3^e éd. Paris : Frison-Roche ; 2002.
- [16] Neiger H, Vaysse C, Gosselin P. Détection manuelle des nerfs sensitifs en électrostimulation transcutanée antalgique. *Kinésithér Scient* 1993 ; 324 : 13–5.
- [17] Dean J, Bowsher D, Johnson MI. The effects of unilateral transcutaneous electrical nerve stimulation of the median nerve on bilateral somatosensory thresholds. *Clin Physiol Funct Imaging* 2006 Sep ; 26(5) : 314–8.
- [18] Boureau F, Luu M, Doubrère J-F. Analgésie par neurostimulation transcutanée. Mise au point, perspectives. In : Péliissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris : Masson ; 1992. p. 52–7.
- [19] Guieu R, Tardy-Gervet MF, Blin O, Pouget J. Pain relief achieved by transcutaneous electrical nerve stimulation and/or vibratory stimulation in a case of painful legs and moving toes. *Pain* 1990 Jul ; 42(1) : 43–8.
- [20] Crépon F, Darlas Y. Électrothérapie. Ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et biofeedback. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), *Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation*, 26-145-A-20, 2008.
- [21] Tardy-Gervet MF, Guieu R, Demaria JL, Roll JP. Le traitement des douleurs chroniques par association de vibrations et de stimulations électriques transcutanées. *Kinésithér Scient* 1994 ; 333 : 13–7.
- [22] Crielaard JM, Reuter AM, Vrindts N, Franchimont P. Acquisitions nouvelles en électrothérapie : le système endorphinique. *Cah Kinésithér* 1985 ; 112(2) : 47–53.
- [23] Crielaard JM, Bastin R, Reuter AM, Vrindts N, Franchimont P. The endorphin system and transcutaneous neurostimulation. *Rev Med Liege* 1985 Sep 15 ; 40(18) : 619–24.
- [24] Crépon F. Électrostimulation antalgique de très basse fréquence : libération d'endorphines et électroacupuncture. *Kinésithér Scient* 2009 ; 503 : 78–9.
- [25] C-CLIN. Paris-Nord. Hygiène et masso-kinésithérapie. *Cah Kinésithér* 2000 ; 204–205(4–5) : 1–83.
- [26] Crépon F. Intérêt de l'électrostimulation polyvalente en rééducation fonctionnelle. *Kinésithér Scient* 2003 ; 437 : 59–60.
- [27] Harbach H, Moll B, Boedeker RH, Vigelius-Rauch U, Otto H, Muehling J, et al. Minimal immunoreactive plasma beta-endorphin and decrease of cortisol at standard analgesia or different acupuncture techniques. *Eur J Anaesthesiol* 2007 Apr ; 24(4) : 370–6.
- [28] Jubb RW, Tukmachi ES, Jones PW, Dempsey E, Waterhouse L, Brailsford S. A blinded randomised trial of acupuncture (manual and electroacupuncture) compared with a non-penetrating sham for the symptoms of osteoarthritis of the knee. *Acupunct Med* 2008 Jun ; 26(2) : 69–78.

- [29] Tsui P, Leung MC. Comparison of the effectiveness between manual acupuncture and electro-acupuncture on patients with tennis elbow. *Acupunct Electrother Res* 2002; 27(2) : 107–17.
- [30] Casimiro L, Barnsley L, Brosseau L, Milne S, Robinson VA, Tugwell P, et al. Acupuncture and electroacupuncture for the treatment of rheumatoid arthritis. *Cochrane Database Syst Rev* 2005 Oct 19; (4) : CD003788.
- [31] Sluka KA, Lisi TL, Westlund KN. Increased release of serotonin in the spinal cord during low, but not high, frequency transcutaneous electric nerve stimulation in rats with joint inflammation. *Arch Phys Med Rehabil* 2006 Aug; 87(8) : 1137–40.
- [32] Rodríguez-Fernández AL, Garrido-Santofimia V, Güeita-Rodríguez J, Fernández-de-Las-Peñas C. Effects of burst-type transcutaneous electrical nerve stimulation on cervical range of motion and latent myofascial trigger point pain sensitivity. *Arch Phys Med Rehabil* 2011 Sep; 92(9) : 1353–8.
- [33] Gemmell H, Hilland A. Immediate effect of electric point stimulation (TENS) in treating latent upper trapezius trigger points : a double blind randomised placebo-controlled trial. *J Bodyw Mov Ther* 2011 Jul; 15(3) : 348–54.
- [34] Le Bars D. Douleurs de l'homme, douleurs des animaux. Human pains and animal pains. *Bull Acad Vét* 2010; (163 - 4/5) : 315–32.
- [35] Guy-Coichard C, Rostaing-Rigattieri S, Doubrère JF, Boureau F. Conduite à tenir vis-à-vis d'une douleur chronique. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Anesthésie-Réanimation, 36-030-A-10, 2005.
- [36] Verdier JC. Stimulation électrique transcutanée dans les lombalgies, radiculalgies, plexalgies. In : Péliissier J, Roques CF, editors. *Électrostimulation des nerfs et des muscles*. Paris : Masson; 1992. p. 164–7.
- [37] Crépon F. Électrostimulation et douleurs. *Kinésithér Scient* 2009; 505 : 55–6.
- [38] Lund I, Lundberg T, Kowalski J, Svensson E. Gender differences in electrical pain threshold responses to transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS). *Neurosci Lett* 2005 Feb 28; 375(2) : 75–80.
- [39] Walsh DM, Howe TE, Johnson MI, Sluka KA. Transcutaneous electrical nerve stimulation for acute pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2009 Apr 15;(2):CD006142.
- [40] Carroll D, Moore RA, McQuay HJ, Fairman F, Tramèr M, Leijon G. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2001; (3) CD003222..
- [41] Nnoaham KE, Kumbang J. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for chronic pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2008 Jul 16; (3) : CD003222.
- [42] Oosterhof J, De Boo TM, Oostendorp RA, Wilder-Smith OH, Crul BJ. Outcome of transcutaneous electrical nerve stimulation in chronic pain : short-term results of a double-blind, randomised, placebo-controlled trial. *J Headache Pain* 2006 Sep; 7(4) : 196–205.
- [43] Oosterhof J, Wilder-Smith OH, de Boo T, Oostendorp RA, Crul BJ. The long-term outcome of transcutaneous electrical nerve stimulation in the treatment for patients with chronic pain : a randomized, placebo-controlled trial. *Pain Pract* 2012 Feb 5. doi : [10.1111/j.1533-2500.2012.00533.x](https://doi.org/10.1111/j.1533-2500.2012.00533.x).
- [44] Johnson M, Martinson M. Efficacy of electrical nerve stimulation for chronic musculoskeletal pain : a meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain* 2007 Jul; 130(1–2) : 157–65.
- [45] Johnson MI, Bjordal JM. Transcutaneous electrical nerve stimulation for the management of painful conditions : focus on neuropathic pain. *Expert Rev Neurother* 2011 May; 11(5) : 735–53.
- [46] Norrbrink C. Transcutaneous electrical nerve stimulation for treatment of spinal cord injury neuropathic pain. *J Rehabil Res Dev* 2009; 46(1) : 85–93.
- [47] Dubinsky RM, Miyasaki J. Assessment : efficacy of transcutaneous electric nerve stimulation in the treatment of pain in neurologic disorders (an evidence-based review) :

- report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 2010 Jan 12; 74(2) : 173–6.
- [48] Tan G, Rintala DH, Jensen MP, Richards JS, Holmes SA, Parachuri R, et al. Efficacy of cranial electrotherapy stimulation for neuropathic pain following spinal cord injury : a multi-site randomized controlled trial with a secondary 6-month open-label phase. *J Spinal Cord Med* 2011; 34(3) : 285–96.
- [49] Warke K, Al-Smadi J, Baxter D, Walsh DM, Lowe-Strong AS. Efficacy of transcutaneous electrical nerve stimulation (tens) for chronic low-back pain in a multiple sclerosis population : a randomized, placebo-controlled clinical trial. *Clin J Pain* 2006 Nov-Dec; 22(9) : 812–9.
- [50] Khadilkar A, Odebiyi DO, Brosseau L, Wells GA. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) versus placebo for chronic low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2008 Oct; 8(4) : CD003008.
- [51] Buchmuller A, Navez M, Millette-Bernardin M, Pouplin S, Presles E, Lantéri-Minet M, et al. Lombotens Trial Group. Value of TENS for relief of chronic low back pain with or without radicular pain. *Eur J Pain* 2012 May; 16(5) : 656–65.
- [52] Kroeling P, Gross A, Goldsmith CH, Burnie SJ, Haines T, Graham N, et al. Electrotherapy for neck pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2009 Oct 7; (4) : CD004251.
- [53] Brosseau L, Judd MG, Marchand S, Robinson VA, Tugwell P, Wells G, et al. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for the treatment of rheumatoid arthritis in the hand. *Cochrane Database Syst Rev* 2003; (3) : CD004377.
- [54] Rutjes AW, Nuesch E, Sterchi R, Kalichman L, Hendriks E, Osiri M, et al. Transcutaneous electrostimulation for osteoarthritis of the knee. *Cochrane Database Syst Rev* 2009 Oct; 7(4) : CD002823.
- [55] Price CI, Pandyan AD. Electrical stimulation for preventing and treating post-stroke shoulder pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2000; (4) : CD001698.
- [56] Oncel M, Sencan S, Yildiz H, Kurt N. Transcutaneous electrical nerve stimulation for pain management in patients with uncomplicated minor rib fractures. *Eur J Cardiothorac Surg* 2002 Jul; 22(1) : 13–7.
- [57] Bjordal J.M, Johnson MI, Ljunggreen AE. Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can reduce postoperative analgesic consumption. A meta-analysis with assessment of optimal treatment parameters for postoperative pain. *Eur J Pain* 2003; 7(2) : 181–8.
- [58] Cipriano Jr G, de Camargo Carvalho AC, Bernardelli GF, Tayar Peres PA. Short-term transcutaneous electrical nerve stimulation after cardiac surgery : effect on pain, pulmonary function and electrical muscle activity. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2008 Aug; 7(4) : 539–43.
- [59] Benedetti F, Amanzio M, Casadio C, Cavallo A, Cianci R, Giobbe R, et al. Control of postoperative pain by transcutaneous electrical nerve stimulation after thoracic operations. *Ann Thorac Surg* 1997; 63(3) : 773–6.
- [60] Solak O, Turna A, Pekcolaklar A, Metin M, Sayar A, Solak O, et al. Transcutaneous electric nerve stimulation for the treatment of postthoracotomy pain : a randomized prospective study. *Thorac Cardiovasc Surg* 2007 Apr; 55(3) : 182–5.
- [61] Fiorelli A, Morgillo F, Milione R, Pace MC, Passavanti MB, Laperuta P, et al. Control of post-thoracotomy pain by transcutaneous electrical nerve stimulation : effect on serum cytokine levels, visual analogue scale, pulmonary function and medication. *Eur J Cardiothorac Surg* 2012 Apr; 41(4) : 861–8.
- [62] Freynet A, Falcoz PE. Is transcutaneous electrical nerve stimulation effective in relieving postoperative pain after thoracotomy? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2010 Feb; 10(2) : 283–8.
- [63] Robb K, Oxberry SG, Bennett MI, Johnson MI, Simpson KH, Searle RD. A cochrane systematic review of transcutaneous electrical nerve stimulation for cancer pain. *J Pain Symptom Manage* 2009 Apr; 37(4) : 746–53.

- [64] Robb KA, Bennett MI, Johnson MI, et al. Transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) for cancer pain in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2008 Jul; CD006276.
- [65] Hurlow A, Bennett MI, Robb KA, Johnson MI, Simpson KH, Oxberry SG. Transcutaneous electric nerve stimulation (TENS) for cancer pain in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2012 Mar 14; (3) : CD006276.
- [66] Roques CF. Agents physiques antalgiques Données cliniques actuelles. *Ann Réadapt Méd Phys* 2003; 46 : 565–77.

CHAPITRE 6

Technologie, application en rééducation et réadaptation

Point essentiel

- ♦ L'application des techniques doit en priorité tenir compte des règles de sécurité et des contre-indications. Les accidents de l'électrothérapie sont dus à des erreurs de manipulation.

PLAN DU CHAPITRE

- 6.1. Générateur
- 6.2. Électrodes et accessoires
- 6.3. Contre-indications
- 6.4. Installation du patient
- 6.5. Modalités d'application
- 6.6. Électrostimulation et rééducation fonctionnelle

6.1. Générateur

Le générateur doit être conforme aux normes et avoir obtenu le marquage CE. Il doit être à intensité constante (ou courant constant), notamment pour éviter les risques de brûlures chimiques dues aux effets électrolytiques des courants unidirectionnels.

Le générateur doit être pourvu d'une sécurité circuit ouvert. Si une électrode ou un câble se débranche, si une électrode perd le contact avec la peau, l'appareil doit se mettre en sécurité circuit ouvert, c'est-à-dire que l'intensité doit revenir automatiquement à zéro. Cette sécurité évite au patient de recevoir une brusque décharge électrique en cas d'erreur de manipulation, par exemple si on rebranche le câble ou l'électrode. C'est pour cette raison qu'il ne faut plus utiliser les anciens appareils qui n'ont pas cette sécurité.

Le générateur et notamment son tableau de commandes et ses accessoires doivent pouvoir être nettoyés et désinfectés. Les surfaces doivent être lisses afin d'éviter les pièges à germes [1].

Il ne faut jamais poser les spongieux humides sur le générateur, l'humidité étant préjudiciable au matériel électronique.

6.2. Électrodes et accessoires

6.2.1. Usage unique, patient unique, patients multiples

On distingue les électrodes et accessoires à usage unique, à patient unique et à patients multiples.

Les électrodes et accessoires à usage unique sont :

- les électrodes autocollantes ;
- les compresses destinées à recouvrir les électrodes ;
- les non-tissés destinés à recouvrir les spongieux ;
- certaines sondes périnéales.

Ces électrodes et accessoires doivent être jetés après usage.

Les électrodes et accessoires à patient unique sont :

- les sachets spongieux réutilisables qu'on recouvre d'une compresse ou d'un non-tissé à usage unique ;
- certaines sondes périnéales.

Ces électrodes et accessoires doivent être nettoyés, désinfectés et rincés après usage. Les spongieux doivent sécher à l'air libre, séparément des électrodes.

Les électrodes et accessoires à patients multiples sont :

- les électrodes en plastique carboné ;
- les électrodes ponctuelles ;
- les sangles qui doivent être lisses, lavables et sans velcro ;
- les déclencheurs manuels destinés à commander les temps de travail et les temps de repos.

Ces électrodes et accessoires doivent être nettoyés, désinfectés et rincés après usage.

6.2.2. Courants unidirectionnels

Si on applique des courants unidirectionnels, on utilise des électrodes en plastique carboné ou des électrodes ponctuelles recouvertes d'un spongieux humide puis d'une compresse ou d'un non-tissé à usage unique.

Étant donné les risques de brûlure chimique, on n'utilise jamais d'électrodes autocollantes pour appliquer des courants unidirectionnels.

6.2.3. Courants bidirectionnels

Si on applique des courants bidirectionnels, on élimine les risques de brûlure chimique, donc on peut utiliser tous les types d'électrodes :

- les électrodes autocollantes à usage unique qu'il est préférable d'humecter avant usage afin d'éviter d'arracher les poils lorsqu'on les enlève ;
- les électrodes en plastique carboné alvéolé, granité qui retiennent l'eau sans spongieux ;

- les électrodes en plastique carboné sur lesquelles on dépose un gel conducteur ;
- les sondes périnéales ;
- les électrodes ponctuelles qui servent à rechercher les zones de moindre résistance électrique afin d'appliquer la stimulation antalgique ou excito-motrice le plus précisément possible ;
- les électrodes en plastique carboné recouvertes d'un spongieux humide puis d'une compresse ou d'un non-tissé à usage unique qu'on utilise pour les courants unidirectionnels, qui ne sont pas indispensables pour appliquer les courants bidirectionnels, mais qui sont beaucoup plus confortables, notamment pour les stimulations excito-motrices et antalgiques par libération d'endorphines avec une intensité élevée.

6.3. Contre-indications

6.3.1. Courants unidirectionnels

Les courants unidirectionnels sont contre-indiqués sur les zones d'anesthésie ou d'hypoesthésie et sur les pièces métalliques incluses : prothèses, ostéosynthèses, agrafes, stérilet en cuivre...

6.3.2. Électrostimulation de basse fréquence

Les courants d'électrostimulation de basse fréquence, et notamment les courants téтанisants, sont contre-indiqués dans l'aire cardiaque et la région antérolatérale du cou.

6.3.3. Tous les courants

Tous les courants sont contre-indiqués sur les lésions cutanées et les foyers tumoraux ou infectieux, en cas de grossesse, de phlébite ou en présence d'un pacemaker ou d'un neuromodulateur.

6.4. Installation du patient

Le patient doit être installé confortablement dans la position qui correspond au type de stimulation envisagé :

- s'il s'agit d'une stimulation antalgique, le patient doit être installé en position de non-douleur, voire en posture antalgique ;
- s'il s'agit d'une stimulation antalgique ambulatoire, le patient doit pouvoir effectuer les gestes de la vie courante sans être gêné par le montage des électrodes et les câbles ;
- s'il s'agit d'une stimulation excito-motrice, le patient doit être installé dans la position dans laquelle il serait installé pour effectuer la rééducation correspondante afin de pouvoir effectuer en actif aidé le mouvement électro-induit.

Dans la mesure du possible, il est préférable d'installer le patient sur les électrodes plutôt que les électrodes sur le patient. Le poids du corps assure un meilleur

contact sur une plus grande surface, ce qui permet une stimulation plus efficace et plus confortable (figure 5.20).

Le patient ne doit pas être en contact avec un élément métallique et, dans tous les cas, il doit avoir accès à l'interrupteur général du générateur.

6.5. Modalités d'application

6.5.1. Montage « bipolaire actif »

Les deux électrodes sont de même surface et sont perçues pareillement par le patient.

On utilise deux grandes électrodes pour traiter une grosse articulation, un gros muscle, ou pour une stimulation antalgique par libération d'endorphines.

On utilise deux petites électrodes pour traiter deux points douloureux ou deux points excito-moteurs, ou un trajet.

On utilise toutes les tailles intermédiaires, toutes les formes, et notamment les électrodes allongées, pour s'adapter à la morphologie des sites à traiter.

6.5.2. Montage « monopolaire actif »

On utilise une électrode active de petite surface pour traiter un point douloureux, un point d'urgence, un point excito-moteur ou petite zone excito-motrice.

L'électrode indifférente de grande surface n'a pas d'effet de stimulation, donc son emplacement n'a pas d'importance.

6.5.3. Examen de la peau

Un examen attentif de la peau avant d'installer les électrodes permettra d'éviter d'appliquer celles-ci sur une lésion cutanée qui est une zone sensible, facilement irritable. De plus, les érosions cutanées sont des zones de moindre résistance électrique. L'intensité qui avait été calculée en mA/cm² afin d'être répartie sur toute la surface d'une électrode passera par cette petite zone de moindre résistance créant un « effet de pointe ».

Si un « effet de pointe » se produit avec un courant bidirectionnel, le patient peut ressentir une douleur.

Si un « effet de pointe » se produit avec un courant unidirectionnel, le patient risque une brûlure chimique (cf. 3.3.1.3 et 3.3.1.4).

6.5.4. Recherche de la zone de stimulation optimale

Avant toute application, il faut rechercher les zones de meilleur rapport efficacité/confort. On utilise une électrode recouverte d'un spongieux qu'on déplace sur la peau afin de trouver les zones les plus efficaces, c'est-à-dire les zones où la contraction musculaire est la plus forte pour une même intensité, ou les zones où la stimulation antalgique est la mieux ressentie par le patient. Puis, parmi

ces zones, il faut choisir pour l'installation des électrodes celles qui sont perçues comme les plus confortables par le patient.

6.5.5. Réglage de l'intensité

Le réglage de l'intensité est toujours progressif, il dépend de plusieurs facteurs et notamment :

- de la surface d'électrode ; l'intensité efficace se calcule en mA/cm^2 , donc plus la surface est grande, plus la stimulation est confortable et plus on peut augmenter l'intensité ;
- de la nature de l'électrode (recouverte de spongieux ou autocollante) ;
- de la zone de stimulation qui est plus ou moins sensible ;
- de la résistance des tissus ;
- de la sensibilité générale du patient.

Il faut toujours diminuer l'intensité avant de modifier les paramètres d'un courant et notamment avant d'augmenter la fréquence ou la durée des impulsions ou avant de redresser leur pente d'établissement.

Courants bidirectionnels

Le réglage de l'intensité d'un courant bidirectionnel doit tenir compte de trois seuils qu'on observe lorsqu'on augmente l'intensité du courant : d'abord le seuil de la perception, puis le seuil de la contraction, enfin le seuil de la douleur qu'il ne faut jamais atteindre.

L'intensité du courant BF BI, antalgique par *gate control*, se règle au-dessus du seuil de la perception, mais au-dessous du seuil de la contraction.

L'intensité du courant BF IT, excito-moteur tétanisant, se règle au-dessus du seuil de la contraction, mais doit rester au-dessous du seuil de la douleur.

L'intensité du courant TBF IE, excito-moteur par secousses élémentaires, se règle au-dessus du seuil de la contraction, il est souvent mieux supporté que le courant tétanisant et autorise en conséquence une intensité supérieure, mais doit rester au-dessous du seuil de la douleur.

L'intensité du courant TBF IE, antalgique par libération d'endorphines, se règle au-dessus du seuil de la contraction, au maximum raisonnable supporté par le patient, mais doit rester au-dessous du seuil de la douleur ([figure 6.1](#)).

Courants unidirectionnels

L'emploi de courants unidirectionnels entraîne l'obligation de respecter la règle de l'augmentation progressive de l'intensité de $0,01 \text{ mA}/\text{cm}^2$ d'électrode à la première séance, jusqu'à $0,05 \text{ mA}/\text{cm}^2$ d'électrode à la cinquième séance, pour une séance de 30 minutes, afin d'écarter les risques de brûlures chimiques. Et on constate que ces intensités sont en général insuffisantes pour obtenir les effets antalgiques ou excito-moteurs recherchés. On n'utilise donc pas ces courants dangereux et désagréables et on préfère utiliser les courants bidirectionnels.

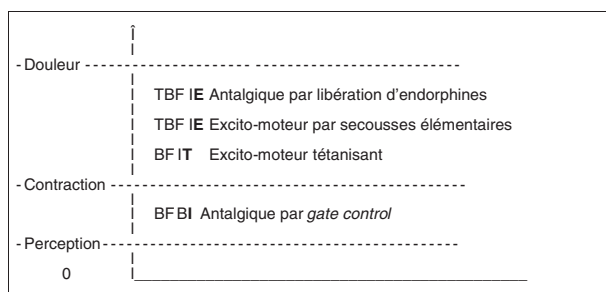


FIGURE 6.1. Réglage de l'intensité d'un courant bidirectionnel : 3 seuils.

6.5.6. Surveillance

La surveillance du patient consiste à être attentif à ce qu'il ressent et à être vigilant pour éviter tout incident de séance. Cette surveillance est particulièrement importante dans les cas où on utilise des courants unidirectionnels : bain galvanique, stimulation du muscle dénervé... Dans les cas d'une stimulation ambulatoire avec un stimulateur portatif délivrant des courants bidirectionnels, il faut informer le patient de ces éventuels incidents et lui expliquer les moyens de les pallier.

En cas d'inefficacité ou de douleur sous une électrode, il est conseillé de pratiquer les manipulations suivantes dans l'ordre indiqué :

1. d'abord, il faut vérifier le contact des électrodes sur la peau et, le cas échéant, l'humidification des spongieux ;
2. ensuite, on peut déplacer légèrement l'électrode en recherchant la zone de stimulation optimale, la plus efficace et la mieux tolérée ;
3. enfin, si les deux premières manipulations n'ont pas amélioré la situation, on diminue la surface de l'électrode inefficace ou on augmente la surface de l'électrode douloureuse.

6.6. Électrostimulation et rééducation fonctionnelle

6.6.1. Place de l'électrostimulation dans le traitement

L'électrostimulation, technique complémentaire de la rééducation, peut se pratiquer à tout moment. C'est en fonction des résultats du bilan, des effets recherchés et de la demande de chaque patient qu'on décide de la technique à appliquer et du moment où on l'applique : avant, pendant, après ou entre les séances de rééducation.

L'électrostimulation antalgique peut se pratiquer :

- avant et même pendant une mobilisation passive ou active, ou une posture, afin que ces techniques soient mieux tolérées par le patient ;
- avant la séance de rééducation afin que celle-ci se déroule dans les meilleures conditions de confort et d'efficacité ;
- après la séance pour soulager, le cas échéant, une douleur résiduelle ;
- entre les séances sous la forme d'électrostimulation ambulatoire.







L'électrostimulation excito-motrice doit, de préférence et dans la mesure du possible, être associée de la contraction volontaire sous la forme de rééducation active aidée, assistée par électrostimulation commandée par le patient, si toutefois celui-ci est coopérant. Cette contraction électrique commandée par le patient peut être déclenchée avant le mouvement actif pour l'initier, pendant le mouvement actif pour l'accompagner ou à la fin du mouvement actif pour le compléter. L'électrostimulation excito-motrice commandée par le patient s'intègre aussi dans les exercices de contracté-relâché destinés à la sédation des contractures.

L'électrostimulation est utilisée conjointement avec les ondes mécaniques pour traiter les fibroses, les cicatrices et adhérences, les contractures, les tendinopathies, les troubles circulatoires et trophiques, et pour lutter contre la stase.

6.6.2. Tableau synoptique récapitulatif

Les éléments essentiels, paramètres, propriétés, indications, programmes de traitement, modalités d'application et contre-indications, nécessaires pour comprendre et utiliser l'électrothérapie et notamment l'électrostimulation sont résumés dans un tableau synoptique récapitulatif ([tableau 6.1](#)).

TABLEAU 6.1. Courants électriques.

	COURANTS ÉLECTRIQUES : paramètres	propriétés	indications	programmes et options	modalités d'application	contre-ind.
UNIDIRECT.	Courant continu ou galvanique 	DIÉLECTROLYSE ? GALVANISATION	IONISATION ? HYPERHIDROSE • Hyperhidrose palmaire, plantaire et du moignon de l'amputé	CG IONISATION HYPERHIDROSE Ionisation Hyperhidrose	• Intensité maximum pour 30 min : 0,01 à 0,05 mA / cm ² de surface de la plus petite électrode. • Hyperhidrose : bain galvanique à l'eau naturelle, 2 x 20 min.	• Pièces métalliques incluses
	Impulsions isolées rectangulaires de longue durée (10 à 100 ms) unidirectionnelles à polarité fixe ou alternées 	ÉLECTRODIAGNOSTIC DE STIMULATION EXCITATION CONTRACTION DES FIBRES MUSCULAIRES DÉNÉRVÉES	MUSCLES DÉNÉRVÉS • Axonotmésis • Neurotmésis • Neuropathies périphériques : multinevrites, polynévrites, polyradiculonévrites...	LD R MUSCLES DÉNÉRVÉS Électrodiagnostic Traitement classique unidirect. polarité fixe Traitement classique unid. pol. alternée Procédure simplifiée unidirect. polarité fixe Procédure simplifiée unidir. pol. alternée	• Électrodes mobiles bipolaires appliquées longitudinalement sur les muscles dénervés. • < 10 impulsions / jour / muscle. • Accompagner de contraction active ou de mouvement imaginé.	• Anesthésies, hypoesthésies + Contre-indications ci-dessous
	Basse Fréquence : 50 à 100 Hz Durée ≤ 0,1 ms Basse Intensité 	ANTALGIQUE PAR GATE CONTROL • Inhibition sensitive segmentaire • Effet rapide et localisé	DOULEURS LOCALISÉES • Entorses, elongations • Tendinites aiguës • Douleurs musculo-aponévrotiques • Névralgies • Douleurs neurogènes	BF BI DOULEURS LOCALISÉES VIF aléatoire : anti-accoutumance BIOPP orienté : stimulation localisée BIOPP inversé : stimulation mobilisée	• Électrodes sur le site de la douleur. • Séance : 20 à 30 min. • Stimulation ambulatoire : plusieurs heures par jour. • Modulations aléatoires pour repousser l'accoutumance.	• Lésions cutanées
	Très Basse Fréquence : 2 à 8 Hz Durée : 0,1 à 3 ms Intensité Élevée : secousses élémentaires 	ANTALGIQUE PAR LIBÉRATION D'ENDORPHINES 0,5 à 3 ms • Inhibition sensitive suprasegmentaire • Effet progressif et diffus	DOULEURS MIXTES • Douleurs localisées et satellites • Lombo-sciatalgies, NCB... • SDRG (ex-algodystrophie) DOULEURS DIFFUSES • Lombalgies, dorsalgies, cervicalgies • Arthroses rachis et membres • Douleurs de sièges multiples • Fibromyalgies (ex-SPID) • Séquelles pleurales	BF BI + TBF IE DOULEURS MIXTES STIPL symétrique : stimulation polyvalente STIPL asym. orienté : stim. polyv. localisée STIPL asym. inversé : stim. polyv. mobilisée TBF IE DOULEURS DIFFUSES BIOPP orienté : stimulation localisée BIOPP inversé : stimulation mobilisée	• Électrodes (>150 cm ² x 2) : sur le rachis dorso-lombaire, ou une sur le rachis et une sur le site de la douleur. • Séance : 30 à 40 min. • Modulations, inversions pour repousser l'accoutumance.	• Foyers tumoraux et infectieux • Phlébites
BIDIRECTIONNEL	TBF IE (ex-courant E) 	EXCITO - MOTEUR PAR SECOUSSES ÉLÉMENTAIRES 0,1 à 1 ms • Éveil & relâchement musculaire • Facilitation de la circulation • Assouplissement, sclérolyse • Inhibition du détrusor	ÉVEIL MUSCULAIRE, FIBROSES • Sidérations • Contractures • Amélioration de la trophicité • Récupération musculaire après effort • Cicatrices fibreuses, adhérences	TBF IE ÉVEIL MUSC., FIBROSES BIOPP orienté : stimulation localisée BIOPP inversé : stimulation mobilisée	• Durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms • Électrodes sur le corps charnu musculaire. • Séance : 20 à 30 min.	• Pacemaker
			INCONTINENCE PAR IMPÉRIOSITÉ • Instabilités vésicales	TBF IE + BF IT INCONTINENCES MIXTES BIOPP orienté : stim. localisée	• Durée d'impulsion : 0,2 à 1 ms. • Electrode périnéale ou externe. • Séance : 20 à 30 min.	• Aire cardiaque
			INCONTINENCES MIXTES	TBF IE + BF IT AMYOTROPHIES		
	Basse Fréquence : 20 à 80 Hz Durée : 0,1 à 1 ms Intensité suffisante pour Tétaniser 	EXCITO - MOTEUR TÉTANISANT • Tétanisation du muscle innervé • Renforcement musculaire • Contraction - décontraction	AMYOTROPHIES RENFORCEMENT MUSCULAIRE CONTRACTURES TROUBLES CIRCULATOIRES ET TROPHIQUES, SDRG INCONTINENCE URINAIRE D'EFFORT (IUE), PROLAPSUS	BF IT RENF. MUSC. BF IT CONTRACTURES BF IT TR. CIRC. & TROPH. BF IT INCONT. UR. EFFORT, PROLAPSUS BIOPP orienté : stim. localisée	• VIF : contraction + vibration • BIOPP orienté : stimulation localisée • BIOPP inversé : stimulation mobilisée • Durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms. • Électrodes sur le corps charnu musculaire. • Séance : 20 à 40 min. • Rééducation assistée : stimulation commandée.	• Grossesse
	Temps de travail et temps de repos : TR ≥ TT					

Référence

- [1] C-CLIN Paris-Nord. Hygiène et masso-kinésithérapie. Cah Kinésithér 2000 ; 204–205(4–5) : 1–83.

CHAPITRE 7

Ondes mécaniques : généralités

Point essentiel

- ♦ Les ondes mécaniques appliquées sur les tissus ont un mode d'action proche de celui du massage et notamment des vibrations, des percussions, des frictions et des MTP.

PLAN DU CHAPITRE

7.1. Définition, classification

7.2. Propriétés physiques

7.3. Propriétés biologiques

7.1. Définition, classification

Une vibration est un mouvement d'oscillation périodique d'un système matériel autour de sa position d'équilibre. Les ondes mécaniques se propagent par vibration de la matière, solide, liquide ou gaz.

La mise en vibration d'un système matériel génère des ondes mécaniques qui sont longitudinales dans les tissus mous et qui se propagent en produisant des mouvements oscillatoires au sein du milieu de propagation.

Les ondes longitudinales sont des ondes dans lesquelles le déplacement, la vibration se produit dans la direction de la propagation. Il s'agit d'une succession de compressions et de décompressions de la matière. Il faut donc les appliquer perpendiculairement aux tissus pour qu'elles se transmettent en profondeur.

La classification des ondes mécaniques se fait en fonction des plages de fréquences capables ou non de produire des sons perceptibles par l'ouïe humaine. La plage des vibrations sonores varie sensiblement d'un sujet à l'autre, notamment en fonction de l'âge, c'est pourquoi les fréquences indiquées ci-après sont approximatives.

Selon leur fréquence, on distingue les infrasons (<20 Hz), les vibrations sonores audibles par l'oreille humaine et les ultrasons (>20 000 Hz)(figure 7.1).

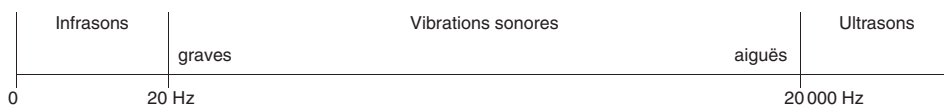


FIGURE 7.1. Ondes mécaniques

La longueur d'onde est la distance parcourue par une vibration pendant une période.

La vitesse des ondes mécaniques, égale au produit de leur fréquence par leur longueur d'onde, est d'autant plus élevée que le milieu traversé est moins déformable : 340 m.s^{-1} dans l'air, environ 1500 m.s^{-1} dans l'eau et dans le muscle, plusieurs milliers de m.s^{-1} dans l'os.

Les ondes mécaniques se transmettent mieux dans un solide que dans un liquide, et mieux dans un liquide que dans un gaz. C'est pourquoi on applique les ultrasons avec un gel ou en immersion.

7.2. Propriétés physiques

7.2.1. Propriétés communes aux ondes mécaniques et aux ondes électromagnétiques

Les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques peuvent être absorbées, réfléchies, focalisées, réfractées, diffractées.

- Absorption

L'absorption consiste à laisser pénétrer en retenant. L'absorption provoque l'atténuation de l'énergie quand l'onde traverse un milieu matériel.

- Réflexion

La réflexion est le changement de direction des ondes qui rencontrent une surface réfléchissante, c'est-à-dire une surface qui renvoie dans une autre direction.

- Focalisation

La focalisation est la convergence, la concentration en un point d'un faisceau lumineux ou d'un flux de particules.

- Réfraction

La réfraction est la déviation d'une onde qui franchit la surface de séparation de deux milieux dans lesquels les vitesses de propagation sont différentes.

- Diffraction

La diffraction est la déviation que subit la propagation des ondes lorsqu'elles rencontrent un obstacle.

7.2.2. Niveau d'action

La « portée utile » des ondes mécaniques varie en raison inverse de l'atténuation. L'atténuation est d'autant plus importante que la fréquence vibratoire est élevée. À ce titre, dans un milieu donné, la profondeur de pénétration d'une onde mécanique est d'autant plus importante que la fréquence est basse.

7.3. Propriétés biologiques


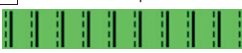


7.3.1. Effets biologiques et thérapeutiques

La vibrothérapie, utilisation thérapeutique des vibrations mécaniques, a des propriétés différentes et complémentaires de l'électrostimulation. En participant à l'assouplissement de la fibrose, au relâchement des contractures, au désencombrement bronchique, à l'amélioration de la circulation locale et des troubles trophiques, à la régénération des tissus, à l'éveil sensitif et proprioceptif, à l'amélioration de la mobilité et à la sédation de la douleur, les ondes mécaniques complètent les effets de la rééducation fonctionnelle et optimisent ses résultats.

7.3.2. Tableau synoptique récapitulatif

Les éléments essentiels, paramètres, propriétés, indications, modalités d'application et contre-indications, nécessaires pour comprendre et utiliser les ondes mécaniques sont résumés dans un tableau synoptique récapitulatif ([tableau 7.1](#)).

TABLEAU 7.1 Ondes mécaniques.

ONDES MÉCANIQUES : paramètres		propriétés	indications	modalités d'application	contre-indications
INFRASONS	IS < 20 Hz amplitude > 1 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Fluidification des mucosités bronchiques Facilitation de l'expectoration Amélioration de la trophicité Diffusion des injections IM Assoupliss¹ des indurations Relaxation 	VIBRATIONS PERPENDICULAIRES : <ul style="list-style-type: none"> Encombrement bronchique (13 Hz) Contractures, discopathies (patient en décubitus) Jambes lourdes (MI en décline) VIBRATIONS TANGENTIELLES : <ul style="list-style-type: none"> Cicatrices fibreuses, adhérences Indurations Cellulalgies 	<ul style="list-style-type: none"> VIBRATIONS PERPENDICULAIRES : efficaces en profondeur. VIBRATIONS TANGENTIELLES : efficaces en superficie. Durée d'application : 10 à 20 min.	<ul style="list-style-type: none"> Phlébites Grossesse Pacemaker Lésions tissulaires récentes Fractures non consolidées Ostéoporose Foyers tumoraux, infectieux, inflammatoires ou hémorragiques
	VS 20 à 200 Hz amplitude < 1 mm 	<ul style="list-style-type: none"> Stimulation antalgique et proprioceptive Illusions kinesthésiques Facilitation de la rééducation 	<ul style="list-style-type: none"> Douleurs des tendons et ligaments Lésions des nerfs périphériques Névromes Dysesthésies Immobilisations, raideurs articulaires 	<ul style="list-style-type: none"> Rééducation sensorimotrice par assistance proprioceptive vibratoire et stimulation antalgique. Auto-application. Durée d'application : 30 à 40 min. 	
ULTRASONS	US 1 ou 3 MHz continus ou pulsés 	EFFETS THERMIQUES <ul style="list-style-type: none"> Effets sclérolitiques Action antalgique ? EFFETS NON THERMIQUES <ul style="list-style-type: none"> Micro mouvements Cavitation <i>Effets spécifiques au niveau de l'os et des structures péri et intra-articulaires : ménisque, capsule, tendon et ligament</i>	FIBROSES <ul style="list-style-type: none"> Séquelles fibreuses post-traumatiques et post-chirurgicales Capsulites rétractiles, raideurs articulaires post-traumatiques Cicatrices, adhérences, chéloïdes Tendinopathies chroniques dégénératives (?) : enthésites, épicondylalgies, ténosynovites sténosantes... 	<ul style="list-style-type: none"> 1 MHz : effet profond. 3 MHz : effet superficiel. Puissance maximale conseillée : ~ 1 W / cm². Durée d'application : 5 à 8 min. Continus ou pulsés. Pulsés 1/2 à 50-100 Hz : effets antalgiques et sclérolitiques. Application uniquement sur les membres : <ul style="list-style-type: none"> avec un gel (segment proximal) ou en immersion (segment distal), en massage (continus ou pulsés) ou en point fixe (pulsés). Pas d'application sur la tête ni sur le tronc. Pour augmenter les amplitudes articulaires, il faut associer une mobilisation pendant toute la durée de l'application. 	<ul style="list-style-type: none"> Grossesse Gonades Cancers Pacemaker Pièces incluses scellées Phlébites, artérites, ischémies Fractures, greffes récentes Lésions tissulaires récentes Sites et affections hémorragiques Anesthésies, hypoesthésies et troubles de la sensibilité thermo-algésique Cartilages de croissance Infections et inflammations aiguës
	LIPUS - Ultrasons pulsés de faible intensité		CICATRISATION CONSOLIDATION <ul style="list-style-type: none"> Fractures ou lésions tissulaires en cours de consolidation Tendinopathies (?) 	<ul style="list-style-type: none"> Fréquence : 1,5 MHz. Pulsés en salves de 200 µs à 1 kHz Puissance maximale conseillée : ~ 30 mW / cm². Durée d'application : 20 min / jour. Application avec un gel. 	
ONDES DE CHOC	ESWT RSWT < 15 Hz 	ONDES DE CHOC EXTRACORPORELLES <ul style="list-style-type: none"> Focalisées, convergentes Propagation : ~ 11 cm 			<ul style="list-style-type: none"> Tête et tronc (rachis, grossesse, cavités contenant de l'air, poumons, intestins) Chez l'enfant (cartilages de croissance) Troncs nerveux, gros vaisseaux sanguins Phlébite, tumeur, infection Lésions tissulaires, cutanées, osseuses (fractures, métastases, ostéoporose...) Corticothérapie, anticoagulants Risques d'hémorragie (hémophiles...) Pacemaker et pièces incluses SDRC, inflammations aiguës
	ESWT : Ondes de choc extracorporelles RSWT, rESWT : Ondes de choc radiales	ONDES DE CHOC RADIALES <ul style="list-style-type: none"> Divergentes Propagation : ~ 3,5 cm 	ONDES DE CHOC RADIALES <ul style="list-style-type: none"> Tendinopathies Enthésopathies Aponévrosite plantaire Calcifications périarticulaires 	ONDES DE CHOC RADIALES <ul style="list-style-type: none"> Fréquence : 1 à 15 Hz. Pression : 2 à 3 bars. 1000 à 2000 chocs par séance. Application avec un gel. 	

CHAPITRE 8

Infrasons

Points essentiels

- ♦ Les propriétés des infrasons qui ont été les plus évaluées en physiothérapie sont leurs effets sur les fonctions de l'appareil respiratoire et notamment sur le désencombrement bronchique.
- ♦ Les infrasons sont également utilisés pour leurs effets trophiques, myorelaxants, « sclérolitiques » et antalgiques, mais on manque d'études contrôlées pour mesurer leur efficacité.

PLAN DU CHAPITRE

- 8.1. Définitions
- 8.2. Générateurs
- 8.3. Propriétés et indications
- 8.4. Contre-indications
- 8.5. Modalités d'application
- 8.6. Effets cliniques

8.1. Définitions

Les infrasons sont des ondes mécaniques longitudinales produites par des vibrations mécaniques et de très basse fréquence, inaudibles par l'oreille humaine, dont la limite supérieure se situe environ à 20 Hz. En effet, la fréquence limite d'audibilité varie selon les sujets, notamment en fonction de l'âge.

8.2. Générateurs

8.2.1. Types d'appareils

On obtient des infrasons avec différents types d'appareils :

- vibreur mû par un excentrique ou une masselotte, tenu à la main par le praticien et appliqué sur les tissus ;
- table vibrante sur laquelle le patient doit s'allonger ;
- systèmes pneumatiques produisant une vibration d'air comprimé pulsé dans un manchon.

Ces appareils produisent une succession de compressions et de décompressions des tissus. L'amplitude des vibrations est supérieure à 1 mm.

8.2.2. Types d'oscillations et niveaux d'action

Si le vibreur produit des oscillations perpendiculaires à la paroi, l'onde se propage en profondeur. Si les oscillations sont tangentielles à la paroi, elles sont efficaces sur les tissus superficiels. Certains vibreurs produisent simultanément des oscillations perpendiculaires et tangentielles.

8.2.3. Fréquences d'oscillations

Certains vibreurs produisent des vibrations dont les fréquences supérieures à 20 ou 25 Hz dépassent quelque peu la plage des infrasons et atteignent la plage inférieure des vibrations sonores.

8.3. Propriétés et indications

8.3.1. Infrasons et désencombrement bronchique

Pour faciliter le désencombrement bronchique, deux types de vibrations instrumentales sont proposés :

- les vibrations externes, appliquées sur la paroi thoracique, destinées à faire vibrer les bronches ;
- les vibrations internes, appliquées par la bouche, destinées à faire vibrer la colonne d'air.

La propagation des ondes mécaniques étant meilleure dans un solide ou dans un liquide que dans un gaz, il s'ensuit que les vibrations externes appliquées sur la paroi thoracique se propagent mieux que les vibrations internes appliquées sur la colonne d'air trachéo-bronchique.

Les vibrations externes utilisées dans les pays anglo-saxons sont produites par un gilet pneumatique (figure 8.1). Ces oscillations de la paroi thoracique présentent l'avantage suivant : leur fréquence, leur amplitude et leur durée d'application peuvent être définies par des paramètres précis et constants [1]. De plus, si elles sont correctement appliquées, elles sont bien tolérées. On peut également appliquer ces vibrations thoraciques avec un vibreur tenu à la main par le praticien, mais il faut tenir compte du fait que les paramètres des vibrations et leur surface d'application sont différents de ceux du gilet pneumatique (figure 8.2).

8.3.2. Infrasons et rééducation fonctionnelle

En pratique courante, les infrasons ont des effets trophiques, myorelaxants, « sclérolytiques » et antalgiques [2]. Au niveau des membres inférieurs, ils ont un effet bénéfique sur la circulation de retour et soulagent les « jambes lourdes » lorsqu'ils sont appliqués sur un membre en déclive (figure 8.3).



FIGURE 8.1. Désencombrement bronchique avec un gilet pneumatique.
Les vibrations externes appliquées sur l'ensemble la paroi thoracique améliorent la clairance muco-ciliaire et sont complémentaires des techniques de désencombrement bronchique.



FIGURE 8.2. Désencombrement bronchique avec un vibrateur tenu à la main.
Les vibrations externes appliquées sur la paroi thoracique ont un effet plus localisé et accompagnent les techniques de désencombrement bronchique.



FIGURE 8.3. Troubles circulatoires du membre inférieur.

Les vibrations infrasonores appliquées sur le membre inférieur installé en décline sont complémentaires des manœuvres de massage de la circulation de retour.

Appliqués perpendiculairement à la paroi, les infrasons ont une action en profondeur. Ils facilitent la diffusion des liquides injectés en intramusculaire, relâchent les contractures et participent au traitement des rachialgies et notamment des discopathies si toutefois le sujet est installé en décubitus. Appliqués sur un sujet en charge, assis ou debout sur le générateur, les infrasons ne peuvent qu'aggraver les discopathies [3].

Appliqués tangentiellement aux tissus, les infrasons ont une action plus superficielle. Ils assouplissent les cicatrices fibreuses, les adhérences et les indurations des tissus sous-cutanés ; on les utilise dans le traitement des cellulalgies et des zones réflexes du tissu conjonctif sous-cutané.

Leurs effets antalgiques sont la conséquence des effets précédents.

8.4. Contre-indications

Les infrasons sont contre-indiqués sur la phlébite, l'abdomen de la femme enceinte, les foyers tumoraux, infectieux ou inflammatoires, les lésions cutanées, les greffes récentes et les fractures non consolidées.

8.5. Modalités d'application

8.5.1. Désencombrement bronchique

Pour faciliter le désencombrement bronchique, les vibrations externes doivent répondre à un certain nombre de critères pour être efficaces, notamment le matériel utilisé, la fréquence de 3 à 25 Hz et l'application pendant le temps expiratoire [4].

- Plusieurs études effectuées sur l'homme et sur l'animal [5–9] montrent que :
- les vibrations doivent être appliquées perpendiculairement à la paroi ;
 - la force exercée sur la paroi est de l'ordre de 20 à 60 newtons ;
 - la fréquence doit se situer, selon les auteurs, entre 3 et 25 Hz ou plus précisément entre 6 et 20 Hz, avec un maximum d'efficacité à 13 Hz ;
 - à 13 Hz la pression intrathoracique mesurée atteint 20 cm H₂O lorsque le contact est axillaire et 40 cm H₂O lorsque le contact est sternal ;
 - la fréquence de 13 Hz a longtemps été décrite comme la plus efficace pour améliorer la clairance muco-ciliaire et on constate que les fréquences actuellement utilisées en sont proches ;
 - la transmission est maximale en fin d'expiration ;
 - la durée d'une séance est en général de 10 à 20 minutes ;
 - certains auteurs prescrivent plusieurs séances par jour.

La forme des ondes des vibrations thoraciques externes obtenues par le par gilet pneumatique détermine leur efficacité. Les ondes rectangulaires sont plus efficaces que les ondes trapézoïdales qui sont elles-mêmes plus efficaces que les ondes triangulaires et les ondes sinusoïdales [10].

Par ailleurs, l'efficacité des techniques oscillantes utilisées pour le désencombrement bronchique dépend de leur capacité à produire une pression efficiente sur la paroi thoracique [11].

8.5.2. Rééducation fonctionnelle

Pour les autres indications des infrasons, on utilise des plages de fréquences et des durées de séance semblables à celles qui sont utilisées pour le désencombrement bronchique.

On applique des vibrations perpendiculaires pour être efficace en profondeur, par exemple pour traiter une contracture, une rachialgie ou une discopathie sur un sujet installé en décharge (figure 8.4). On applique des vibrations tangentielles pour être efficace en superficie, par exemple pour traiter une cicatrice. Certains appareils produisent des vibrations perpendiculaires et tangentielles.

Les infrasons peuvent également être appliqués pendant une posture antalgique ou sur la main du praticien effectuant un massage (figure 8.4).

8.6. Effets cliniques

8.6.1. Objectif et méthode

Les vibrations mécaniques de fréquence infrasonore sont-elles efficaces ? Afin d'évaluer leurs effets, notamment sur le désencombrement bronchique, une revue de la littérature a été effectuée à partir de la base de données PEDro et PubMed jusqu'à mars 2012 avec les mots-clés suivants : *vibration*, *physiotherapy*, *High-Frequency Chest Wall Oscillation*, *High-Frequency Chest Wall Compression*, et à partir de publications françaises.



FIGURE 8.4. **Lombalgie, discopathie et contracture.**

Les vibrations infrasonores, appliquées sur le rachis simultanément au massage, participent à la sédation des contractures et au traitement des discopathies, si toutefois le sujet est installé en décharge.

8.6.2. Effets sur le désencombrement bronchique

Les premières études destinées à mettre en évidence l'intérêt des vibrations pour faciliter le désencombrement bronchique remontent aux années 60. Une étude portant sur 23 patients atteints de mucoviscidose bénéficiant de séances de 12 minutes de vibrations à des fréquences s'étalant de 20 à 45 Hz mettait en évidence une augmentation significative du volume des sécrétions sans modification de la capacité vitale [12]. Puis, une étude expérimentale met l'accent sur la possibilité d'une relation entre la fréquence de la vibration et son efficacité maximum sur la fluidification des sécrétions; les fréquences observées sont comprises entre 22 et 100 Hz [13]. Les auteurs rappellent que Cara [14] situait autour de 25 Hz la fréquence optimale de vibration en rééducation respiratoire [15].

Le gilet pneumatique a permis de réaliser une étude sur les effets de la compression à haute fréquence de la paroi thoracique sur le taux de clairance du mucus dans la trachée et dans les voies respiratoires périphériques. La compression était produite par une pompe à piston faisant osciller la pression dans un manchon thoracique. Le taux de clairance de la trachée était basé sur le mouvement d'un grain de carbone fixé dans la trachée, et pour contrôler le taux de clairance des voies respiratoires, un aérosol de soufre colloïdal ^{99}Tc a été introduit dans les poumons. La rétention localisée a pu être quantifiée grâce à une caméra à rayons gamma. De nombreuses études sur les chiens ont permis de constater que les taux de clairance dans la trachée et dans les voies respiratoires ont été augmentés de façon nette grâce à l'utilisation de la compression à haute fréquence de 3 à 17 Hz avec un maximum d'efficacité à 13 Hz. On a établi des corrélations significatives entre l'augmentation du taux de clairance de la trachée et celui des voies respiratoires. Par ailleurs, on a aussi observé, lors d'études sur des sujets normaux, une augmentation du taux de clairance des voies respiratoires induite par la compression à haute

fréquence, et ceci sans effets secondaires néfastes. Ces études laissent penser que la compression à haute fréquence de la paroi thoracique constitue une méthode physiothérapique hautement bénéfique pour les patients souffrant d'hypersécrétion muqueuse [6].

On note cependant que ces auteurs appellent haute fréquence des vibrations de fréquences comprises entre 3 et 17 Hz; ceci probablement pour les différencier des percussions qui doivent représenter, pour ces auteurs, la basse fréquence.

Ces mêmes auteurs ont étudié les oscillations de haute fréquence sur la clairance du mucus trachéal en comparant leurs effets sur des chiens anesthésiés répartis en trois groupes :

- A : respiration spontanée;
- B : oscillation à haute fréquence de la colonne d'air par la bouche;
- C : oscillation à haute fréquence de la paroi thoracique par manchon pneumatique.

Ils utilisent des fréquences de 13 et 20 Hz et concluent que les oscillations de la paroi thoracique à 13 Hz augmentent de 240 % la clairance du mucus trachéal par rapport à la respiration spontanée, alors que les oscillations de la colonne d'air par la bouche ne l'augmentent pas ($p < 0,001$) [5].

Une étude des effets de la compression à haute fréquence de la paroi thoracique sur le taux de clairance muco-ciliaire dans la trachée et dans les voies respiratoires périphériques en fonction de la pression, effectuée sur le chien anesthésié mais respirant spontanément, à la fréquence de 13 Hz pendant 30 minutes, aboutit aux conclusions suivantes :

1. lorsque la pression dans le système pneumatique varie de 0 à 50 cm H₂O, on observe une augmentation de la clairance muco-ciliaire trachéale déterminée par bronchoscopie;
2. pour des pressions comprises entre 50 et 60 cm H₂O, il n'y a plus d'amélioration de la clairance trachéale, mais amélioration de la clairance périphérique déterminée par scintigraphie au technétium;
3. pour des pressions supérieures à 60 cm H₂O apparaît un effet iatrogène : à 100–120 cm H₂O, on note un risque d'hémorragie sous-pleurale [7].

Ces mêmes auteurs ont ensuite effectué une étude de l'effet des biais du débit expiratoire de pointe sur la clairance du mucus trachéal par oscillation de haute fréquence chez huit chiens anesthésiés mais respirant spontanément. Ils confirment que le taux de clairance du mucus trachéal au cours de l'oscillation à haute fréquence de la paroi thoracique était de 2,4 fois supérieur au contrôle. Ils précisent en outre que l'augmentation du taux de clairance du mucus trachéal due au biais de débit expiratoire par rapport aux oscillations de haute fréquence « aéroportées » au travers de l'ouverture des voies aériennes est de l'ordre de 30 % de l'augmentation du taux de clairance du mucus trachéal due aux oscillations à haute fréquence de la paroi thoracique [16].

D'autres auteurs ont étudié l'efficacité de la compression thoracique à haute fréquence sur la clairance muco-ciliaire pulmonaire et sur les paramètres respiratoires. Ils ont utilisé un gilet pneumatique péri-thoracique indéformable, alimenté

par de l'air pulsé pendant la phase expiratoire à des fréquences s'étalant de 5 à 25 Hz. À la fréquence de 5 Hz, la pression était de 28 mmHg (3,7 kPa). À la fréquence de 25 Hz, la pression était de 39 mmHg (5,2 kPa).

Ils ont suivi 16 patients atteints de mucoviscidose sur une durée de 22 mois en moyenne. Pour chacun de ces patients, ils ont déterminé les trois meilleures fréquences en termes de volume expiré à chaque compression et de flux expiratoire (volume par seconde). Ils soutiennent que le premier est corrélé à une composante qui décroche le mucus et pour laquelle la fréquence optimale moyenne est de 6 Hz, tandis que le second est corrélé à une quantité globale de flux respiratoire pour laquelle la fréquence optimale moyenne est de 16 Hz. Une séance ambulatoire de 30 minutes comprend 6 séances de 5 minutes à chacune de ces fréquences. Les patients bénéficient d'une à huit séances quotidiennes. En suivant l'évolution avant et après la mise en route de ce type de rééducation, les auteurs décrivent une amélioration significative en termes de capacité vitale et de VEMS à partir de la mise sous traitement ($p < 0,001$). Par ailleurs, ils comparent la quantité de mucus recueillie après une telle séance à celle recueillie au décours d'une séance de rééducation conventionnelle et mettent en évidence une différence également significative (3,3 cc de mucus par séance contre 1,8 cc) [17–20].

Des arguments expérimentaux conduisent à penser que les fréquences optimales des vibrations externes doivent être comprises entre 10 et 20 Hz pour approcher les fréquences de résonance des cils et/ou du système thoracopulmonaire [21].

Une étude a comparé la compression thoracique à haute fréquence et la thérapie par percussion et drainage postural sur neuf sujets, en mesurant le poids de l'expectoration, l'oxymétrie de pouls, le pouls, la TA et le confort du patient. Les auteurs n'ont pas trouvé de différence significative entre les deux techniques. Ils concluent que le gilet pneumatique est bien toléré et aussi efficace : c'est une alternative fiable et humainement acceptable [22].

Un essai croisé ou *cross-over* incluant 29 patients de 7 à 47 ans atteints de mucoviscidose compare l'effet de la thérapie physique thoracique classique avec drainage postural et l'effet de l'oscillation à haute fréquence de la paroi thoracique. Les auteurs ont pratiqué des séances quotidiennes de 30 minutes avec un gilet pneumatique vibrant à la fréquence de 5 à 25 Hz et exerçant une pression de 14 à 46 cm H₂O. Les expectorations ont été recueillies pendant la séance, puis 15 minutes après. Les résultats montrent que l'oscillation à haute fréquence de la paroi thoracique induit une expectoration significativement plus importante en poids brut ($p < 0,001$) et en poids sec ($p < 0,01$). Ces auteurs concluent par un euphémisme que l'oscillation à haute fréquence de la paroi thoracique est au moins aussi efficace que la méthode classique pour l'expectoration du patient atteint de mucoviscidose [23].

Cette technique de vibrations thoraciques par gilet pneumatique a été continuellement évaluée [24–28].

L'oscillation de la paroi thoracique est aussi efficace que la physiothérapie standard pour le déplacement des sécrétions pulmonaires, mais n'augmente pas la diffusion de médicament administré par aérosol [29].

L'association des vibrations et des techniques classiques de drainage est une méthode efficace de désencombrement des voies aériennes dans le traitement des bronchectasies [30].

Les vibrations thoraciques appliquées pendant 15 minutes trois fois par jour durant quatre sessions de traitement améliorent significativement ($p = 0,04$) les signes cliniques de la dyspnée chez des adultes hospitalisés pour asthme aigu ou BPCO. La technique a été bien tolérée et les niveaux de satisfaction des patients étaient élevés dans les deux groupes [31].

Les vibrations thoraciques ont été appliquées à dix patients de 63 à 83 ans présentant une exacerbation aiguë de BPCO. La technique a été bien tolérée, aucun effet indésirable n'a été observé et la ventilation s'est répartie de façon plus homogène que pendant la ventilation mécanique conventionnelle [32].

Un essai contrôlé randomisé incluant 34 patients atteints de mucoviscidose ($26 \pm 6,5$ ans) a comparé la vibration thoracique externe de haute fréquence et la pression expiratoire positive. Les résultats n'ont pas montré de différence statistiquement significative entre les groupes en ce qui concerne la production d'expectoration et l'exploration fonctionnelle respiratoire. Les auteurs ont observé une amélioration statistiquement significative de la dyspnée évaluée selon l'échelle de Borg dans les deux groupes, mais sans différences entre eux. Les patients ont préféré la pression expiratoire positive [33].

Une étude pilote menée au St George's Hospital de Londres a comparé les vibrations thoraciques et le traitement conventionnel chez 22 patients de 71 ans d'âge moyen atteints de BPCO modérée à sévère. Les résultats montrent que les vibrations thoraciques ont amélioré de façon statistiquement significative l'expectoration et les symptômes évalués au moyen du questionnaire respiratoire du St George's Hospital. Les auteurs concluent que les vibrations thoraciques ont été bien tolérées par les patients et qu'elles ont entraîné une amélioration de la qualité de vie et une réduction des symptômes [34].

Une revue de littérature qui examine les données probantes actuelles et les meilleures pratiques cliniques dans le domaine du désencombrement bronchique considère que les dispositifs mécaniques tels que les valves, la pression expiratoire positive et la vibration thoracique peuvent améliorer le désencombrement du patient à domicile tout en réduisant les dépenses de santé [35].

Les vibrations thoraciques ont été appliquées sur 25 patients après chirurgie thoracique, à raison de 10 minutes à la fréquence de 12 Hz. Les auteurs ont constaté une stabilité des paramètres biologiques, n'ont observé aucun effet indésirable, et les patients ont exprimé une préférence pour les vibrations plutôt que pour la physiothérapie conventionnelle [36].

Cette technique de vibrations thoraciques peut être utilisée chez l'enfant atteint de maladie neuromusculaire pour éviter l'infection respiratoire récurrente et l'atelectasie [37].

Le gilet pneumatique, principalement utilisé pour le traitement de la mucoviscidose, est également utile chez les enfants en long séjour pédiatrique atteints de quadriplégie spastique; les auteurs observent une diminution des

pneumopathies, des hospitalisations pour pneumopathie et également des crises d'épilepsie [38].

8.6.3. Effets sur l'appareil respiratoire

Hormis le désencombrement bronchique, les infrasons présentent d'autres propriétés sur l'appareil respiratoire [39, 40].

En améliorant la fonction respiratoire, les vibrations modifient l'oxygénation artérielle. Une étude de la gazométrie chez dix sujets adultes sains, soumis à des vibrations de la paroi thoracique à la fréquence de 2,5 Hz avec une pression de 35 cm H₂O, a montré une diminution significative de la Pa CO₂ ($p < 0,05$) [41].

L'étude des oscillations de la paroi thoracique sur des patients atteints de sclérose latérale amyotrophique montre que cette technique est bien tolérée, qu'elle est considérée comme utile par une majorité de patients, et qu'elle diminue la fatigue et les symptômes de difficulté respiratoire. Les auteurs ajoutent que l'étude a montré une tendance vers le ralentissement de la diminution de la capacité vitale [42]. Cependant, ces vibrations n'augmentent pas la durée de vie des patients [43].

8.6.4. Effets généraux

Les vibrations sont utilisées sur les contractures, les discopathies, les douleurs et d'autres pathologies de l'appareil locomoteur, mais on trouve très peu d'études contrôlées pour évaluer leurs résultats.

Les effets des vibrations sur le rachis, et notamment sur les discopathies, sont à prendre en considération, mais on manque d'essais contrôlés pour les vérifier [44].

Quarante-huit patients atteints de la maladie de Parkinson ont participé à une étude sur les effets de la vibration du corps entier à 3, 6 et 9 Hz avec une amplitude de 13 mm. Ils ont été aléatoirement répartis en 4 groupes de 12 : placebo, vibration à 3 Hz, vibration à 6 Hz et vibration à 9 Hz. Pendant la stimulation, les patients étaient debout sur la plate-forme dans une position stable et confortable, genoux légèrement fléchis. Dans le groupe placebo, les patients ont adopté la même position, mais sans vibration. Les résultats montrent qu'aucune des fréquences de vibration n'a eu un effet différent du placebo ni sur l'équilibre ni sur la marche des patients. Cependant, les auteurs considèrent que l'absence d'amélioration significative ne doit pas entraîner l'abandon des vibrations et qu'il faut explorer d'autres paramètres [45].

Les vibrations thoraciques avec des fréquences inférieures à 3 Hz semblent avoir un impact significatif sur le système cardiovasculaire et pourraient avoir un effet bénéfique sur l'hypertension [46].

8.6.5. Discussion et conclusion

Cette revue de littérature sur les vibrations de fréquence infrasonore montre que seul l'effet des vibrations sur le désencombrement bronchique a été l'objet de nombreuses études effectuées avec le gilet pneumatique. Dans cette spécialité, les paramètres et le protocole d'application semblent maintenant bien établis.

Cependant on constate que, malgré les résultats publiés par plusieurs auteurs et qui mériteraient d'être pris en compte, cette technique, contrairement aux pays anglo-saxons, reste peu pratiquée en France.

Par ailleurs, on ne trouve qu'un nombre infime d'essais contrôlés pour évaluer les effets des vibrations infrasonores sur les pathologies de l'appareil locomoteur, alors qu'en pratique courante ils semblent présenter un intérêt certain. Des travaux ultérieurs devront permettre de valider les indications des infrasons dans les différents domaines de la rééducation fonctionnelle.

Références

- [1] Warwick WJ, Wielinski CL, Hansen LG. Comparison of expectorated sputum after manual chest physical therapy and high-frequency chest compression. *Biomed Instrum Technol* 2004 Nov-Dec; 38(6) : 470-5.
- [2] Allain YM, Mallet R, Tuchais C, Toussaint Y. La physiothérapie en médecine du sport. *Cinésiologie* 1986; 25(108) : 263-88.
- [3] Crépon F. Électrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle. 3^e éd Paris : Frison-Roche; 2002.
- [4] Perrin Ch., Rectificatif sur les recommandations d'experts publiées en 2001 sur le thème : «Intérêt des vibrations mécaniques». *Kinésithér Scient* 2002; 426 : 49-51.
- [5] King M, Phillips DM, Zidulka A, Chang HK. Tracheal mucus clearance in high frequency oscillation. II : Chest wall versus mouth oscillation. *Am Rev Res Dis* 1984; 130 : 703-6.
- [6] Gross D, King M. High frequency chest wall compression : a new non-invasive method of chest physiotherapy for mucociliary clearance. *Physiotherapy Canada* 1984; 36(3) : 137-9.
- [7] Gross D, Zidulka A, O'brien C. Peripheral mucociliary clearance with high frequency chest wall compression. *J Appl Physiol* 1985; 58 : 1157-63.
- [8] Vandevenne A. Rééducation respiratoire. Paris : Masson; 1999.
- [9] Milla CE, Hansen LG, Warwick WJ. Different frequencies should be prescribed for different high frequency chest compression machines. *Biomed Instrum Technol* 2006 Jul-Aug; 40(4) : 319-24.
- [10] Lee J, Lee YW, O'Clock G, Zhu X, Parhi KK, Warwick WJ. Induced respiratory system modeling by high frequency chest compression using lumped system identification method. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2009; 2009 : 5486-9.
- [11] Zucker T, Skjodt NM, Jones RL. Effects of high-frequency chest wall oscillation on pleural pressure and oscillated flow. *Biomed Instrum Technol* 2008 Nov-Dec; 42(6) : 485-91.
- [12] Denton R. The effects of treatment with mechanical percussion-vibration. *Am Rev Res Dis* 1962; 86 : 41-6.
- [13] Remondière R. À propos des vibrations utilisées en kinésithérapie respiratoire. Étude expérimentale. *Poumon cœur* 1982; 38 : 143-6.
- [14] Cara M. Bases physiques de la rééducation respiratoire. *Cah Réed Réadapt Fonct* 1968; 3 : 91-7.
- [15] Remondière R, Roeseler J, Delguste P. Complications et effets néfastes de la kinésithérapie respiratoire de pratique courante. *Rev Pneumol Clin* 1990; 46 : 19-23.
- [16] King M, Zidulka A, Phillips DM, Wight D, Gross D, Chang HK. Tracheal mucus clearance in high-frequency oscillation : effect of peak flow rate bias. *Eur Respir J* 1990 Jan; 3(1) : 6-13.
- [17] Budd Jr, Warwick WJ. Fitting and tuning a bronchial drainage, high frequency chest compression device. *Am Rev Res Dis* 1990; 141 : 814.

- [18] Hansen LG, Warwick WJ. High-frequency chest compression system to aid in clearance of mucus from the lung. *Biomed Instrum Technol* 1990 Jul-Aug; 24(4) : 289–94.
- [19] Warwick WJ, Hansen LG. Vest bronchial drainage therapy 2 years follow-up. *Pediatr Pulmonol* 1990; 5 (Abstract) (Suppl.) : 251.
- [20] Warwick WJ, Hansen LG. The long-term effect of high-frequency chest compression therapy on pulmonary complications of cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 1991; 11(3) : 265–71.
- [21] Ravez P, Roblence Y-J. Le support instrumental du drainage bronchique. *Cah Kinésithér* 1992; 158(6) : 23–9.
- [22] Whitman J, Van Beusekom R, Olson S, et al. Preliminary evaluation of high frequency chest compression for secretion clearance in mechanically ventilated patients. *Respir Care* 1993; 38(10) : 1081–7.
- [23] Kluft J, Beker L, Castagnino M, Gaiser J, Chaney H, Fink RJ. A comparison of bronchial drainage treatments in cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 1996 Oct; 22(4) : 271–4.
- [24] Darbee JC, Kanga JF, Ohtake PJ. Physiologic evidence for high-frequency chest wall oscillation and positive expiratory pressure breathing in hospitalized subjects with cystic fibrosis. *Phys Ther* 2005 Dec; 85(12) : 1278–89.
- [25] Giarrappa P, Berger KI, Chaikin AA, Axelrod FB, Davey C, Becker B. Assessing efficacy of high-frequency chest wall oscillation in patients with familial dysautonomia. *Chest* 2005 Nov; 128(5) : 3377–81.
- [26] Rubin EM, Scantlen GE, Chapman GA, Eldridge M, Menendez R, Wanner A. Effect of chest wall oscillation on mucus clearance : comparison of two vibrators. *Pediatr Pulmonol* 1989; 6(2) : 122–6.
- [27] Gross D, Vartian V, Minami H, Chang HK, Zidulka A. High frequency chest wall compression and carbon dioxide elimination in obstructed dogs. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1984 Nov-Dec; 20(6) : 507–11.
- [28] King M, Phillips DM, Gross D, Vartian V, Chang HK, Zidulka A. Enhanced tracheal mucus clearance with high frequency chest wall compression. *Am Rev Respir Dis* 1983 Sep; 128(3) : 511–5.
- [29] Stites SW, Perry GV, Peddicord T, Cox G, McMillan C, Becker B. Effect of high-frequency chest wall oscillation on the central and peripheral distribution of aerosolized diethylene triamine penta-acetic acid as compared to standard chest physiotherapy in cystic fibrosis. *Chest* 2006 Mar; 129(3) : 712–7.
- [30] Patterson JE, Bradley JM, Elborn JS. Airway clearance in bronchiectasis : a randomized crossover trial of active cycle of breathing techniques (incorporating postural drainage and vibration) versus test of incremental respiratory endurance. *Chron Respir Dis* 2004; 1(3) : 127–30.
- [31] Mahajan AK, Diette GB, Hatipoğlu U, Bilderback A, Ridge A, Harris VW, et al. High frequency chest wall oscillation for asthma and chronic obstructive pulmonary disease exacerbations : a randomized sham-controlled clinical trial. *Respir Res* 2011 Sep 10; 12 : 120.
- [32] Frerichs I, Achtzehn U, Pechmann A, Pulletz S, Schmidt EW, Quintel M, et al. High-frequency oscillatory ventilation in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *J Crit Care* 2012 Apr; 27(2) : 172–81.
- [33] Fainardi V, Longo F, Faverzani S, Tripodi MC, Chetta A, Pisi G. Short-term effects of high-frequency chest compression and positive expiratory pressure in patients with cystic fibrosis. *J Clin Med Res* 2011 Dec; 3(6) : 279–84.
- [34] Chakravorty I, Chahal K, Austin G. A pilot study of the impact of high-frequency chest wall oscillation in chronic obstructive pulmonary disease patients with mucus hypersecretion. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2011; 6 : 693–9.
- [35] Bhowmik A, Chahal K, Austin G, Chakravorty I. Improving mucociliary clearance in chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med* 2009 Apr; 103(4) : 496–502.

-
- [36] Allan JS, Garrity JM, Donahue DM. High-frequency chest-wall compression during the 48 hours following thoracic surgery. *Respir Care* 2009 Mar; 54(3) : 340–3.
 - [37] Keating JM, Collins N, Bush A, Chatwin M. High-frequency chest-wall oscillation in a noninvasive-ventilation-dependent patient with type 1 spinal muscular atrophy. *Respir Care* 2011 Nov; 56(11) : 1840–3.
 - [38] Plioplys AV, Lewis S, Kasnicka I. Pulmonary vest therapy in pediatric long-term care. *J Am Med Dir Assoc* 2002 Sep-Oct; 3(5) : 318–21.
 - [39] Crépon F. Apport des vibrations infrasonores pour optimiser le désencombrement des voies aériennes. In : *Journées internationales de kinésithérapie respiratoire instrumentale*. Lyon; novembre 2000.
 - [40] Crépon F. Infrasons, désencombrement bronchique et rééducation fonctionnelle. *Kinésithér Scient* 2001; 410 : 55–6.
 - [41] Khoo MC, Gelmont D, Howell S, Johnson R, Yang F, Chang HK. Effects of high-frequency chest wall oscillation on respiratory control in humans. *Am Rev Respir Dis* 1989 May; 139(5) : 1223–30.
 - [42] Lange DJ, Lechtzin N, Davey C, David W, Heiman-Patterson T, Gelinas D, et al., HFCWO Study Group. High-frequency chest wall oscillation in ALS : an exploratory randomized, controlled trial. *Neurology* 2006 Sep 26; 67(6) : 991–7.
 - [43] Chaisson KM, Walsh S, Simmons Z, Vender RL. A clinical pilot study : high frequency chest wall oscillation airway clearance in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler* 2006 Jun; 7(2) : 107–11.
 - [44] Hill TE, Desmoulin GT, Hunter CJ. Is vibration truly an injurious stimulus in the human spine? *J Biomech* 2009 Dec 11; 42(16) : 2631–5.
 - [45] Chouza M, Arias P, Viñas S, Cudeiro J. Acute effects of whole-body vibration at 3, 6, and 9 Hz on balance and gait in patients with Parkinson's disease. *Mov Disord* 2011 Apr; 26(5) : 920–1.
 - [46] O'Clock GD, Lee YW, Lee J, Warwick WJ. High-frequency and low-frequency chest compression : effects on lung water secretion, mucus transport, heart rate, and blood pressure using a trapezoidal source pressure waveform. *IEEE Trans Biomed Eng* 2012 Jan; 59(1) : 106–14.

CHAPITRE 9

Vibrations sonores

Point essentiel

- ♦ La stimulation vibratoire transcutanée a été l'objet de nombreuses études sérieuses et concluantes qui ont mis en évidence ses effets sensori-moteurs et antalgiques.

PLAN DU CHAPITRE

- 9.1. Définitions
- 9.2. Générateurs
- 9.3. Propriétés
- 9.4. Indications
- 9.5. Contre-indications
- 9.6. Modalités d'application
- 9.7. Effets cliniques

9.1. Définitions

Les vibrations sonores sont des vibrations mécaniques de basse fréquence, mais supérieure à 20 Hz. Les vibrations qui sont appliquées sur l'appareil locomoteur ont une fréquence d'environ 20 à 100 Hz et une amplitude de quelques millimètres.

Situées par leur fréquence plus proche des infrasons que des ultrasons, les vibrations mécaniques de fréquence sonore et leurs modalités d'application sont désignées par différents termes selon les auteurs : stimulation vibratoire transcutanée (SVT), vibrations mécaniques transcutanées, assistance proprioceptive vibratoire...

On peut également les appeler vibrations mécaniques de basse fréquence et les distinguer ainsi des infrasons qui sont des vibrations mécaniques de très basse fréquence inférieure à 20 Hz, mais d'amplitude plus élevée.

9.2. Générateurs

La SVT se pratique avec un vibreur constitué d'un circuit électromagnétique ou d'un excentrique. Les appareils à usage professionnel permettent de régler la fréquence et l'amplitude des vibrations ainsi que leur surface d'application. À défaut

d'un appareillage adapté à l'utilisation thérapeutique, une simple brosse à dents électrique permet d'obtenir ces vibrations, mais son utilisation est limitée au traitement d'une zone très ponctuelle.

Il existe également des plates-formes vibrantes qui permettent de transmettre à l'ensemble du corps des vibrations dont l'amplitude est d'environ 2 à 6 mm et la fréquence d'environ 30 à 60 Hz. Pour s'entraîner, le sujet peut poser les mains, les pieds ou le pelvis sur le plateau vibrant et travailler en chaîne fermée. Il peut aussi tirer sur des sangles qui s'y raccrochent et solliciter ses muscles en chaîne ouverte. Les effets et indications de cette nouvelle technique, différente de la SVT, et appelée vibration du corps entier sont considérés ci-dessous (cf. 9.7.4).

9.3. Propriétés

La SVT présente des propriétés biologiques utiles en rééducation fonctionnelle, principalement dans trois domaines bien définis.

9.3.1. Rééducation sensori-motrice par assistance proprioceptive vibratoire

Les afférences proprioceptives d'origine musculaire contribuent au codage conscient du mouvement. Les vibrations mécaniques de basse fréquence, appliquées au niveau des tendons en l'absence de tout mouvement, sont susceptibles d'induire un message nerveux à dominante proprioceptive qui évoque des sensations illusoire de mouvements – ou illusions kinesthésiques –, accompagnées d'activités motrices involontaires cohérentes avec ces sensations (figures 9.1 et 9.2) [1, 2].

Ces vibrations éveillent la sensibilité proprioceptive, facilitent les plans de glissement, préviennent l'enraidissement des articulations, préparent et facilitent la rééducation fonctionnelle dont elles optimisent les résultats [3, 4].



FIGURE 9.1. Stimulation vibratoire transcutanée des tendons calcanéens. La SVT produit une perturbation de la proprioception.



FIGURE 9.2. SVT du tendon du muscle triceps brachial.
La stimulation vibratoire transcutanée produit des illusions de mouvement.

La rééducation motrice par assistance proprioceptive vibratoire améliore la restauration de la mobilité articulaire après immobilisation thérapeutique [5,6]. Les auteurs émettent l'hypothèse que les troubles de la mobilisation articulaire pourraient être attribués à la mise au repos artificielle pendant la phase d'immobilisation d'un « complexe sensori-moteur », et préconisent une utilisation précoce des vibrations en traumatologie et en orthopédie [7]. Ces vibrations peuvent être appliquées sur les tendons sous les appareils plâtrés [8].

9.3.2. Intérêt en neurologie périphérique

Une étude a été réalisée sur 25 rats dont les deux nerfs sciatiques ont été sectionnés, mais stimulés par vibrations transcutanées d'un seul côté. L'examen anatomopathologique montre que la régénérescence nerveuse est constamment meilleure du côté stimulé que du côté non stimulé. Ces résultats justifient l'utilisation de cette technique sur les douleurs des traumatismes des nerfs périphériques tels que les névromes d'amputation ou les dysesthésies après suture ou greffe nerveuse [9–12].

9.3.3. Effets antalgiques de la stimulation vibratoire transcutanée

L'étude des stimulations vibratoires de 1, 5, 15, 25 et 45 minutes appliquées sur 366 patients amène les auteurs aux conclusions suivantes :

- la première diminution perceptible de la douleur peut être obtenue après un temps de stimulation inférieur à 10 minutes ;

- le soulagement maximum s'observe, en général, après 20 à 25 minutes de stimulation et ne peut être augmenté au-delà de 45 minutes;
- après 45 minutes de stimulation, l'effet antalgique dure trois à six heures et même plus;
- le soulagement dure d'autant plus longtemps que l'effet antalgique obtenu juste après l'arrêt de la stimulation est important [13,14].

Les mécanismes nerveux responsables des effets antalgiques semblent être de type *gate control*, mais il ne faut pas écarter la participation d'autres mécanismes segmentaires de contrôle. En effet, plusieurs études ont montré que la vibration du muscle antagoniste pouvait soulager les épicondylalgies latérales [15]. Les afférences musculaires de type Ia, sollicitées par la vibration, viendraient inhiber par le biais de l'inhibition réciproque l'activité du muscle qui est le siège de la douleur, contribuant ainsi au soulagement.

Cependant, il semble établi que l'effet antalgique des stimulations vibratoires n'est pas lié à la libération de substances morphinomimétiques endogènes puisque l'injection de naloxone ne modifie pas l'intensité de la douleur ressentie. Ce résultat a été confirmé par des dosages de β -endorphine et de met-enképhaline qui ne varient pas avant et après une séance de 30 minutes de vibrations [16].

L'intérêt des vibrations mécaniques transcutanées dans le contrôle sensoriel de la douleur a été mis en évidence, les mécanismes antinociceptifs impliqués ont été décrits, et les modalités d'application sont bien définies [17–19].

9.4. Indications

Les divers effets de la SVT, assistance proprioceptive de la rééducation sensorimotrice, effets trophiques et « sclérolitiques », ainsi que leurs effets antalgiques par *gate control*, leur confèrent de nombreuses indications.

- Immobilisations thérapeutiques : traitement prophylactique pendant l'immobilisation, puis récupération des amplitudes articulaires après immobilisation.
- Rééducation sensori-motrice impliquant la proprioception.
- Rachialgies, myalgies, névralgies...
- Névromes d'amputation.
- Douleurs du membre fantôme, douleurs après lésion des nerfs périphériques.
- Troubles de la sensibilité, hyperesthésies.
- Dysesthésies après suture ou greffe nerveuse.
- Douleurs oro-faciales.
- Syndrome douloureux régional complexe (SDRC).
- Cicatrices, adhérences.
- Douleurs ponctuelles de l'appareil locomoteur : tendinopathies et particulièrement les épicondylalgies latérales (figure 9.3), douleurs ligamentaires, séquelles d'entorses (figure 9.4) et, en règle générale, toutes les douleurs ponctuelles de l'appareil locomoteur [10,11,17–21]. En ce qui concerne le traitement de ces douleurs, on peut considérer que le mode d'action des vibrations mécaniques est proche de celui des mobilisations transversales profondes.



FIGURE 9.3. SVT d'une épicondylalgie latérale.

La stimulation vibratoire transcutanée est appliquée directement sur le site concerné. Pour le traitement de la tendinopathie, elle peut aussi être appliquée sur le muscle antagoniste.



FIGURE 9.4. SVT du ligament collatéral fibulaire de la cheville.

La stimulation vibratoire transcutanée est appliquée directement sur le site de la douleur due à une séquelle fibreuse d'entorse.

9.5. Contre-indications

La SVT est une technique qui ne semble pas présenter de danger et dont l'innocuité n'a pas été mise en cause.

Cependant, la technique de vibration du corps entier sur plates-formes vibrantes évoquée ci-avant demande de respecter les contre-indications suivantes [22].

Contre-indications concernant l'appareil locomoteur :

- prothèses posées depuis moins de quatre mois ;
- matériel d'ostéosynthèse (vis, broche, plaque) posé depuis moins de trois mois ;

- fractures datant de moins de trois mois;
- ostéoporose et arthrose avancées;
- ligamentoplasties (fixation du transplant) datant de moins de deux mois;
- interventions chirurgicales récentes et plaies non cicatrisées;
- hernies discales, spondylolyses, discopathies dégénératives;
- tendinopathies.

Contre-indications générales :

- thromboses, phlébites;
- syndrome de Raynaud;
- maladies cardiovasculaires;
- stents et pacemakers;
- épilepsie, migraine;
- grossesse;
- stérilet.

Avant de débiter un reconditionnement ou un traitement incluant des vibrations, un avis médical, voire un « certificat médical d'aptitude au travail sur plates-formes vibrantes », est vivement conseillé. Au-delà de l'exclusion des contre-indications, il peut être à l'origine de conseils personnalisés.

9.6. Modalités d'application

La SVT est une technique sans danger et très simple à appliquer.

- Fréquence

Les fréquences couramment utilisées se situent entre 30 et 100 Hz.

- Amplitude

L'amplitude des vibrations est en général inférieure à 3 mm.

- Site de stimulation

En cas de stimulation à visée proprioceptive, l'application est perpendiculaire à la paroi, sur le muscle ou le tendon considéré.

En cas de stimulation à effet antalgique, le soulagement maximum est obtenu en appliquant la stimulation sur la zone douloureuse elle-même. Certains auteurs proposent de stimuler également le muscle antagoniste, notamment en cas de tendinopathie. Il est aussi possible de stimuler les zones de projection réflexe et les points d'acupuncture ou de stimuler sur le nerf.

- Critères d'efficacité

Pour accroître l'efficacité de la stimulation, il faut tenir compte des éléments suivants :

- la surface d'application dépend de l'étendue de la zone douloureuse;
- l'effet antalgique augmente proportionnellement à l'importance de la surface vibrée;
- une pression modérée améliore la sédation de la douleur.

- Mobilisation associée

Il est conseillé d'associer une mobilisation à la stimulation, surtout dans les cas où l'objectif est d'éveiller la sensibilité, de faciliter les plans de glissement, de prévenir ou de traiter l'enraidissement articulaire.

- Durée de la séance

La durée optimale de la stimulation est d'environ 40 minutes. La durée minimale est de 20 minutes et la durée maximale ne dépassera pas 45 minutes, durée au-delà de laquelle le soulagement ne peut être augmenté.

- Auto-application

La simplicité, l'innocuité et le confort de la technique ainsi que l'absence de contre-indications permettent au patient de s'appliquer lui-même ces vibrations quand il a été informé des modalités d'application ([figure 9.3](#)).

- Électrostimulation associée : courant BF BI

La similitude des fréquences utilisées et du mode d'action a conduit plusieurs auteurs à proposer d'associer les stimulations vibratoires et l'électrostimulation antalgique par *gate control* [15]. La double stimulation, électrique et vibratoire, à 100 Hz est significativement plus efficace que chacune de ces techniques utilisée séparément [19].

9.7. Effets cliniques

9.7.1. Objectif et méthode

Quels sont les effets cliniques des vibrations mécaniques de fréquence sonore ? Afin de les rechercher, une revue de la littérature a été effectuée à partir de la base de données PEDro et PubMed jusqu'à avril 2012 avec les mots-clés suivants : *vibration*, *physiotherapy*, *proprioception*, *whole-body vibration*, et à partir de publications françaises.

9.7.2. Effets de la stimulation vibratoire transcutanée

Les vibrations des muscles, des tendons, des nerfs, des ligaments ou de toute zone ponctuelle produisent, selon le cas, des effets sensori-moteurs, des effets trophiques ou des effets antalgiques (cf. 9.3).

Les vibrations mécaniques des tendons musculaires sont susceptibles d'induire un message à dominante proprioceptive musculaire qui évoque des sensations de mouvements illusoires, ou illusions kinesthésiques, accompagnées d'activités motrices involontaires cohérentes avec ces sensations [2]. La possibilité d'évoquer des images motrices par des stimulations sensori-motrices des récepteurs périphériques et des centres de commande, en l'absence de mouvement, ouvre de nombreuses perspectives en rééducation fonctionnelle [23, 24].

La vibration des muscles cervicaux entraîne une désorientation spatiale qu'on peut mesurer avec une plate-forme stabilométrique. L'effet déstabilisant de la perturbation proprioceptive produite par la vibration des muscles postérieurs du cou augmente si le sujet ferme les yeux et augmente encore plus si le sujet ferme les yeux plus de trois secondes avant la vibration ([figure 9.5](#)). Ces travaux mettent en évidence l'interaction entre la vision et la proprioception dans le contrôle de la position [25, 26].

Une vibration prolongée modifie les caractéristiques de la contraction musculaire. Le mécanisme proposé est généralement l'atténuation de l'efficacité des



FIGURE 9.5. SVT des muscles postérieurs du cou.

La stimulation vibratoire transcutanée est appliquée sur un sujet qui a les yeux fermés et produit un effet déstabilisant.

afférences primaires (Ia). Une modification de l'excitabilité du cortex moteur pourrait également être impliquée. Une étude a analysé les effets immédiats et les effets persistants de 60 minutes de vibration du tendon d'Achille à une fréquence de 50 Hz sur l'excitabilité neuromusculaire du muscle soléaire et du muscle tibial antérieur. Les résultats montrent que la vibration prolongée a provoqué une diminution de l'amplitude du réflexe H pour le seul muscle soléaire ($p = 0,006$). L'implication prépondérante des mécanismes d'inhibition présynaptique est confirmée dans cette étude par le maintien de l'amplitude moyenne des ondes F, signe d'une excitabilité du motoneurone non modifiée. Les auteurs concluent que la forte modulation des influx afférents primaires par la vibration a induit des modifications de l'excitabilité du cortex moteur qui pourraient contribuer à l'amélioration des capacités d'activation musculaire observée à la suite du programme de vibration prolongé du tendon d'Achille [27].

L'immobilisation perturbe fortement les réseaux corticaux qui sont impliqués dans les activités sensori-motrices. Ces désordres causent une réorganisation corticale qui peut être fonctionnellement inadaptée. Une étude destinée à évaluer l'intérêt des illusions de mouvement a constaté que le réseau sensori-moteur a été préservé chez les sujets qui ont été traités par des vibrations pendant l'immobilisation, tandis que le réseau sensori-moteur des sujets non traités a été significativement modifié. Les auteurs suggèrent que des réactions sensorielles associées à la perception de mouvement puissent neutraliser ces perturbations corticales [28].

Pendant la vibration de la partie inférieure du pied à la fréquence de 30 Hz, on observe une diminution de plus de 83 % de l'amplitude du réflexe H au niveau des muscles soléaires chez les sujets sains et chez les traumatisés médullaires complets. Cette inhibition produite par la vibration d'un segment de membre pourrait permettre, à long terme, de réduire l'excitabilité du réflexe spinal après lésion médullaire [29].

L'application de vibrations sur les muscles du cou avant la séance d'ergothérapie peut avoir des effets positifs sur l'héminégligence, mais l'effet spécifique sur l'amélioration des activités de la vie quotidienne n'est pas évident [30].

Selon une étude pilote (essai ouvert non randomisé) incluant onze patients, la stimulation vibratoire peut améliorer significativement la mobilité d'environ 30 % et la douleur d'environ 50 % par rapport au groupe témoin, chez des patients présentant un syndrome douloureux régional complexe de type 1 après dix semaines de traitement. Les auteurs ont également observé une diminution significative de l'utilisation des antalgiques dans le groupe traité [31].

9.7.3. Effets des vibrations sur l'appareil respiratoire

9.7.3.1. Effets des vibrations sur les mucosités bronchiques

Pour faciliter le désencombrement bronchique, les propriétés des infrasons, vibrations mécaniques de très basse fréquence (< 20 Hz), sont les plus exploitées. Néanmoins, les vibrations sonores de basse fréquence (50 à 100 Hz) ont été également l'objet de travaux relatifs à leurs effets sur l'appareil respiratoire.

L'étude *in vitro* de l'influence des vibrations mécaniques de 75 Hz sur les qualités rhéologiques des sécrétions bronchiques montre que les sécrétions bronchiques vibrées présentent une diminution significative de leur viscosité et une adaptation au transport par le tapis muco-ciliaire [32].

9.7.3.2. Effets de la stimulation vibratoire sur les paramètres respiratoires

Les vibrations de la paroi thoracique modifient les paramètres respiratoires chez le patient atteint de pathologie respiratoire chronique. Appliquées pendant cinq minutes en phase avec l'activité des muscles respiratoires, c'est-à-dire vibration des muscles inspireurs lors de l'inspiration et vibration des muscles expirateurs lors de l'expiration, les vibrations de 100 Hz majorent le volume courant, réduisent la fréquence respiratoire, prolongent le temps expiratoire, diminuent la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF), réduisent la dyspnée et améliorent les données gazométriques de façon significative ($p < 0,05$). On observe l'effet inverse lorsque les vibrations ne sont pas appliquées en phase avec l'activité des muscles respiratoires, c'est-à-dire vibration des muscles inspireurs lors de l'expiration et vibration des muscles expirateurs lors de l'inspiration. Les auteurs proposent que l'action des vibrations se situe plus au niveau des muscles respiratoires qu'au niveau des poumons en rappelant que les sensations respiratoires passent par des afférences qui cheminent depuis les muscles respiratoires jusqu'aux centres supraspinaux [33].

9.7.4. Effets des vibrations du corps entier

Des plates-formes vibrantes qui permettent de transmettre des vibrations à l'ensemble du corps ont été proposées.

Les traitements par vibrations ont trois objectifs thérapeutiques principaux : l'augmentation de la force musculaire, l'amélioration de l'équilibre et l'augmentation de la masse osseuse. Pendant une séance type de vibration, le sujet est debout sur le plateau ; il reste dans une position statique ou il exécute des mouvements dynamiques.

Pour ce qui est de l'augmentation de la force musculaire, la plupart des auteurs formulent l'hypothèse que les vibrations stimuleraient les fuseaux neuromusculaires et le motoneurone α , afin de déclencher une contraction musculaire.

Un petit essai pilote chez des enfants montre des améliorations de la densité minérale osseuse [34].

Une méta-analyse a mis en évidence que la vibration du corps entier a produit une amélioration faible mais significative de la densité minérale osseuse chez des femmes après la ménopause et chez des enfants et adolescents, mais pas chez de jeunes adultes [35].

Une revue américaine qui a étudié l'intérêt de la vibration du corps entier dans le traitement de l'ostéoporose considère que la littérature est limitée et qu'elle n'a pas établi que le traitement par ces vibrations augmente la densité minérale osseuse, ni qu'il réduit le risque de fracture [36].

Une revue sur les effets sensori-moteurs de la vibration du corps entier chez des patients atteints de la maladie de Parkinson n'a pas pu conclure sur l'efficacité ou non de la technique, les études retenues étant limitées par leurs faiblesses méthodologiques et par des échantillons trop petits et hétérogènes [37].

Une revue *Cochrane* incluant dix essais contrôlés, six sur la maladie de Parkinson et quatre sur la sclérose en plaques, conclut que la vibration du corps entier n'a pas fait la preuve de son efficacité chez ces patients atteints de maladie neurodégénérative, ni sur les symptômes de la maladie, ni sur l'équilibre, ni sur la marche [38].

Ces résultats sont confirmés par une revue sur les effets des vibrations en neurologie qui estime que des recherches sont fortement nécessaires [39].

Les vibrations à la fréquence de 35 Hz n'ont pas permis d'améliorer l'équilibre chez des femmes âgées. Les résultats n'ont montré aucune variation significative des paramètres posturaux enregistrés [40].

Une revue des effets de la vibration du corps entier chez des personnes âgées montre que la recherche sur ce sujet est jusqu'à présent méthodologiquement faible et doit être interprétée avec précaution. Les protocoles d'étude ont utilisé des paramètres qui compliquent l'interprétation. Certaines études ont annoncé des améliorations de la fonction musculaire, de l'équilibre et de la mobilité fonctionnelle avec les vibrations. Les études sur la densité osseuse ont montré successivement une amélioration dans la hanche et le tibia, mais pas dans le rachis lombaire. Des études complémentaires sont nécessaires pour déterminer des paramètres sûrs et efficaces [41].

9.7.5. Discussion et conclusion

Largement explorés mais trop souvent négligés en pratique courante, les effets sensori-moteurs de la SVT présentent un intérêt évident en rééducation fonctionnelle. Les travaux régulièrement publiés montrent que cette technique sans danger peut apporter un complément utile et cohérent aux techniques de rééducation proprioceptive.

Les effets antalgiques de la SVT sont à la fois proches et complémentaires de l'électrostimulation par *gate control* en ajoutant un effet mécanique spécifique qui confère à cette technique des indications bien définies, notamment dans les troubles de la sensibilité. Les effets trophiques et « sclérolitiques » semblent intéressants en pratique courante, mais on manque d'études pour les confirmer.

Les plates-formes vibrantes sont actuellement utilisées pour l'entraînement des sportifs. En ce qui concerne leur utilisation en rééducation fonctionnelle, notamment pour le traitement de l'ostéoporose et pour leurs applications en neurologie et en gériatrie, des travaux ultérieurs devront préciser leurs effets sur l'amélioration de la densité osseuse, de l'équilibre et de la mobilité.

Références

- [1] Roll JP, Gilhodes JC. Réponses toniques paradoxales d'origine vibratoire chez l'homme : mise en évidence d'influences facilitatrices d'origine fusoriale en provenance des muscles antagonistes. *J Physiol* 1977; 73 : 8.
- [2] Roll JP, Gilhodes JC. Méthode de rééducation motrice par assistance proprioceptive vibratoire. 1^{re} partie. Données fondamentales concernant les effets perceptifs et moteurs des vibrations tendineuses chez l'homme. *Ann Kinésithér* 1983; 10(1-2) : 1-10.
- [3] Durand PA, Romain M. L'assistance vibratoire proprioceptive dans la rééducation du poignet. *Ann Kinésithér* 1992; 19(3) : 152-4.
- [4] Durand PA, Romain M. La stimulation vibratoire transcutanée dans la rééducation de la main. *Ann Kinésithér* 1993; 20(8) : 419-24.
- [5] Neiger H, Gilhodes JC, Roll JP. Méthode de rééducation motrice par assistance proprioceptive vibratoire. Restauration de la mobilité articulaire après immobilisation thérapeutique. *Ann Kinésithér* 1983; 10(1-2) : 11-9.
- [6] Neiger H, Gilhodes JC, Tardy-Gervet MF, Roll JP. Rééducation sensori-motrice par assistance proprioceptive vibratoire. *Kinésithér Scient* 1986; 252 : 6-21.
- [7] Neiger H, Fraudet, Thouvenon D, et al. Assistance proprioceptive vibratoire : utilisation précoce en traumatologie-orthopédie. In : Journée de médecine physique et de rééducation 1986. Paris : Expansion scientifique française. p. 73-8.
- [8] Faure C. L'application des vibrations mécaniques sur les tendons sous les appareils plâtrés. *Ann Kinésithér* 1983; 10(9) : 325-9.
- [9] Riera G. Intérêt des stimulations vibratoires dans la pathologie traumatique des nerfs périphériques. Thèse médecine. Montpellier; 1986.
- [10] Romain M, Ginouves P, Riera G, Durand PA, Allieu Y. Effets antalgiques des stimulations vibratoires. Étude à propos de 250 dossiers. In : Simon L, editor. *Act Réed Fonct Réadapt*, 13^e série Paris : Masson; 1988. p. 178-83 .
- [11] Romain M, Ginouves P, Durand PA, Riera G, Allieu Y. La stimulation vibratoire transcutanée en algologie. *Ann Réadapt Méd Phys* 1989; 32 : 63-9.
- [12] Romain M, Durand PA, Kizlik C, Allieu Y. Que peut-on attendre de la stimulation vibratoire transcutanée en rééducation ? *Ann Kinésithér* 1989; 16(7-8) : 361-4.

- [13] Lundeberg T. Long term results of vibratory stimulation as a pain relieving measure for chronic pain. *Pain* 1984; 20 : 12–23.
- [14] Lundeberg T, Nordemar R, Ottoson D. Pain alleviation by vibratory stimulation. *Pain* 1984; 20 : 25–44.
- [15] Guieu R, Tardy-Gervet MF, Blin O, Pouget J. Pain relief achieved by transcutaneous electrical nerve stimulation and/or vibratory stimulation in a case of painful legs and moving toes. *Pain* 1990; 42 : 43–8.
- [16] Guieu R, Tardy-Gervet MF, Giraud P. Met-enkephalin and beta-endorphin are not involved in the analgesic action of vibratory stimulation. *Pain* 1992; 48 : 83–8.
- [17] Tardy-Gervet MF, Guieu R, Ribot-Ciscar E, Roll JP. Les vibrations mécaniques transcutanées : effets antalgiques et mécanismes antinociceptifs. *Rev Neurol* 1993; 149 : 177–85.
- [18] Tardy-Gervet MF, Guieu R, Ribot-Ciscar E, Roll JP. Les vibrations transcutanées une méthode de contrôle sensoriel de la douleur. *Kinésithér Scient* 1994; 333 : 7–12.
- [19] Tardy-Gervet MF, Guieu R, Demaria JL, Roll JP. Le traitement des douleurs chroniques par association de vibrations et de stimulations électriques transcutanées. *Kinésithér Scient* 1994; 333 : 13–7.
- [20] Crépon F. Vibrations sonores. *Kinésithér Scient* 2002; 425 : 59–60.
- [21] Crépon F. Électrophysiothérapie des tendinopathies. *Sport Med* 2002; 144 : 8–12.
- [22] Cascua S. Travail sur plate-forme vibrante : intérêts et limites en rééducation. In : Journée de médecine et de rééducation de l'Est parisien, Recueil des publications des JMREP, Saint-Maurice, mars 2008.
- [23] Thyron C, Roll JP. Predicting any arm movement feedback to induce three-dimensional illusory movements in humans. *J Neurophysiol* 2010 Aug; 104(2) : 949–59.
- [24] Thyron C. Imagerie motrice chez l'homme. Thèse, université de Provence. Aix-Marseille I, 2011.
- [25] Bove M, Bonzano L, Trompetto C, Abbruzzese G, Schieppati M. The postural disorientation induced by neck muscle vibration subsides on lightly touching a stationary surface or aiming at it. *Neuroscience* 2006 Dec 28; 143(4) : 1095–103.
- [26] Bove M, Fenoglio C, Tacchino A, Pelosin E, Schieppati M. Interaction between vision and neck proprioception in the control of stance. *Neuroscience* 2009 Dec 29; 164(4) : 1601–8.
- [27] Lapole T, Deroussen F, Pérot C, Petitjean M. Acute effects of Achilles tendon vibration on soleus and tibialis anterior spinal and cortical excitability. *Appl Physiol Nutr Metab* 2012; 37(4) : 657–63.
- [28] Roll R, Kavounoudias A, Albert F, Legré R, Gay A, Fabre B, et al. Illusory movements prevent cortical disruption caused by immobilization. *Neuroimage* 2012; 62(1) : 510–9.
- [29] Chang SH, Tseng SC, McHenry CL, Littmann AE, Suneja M, Shields RK. Limb segment vibration modulates spinal reflex excitability and muscle mRNA expression after spinal cord injury. *Clin Neurophysiol* 2012 Mar; 123(3) : 558–68.
- [30] Kamada K, Shimodozono M, Hamada H, Kawahira K. Effects of 5 minutes of neck-muscle vibration immediately before occupational therapy on unilateral spatial neglect. *Disabil Rehabil* 2011; 33(23–24) : 2322–8.
- [31] Gay A, Parratte S, Salazard B, Guinard D, Pham T, Legré R, et al. Proprioceptive feedback enhancement induced by vibratory stimulation in complex regional pain syndrome type I : an open comparative pilot study in 11 patients. *Joint Bone Spine* 2007 Oct; 74(5) : 461–6.
- [32] Boisseau P, Neiger H. Sécrétions bronchiques soumises à des vibrations mécaniques. Influence sur les qualités rhéologiques in vitro. *Ann Kinésithér* 1987; 14(6) : 295–301.
- [33] Sibuya M, Yamada M, Kanamaru A, Tanaka K, Suzuki H, Noguchi E, et al. Effect of chest wall vibration on dyspnea in patients with chronic respiratory disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1994 May; 149(5) : 1235–40.
- [34] Rauch F. Vibration therapy. *Dev Med Child Neurol* 2009 Oct; 51(Suppl. 4) : 166–8.

-
- [35] Slatkovska L, Alibhai SM, Beyene J, Cheung AM. Effect of whole-body vibration on BMD : a systematic review and meta-analysis. *Osteoporos Int* 2010 Dec; 21(12) : 1969–80.
 - [36] Wysocki A, Butler M, Shamliyan T, Kane RL. Whole-body vibration therapy for osteoporosis : state of the science. *Ann Intern Med* 2011 Nov 15; 155(10) : 680–6 W206–13.
 - [37] Lau RW, Teo T, Yu F, Chung RC, Pang MY. Effects of whole-body vibration on sensorimotor performance in people with Parkinson disease : a systematic review. *Phys Ther* 2011 Feb; 91(2) : 198–209.
 - [38] Sitjà Rabert M, Rigau Comas D, Fort Vanmeerhaeghe A, Santoyo Medina C, Roqué i Figuls M, Romero-Rodríguez D, et al. Whole-body vibration training for patients with neurodegenerative disease. *Cochrane Database Syst Rev* 2012 Feb 15; 2 : CD009097.
 - [39] Pozo-Cruz BD, Adsuar JC, Parraca JA, Pozo-Cruz JD, Olivares PR, Gusi N. Using whole-body vibration training in patients affected with common neurological diseases : a systematic literature review. *J Altern Complement Med* 2012 Jan; 18(1) : 29–41.
 - [40] Carlucci F, Mazzà C, Cappozzo A. Does whole-body vibration training have acute residual effects on postural control ability of elderly women? *J Strength Cond Res* 2010 Dec; 24(12) : 3363–8.
 - [41] Merriman H, Jackson K. The effects of whole-body vibration training in aging adults : a systematic review. *J Geriatr Phys Ther* 2009; 32(3) : 134–45.

CHAPITRE 10

Ultrasons

Points essentiels

- ♦ L'indication des ultrasons est le traitement de la fibrose.
- ♦ Pour obtenir des résultats, il faut nécessairement associer aux ultrasons une mobilisation pendant toute la durée de l'application.
- ♦ Les risques encourus par l'utilisation des ultrasons doivent mener à les contre-indiquer sur la tête et le tronc, et ce d'autant plus qu'il n'existe aucune preuve de leur efficacité sur ces zones.
- ♦ L'efficacité des ultrasons pulsés de basse intensité (LIPUS) sur la consolidation des fractures, la cicatrisation des lésions tissulaires, la prévention de l'arthrose et le traitement des tendinopathies est en cours d'évaluation.

PLAN DU CHAPITRE

- 10.1. Définitions
- 10.2. Générateurs
- 10.3. Propriétés
- 10.4. Indications
- 10.5. Contre-indications
- 10.6. Modalités d'application
- 10.7. Ultrasons pulsés de basse intensité
- 10.8. Effets cliniques

10.1. Définitions

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques, longitudinales dans les tissus mous, de haute fréquence ($> 20\,000$ Hz), fréquence correspondant par convention au seuil maximum d'audibilité par l'oreille humaine.

10.2. Générateurs

Les fréquences thérapeutiques (1 à 3 MHz) sont produites par une sonde contenant une céramique ou un quartz piézo-électrique soumis à une tension de fréquence identique.

Les intensités thérapeutiques s'établissent en watts/cm^2 en mode continu. La largeur du faisceau est conditionnée par le diamètre de la sonde, soit quelques centimètres.

10.3. Propriétés

La propagation du faisceau ultrasonore est rectiligne en l'absence d'obstacle.

Le faisceau ultrasonore a une bonne portée de plusieurs centimètres en profondeur dans les tissus biologiques mous et, dans une moindre mesure, dans l'os. Dans les tissus mous, il est d'autant plus absorbé que le tissu est riche en collagène, en élastine et plus généralement en macromolécules complexes, et d'autant moins absorbé que le tissu est riche en eau. D'autre part, il est très fortement absorbé par le tissu osseux, d'autant plus que celui-ci est spongieux.

Les ultrasons sont très vite atténués dans les gaz, donc dans l'air. Pour cette raison, on les applique sur la peau avec un gel ou en immersion.

Les bénéfices les plus authentifiables de la physiothérapie ultrasonore reposent sur l'obtention d'une hyperthermie suffisante au sein de tissus situés en profondeur, à distance de la surface cutanée. À ce titre, les fréquences ultrasonores utilisées en physiothérapie permettent d'obtenir un bon compromis hyperthermie-profondeur moyennant des intensités raisonnables, aussi peu iatrogènes que possible.

Les travaux approfondis réalisés par Darlas, Normand, Solassol et collaborateurs [1-9], grâce à la thermographie infrarouge d'une part et à la mesure de température par thermistances implantées *in vivo* d'autre part, ont montré les spécificités des ultrasons afin de les utiliser avec plus de discernement.

10.3.1. Effets thermiques

10.3.1.1. Intensité émise

La température observée est d'autant plus élevée que l'intensité ultrasonore est importante.

10.3.1.2. Distance du transducteur

La température est d'autant plus faible qu'on se place loin du transducteur.

10.3.1.3. Absorption

L'absorption ultrasonore par les tissus riches en collagène d'une part et les tissus osseux d'autre part est la source de l'échauffement. Par voie de conséquence, l'hyperthermie ultrasonore intéresse les structures péri et intra-articulaires, ménisque, capsule, tendon et ligament, ainsi que les tissus musculaires et les tissus osseux.

Il en résulte trois remarques dont il faut tenir compte en clinique :

1. Il existe un point chaud, au niveau de l'interface tissus mous-os, responsable d'une hyperthermie en profondeur douloureusement ressentie par le patient. Celui-ci décrit alors une douleur de type « périosté », c'est-à-dire une sensation de crampe, de striction ou d'étau, imposant l'arrêt de l'insonification et/ou le déplacement de la sonde jusqu'à cessation de la douleur. En effet, ce signal douloureux avertit que l'interface tissus mous-os atteint une température critique létale à l'échelle cellulaire, de l'ordre de 42 °C.
2. Pour obtenir un échauffement musculaire, on peut utiliser les ultrasons, mais il est préférable de faire usage des ondes centimétriques qui ont un champ d'application plus large.
3. Lorsque l'échauffement désiré intéresse des structures de taille plus réduite (structures périarticulaires, ligaments, tendons, etc.), l'utilisation des ultrasons induit une hyperthermie sensiblement équivalente, en ayant l'avantage d'être plus facilement localisable par le thérapeute [10].

10.3.1.4. Température selon la fréquence

L'origine physique de l'hyperthermie est l'absorption des ultrasons par les tissus, plus importante lorsque la fréquence est élevée. En revanche, la portée utile en profondeur est plus élevée lorsque la fréquence est basse. Il en résulte que :

- à 3 MHz, l'augmentation de température est plus importante en superficie qu'à 1 MHz ;
- à 1 MHz, l'augmentation de température est plus importante en profondeur qu'à 3 MHz (figure 10.1).

10.3.1.5. Température selon le mode d'émission

L'importance de l'hyperthermie dépend de l'intensité moyenne émise par la sonde. Le mode d'émission pouvant être continu ou pulsé, il en résulte que l'augmentation de température est plus importante en mode continu qu'en mode pulsé. Lorsque le rapport est faible, 1/10 par exemple, il est pratiquement exclu que le mode pulsé génère une augmentation de température suffisante en physiothérapie. À titre d'exemple, 1 W/cm² en mode pulsé 1/10 génère les mêmes augmentations de température que 0,1 W/cm² en mode continu.

10.3.1.6. Évacuation de la chaleur

L'évacuation de la chaleur s'effectue via deux grands mécanismes :

- diffusion thermique d'une part (conduction de la chaleur des zones chaudes vers les zones froides au sein même de la masse du tissu) ;
- convection sanguine d'autre part (évacuation de la chaleur par le fluide sanguin baignant le tissu), la température augmentant d'autant moins que le débit sanguin local est élevé.

Dans un tissu sain, c'est le refroidissement par convection sanguine qui semble prédominer quantitativement. En effet, l'étude in vivo d'un tissu musculaire sain soumis aux conditions d'une séance de physiothérapie a montré que la vasodilatation générée par l'augmentation de température permettait d'éviter de dépasser le seuil critique de 42 °C, létal à l'échelle cellulaire (figure 10.2).

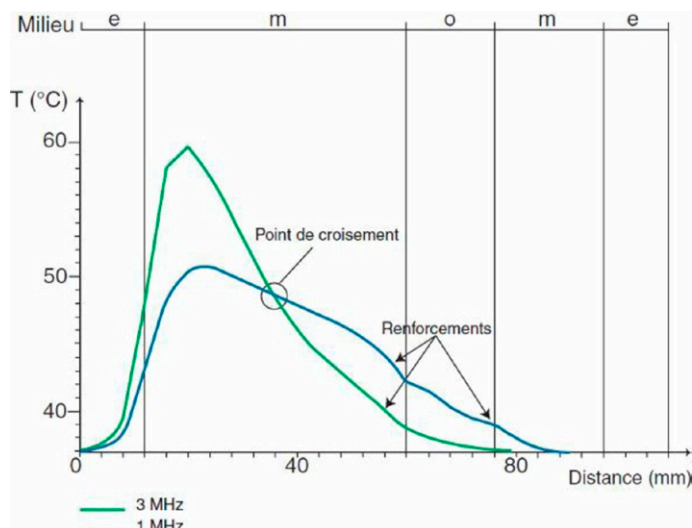


FIGURE 10.1. Température selon la fréquence.

Température tissulaire calculée pour deux fréquences différentes : 1 et 3 MHz. Calcul en l'absence de vascularisation. e : eau ; m : tissu musculaire ; o : tissu osseux. Ultrasons de 1 et 3 MHz à 1 W/cm^2 pendant 5 minutes. En surface, l'échauffement est plus important avec les ultrasons de 3 MHz. En profondeur, l'échauffement est plus important avec les ultrasons de 1 MHz. D'après [3].

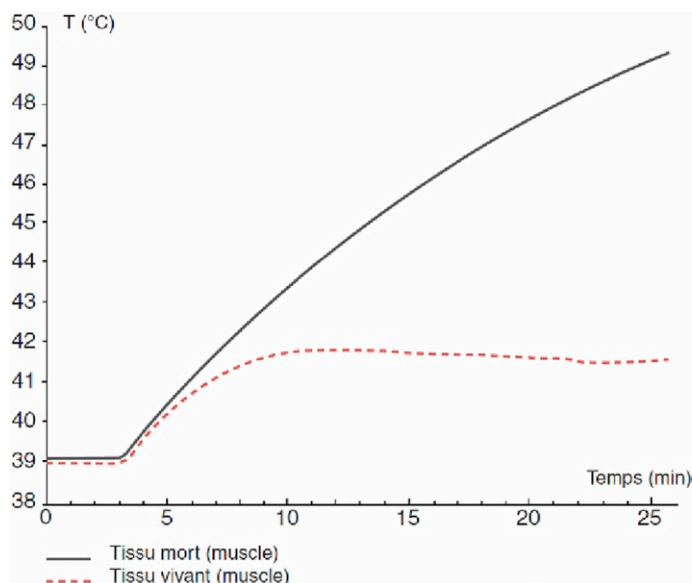


FIGURE 10.2. Température musculaire sous irradiation ultrasonore : rôle de la circulation sanguine.

Transducteur fixe de 5 cm^2 , 3 MHz, $1,85 \text{ W/cm}^2$, mode continu. Comparaison tissu mort/tissu vivant. D'après [9].

10.3.1.7. Influence du diamètre du transducteur

Pour une fréquence donnée pendant un temps donné, l'augmentation de température est plus importante avec un transducteur large qu'avec un transducteur étroit.

10.3.1.8. Effets biologiques

La chaleur produite par les ultrasons modifie les propriétés mécaniques des structures conjonctives, surtout tendino-ligamentaires.

Les effets thermiques des ultrasons produisent :

- un accroissement de l'extensibilité du collagène [11, 12], la persistance d'un allongement résiduel et une plus grande résistance à la rupture lorsque ces applications d'ultrasons sont accompagnées d'une mobilisation articulaire à faible charge et prolongée [9];
- un effet antispasmodique musculaire;
- un effet antalgique par élévation du seuil douloureux des fibres nerveuses périphériques et des extrémités nerveuses libres;
- des effets algiques si l'échauffement est trop intense;
- une variation (généralement une augmentation) du débit sanguin local;
- des effets métaboliques et létaux cellulaires [8, 9].

Cependant, les effets antalgiques classiquement attribués aux ultrasons à cause de leurs effets thermiques ne sont pas confirmés par la littérature (cf.10.7).

Parmi les effets thérapeutiques invoqués, effets dits « sclérolytiques », il est à noter que les modifications bénéfiques des propriétés mécaniques des structures conjonctives, chauffées et soumises à mobilisation douce et prolongée, ne peuvent être obtenues par aucune autre association d'agents physiques et/ou médicamenteux.

Dans ces conditions d'utilisation, les ultrasons gardent donc une place tout à fait spécifique, dans la mesure où ils constituent l'un des seuls agents physiques capables de générer des augmentations de température significatives in situ, au sein des tissus scléreux. Un certain avantage par rapport aux ondes centimétriques leur est conféré, d'une part par le caractère localisé du champ thermique ultrasonore, d'autre part par la diffusion relativement large des appareils générateurs d'ultrasons.

10.3.2. Effets non thermiques

De façon simplifiée, nous considérons que ces effets sont dus aux micromouvements particulières et aux cavitations acoustiques.

Le phénomène de cavitation acoustique décrit la mise en vibrations, sous l'effet d'un champ ultrasonore, de bulles gazeuses microscopiques (microcavités) contenues dans les liquides biologiques [13]. Aux fréquences et intensités utilisées en physiothérapie, les effets biologiques résultant de ce phénomène sont les conséquences de l'apparition de micromouvements du fluide biologique ou de bioparticules dans l'environnement immédiat de la microcavité vibrante [1, 6].

Il existe des preuves expérimentales solides démontrant que les ultrasons peuvent interagir avec la cicatrisation tissulaire sans qu'une élévation de température ne soit en cause : accélération de la cicatrisation de plaies expérimentales chez le lapin, de fractures expérimentales chez le rat, d'ulcères variqueux chez l'être humain [6].

La portée pratique de ces constatations en physiothérapie reste à établir.

10.4. Indications

Étant donné leurs effets thermiques, les ultrasons ne sont pas indiqués sur les lésions fraîches, aiguës, inflammatoires ou hémorragiques. En revanche, ils sont indiqués sur les lésions anciennes, chroniques, dégénératives, fibreuses, cicatricielles. On utilise les ultrasons pour le traitement des pathologies abarticulaires.

Les indications des ultrasons sont les fibroses :

- séquelles fibreuses post-traumatiques ou post-chirurgicales, notamment les séquelles fibreuses des entorses et lésions musculaires ;
- syndrome du canal carpien ;
- capsulites rétractiles après la phase hyperalgique ;
- raideurs articulaires, raideurs post-traumatiques des membres ;
- cicatrices, adhérences, chéloïdes ;
- maladie de Dupuytren (rétraction de l'aponévrose palmaire) ;
- maladie de Ledderhose (aponévrosite plantaire) ;
- maladie de La Peyronie (induration plastique des corps caverneux).

Ces indications pour le traitement de la fibrose sont données sous réserve de respecter la condition indispensable d'efficacité qui consiste à associer aux ultrasons une mobilisation pendant toute la durée de l'application, notamment pour augmenter les amplitudes articulaires. En effet, les effets bénéfiques des ultrasons sur la mobilité articulaire sont probablement la conséquence d'une mobilisation classique facilitée par la chaleur préalablement déposée in situ.

Traditionnellement, on a attribué aux ultrasons des propriétés antalgiques et antispasmodiques. Ils ont été indiqués pour le traitement des tendinopathies chroniques dégénératives, notamment des épicondylalgies latérales, des enthésites, des ténosynovites sténosantes... ainsi que pour le traitement des contractures et même de la spasticité. Mais on manque d'études cliniques pour valider ces indications classiquement octroyées aux ultrasons.

10.5. Contre-indications

10.5.1. Grossesse

Pour des cellules de type embryonnaire, les effets létaux et/ou de malformation apparaissent à 39 °C, température relativement facile à atteindre. Il en résulte une contre-indication absolue de pratiquer une thermothérapie profonde sur un site proche de l'utérus chez une patiente enceinte ou susceptible de l'être, afin d'écartier tout risque tératogène, et ceci dès le début de la grossesse, le risque étant d'autant plus grand que les cellules de l'embryon sont jeunes [1, 9].

10.5.2. Cancers

Des températures modérées (41–41,5 °C) peuvent augmenter le taux de division des cellules malignes et la dissémination cellulaire par accroissement des flux sanguins [9].

10.5.3. Rachis

L'étude thermographique sur pièces anatomiques humaines du champ thermique ultrasonore en physiothérapie rachidienne montre que les ultrasons produisent un échauffement susceptible d'affecter le contenu du canal rachidien [8] (figure 10.3). Certains faits cliniques [14] pourraient être en relation avec ces constatations expérimentales et font douter de l'innocuité de la technique [8].

La cartographie thermique présentée concerne des tissus morts, non irrigués par le sang. De ce fait, cette cartographie doit être considérée comme qualitative et correspondant à des températures maximales qu'on n'observe probablement pas in vivo. Si on prend l'exemple du tissu musculaire in vivo dans les mêmes conditions, on n'a pas observé de températures excédant 41,5 °C, soit + 4,5 à 5 °C au-dessus de la température musculaire de base (36,5 à 37 °C), ceci en raison d'une augmentation réflexe thermo-induite du débit sanguin musculaire.

Ces augmentations de température dans un tissu vascularisé sont loin d'être négligeables, et dans la mesure où nous ne savons pas si un mécanisme de vasodilatation réflexe thermo-induite existe au sein du tissu nerveux, l'application d'ultrasons au niveau du rachis nous paraît devoir être contre-indiquée.

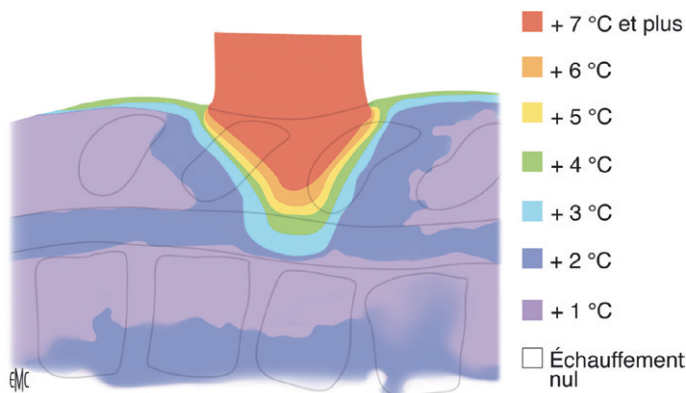


FIGURE 10.3. Échauffement du canal rachidien par les ultrasons.

Mesures ex vivo, sur pièce anatomique, par téléthermographie infrarouge. Ultrasons de 3 MHz à 0,45 W/cm² pendant 10 minutes. L'échauffement des structures du canal rachidien apparaît à partir de 2 minutes 30 secondes. Au bout de 10 minutes, l'augmentation de température atteint + 3 à 4 °C en l'absence de vascularisation. D'après [8].

10.5.4. Conséquences loco-régionales

Les ultrasons sont donc formellement contre-indiqués sur tout tissu germinale et/ou en prolifération rapide, donc au niveau des régions de l'utérus, de l'ovaire, des tumeurs malignes et des tumeurs bénignes en évolution. On évitera également de provoquer une hyperthermie au niveau des cellules à potentiel de régénération faible ou nul (cellules du système nerveux central). Enfin, il apparaît évident de ne pas échauffer une région siège d'une infection ou d'une inflammation.

Vu leurs contre-indications et les risques majeurs qui en résultent, vu qu'il n'y a pas d'étude contrôlée montrant leur efficacité antalgique chez le lombalgique [15], les ultrasons ne doivent pas être appliqués sur la tête ni sur le tronc [16]. Pour le traitement des rachialgies, l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines avec des électrodes de grande surface ($\geq 150 \text{ cm}^2$) et de grande longueur ($> 20 \text{ cm}$) présente une efficacité et une innocuité nettement supérieures (cf. 5.4).

10.5.5. Pièces incluses scellées

L'étude expérimentale des effets thermiques des ultrasons sur le matériel prothétique montre qu'à 1 ou 3 MHz avec 1 W/cm^2 l'élévation thermique est nulle dans l'acier, modérée dans le polyéthylène, importante dans le ciment de scellement si celui-ci n'est pas au contact d'un matériau à forte diffusivité thermique [7] (figure 10.4).

Concernant la contre-indication classique sur les pièces métalliques non scellées, remarquons que les ultrasons n'engendrent aucune hyperthermie significative au niveau de la pièce métallique elle-même. En conséquence, d'éventuelles contre-indications ne peuvent être évoquées que via des effets non thermiques qui restent à démontrer.

10.5.6. Autres contre-indications

Les autres contre-indications classiques des ultrasons doivent également être respectées :

- cartilages de croissance (tissus à prolifération rapide);
- gonades;
- pacemaker, neuromodulateur;
- zones mal vascularisées [5] : artérites, phlébites, ischémies;
- anesthésies et hypoesthésies locales;
- hypoesthésies profondes, troubles de la sensibilité thermo-algésique;
- infections et inflammations aiguës;
- sites et affections à tendance hémorragique;
- fractures non consolidées, greffes et lésions tissulaires récentes.

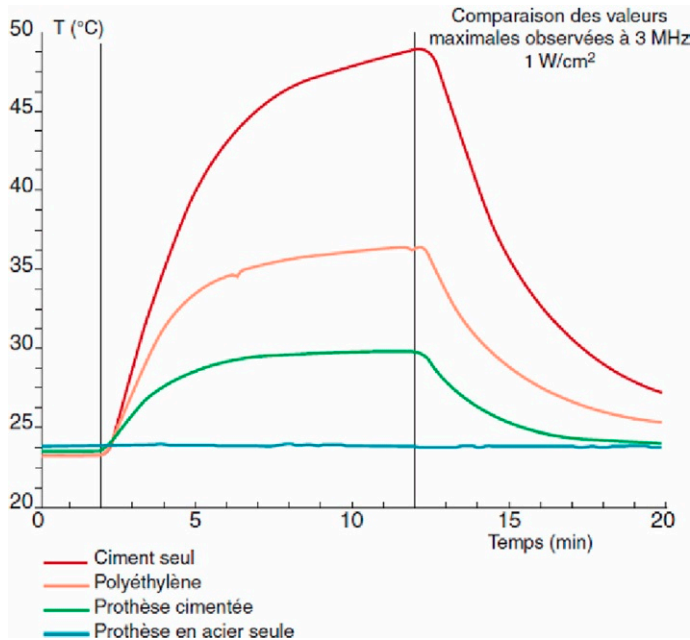


FIGURE 10.4. Effets thermiques des ultrasons sur le matériel prothétique. Mesures sur échantillons de matériaux isolés. Ultrasons de 3 MHz à 1 W/cm² pendant 10 minutes. Sur le ciment de scellement, l'effet thermique est très important, maximal en surface mais rapidement atténué pour devenir négligeable au-delà de 1 cm de profondeur. Sur le bloc de polyéthylène, l'effet thermique est moindre, comparable à celui observé sur un tissu musculaire non vascularisé, et dépend essentiellement de la fréquence du faisceau ultrasonore, d'autant plus important que celle-ci est faible. Sur la prothèse engainée de ciment, l'élévation de température est peu importante, aussi bien au sein du ciment qu'au sein de la prothèse, probablement en raison de la diffusibilité du métal. Sur l'acier, aucune élévation thermique n'a été enregistrée, quelle que soit la fréquence. D'après [7].

10.6. Modalités d'application

Les ultrasons s'appliquent uniquement sur les membres. Lors du traitement des articulations proximales, épaules et hanches, le praticien oriente le transducteur afin que le faisceau ne puisse pas atteindre les organes du thorax ou du petit bassin [17–19].

10.6.1. Paramètres

On utilise une puissance d'environ 1 W/cm² pendant 5 à 8 minutes et une fréquence adaptée au niveau d'action souhaité. La fréquence de :

- 1 MHz permet d'obtenir une thérapie en profondeur ;
- 3 MHz permet d'obtenir une thérapie en surface.

10.6.2. Émission continue ou pulsée

L'émission d'ultrasons peut être continue (permanente) ou pulsée (intermittente) et s'utilise conformément aux règles suivantes :

- l'émission continue doit être appliquée en massage;
- l'émission pulsée peut être appliquée en massage ou en point fixe;
- l'émission pulsée doit présenter un rapport suffisant, proche de 1/2, et une fréquence de 50 ou 100 Hz pour que la thermothérapie soit effective; si le rapport est trop faible, on peut douter de l'intérêt thérapeutique en rééducation fonctionnelle;
- les ultrasons pulsés à 50 Hz selon le rapport 1/2 représentent un bon compromis efficacité/confort [20].

10.6.3. Surface d'application

La surface du transducteur étant petite ($< 10 \text{ cm}^2$), il faut s'adapter à la surface à traiter :

- si la surface à traiter est ponctuelle, l'application s'effectue en point fixe avec des ultrasons pulsés;
- si la surface à traiter est plus importante, l'application s'effectue en massage avec des ultrasons continus ou pulsés.

10.6.4. Interface

L'interface dépend du segment à traiter :

- pour une application sur un segment proximal ou sur une zone charnue, on utilise un gel de contact (figures 10.5, 10.6);

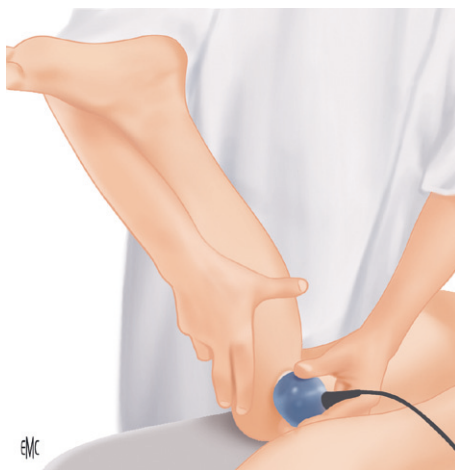


FIGURE 10.5. Application des ultrasons avec un gel.

Le gel de contact permet la transmission du faisceau ultrasonore dans les tissus. La mobilisation de l'articulation pendant toute la durée de l'application est indispensable pour obtenir une amélioration des amplitudes articulaires.



FIGURE 10.6. Application des ultrasons sur des séquelles fibreuses de lésions musculaires.

Le gel de contact permet la transmission du faisceau ultrasonore dans les tissus. La mobilisation de l'articulation produit un étirement musculaire. Cette mobilisation tissulaire pendant toute la durée de l'application est indispensable pour obtenir une amélioration de la fibrose.

- pour une application sur un segment distal, sur la main ou sur le pied, ou éventuellement sur le coude, on applique les ultrasons en immersion ([figure 10.7](#)).

L'immersion ne doit pas être utilisée pour traiter un segment proximal car elle pourrait permettre aux ultrasons de diffuser sur des zones où ils sont contre-indiqués, par exemple sur les gonades.

En revanche, l'immersion est conseillée pour traiter un segment distal car elle permet :

- une excellente transmission de l'onde ultrasonore et une adaptation optimale de la tête du transducteur sur les reliefs anatomiques, notamment sur les saillies osseuses sous-cutanées ;
- l'application sur une petite articulation avec un transducteur large, plus efficace qu'un transducteur étroit.

10.6.5. Mobilisation associée

Il faut nécessairement associer une mobilisation douce, progressive et prolongée pendant toute la durée de l'application des ultrasons afin d'utiliser de façon optimale les modifications bénéfiques thermo-induites des propriétés mécaniques du collagène [5]. Cette mobilisation associée, base du traitement, est indispensable pour obtenir des effets « sclérolytiques » sur la fibrose et pour augmenter la mobilité articulaire.

10.6.6. Ultrasons et infections nosocomiales

Les ultrasons peuvent transmettre des infections nosocomiales. Une étude a été menée pour déterminer le degré de contamination des têtes émettrices d'ultrasons thérapeutiques après utilisation et pour évaluer l'efficacité des procédures de désinfection recommandées.



FIGURE 10.7. Application des ultrasons en immersion.

L'immersion permet une transmission optimale du faisceau ultrasonore dans les tissus quelle que soit la surface du transducteur et quels que soient les reliefs anatomiques. On l'utilise principalement pour traiter la main ou le pied et, éventuellement le coude. La mobilisation de l'articulation pendant toute la durée de l'application est indispensable pour obtenir une amélioration des amplitudes articulaires.

Les résultats montrent que 27 % des têtes d'ultrasons et 28 % des gels sont contaminés et que le nettoyage des têtes avec de l'alcool à 70 % a significativement réduit le niveau de contamination ($p < 0,01$). Les auteurs concluent que les équipements d'ultrasons thérapeutiques sont un vecteur potentiel d'infections nosocomiales et que ce risque d'infection peut être efficacement réduit en nettoyant les têtes des émetteurs avec de l'alcool à 70 % entre chaque patient [21].

Les gels utilisés comme interface pour l'application des ultrasons sont également vecteurs potentiels d'infections nosocomiales. Pour pallier ces risques, il est préférable d'utiliser des gels conditionnés en dose unique.

10.7. Ultrasons pulsés de basse intensité

À l'inverse des ultrasons classiques décrits ci-dessus et utilisant des puissances de l'ordre de 1 W/cm^2 , les ultrasons pulsés de basse intensité appelés LIPUS (*Low Intensity Pulsed Ultrasound*) – ou parfois LIUS – dans la littérature anglo-saxonne utilisent des puissances très faibles de l'ordre de $0,03$ à $0,1 \text{ W/cm}^2$.

Il s'ensuit des effets physiologiques et des indications bien distinctes. Les LIPUS sont l'objet d'études humaines et animales pour déterminer leurs effets, notamment sur la consolidation osseuse, sur l'ostéoporose, sur l'arthrose, sur les tendinopathies et sur la réparation des lésions tissulaires.

La majorité des auteurs des publications sur ce sujet s'accorde pour utiliser habituellement la posologie et les paramètres suivants :

- ultrasons de 1 à $1,5 \text{ MHz}$, pulsés en salves de $200 \mu\text{s}$ (*burst*) dont la fréquence est d' 1 kHz ;
- l'intensité est de 30 mW/cm^2 ;
- la durée d'application est de 20 minutes par jour, 5 jours par semaine, voire 7 jours par semaine en cas d'auto-application;
- la durée du traitement s'étend sur une période de 6 à 15 semaines.

Le transducteur est placé au niveau de la zone concernée : foyer de fracture, lésion tissulaire, tendon, articulation ([figure 10.8](#)).

10.8. Effets cliniques

10.8.1. Objectif et méthode

Les ultrasons représentent une des techniques les plus utilisées en physiothérapie. Ceci est-il justifié, les ultrasons sont-ils réellement efficaces, et dans quels cas ?

Les ultrasons pulsés de basse intensité (LIPUS), technique plus récente et toujours en cours d'évaluation ont-ils des effets sur la consolidation des fractures, sur les tissus mous, sur la prévention de l'arthrose et dans le traitement des tendinopathies ?

Pour répondre à ces questions, une revue de la littérature a été effectuée à partir des bases de données PEDro et PubMed jusqu'à mars 2012 avec les mots-clés suivants : *ultrasound therapy musculoskeletal, therapeutic ultrasound, low intensity pulsed ultrasound*, associés à *physical therapy, physiotherapy treatment, rheumatology, tendinopathy, traumatology*, et à partir de publications françaises [22, 23].

10.8.2. Effets des ultrasons

L'étude des effets thermiques et non thermiques des ultrasons, de leur absorption par les tissus et de la formation de radicaux libres dans les solutions aqueuses [13, 24], ainsi que les travaux mentionnés ci-dessus [1–9], ont permis de déterminer leurs propriétés, leurs effets thérapeutiques et leurs dangers.



1



2



3

FIGURE 10.8. Modalités d'application des LIPUS.
Le transducteur est placé au niveau du site à traiter.

10.8.2.1. Ultrasons et fibrose

Les effets thermiques des ultrasons décrits ci-dessus (cf. 10.3.1.8) modifient favorablement les propriétés mécaniques des structures conjonctives, surtout tendino-ligamentaires. Les ultrasons présentent donc des effets « sclérolytiques » qu'on peut utiliser pour traiter les fibroses, en rappelant que pour obtenir ces effets, les ultrasons doivent nécessairement être accompagnés d'une mobilisation douce, progressive et prolongée pendant toute la durée de l'application [9] (figures 10.5 à 10.7). Ces effets « sclérolytiques » des ultrasons semblent être étayés par quelques études cliniques, mais peu nombreuses.

Parmi les techniques non chirurgicales utilisées pour le traitement du syndrome du canal carpien, les ultrasons ont fait la preuve de leur efficacité à court et à moyen terme, mais pas à long terme [25].

La comparaison du traitement médical incluant la thérapie manuelle et les ultrasons et du traitement chirurgical du syndrome du canal carpien sans dénervation sur 116 patients montre que les symptômes se sont améliorés dans les deux groupes, mais avec un avantage significatif pour la chirurgie [26].

Dans le traitement du syndrome du canal carpien, les ultrasons sont significativement plus efficaces que la lasérothérapie, que l'on peut considérer comme placebo, sur l'amélioration du score de la douleur, de la force de préhension et sur l'EMG [27].

Quelques publications font état de l'intérêt des ultrasons pour traiter la maladie de La Peyronie (induration fibreuse des corps caverneux) [28]. Cependant, on manque d'essais contrôlés randomisés pour valider cette indication.

10.8.2.2. Ultrasons et appareil locomoteur

Une revue de la littérature qui a recensé 293 articles concernant l'effet des ultrasons sur la plupart des désordres de l'appareil musculo-squelettique conclut que l'utilisation des ultrasons repose actuellement sur des données empiriques mais manque du soutien substantiel d'études contrôlées [29].

Une autre revue de la littérature portant sur 38 essais conclut à l'absence d'efficacité des ultrasons sur la plupart des désordres musculo-squelettiques : épaule douloureuse, entorse de la cheville, rhumatismes dégénératifs... [30].

Enfin, une revue de la littérature incluant 10 études a évalué l'efficacité des ultrasons thérapeutiques dans le traitement des pathologies musculo-squelettiques des tissus mous du membre inférieur. Aucun des essais contrôlés *versus* placebo n'a montré une différence statistiquement significative entre le vrai traitement par ultrasons et le traitement par ultrasons fictifs [31].

10.8.2.3. Ultrasons et tendinopathie

Traditionnellement, on attribue aux ultrasons des effets antalgiques et des propriétés bénéfiques sur l'épicondylalgie latérale, mais ils n'ont pas fait la preuve de leur efficacité dans ce traitement.

Une étude comparative a été effectuée sur 99 patients atteints d'épicondylalgie latérale et aléatoirement répartis en trois groupes de 33 pour évaluer les effets des ultrasons continus, des ultrasons placebo et du repos. Les résultats

ont montré une amélioration significative du groupe traité par ultrasons continus par rapport au groupe mis au repos, mais il n'y avait pas d'amélioration significative du groupe traité par ultrasons continus par rapport au groupe traité par ultrasons placebo [32].

Quarante-cinq patients atteints d'épicondylalgie latérale ont été répartis en deux groupes randomisés : ultrasons pulsés ou placebo. Les paramètres des ultrasons pulsés étaient : 1 MHz et 1 W/cm². Dix séances de 10 minutes ont été effectuées deux à trois fois par semaine. Après trois mois et douze mois, l'analyse statistique n'a montré aucune différence significative avec le placebo [33].

La « sonophorèse » n'est pas plus efficace que l'ionophorèse dans le traitement de l'épicondylalgie latérale. Un essai randomisé en double aveugle *versus* placebo sur 49 sujets répartis en deux groupes le confirme. Ces sujets présentaient des épicondylalgies, des tendinites et des téno-synovites. Les deux groupes ont reçu 8 minutes d'ultrasons continus à 1,5 W/cm², trois fois par semaine pendant trois semaines. Un groupe utilisait comme interface un gel contenant 0,05 % de fluocinonide, l'autre groupe utilisait un gel sans médicament. Les sujets ont indiqué leur niveau de douleur sur une échelle visuelle analogique au début du traitement et à la fin des semaines 1, 2 et 3. Aucune différence entre les groupes n'a été observée du début du traitement à la fin de la troisième semaine [34].

Une revue de la littérature fondée sur 185 articles publiés depuis 1966 sur les méthodes de traitement de l'épicondylalgie latérale conclut qu'il n'y a pas de preuves scientifiques suffisantes pour soutenir chacune des méthodes actuelles de traitement. Il y avait trop de différences méthodologiques pour permettre une méta-analyse quantitative, mais la revue qualitative a établi l'importance de l'évolution spontanée du syndrome et de l'effet placebo de tous les traitements [35].

Les ultrasons n'ont donc pas fait la preuve de leur efficacité dans le traitement de l'épicondylalgie latérale. Mais cette absence d'efficacité n'est pas la spécificité des ultrasons. En effet, suite à une étude économique qui a été réalisée au cours d'un essai contrôlé randomisé ayant pour objectif d'évaluer les effets de trois types d'interventions sur des patients atteints d'épicondylalgie latérale, le Collège hollandais des praticiens généralistes des Pays-Bas a publié des directives qui recommandent une politique attentiste dans les cas d'épicondylalgie latérale (cf. 3.2.3.) [36]. Une revue plus récente confirme que le traitement des tendinopathies n'est toujours pas évident, quelles que soient les modalités de physiothérapie considérées [37].

Au cours du traitement conventionnel de syndromes de conflit sous-acromial (physiothérapie standard et réadaptation), l'application complémentaire d'ultrasons pulsés n'a pas donné de meilleurs résultats que l'application d'ultrasons placebo [38].

10.8.2.4. Ultrasons et arthrose

On peut s'interroger sur l'intérêt des ultrasons en rhumatologie. En se basant sur les résultats du peu d'essais contrôlés disponibles, on ne peut juger de l'efficacité ou de l'inefficacité des ultrasons [39].

Les résultats d'une revue de littérature suggèrent que les ultrasons thérapeutiques peuvent être bénéfiques chez les patients souffrant d'arthrose du genou et que leur utilisation en pratique pour leur effet potentiel sur la douleur et la fonction pourrait être cliniquement pertinente. Cependant, les auteurs soulignent la nécessité de confirmer cette hypothèse par la réalisation d'essais clinique de puissance suffisante pour conclure [40].

10.8.2.5. Ultrasons et lombalgie

Chez 120 personnes âgées de 18 à 55 ans souffrant de lombalgie chronique depuis plus de trois mois, l'association d'exercices et de manipulations rachidiennes a permis une amélioration plus importante que l'association d'exercices et d'ultrasons en fin de traitement et au bout de six mois de suivi [41].

Étant donné les contre-indications des ultrasons et les risques majeurs qui en résultent, vu que les ultrasons ne doivent pas être appliqués sur la tête ni sur le tronc [10], et vu qu'il n'y a pas d'étude contrôlée montrant leur efficacité antalgique chez le lombalgique [15], les ultrasons ne doivent pas être utilisés pour le traitement des rachialgies. On préférera l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines pour son efficacité et son innocuité (cf. 10.5).

10.8.2.6. Ultrasons, points gâchettes et fibromyalgie

Les ultrasons de 1 W/cm² appliqués sur les points gâchettes cervicaux (*trigger points*) de 70 patientes de 42 à 52 ans atteintes de fibromyalgie n'ont pas fait la preuve de leur efficacité [42].

10.8.2.7. Ultrasons et spasticité

Une étude menée chez quatre patients hémiplegiques adultes n'a pas montré de diminution significative ($p > 0,05$) de la spasticité après application d'ultrasons thérapeutiques. Pour l'évaluation de la spasticité, l'échelle d'Ashworth a été utilisée ainsi que les mouvements actifs et passifs de la cheville. Les auteurs appellent de leurs vœux des études avec un plus grand nombre de patients et un groupe témoin afin de préciser les effets des ultrasons sur la spasticité [43].

Ce manque de preuve de l'efficacité des ultrasons sur la spasticité chez l'hémiplegique a été confirmé par des études plus récentes qui n'ont pas permis de mettre en évidence une réduction de la spasticité ni par les ultrasons ni par les infrarouges : les ultrasons pas plus que les infrarouges ne permettent de réduire la spasticité [44–46].

10.8.2.8. Ultrasons et entorse aiguë

Une revue *Cochrane* publiée en 1999, mise à jour en 2004 puis en 2011, a évalué les effets de la thérapie par ultrasons dans le traitement des entorses aiguës de la cheville. Six essais ont été inclus, impliquant 606 participants. Les essais randomisés ont été inclus quand les mesures de résultats comprenaient l'amélioration générale, la douleur, le gonflement, le handicap fonctionnel ou les possibilités de mouvement et lorsque le groupe contrôle était placebo. Ainsi, cinq essais ont été retenus. Le traitement par ultrasons n'améliore pas la récupération

de la fonction et ne réduit ni la douleur, ni le gonflement. Les auteurs concluent à l'absence de justification de l'utilisation des ultrasons dans le traitement des entorses aiguës de la cheville. Les effets du traitement semblent minimes peu pertinents cliniquement, surtout si on considère que la plupart des entorses de cheville guérissent rapidement [47].

Les recommandations pour les pratiques de soins de rééducation de l'entorse externe de la cheville préconisent de ne pas utiliser les ultrasons continus ou pulsés dans les premiers jours, compte tenu d'une part de leur effet thermique qui favorise l'œdème et d'autre part des vibrations mécaniques qui perturbent la cicatrisation [48].

10.8.2.9. Ultrasons et fracture

Des fractures bilatérales de fémur ont été réalisées chez 30 rats mâles adultes afin de vérifier si les ultrasons produits par les appareils conventionnels traditionnellement employés en rééducation fonctionnelle accélèrent la consolidation des fractures. La thérapie par ultrasons a été commencée le premier jour après la fracture et appliquée cinq jours par semaine pendant 20 minutes par jour. Chaque animal a été traité d'un côté avec des ultrasons actifs et de l'autre côté avec des ultrasons placebo inactifs. Les ultrasons actifs de 1 MHz pulsés à 100 Hz par salves de 2 millisecondes ont été appliqués à la puissance de 0,1 W/cm².

À 25 jours, il n'y avait aucune différence entre les fractures traitées avec des ultrasons actifs et les fractures traitées avec des ultrasons inactifs. Cependant à 40 jours, le contenu minéral osseux des fractures traitées par les ultrasons actifs était de 16,9 % supérieur à celui des fractures traitées par les ultrasons inactifs. Ces résultats indiquent que les ultrasons peuvent faciliter la consolidation de fractures chez l'animal. Les auteurs émettent toutefois des réserves : cette étude de laboratoire doit être interprétée prudemment et confirmée par des expérimentations cliniques chez l'homme avant de conclure [49]. Les études effectuées sur la consolidation des fractures avec les ultrasons pulsés de basse intensité décrites ci-dessous utilisent généralement des puissances inférieures à 0,1 W/cm².

10.8.2.10. Ultrasons et talalgie

Selon une revue *Cochrane* qui a examiné 19 essais contrôlés randomisés incluant 1 626 participants, il n'y a aucune preuve pour soutenir l'efficacité antalgique des ultrasons thérapeutiques dans le traitement de la talalgie plantaire [50].

10.8.2.11. Ultrasons et plaies chroniques

Les ultrasons de 20 à 40 kHz, dits ultrasons de « basse fréquence », délivrés avec une basse ou une haute intensité sont utilisés pour favoriser la guérison des plaies chroniques. Une revue systématique de la littérature avec méta-analyse de huit essais contrôlés randomisés a permis de mettre en évidence l'efficacité des ultrasons de « basse fréquence », de basse et de haute intensité, utilisés comme traitement d'appoint pour l'amélioration de la cicatrisation avant cinq mois des plaies chroniques des membres inférieurs chez les patients sujets à une stase veineuse et diabétiques avec ulcères du pied [51].

10.8.3. Effets des ultrasons pulsés de basse intensité

Les ultrasons pulsés de basse intensité (LIPUS) ont été l'objet d'études humaines et animales pour évaluer leurs effets, notamment sur la consolidation osseuse.

10.8.3.1. LIPUS : études chez l'animal

L'accélération de la consolidation osseuse chez le lapin par les LIPUS a été décrite dès 1990. Les paramètres définis à cette époque sont toujours utilisés actuellement : 1,5 MHz, salves de 200 μ s à 1 kHz, 30 mW/cm², 20 minutes par jour [52].

Plusieurs études animales montrent que les LIPUS accélèrent l'ostéogénèse et qu'ils peuvent constituer un traitement prometteur pour l'ostéoporose [53].

Des souris ont subi une ovariectomie afin de produire une ostéoporose. Les membres arrière droits ont été stimulés avec les LIUS cinq jours par semaine sur une période de six semaines, alors que les membres arrière gauches n'ont pas été stimulés. Du côté stimulé, la qualité et l'élasticité de l'os ont augmenté par rapport au côté non stimulé. Les auteurs concluent que la stimulation LIUS peut réduire efficacement le risque de fracture des os ostéoporotiques en améliorant leurs caractéristiques mécaniques, structure et élasticité [54].

Des trous de 2 mm ont été percés à l'aide de fraises dentaires au milieu de la diaphyse du tibia droit de 36 lapins. Les animaux ont ensuite été répartis au hasard en deux groupes : un groupe traité par les LIPUS (20 minutes/jour, cinq fois par semaine) et un groupe traité par placebo. Les mesures radiographiques et mécaniques (force maximale de rupture) ont mis en évidence des résultats qui ont été jugés significativement plus élevés dans le groupe traité par LIPUS que dans le groupe témoin [55].

Une étude sur 17 lapins après ostéotomie du tibia montre que c'est en phase initiale, au stade précoce de la consolidation, qu'on obtient des LIPUS le maximum d'efficacité sur la régénération osseuse [56].

Le cochon de Guinée développe une dégénérescence du cartilage articulaire semblable à celle qu'on observe dans l'arthrose de l'homme. Cette particularité a été utilisée pour vérifier si l'application des LIPUS permet de prévenir ou d'atténuer la progression de ce processus dégénératif. Le traitement a été lancé au début de la dégénérescence (à 8 semaines d'âge) pour évaluer la capacité des LIPUS de prévenir l'arthrose ou d'atténuer sa progression à un âge plus avancé (12 mois). Les LIPUS ont été appliqués sur l'articulation pendant 20 minutes par jour sur des périodes allant de trois à dix mois, le membre controlatéral servant de contrôle. Les LIPUS n'ont pas pu empêcher la dégénérescence du cartilage dans les groupes traités, mais ils ont réduit la gravité de la maladie. L'effet était plus important en début de traitement que lorsque la dégénérescence s'est installée [57].

Selon une étude *in vitro* et *in vivo*, les LIPUS améliorent la régénération des fibres musculaires de la souris après lésion musculaire, et ils sont particulièrement efficaces pendant les trois premières semaines qui suivent la lacération [58].

Sur 60 rats adultes présentant une lésion expérimentale d'un ligament du genou, les LIPUS accélèrent l'amélioration alors que les AINS la retardent. Les auteurs concluent que les LIPUS permettent un retour plus précoce à l'activité et que les AINS augmentent le risque de lésion supplémentaire car l'amélioration est plus tardive [59].

10.8.3.2. LIPUS et consolidation des fractures chez l'homme

En 1994, chez l'homme, une étude randomisée en double aveugle *versus* placebo sur 67 fractures du tibia met en évidence une diminution statistiquement significative du temps de consolidation par rapport au groupe témoin ($p = 0,01$) et confirme les études antérieures effectuées sur l'animal qui ont démontré l'efficacité de la stimulation par ultrasons de faible intensité [60].

Une étude multicentrique randomisée en double aveugle contrôlée *versus* placebo a évalué l'efficacité des LIPUS pour raccourcir le temps de consolidation des fractures de l'extrémité distale du radius de 60 patients. Les patients ont utilisé à leur domicile soit un appareil actif, soit un dispositif placebo, 20 minutes par jour pendant dix semaines. Le temps de consolidation a été significativement plus court pour les fractures qui ont été traitées par les LIPUS que pour celles qui ont été traitées avec le placebo (61 ± 3 jours, *versus* 98 ± 5 jours; $p < 0,0001$) [61].

Une revue systématique et une méta-analyse d'essais contrôlés randomisés destinée à définir l'effet des LIPUS sur le temps de consolidation des fractures ont identifié 138 études potentiellement éligibles dont six ont répondu aux critères d'inclusion fixés. Trois essais représentant 158 fractures étaient d'une homogénéité suffisante pour réaliser une méta-analyse. Les résultats ont montré que le temps de consolidation des fractures était significativement plus court chez les groupes ayant bénéficié d'un traitement par ultrasons de faible intensité que dans les groupes de contrôle avec une différence moyenne de 64 jours entre les groupes. Les auteurs concluent que les LIPUS peuvent réduire considérablement le temps de consolidation des fractures non opérées. En revanche, ils ne semblent pas efficaces après enclouage centromédullaire [62].

Les mêmes auteurs ont refait sept ans plus tard une revue systématique de 13 essais contrôlés randomisés, avec méta-analyses lorsque c'était possible, et ils concluent que l'effet des LIPUS sur la consolidation des fractures est modéré à très faible, que les résultats sont contradictoires, mais que les résultats d'ensemble restent prometteurs [63].

Les résultats de huit essais de bonne qualité méthodologique ont été compilés et indiquent que les LIPUS peuvent accélérer la guérison des fractures aiguës du tibia [64].

Ils seraient également efficaces dans le traitement des pseudarthroses du tibia et peuvent être considérés comme une alternative à la chirurgie [65].

Les éléments de preuve concernant l'utilisation des LIPUS dans le traitement des fractures des os longs ont été mis en évidence par l'examen de deux méta-analyses et de sept essais contrôlés randomisés. Les auteurs considèrent que la littérature soutient l'utilisation des LIPUS dans le traitement des fractures aiguës des os longs traitées par immobilisation plâtrée [66].

Une étude contrôlée randomisée en double aveugle, multicentrique, a été effectuée chez 101 patients adultes atteints d'une fracture de la clavicule non opérée : 49 patients ont utilisé un placebo et 52 patients avaient un transducteur d'ultrasons actif. Les résultats n'ont pas mis en évidence de différence en ce qui concerne le temps de guérison de la fracture, la reprise des activités quotidiennes, du sport ou du travail professionnel, la douleur (EVA) et l'utilisation de médicaments antalgiques. Les auteurs considèrent que les LIPUS n'accélérent pas la guérison des fractures de la clavicule [67].

Une récente revue de la littérature indique que les LIPUS accélèrent la guérison des fractures, notamment des retards de consolidation, et des pseudarthroses. Cette revue confirme les paramètres des ultrasons utilisés (fréquence de base de 1,5 MHz, éclatée en salves – ou *burst* – d'une durée de 200 μ s dont la fréquence est de 1 kHz, et intensité de 30 mW/cm²) et montre que les LIPUS ont amélioré de 24 % à 42 % le temps de consolidation des fractures fraîches. L'effet bénéfique sur l'accélération de la guérison des fractures par les LIPUS est considéré comme plus important dans le groupe de patients présentant des fractures avec des facteurs de guérison potentiellement négatifs. Cependant, les auteurs précisent que certains essais n'ont montré aucun effet positif et que le mode d'action des LIPUS pour la guérison des fractures est encore inconnu en raison de l'hétérogénéité des résultats des essais cliniques pour les fractures fraîches et du manque d'essais contrôlés pour les retards de consolidation et les pseudarthroses [68].

Les études histologiques indiquent que les LIPUS influent sur tous les types cellulaires majeurs impliqués dans la consolidation osseuse, y compris les ostéoblastes, les ostéoclastes, les chondrocytes et les cellules souches mésenchymateuses. Même si l'énergie utilisée par ce traitement est extrêmement faible, les effets sont évidents. Les résultats sont probablement dus aux effets non thermiques des LIPUS sur la perméabilité des membranes cellulaires. Néanmoins, malgré des études cliniques et expérimentales démontrant l'amélioration de la régénération osseuse, les mécanismes biophysiques impliqués dans le processus de guérison de la fracture restent à définir [69].

Les LIPUS ont été utilisés avec succès après chirurgie thoracique pour traiter une pseudarthrose du sternum chez un homme de 48 ans opéré pour remplacement d'une valve aortique. La sternotomie avait été fermée avec des fils en acier inoxydable. Les auteurs ont constaté une guérison clinique et radiologique de la pseudarthrose dans un délai de quatre mois. Ils concluent que ce traitement semble sans danger et qu'il peut être utilisé comme traitement de première intention pour la pseudarthrose du sternum [70].

Les LIPUS utilisés en traitement post-chirurgical donnent des résultats variés.

Une étude randomisée contrôlée *versus* placebo a été effectuée en double aveugle sur 44 patients qui ont subi une ostéotomie en chevron pour la correction de l'hallux valgus. Les LIPUS ont été appliqués sur le site de l'ostéotomie. À six semaines et à un an, il n'y avait pas de différence statistiquement significative, ni dans les résultats des examens cliniques pré- et post-opératoires, ni en ce qui concerne la satisfaction des patients et les mesures radiologiques [71].

Une revue systématique avec méta-analyse incluant 23 études conclut que les LIPUS peuvent stimuler la guérison des fractures fraîches. Cependant, il n'y a qu'un faible niveau de preuve pour soutenir la guérison des retards de consolidation et des pseudarthroses en raison du manque d'études suffisantes [72].

Une étude *Cochrane* a évalué les effets des LIPUS et des ondes de choc extracorporelles dans le traitement des fractures aiguës de l'adulte. Douze essais impliquant 622 participants avec 648 fractures ont été inclus. Onze essais ont évalué les LIPUS et un essai a évalué les ondes de choc extracorporelles. Une étude quasi randomisée (59 fractures) n'a trouvé aucune différence significative à douze mois entre les groupes traités par ondes de choc extracorporelles et les groupes témoins. Les auteurs concluent qu'un avantage potentiel des LIPUS pour le traitement des fractures aiguës de l'adulte ne peut pas être exclu, mais que la preuve actuellement disponible est insuffisante pour soutenir leur utilisation en pratique courante [73].

10.8.3.3. LIPUS, ostéoporose, tissus mous et tendinopathies

Quinze patients atteints d'une lésion de la moelle épinière ont été traités par LIPUS au niveau du talon. Le talon controlatéral a été simultanément traité par placebo (LIPUS inactifs). Les résultats n'ont montré aucune différence entre les deux talons : les LIPUS ne permettent pas de prévenir l'ostéoporose du calcanéum chez ces patients [74]. Il faut noter que dans cette étude les paramètres étaient différents de ceux qui sont habituellement décrits : ultrasons de 1 MHz pulsés en salves de 10 μ s dont la fréquence est de 3,3 kHz et intensité de 30 mW/cm². C'est-à-dire une durée de salve 20 fois plus brève et une fréquence de pulsation 3,3 fois plus élevée.

Les effets des LIPUS sur la guérison des tissus mous ont fait l'objet d'une revue de la littérature qui a montré des résultats encourageants. Les LIPUS favorisent la guérison dans différents tissus mous tels que le cartilage et le disque intervertébral. En ce qui concerne l'insertion tendineuse, on observe surtout un effet sur l'os. En revanche, l'intérêt des LIPUS dans le traitement des tendinopathies est discutable [75].

Les LIPUS stimulent la prolifération des chondrocytes du cartilage articulaire humain *in vitro*. Ils pourraient donc constituer un traitement possible pour la réparation tissulaire du cartilage chez les patients arthrosiques [76].

Chez 55 patients présentant une épicondylalgie latérale résistante au traitement de première ligne (injections de cortisone et d'AINS), traitée quotidiennement pendant douze semaines par LIPUS auto-administrés, on n'observe pas de différence significative avec le groupe placebo [77].

Trente-sept patients atteints de tendinopathie rotulienne chronique ont été randomisés en groupes : LIPUS actif ($n = 17$) et placebo LIPUS inactif ($n = 20$). Les LIPUS étaient auto-administrés par les participants pendant 20 minutes par jour, sept jours par semaine, pendant douze semaines. Les résultats sur la douleur ont été mesurés avec des échelles visuelles analogiques. Il n'a été observé aucune différence entre les LIPUS actifs et les LIPUS inactifs. Les auteurs concluent que les LIPUS n'apportent pas d'avantages supplémentaires par rapport au placebo dans le traitement des symptômes associés à la tendinopathie rotulienne [78].

10.8.4. Discussion et conclusion

Les ultrasons conventionnels sont depuis longtemps très utilisés en rééducation fonctionnelle bien qu'ils n'aient pas fait la preuve de leurs effets antalgiques et malgré leurs contre-indications sévères dues à leurs effets thermiques. Ils n'ont pas d'intérêt dans le traitement des rachialgies et sont contre-indiqués sur le tronc. Ils ne doivent pas être appliqués sur des lésions fraîches, aiguës, inflammatoires ou hémorragiques.

Au vu des études susmentionnées, il semble que les ultrasons devraient être utilisés avec plus de discernement. Leurs effets « sclérolitiques » ayant été mis en évidence, ils sont indiqués sur la fibrose et sur des lésions anciennes, cicatricielles. Ils ne doivent être appliqués que sur les membres et au cours d'une mobilisation articulaire ou tissulaire concomitante.

Les ultrasons dits de « basse fréquence », utilisés comme traitement d'ap-point, pourraient améliorer la cicatrisation des plaies chroniques.

Les ultrasons pulsés de basse intensité ont parfois donné, lors d'études sur l'animal, des résultats très prometteurs, mais qui n'ont pas toujours été confirmés par les essais contrôlés randomisés chez l'homme. En effet, les résultats obtenus chez l'homme et les conclusions des différents auteurs sont encore trop divergents, voire contradictoires, pour qu'on puisse conclure formellement sur l'efficacité des LIPUS. Néanmoins, certains résultats encourageants doivent inciter à poursuivre ces études.

Selon les travaux dont on dispose actuellement, les LIPUS sembleraient plus adaptés au traitement de l'os (consolidation des fractures) et du cartilage (traitement, mais surtout prévention de l'arthrose) qu'au traitement des tendinopathies et apparaîtraient plus efficaces sur les lésions fraîches que sur les lésions anciennes. Des publications ultérieures devront permettre de définir plus précisément l'intérêt de cette nouvelle technique dans le traitement des affections de l'appareil locomoteur.

Références

- [1] Darlas Y, Perrin J. Risques biologiques actuels et potentiels liés à l'utilisation des ultrasons dans le diagnostic gynéco-obstétrical. In : *Apport de l'échographie en obstétrique*. Paris : Vigot ; 1987. p. 79–100.
- [2] Darlas Y, Allas T, Solassol A, Fernandez Y, Perrin J. Effets thermiques des ultrasons : expériences préliminaires. In : Simon L, editor. *Act Réed Fonct Réadapt*, 13^e série. Paris : Masson ; 1988. p. 170–8.
- [3] Darlas Y, Solassol A, Clouard R, Normand H, Allas T, Perrin J, et al. Ultrasonothérapie : calcul de la thermogénèse. *Ann Réadapt Méd Phys* 1989 ; 32 : 181–92.
- [4] Darlas Y, Normand H, Solassol A, Clouard R, Allas T, Baillart O, et al. Le champ thermique ultrasonore en physiothérapie. Étude thermographique sur pièces anatomiques humaines. In : Simon L, editor. *Act Réed Fonct Réadapt* 14^e série. Paris : Masson ; 1989. p. 14–24.
- [5] Darlas Y, Normand H, Solassol A, Clouard R, Beades E, Morelec I, et al. Échauffement musculaire in vivo chez l'être humain sous irradiations ultrasonore et électromagnétique. In : Simon L, Péliissier J, Hérisson Ch, editors. *Act Réed Fonct Réadapt*, 16^e série. Paris : Masson ; 1991. p. 37–46.

- [6] Darlas Y, Clouard R, Solassol A, Normand H, Morelec I, Beades E, et al. Interactions ultrasonores à médiation non thermique : micro-mouvements particulaires et cavitations. Perspectives thérapeutiques. In : Simon L, Péliissier J, Hérisson Ch, editors. Act Rééd Fonct Réadapt, 17^e série. Paris : Masson; 1992. p. 73–84.
- [7] Normand H, Darlas Y, Solassol A, Allas T, Fernandez Y, Perrin J, et al. Étude expérimentale de l'effet thermique des ultrasons sur le matériel prothétique. Ann Réadapt Méd Phys 1989; 32 : 193–201.
- [8] Solassol A, Darlas Y, Normand H, Allas T, Clouard R, Fernandez Y, et al. Champ thermique électromagnétique (ondes radar) et ultrasonore en physiothérapie rachidienne. Étude thermographique sur pièces anatomiques humaines. In : Simon L, Péliissier J, Hérisson Ch, editors. Act Rééd Fonct Réadapt, 15^e série. Paris : Masson; 1990. p. 425–33.
- [9] Solassol A, Darlas Y, Clouard R, Normand H, Beades E, Morelec I, et al. Effets thermiques des irradiations ultrasonores et radar sur les structures articulaires : conséquences thérapeutiques et iatrogénicité. In : Simon L, Péliissier J, Hérisson Ch, editors. Act Rééd Fonct Réadapt, 17^e série. Paris : Masson; 1992. p. 57–72.
- [10] Crépon F, Darlas Y. Électrothérapie. Ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et biofeedback. EMC Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-145-A-20, 2008.
- [11] Lehmann JF, Masock AJ, Warren CG, Koblanski JN. Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility. Arch Phys Med Rehabil 1970 Aug; 51(8) : 481–7.
- [12] Warren CG, Lehmann JF, Koblanski JN. Elongation of rat tail tendon : effect of load and temperature. Arch Phys Med Rehabil 1971 Oct; 52(10) : 465–74 passim.
- [13] O'brien Jr WD. Ultrasound-biophysics mechanisms. Prog Biophys Mol Biol 2007 Jan-Apr; 93(1–3) : 212–55.
- [14] Gnatz SM. Increased radicular pain due to therapeutic ultrasound applied to the back. Arch Phys Med Rehab 1989; 70 : 493–4.
- [15] AFREK. Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus; Paris, 13 et 14 novembre 1998. Paris : SPEK; 2000.
- [16] Crépon F. Physiothérapie du lombalgique : agents physiques antalgiques. In : AFREK, editors. Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus (1998). Paris : SPEK; 2000. p. 135–41.
- [17] Crépon F. Ultrasons : 1. Propriétés biologiques. Kinésithér Scient 2005; 452 : 57–8.
- [18] Crépon F. Ultrasons : 2. Indications et contre-indications. Kinésithér Scient 2005; 456 : 55–7.
- [19] Crépon F. Ultrasons : 3. Modalités d'application. Kinésithér Scient 2005; 459 : 124–5.
- [20] Crépon F. Électrophysiothérapie des tendinopathies. Ann Kinésithér 1991; 18(6) : 311–6.
- [21] Schabrun S, Chipchase L, Rickard H. Are therapeutic ultrasound units a potential vector for nosocomial infection? Physiother Res Int 2006 Jun; 11(2) : 61–71.
- [22] Crépon F. Ultrasons : propriétés et indications. Kinésithér Scient 2011; 525 : 71–5.
- [23] Crépon F. LIPUS : ultrasons pulsés de basse intensité. Kinésithér Scient 2010; 511 : 70–2.
- [24] Christman CL, Carmichael AJ, Mossoba MM, Riesz P. Evidence for free radicals produced in aqueous solutions by diagnostic ultrasound. Ultrasonics 1987; 25 : 31–4.
- [25] Huisstede BM, Hoogvliet P, Randsdorp MS, Glerum S, van Middelkoop M, Koes BW. Carpal tunnel syndrome Part I : effectiveness of nonsurgical treatments - a systematic review. Arch Phys Med Rehabil 2010 Jul; 91(7) : 981–1004.
- [26] Jarvik JG, Comstock BA, Kliot M, Turner JA, Chan L, Heagerty PJ, et al. Surgery versus non-surgical therapy for carpal tunnel syndrome : a randomised parallel-group trial. Lancet 2009 Sep 26; 374 (9695) : 1074–81.
- [27] Bakhtiary AH, Rashidy-Pour A. Ultrasound and laser therapy in the treatment of carpal tunnel syndrome. Aust J Physiother 2004; 50 (3) : 147–51.

- [28] Culibrk MS, Culibrk B. Physical treatment of Peyronie disease. *Am J Phys Med Rehabil* 2001 Aug; 80(8) : 583–5.
- [29] Gam AN, Johannsen F. Ultrasound therapy in musculoskeletal disorders : a meta-analysis. *Pain* 1995 Oct; 63(1) : 85–91.
- [30] van der Windt DA, van der Heijden GJ, van den Berg SG, ter Riet G, de Winter AF, Bouter LM. Ultrasound therapy for musculoskeletal disorders : a systematic review. *Pain* 1999 Jun; 81(3) : 257–71.
- [31] Shanks P, Curran M, Fletcher P, Thompson R. The effectiveness of therapeutic ultrasound for musculoskeletal conditions of the lower limb : a literature review. *Foot (Edinb)* 2010 Dec; 20(4) : 133–9.
- [32] Lundeberg T, Abrahamsson P, Haker E. A comparative study of continuous ultrasound, placebo ultrasound and rest in epicondylalgia. *Scand J Rehabil Med* 1988; 20(3) : 99–101.
- [33] Haker E, Lundeberg T. Pulsed ultrasound treatment in lateral epicondylalgia. *Scand J Rehabil Med* 1991; 23(3) : 115–8.
- [34] Klaiman MD, Shrader JA, Danoff JV, Hicks JE, Pesce WJ, Ferland J. Phonophoresis versus ultrasound in the treatment of common musculoskeletal conditions. *Med Sci Sports Exerc* 1998 Sep; 30(9) : 1349–55.
- [35] Labelle H, Guibert R, Joncas J, Newman N, Fallaha M, Rivard CH. Lack of scientific evidence for the treatment of lateral epicondylitis of the elbow. An attempted meta-analysis. *J Bone Joint Surg Br* 1992 Sep; 74(5) : 646–51.
- [36] Korthals-de Bos IB, Smidt N, van Tulder MW, Rutten-van Mölken MP, Adèr HJ, van der Windt DA, et al. Cost effectiveness of interventions for lateral epicondylitis : results from a randomised controlled trial in primary care. *Pharmacoeconomics* 2004; 22(3) : 185–95.
- [37] Andres BM, Murrell GA. Treatment of tendinopathy : what works, what does not, and what is on the horizon. *Clin Orthop Relat Res* 2008 Jul; 466(7) : 1539–54.
- [38] Celik D, Atalar AC, Sahinkaya S, Demirhan M. The value of intermittent ultrasound treatment in subacromial impingement syndrome. *Acta Orthop Traumatol Turc* 2009 May-Jul; 43(3) : 243–7.
- [39] Schlapbach P. Ultrasound. *Rheumatology* 1991; 14 : 163–70.
- [40] Rutjes AW, Nuesch E, Sterchi R, Jüni P. Therapeutic ultrasound for osteoarthritis of the knee or hip. *Cochrane Database Syst Rev* 2010 Jan; 20; (1) : CD003132.
- [41] Mohseni-Bandpei MA, Stephenson R, Richardson B. A prospective randomised controlled trial of spinal manipulation and ultrasound in the treatment of chronic low back pain. *Physiotherapy* 2006; 92 : 34–42. (In : *Kinésithérapie, la revue*, 2008; 8(77):10).
- [42] González-Viejo MA, Avellanet M, Hernández-Morcuende MI. A comparative study of fibromyalgia treatment : ultrasonography and physiotherapy versus sertraline treatment. *Ann Readapt Med Phys* 2005 Nov; 48(8) : 610–5.
- [43] Ansari NN, Adelmanesh F, Naghdi S, Tabatabaei A. The effect of physiotherapeutic ultrasound on muscle spasticity in patients with hemiplegia : a pilot study. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2006 Jul-Aug; 46(4) : 247–52.
- [44] Ansari NN, Naghdi S, Bagheri H, Ghassabi H. Therapeutic ultrasound in the treatment of ankle plantarflexor spasticity in a unilateral stroke population : a randomized, single-blind, placebo-controlled trial. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2007 May-Jun; 47(3) : 137–43.
- [45] Nakhoshtin Ansari N, Naghdi S, Hasson S, Rastgoo M. Efficacy of therapeutic ultrasound and infrared in the management of muscle spasticity. *Brain Inj* 2009 Jul; 23(7) : 632–8.
- [46] Sahin N, Ugurlu H, Karahan AY. Efficacy of therapeutic ultrasound in the treatment of spasticity : a randomized controlled study. *NeuroRehabilitation* 2011 Jan 1; 29(1) : 61–6.

- [47] van den Bekerom MP, van der Windt DA, Ter Riet G, van der Heijden GJ, Bouter LM. Therapeutic ultrasound for acute ankle sprains. *Cochrane Database Syst Rev* 2011 Jun 15;(6): CD001250.
- [48] ANAES. Rééducation de l'entorse externe de la cheville. Recommandations pour les pratiques de soins. Paris : ANAES; janvier 2000.
- [49] Warden SJ, Fuchs RK, Kessler CK, Avin KG, Cardinal RE, Stewart RL. Ultrasound produced by a conventional therapeutic ultrasound unit accelerates fracture repair. *Phys Ther* 2006 Aug; 86(8) : 1118–27.
- [50] Crawford F, Thomson CE. Interventions for treating plantar heel pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2010 Jan; 20(1) CD000416.
- [51] Voigt J, Wendelken M, Driver V, Alvarez OM. Low-frequency ultrasound (20-40 kHz) as an adjunctive therapy for chronic wound healing : a systematic review of the literature and meta-analysis of eight randomized controlled trials. *Int J Low Extrem Wounds* 2011 Dec; 10(4) : 190–9.
- [52] Pilla AA, Mont MA, Nasser PR, Khan SA, Figueiredo M, Kaufman JJ, et al. Non-invasive low-intensity pulsed ultrasound accelerates bone healing in the rabbit. *J Orthop Trauma* 1990; 4(3) : 246–53.
- [53] Wu S, Kawahara Y, Manabe T, Ogawa K, Matsumoto M, Sasaki A, et al. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates osteoblast differentiation and promotes bone formation in an osteoporosis rat model. *Pathobiology* 2009 May; 76(3) : 99–107.
- [54] Woo DG, Ko CY, Kim HS, Seo JB, Lim D. Evaluation of the Potential Clinical Application of Low-Intensity Ultrasound Stimulation for Preventing Osteoporotic Bone Fracture. *Ann Biomed Eng* 2010 Mar 5.
- [55] Esteki A, Yasrebi B, Shadmehr A. Pulsed low-intensity ultrasound enhances healing rate in the osteoperforated tibia in a rabbit model. *J Orthop Trauma* 2010 Mar; 24(3) : 170–5.
- [56] Chan CW, Qin L, Lee KM, Zhang M, Cheng JC, Leung KS. Low intensity pulsed ultrasound accelerated bone remodeling during consolidation stage of distraction osteogenesis. *J Orthop Res* 2006 Feb; 24(2) : 263–70.
- [57] Gurkan I, Ranganathan A, Yang X, Horton Jr WE, Todman M, Huckle J, et al. Modification of osteoarthritis in the guinea pig with pulsed low-intensity ultrasound treatment. *Osteoarthritis Cartilage* 2010 May; 18(5) : 724–33.
- [58] Chan YS, Hsu KY, Kuo CH, Lee SD, Chen SC, Chen WJ, et al. Using low-intensity pulsed ultrasound to improve muscle healing after laceration injury : an in vitro and in vivo study. *Ultrasound Med Biol* 2010 May; 36(5) : 743–51.
- [59] Warden SJ, Avin KG, Beck EM, DeWolf ME, Hagemeyer MA, Martin KM. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates and a nonsteroidal anti-inflammatory drug delays knee ligament healing. *Am J Sports Med* 2006 Jul; 34(7) : 1094–102.
- [60] Heckman JD, Ryaby JP, McCabe J, Frey JJ, Kilcoyne RF. Acceleration of tibial fracture-healing by non-invasive, low-intensity pulsed ultrasound. *J Bone Joint Surg Am* 1994 Jan; 76(1) : 26–34.
- [61] Kristiansen TK, Ryaby JP, McCabe J, Frey JJ, Roe LR. Accelerated healing of distal radial fractures with the use of specific, low-intensity ultrasound. A multicenter, prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *J Bone Joint Surg Am* 1997 Jul; 79(7) : 961–73.
- [62] Busse JW, Bhandari M, Kulkarni AV, Tunks E. The effect of low-intensity pulsed ultrasound therapy on time to fracture healing : a meta-analysis. *CMAJ* 2002 Feb 19; 166(4) : 437–41.
- [63] Busse JW, Kaur J, Mollon B, Bhandari M, Tornetta 3rd P, Schünemann HJ, et al. Low intensity pulsed ultrasonography for fractures : systematic review of randomised controlled trials. *BMJ* 2009 Feb 27; 338 : b351.
- [64] Walker NA, Denegar CR, Preische J. Low-intensity pulsed ultrasound and pulsed electromagnetic field in the treatment of tibial fractures : a systematic review. *J Athl Train* 2007 Oct-Dec; 42(4) : 530–5.

- [65] Rutten S, Nolte PA, Guit GL, Bouman DE, Albers GH. Use of low-intensity pulsed ultrasound for posttraumatic nonunions of the tibia : a review of patients treated in the Netherlands. *J Trauma* 2007 Apr; 62(4) : 902–8.
- [66] Griffin XL, Costello I, Costa ML. The role of low intensity pulsed ultrasound therapy in the management of acute fractures : a systematic review. *J Trauma* 2008 Dec; 65(6) : 1446–52.
- [67] Lubbert PH, van der Rijt RH, Hoorntje LE, van der Werken C. Low-intensity pulsed ultrasound (LIPUS) in fresh clavicle fractures : a multi-centre double blind randomised controlled trial. *Injury* 2008 Dec; 39(12) : 1444–52.
- [68] Watanabe Y, Matsushita T, Bhandari M, Zdero R, Schemitsch EH. Ultrasound for fracture healing : current evidence. *J Orthop Trauma* 2010 Mar; 24(Suppl. 1) : S56–61.
- [69] Claes L, Willie B. The enhancement of bone regeneration by ultrasound. *Prog Biophys Mol Biol* 2007 Jan-Apr; 93(1–3) : 384–98.
- [70] Gill IP, Montgomery RJ, Wallis J. Successful treatment of sternal non-union by ultrasound. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2009 Sep; 9(3) : 389–90.
- [71] Zacherl M, Gruber G, Radl R, Rehak PH, Windhager R. No midterm benefit from low intensity pulsed ultrasound after chevron osteotomy for hallux valgus. *Ultrasound Med Biol* 2009 Aug; 35(8) : 1290–7.
- [72] Bashardoust Tajali S, Houghton P, MacDermid JC, Grewal R. Effects of low-intensity pulsed ultrasound therapy on fracture healing : a systematic review and meta-analysis. *Am J Phys Med Rehabil* 2012 Apr; 91(4) : 349–67.
- [73] Griffin XL, Smith N, Parsons N, Costa ML. Ultrasound and shockwave therapy for acute fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2012 Feb 15; 2 : CD008579.
- [74] Warden SJ, Bennell KL, Matthews B, Brown DJ, McMeeken JM, Wark JD. Efficacy of low-intensity pulsed ultrasound in the prevention of osteoporosis following spinal cord injury. *Bone* 2001 Nov; 29(5) : 431–6.
- [75] Khanna A, Nelmes RT, Gougoulas N, Maffulli N, Gray J. The effects of LIPUS on soft-tissue healing : a review of literature. *Br Med Bull* 2009; 89 : 169–82.
- [76] Korstjens CM, van der Rijt RH, Albers GH, Semeins CM, Klein-Nulend J. Low-intensity pulsed ultrasound affects human articular chondrocytes in vitro. *Med Biol Eng Comput* 2008 Dec; 46(12) : 1263–70.
- [77] D'Vaz AP, Ostor AJ, Speed CA, Jenner JR, Bradley M, Prevost AT, et al. Pulsed low-intensity ultrasound therapy for chronic lateral epicondylitis : a randomized controlled trial. *Rheumatology (Oxford)* 2006 May; 45(5) : 566–70.
- [78] Warden SJ, Metcalf BR, Kiss ZS, Cook JL, Purdam CR, Bennell KL, et al. Low-intensity pulsed ultrasound for chronic patellar tendinopathy : a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Rheumatology (Oxford)* 2008 Apr; 47(4) : 467–71.

CHAPITRE 11

Ondes de choc

Point essentiel

- ♦ Les ondes de choc sont actuellement utilisées principalement pour le traitement des tendinopathies et des calcifications. Les études en cours devraient permettre de préciser les indications de chaque modalité.

PLAN DU CHAPITRE

- 11.1. Ondes de choc extracorporelles
- 11.2. Ondes de choc radiales
- 11.3. Effets cliniques

La lithotripsie, initialement utilisée en urologie pour pulvériser les calculs, a été adaptée au traitement des pathologies de l'appareil locomoteur, notamment des tendinopathies et des calcifications.

Il convient de distinguer deux techniques : les ondes de choc extracorporelles directement dérivées de la lithotripsie, et les ondes de choc radiales dérivées des premières. Leurs indications pour le traitement des pathologies de l'appareil locomoteur sont semblables et de plus en plus évaluées comparativement l'une à l'autre.

Les ondes de choc radiales qui sont les plus utilisées en pratique courante de physiothérapie seront plus détaillées dans ce chapitre. L'évaluation de l'efficacité des ondes de choc extracorporelles se limitera aux études ciblées sur l'appareil locomoteur et aux études qui les comparent avec les ondes de choc radiales.

11.1. Ondes de choc extracorporelles

Les ondes de choc extracorporelles ou ESWT (*Extracorporeal Shock Wave Therapy*) sont constituées d'une brusque variation de pression. L'onde comprend deux phases : une phase de compression (pic de pression positive) et une phase de décompression (pression relative négative).

Ces ondes sont focalisées, donc convergentes, concentrées pour agir en profondeur jusqu'à environ 11 cm [1]. Les fréquences utilisées sont généralement inférieures à 5 Hz.

Les ondes de choc de 0,03 à 1 mJ/mm² sont dites de basse, de moyenne ou de haute énergie. Aucune classification précise ne fait actuellement l'unanimité. Certains auteurs définissent la haute énergie au-delà de 0,30 mJ/mm² [2] ou la moyenne énergie entre 0,12 mJ/mm² et 0,28 mJ/mm² [1] alors que d'autres considèrent une onde de choc à 0,21 mJ/mm² de haute énergie [3] ou une onde de choc à 0,17 mJ/mm² de basse énergie [4].

Les générateurs de haut voltage sont électrohydrauliques, piézoélectriques ou électromagnétiques.

Ces appareils sont des lithotripteurs, ils peuvent produire des effets secondaires plus ou moins importants (lésions tissulaires, lésions vasculaires, lésions nerveuses...) selon les niveaux d'énergie employés. Ils ne doivent donc être utilisés que dans des centres médicaux spécialisés [5].

11.2. Ondes de choc radiales

11.2.1. Définition, générateurs

Les ondes de choc radiales, appelées selon les auteurs rESWT (*Radial Extracorporeal Shockwave Therapy*) ou RSWT (*Radial Shockwave Therapy*), sont produites par des générateurs pneumatiques.

Un projectile inséré dans une pièce à main cylindrique est soumis par un compresseur à des mouvements de va-et-vient destinés à percuter une sonde située à l'extrémité dudit cylindre. Cette percussion provoque un choc qui va se propager sous la forme d'une onde dite radiale dont la zone d'action, à l'inverse des ESWT, est divergente et n'atteint pas plus de 3,5 cm de profondeur [1].

11.2.2. Propriétés

Les ondes de choc radiales produisent une stimulation mécanique afin d'obtenir des effets antalgiques, des effets défibrosants et une hypervascularisation [5].

Le mode d'action antalgique n'est pas établi. L'application n'est pas confortable pour le patient, certains la décrivent même comme douloureuse. Cette stimulation nociceptive pourrait mettre en jeu des mécanismes inhibiteurs de la douleur.

L'action défibrosante serait probablement due à un effet mécanique proche de celui des infrasons, de la stimulation vibratoire transcutanée, des ultrasons ou des manœuvres de massage, telles que les frictions effectuées au cours de la mobilisation transversale profonde.

L'hypervascularisation améliorerait la trophicité et le métabolisme local afin de favoriser la cicatrisation.

11.2.3. Indications

Les indications des ondes de choc radiales sont :

- les tendinopathies du coude et de l'épaule, du tendon patellaire et du tendon calcanéen ;
- les enthésopathies ;
- les aponévrosites plantaires ;
- les calcifications périarticulaires ;
- les séquelles fibreuses cicatricielles.

11.2.4. Contre-indications et précautions

Les ondes de choc sont contre-indiquées :

- sur la tête ;
- sur le tronc, car elles ne doivent pas être appliquées sur le rachis, ni en cas de grossesse, ni sur des cavités contenant de l'air (poumons, intestins...) ;
- chez les patients porteurs de pacemaker ;
- chez l'enfant (cartilages de croissance) ;
- chez les personnes âgées (ostéoporose) ;
- chez les patients sous corticothérapie de longue durée ;
- chez les patients présentant un risque d'hémorragie (hémophiles) ou sous traitement anticoagulant.

Les ondes de choc s'appliquent uniquement sur les douleurs palpables et bien localisées des membres, chez l'adulte coopérant, et en excluant les zones suivantes :

- troncs nerveux ;
- gros vaisseaux sanguins ;
- pathologies vasculaires et neurologiques ;
- phlébite ;
- tumeurs et infections (risque de dissémination) ;
- inflammations aiguës ;
- syndrome douloureux régional complexe ;
- capsulite rétractile en phase inflammatoire aiguë ;
- lésions tissulaires, cutanées, osseuses (fractures, métastases, ostéoporose...) ;
- pièces incluses (prothèses, ostéosynthèses...).

11.2.5. Modalités d'application

Les ondes de choc radiales sont appliquées avec un gel directement sur la zone considérée (figures 11.1) à raison de 1 000 à 2 000 chocs par séance et selon les paramètres suivants :

- fréquence de 1 à 15 Hz ;
- pression de 2 à 3 bars.

Des effets secondaires peuvent apparaître et sont proportionnels à l'intensité des chocs : recrudescence de la douleur, rougeur, ecchymose, œdème...



FIGURE 11.1. Application des ondes de choc radiales.
La pièce à main est appliquée directement sur le tendon douloureux.



FIGURE 11.1. Suite.

11.3. Effets cliniques

11.3.1. Effets cliniques des ondes de choc extracorporelles

Les études effectuées donnent différents résultats selon les auteurs. Les ondes de choc de $0,21 \text{ mJ/mm}^2$ (3 000 chocs par séance) sont efficaces sur la douleur dans le traitement des tendinopathies d'insertion du tendon d'Achille [3].

Dans le traitement de la fasciite plantaire, une étude multicentrique *versus* placebo sur 114 sujets conclut à une efficacité des ondes de choc de haute énergie sur la douleur [6], alors qu'une autre étude sur 88 sujets traités par ondes de choc de $0,12 \text{ mJ/mm}^2$ *versus* placebo, montre une amélioration sur la douleur dans {1/3} des cas dans les deux groupes sans différence significative [7].

Une étude randomisée en double aveugle des ondes de choc de basse énergie ($0,03$ à $0,17 \text{ mJ/mm}^2$) *versus* placebo (pare-chocs par coussin d'air interposé) sur 60 sujets présentant une épicondylite montre une diminution de la douleur et une amélioration de la qualité de la vie et de la force de préhension, mais sans différence entre les deux groupes [4]. Une revue de la littérature de neuf essais contrôlés *versus* placebo n'a pas mis en évidence d'amélioration de la douleur ni de la fonction du coude [8].

Selon une revue de la littérature portant sur 16 études concernant le traitement par les ondes de choc de la tendinite de la coiffe des rotateurs calcifiée et non calcifiée, la haute énergie améliore la tendinite calcifiée et la basse énergie n'a pas d'effet sur la tendinite non calcifiée [9]. Mais les auteurs appellent des études de meilleure qualité.

Dans le traitement des paraostéopathies, les ondes de choc à haute énergie ($0,54$ à $1,06 \text{ mJ/mm}^2$, 4 000 chocs à 3 Hz) apparaissent intéressantes en complément du traitement médical, de la rééducation et avant la chirurgie [2].

Une revue systématique de littérature de 13 essais incluant 252 patients conclut que ni les ultrasons ni les ondes de choc n'ont fait la preuve de leur efficacité dans le traitement de la lombalgie [10].

La thérapie par ondes de choc extracorporelles de haute énergie est suggérée comme une alternative de traitement pour les tendinites calcifiées de la coiffe des rotateurs mais elle n'a pas fait la preuve de son efficacité pour traiter la tendinite non calcifiée [11].

Les caractéristiques physiques des ondes de choc focalisées et des ondes de choc radiales diffèrent considérablement et leurs effets cliniques ne sont pas évidents. Des études *in vitro* montrent souvent des effets des ESWT sur les tissus du tendon, mais les résultats des études cliniques ne le confirment pas [12].

11.3.2. Effets cliniques des ondes de choc radiales

Une revue de littérature incluant 54 essais contrôlés randomisés a étudié les effets des ESWT et des rESWT sur différentes douleurs musculo-squelettiques chroniques et conclut à une efficacité probable de ces deux techniques sur le syndrome de la coiffe des rotateurs avec calcification, à la possibilité d'essayer les rESWT pour le traitement des épicondylalgies latérales et à une absence d'effet sur la fasciite plantaire [13].

Concernant le traitement de la fasciite plantaire, une revue systématique avec méta-analyse a comparé l'efficacité des ondes de choc focalisées et des ondes de choc radiales. Douze essais comprenant 1 431 participants ont été inclus. Les résultats montrent que les ondes de choc focalisées sont les plus efficaces pour réduire la douleur mais que les ondes de choc radiales constituent une alternative intéressante [14].

Selon une étude effectuée sur 33 patients, les ondes de choc radiales seraient un traitement efficace de la tendinopathie patellaire chronique [15].

Un essai contrôlé randomisé en simple aveugle a évalué les effets des ondes de choc radiales sur 104 patients présentant une douleur sous-acromiale de plus de trois mois et qui ont été randomisés en deux groupes :

- groupe rESWT qui a reçu des ondes de choc radiales (n = 52);
- groupe SE qui a effectué des exercices surveillés (n = 52).

Les résultats à un an sont les suivants :

1. en ce qui concerne l'évaluation de la douleur et de la fonction, aucune différence significative n'a été trouvée entre les groupes SE et rESWT;
2. il y avait plus de patients du groupe SE qui avaient repris le travail;
3. il y avait moins de patients du groupe SE qui avaient reçu des traitements complémentaires entre 18 semaines et 1 an.

Les auteurs concluent qu'aucune différence significative n'a été trouvée entre les groupes SE et rESWT à un an et qu'un plus grand nombre de participants du groupe SE étaient retournés travailler [16].

Les exercices supervisés sont aussi plus efficaces que les ondes de choc radiales pour améliorer les douleurs sous-acromiales à court terme (6, 12 et 18 semaines) [17].

11.3.3. Conclusion

Les différents résultats de ces études sont nuancés, voire parfois contradictoires, et ne permettent pas encore d'être affirmatif.

On dispose actuellement de plus d'essais contrôlés pour évaluer les effets des ondes de choc extracorporelles focalisées que d'essais pour évaluer les ondes de choc radiales, mais on constate qu'il y a de plus en plus d'essais comparatifs entre ces deux techniques. Des études sont en cours, notamment pour comparer directement l'efficacité des ondes de choc focalisées et des ondes de choc radiales dans le traitement de la tendinopathie patellaire [18]. Ces prochains travaux devraient permettre de mieux cerner les indications des différentes modalités d'ondes de choc.

Références

- [1] Sablayrolles P, Gremaux V, Hérissou C. Stratégie thérapeutique : la place des ondes de choc extracorporelles. In : Hérissou C, Rodineau J, editors. Le coude microtraumatique. Paris : Masson; 2006. p. 201–10.
- [2] Brissot R, Lassalle A, Vincendeau S, Polard JL, Fouche M, Ninubona D, et al. Treatment of heterotopic ossification by extracorporeal shock wave : 26 patients. *Ann Readapt Med Phys* 2005 Nov; 48(8) : 581–9.
- [3] Furia JP. High-energy extracorporeal shock wave therapy as a treatment for insertional Achilles tendinopathy. *Am J Sports Med* 2006 May; 34(5) : 733–40.
- [4] Lebrun CM. Low-dose extracorporeal shock wave therapy for previously untreated lateral epicondylitis. *Clin J Sport Med* 2005 Sep; 15(5) : 401–2.
- [5] Chevutski A, Legrand C, Thevenon A. Les ondes de choc en pratique courante. *Kinésithér Rev* 2010; (106) : 18–21.
- [6] Kudo P, Dainty K, Clarfield M, Coughlin L, Lavoie P, Lebrun C. Randomized, placebo-controlled, double-blind clinical trial evaluating the treatment of plantar fasciitis with an extracorporeal shockwave therapy (ESWT) device : a North American confirmatory study. *J Orthop Res* 2006 Feb; 24(2) : 115–23.
- [7] Speed CA, Nichols D, Wies J, Humphreys H, Richards C, Burnet S, et al. Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis. A double blind randomised controlled trial. *J Orthop Res* 2003 Sep; 21(5) : 937–40.
- [8] Buchbinder R, Green SE, Youd JM, Assendelft WJ, Barnsley L, Smidt N. Systematic review of the efficacy and safety of shock wave therapy for lateral elbow pain. *J Rheumatol* 2006 Jul; 33(7) : 1351–63.
- [9] Harniman E, Carette S, Kennedy C, Beaton D. Extracorporeal shock wave therapy for calcific and noncalcific tendonitis of the rotator cuff : a systematic review. *J Hand Ther* 2004 Apr-Jun; 17(2) : 132–51.
- [10] Seco J, Kovacs FM, Urrutia G. The efficacy, safety, effectiveness, and cost-effectiveness of ultrasound and shock wave therapies for low back pain : a systematic review. *Spine J* 2011 Oct; 11(10) : 966–77.
- [11] Huisstede BMA, Gebremariam L, van der Sande R, Hay EM, Koes BW. Evidence for effectiveness of extracorporeal shock-wave therapy (ESWT) to treat calcific and non-calcific rotator cuff tendinosis - a systematic review. *Man Ther* 2011 Oct; 16(5) : 419–33.
- [12] van der Worp H, van den Akker-Scheek I, van Schie H, Zwerver J. ESWT for tendinopathy : technology and clinical implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012 May 1.
- [13] Storheim K, Gjerset L, Bølstad K, Risberg MA. Extracorporeal shock wave therapy (ESWT) and radial extracorporeal shock wave therapy (rESWT) in chronic musculoskeletal pain. *Tidsskr Nor Lægeforen* 2010 Dec 2; 130(23) : 2360–4.

- [14] Chang KV, Chen SY, Chen WS, Tu YK, Chien KL. Comparative Effectiveness of Focused Shock Wave Therapy of Different Intensity Levels and Radial Shock Wave Therapy for Treating Plantar Fasciitis : a Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2012 july; 93(7) : 1259–68.
- [15] Furia JP, Rompe JD, Cacchio A, Del Buono A, Maffulli N. A single application of low-energy radial extracorporeal shock wave therapy is effective for the management of chronic patellar tendinopathy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012 May 25.
- [16] Engebretsen K, Grotle M, Bautz-Holter E, Ekeberg OM, Juel NG, Brox JI. Supervised exercises compared with radial extracorporeal shock-wave therapy for subacromial shoulder pain : 1-year results of a single-blind randomized controlled trial. *Phys Ther* 2011 Jan; 91(1) : 37–47.
- [17] Engebretsen K, Grotle M, Bautz-Holter E, Sandvik L, Juel NG, Ekeberg OM, et al. Radial extracorporeal shockwave treatment compared with supervised exercises in patients with subacromial pain syndrome : single blind randomised study. *BMJ* 2009 Sep 15; 339 : b3360.
- [18] van der Worp H, Zwerver J, van den Akker-Scheek I, Diercks RL. The TOPSHOCK study : effectiveness of radial shockwave therapy compared to focused shockwave therapy for treating patellar tendinopath - design of a randomised controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord* 2011 Oct 11; 12 : 229.

CHAPITRE 12

Ondes électromagnétiques : généralités

Points essentiels

- ♦ La diathermie (ondes courtes et ondes centimétriques) est une thermothérapie intratissulaire profonde ; l'actinothérapie est une thermothérapie superficielle.
- ♦ Le laser de basse énergie est inefficace et dangereux.
- ♦ La stimulation magnétique musculaire présente les mêmes indications que la stimulation électrique musculaire, les modalités d'application sont plus simples et elle semble mieux tolérée par les patients.

PLAN DU CHAPITRE

- 12.1. Définition, classification
- 12.2. Propriétés physiques
- 12.3. Propriétés biologiques
- 12.4. Photothérapie
- 12.5. Laser de faible puissance
- 12.6. Stimulation magnétique musculaire

12.1. Définition, classification

Une onde est une vibration qui se propage. La mise en vibration d'un champ électromagnétique engendre des ondes électromagnétiques dont la propagation est rectiligne et qui peuvent se propager dans le vide, c'est-à-dire en dehors de tout support matériel, ou au sein de la matière, à l'exception des milieux isolants électriques.

Leur vitesse, égale au produit de leur fréquence (f) par leur longueur d'onde (λ), est de $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ dans l'air et dans le vide.

Selon leur fréquence et leur longueur d'onde, qui sont inversement proportionnelles, on distingue les ondes longues, les ondes courtes, les ondes centimétriques, les infrarouges, la lumière visible, les ultraviolets, les rayons X et les rayons γ (figure 12.1).

f		λ
3 MHz	ondes longues radiophoniques	100 m
	ondes courtes	
300 MHz	ondes centimétriques (radar)	1 m
300 GHz	rayons infrarouges	1 mm
3×10^{14} Hz	rayons lumineux visibles rayons ultraviolets	1 μ m
	rayons X	
3×10^{19} Hz	rayons γ	0,01 nm

FIGURE 12.1. Ondes électromagnétiques.

En physiothérapie, on distingue :

- la diathermie, thermothérapie intratissulaire profonde produite par les courants de haute fréquence, donc les ondes courtes et ondes centimétriques ;
- l'actinothérapie, traitement par des rayons lumineux produits artificiellement, c'est-à-dire les infrarouges et les ultraviolets dont l'action est superficielle.

En rééducation fonctionnelle, on n'utilise que les ondes courtes, les ondes centimétriques et les infrarouges. Les ultraviolets ne sont plus utilisés qu'en dermatologie.

12.2. Propriétés physiques

12.2.1. Propriétés communes aux ondes mécaniques et aux ondes électromagnétiques

Les ondes comprises entre les ondes longues et les rayons ultraviolets inclus peuvent être réfléchies, réfractées, diffractées, focalisées, absorbées (cf. 7.2.1).

12.2.2. Loi du carré de la distance

Le flux énergétique étant constant et la surface irradiée étant proportionnelle au carré de la distance qui la sépare de la source, lorsqu'on éloigne d'un patient un émetteur d'ondes électromagnétiques, l'énergie par cm^2 diminue avec le carré de la distance. Inversement, lorsqu'on divise par deux la distance entre l'émetteur et le patient, on multiplie par quatre l'énergie par cm^2 irradié. En conséquence, l'émetteur doit toujours être à distance constante du patient.

12.2.3. Influence de l'angle d'incidence des rayons

On obtient l'énergie maximum à l'endroit où les rayons sont perpendiculaires à la région anatomique. Au niveau des régions irradiées par des rayons non perpendiculaires, l'énergie diminue proportionnellement au cosinus de l'angle d'incidence de ces rayons. Plus on s'écarte de la perpendiculaire abaissée du centre de l'émetteur, plus l'énergie efficace diminue.

12.3. Propriétés biologiques

12.3.1. Propriétés biologiques et thérapeutiques

La thermothérapie profonde (diathermie) ou superficielle (infrarouges) complète les effets de la rééducation fonctionnelle en participant à l'assouplissement de la fibrose, au relâchement des contractures, à l'amélioration de la circulation locale et des troubles trophiques, à l'amélioration de la mobilité et à la sédation de la douleur.

Parmi les ondes électromagnétiques qui sont utilisées à but thérapeutique, on peut citer également la photothérapie ou luminothérapie, le laser et la stimulation magnétique musculaire.

12.3.2. Tableau synoptique récapitulatif

Les éléments essentiels, paramètres, propriétés, indications, modalités d'application et contre-indications, nécessaires pour comprendre et utiliser les ondes électromagnétiques utilisées en rééducation fonctionnelle sont résumés dans un tableau synoptique récapitulatif ([tableau 12.1](#)).

12.4. Photothérapie


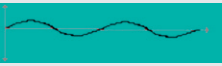


La photothérapie est un traitement utilisant l'action de la lumière, soit blanche, soit colorée [1].

12.4.1. Action sur les rythmes circadiens

La lumière blanche de forte intensité (>2000 lux) est le principal marqueur de temps chez l'homme. L'information atteint la rétine. Le message est véhiculé par le faisceau rétino-hypothalamique et parvient au noyau suprachiasmatique qui joue un rôle essentiel dans la gestion des rythmes circadiens (température, rythme cardiaque, activité motrice, vigilance, humeur, activités cognitives...). La lumière assure la mise régulière en phase des maxima et des minima de ces rythmes avec le cycle nyctéméral, et permet une optimisation de ces fonctions dans leurs rapports avec les comportements.

Parmi les mécanismes physiologiques engendrés par la lumière, on observe des variations de sécrétion de la mélatonine. Hormone synthétisée par l'épiphyse à partir de la sérotonine, la mélatonine intervient dans l'organisation des rythmes biologiques journaliers et saisonniers. Sa sécrétion s'élève durant

TABLEAU 12.1. Ondes électromagnétiques.

ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES : paramètres		propriétés	indications	modalités d'application	contre-indications
ONDES COURTES	OC $\lambda : 11,06 \text{ m}$ $f : 27,12 \text{ MHz}$ 	THERMOTHÉRAPIE EN PROFONDEUR	FIBROSES MUSCULAIRES	<ul style="list-style-type: none"> • Sur une table en bois. • Peau sèche, enlever tout objet métallique (bijoux). • Intensité : → sensation de douce chaleur. • Durée : 5 à 15 min, augmentation progressive. • Application uniquement sur les membres : <ul style="list-style-type: none"> - ne pas irradier la tête ni le tronc, - ne pas irradier les yeux (risque de cataracte). • Surveillance. Éviter tout contact avec l'émetteur. • Associer une mobilisation douce, progressive, prolongée pendant toute la durée de l'application. 	<ul style="list-style-type: none"> • Grossesse • Cancers • Pièces métalliques incluses • Phlébites, artérites, ischémies • Fractures, greffes récentes • Lésions tissulaires récentes • Sites et affections hémorragiques • Anesthésies, hypoesthésies et troubles de la sensibilité thermo-algésique • Cartilages de croissance • Infections et inflammations aiguës
	MW $\lambda : 12,24 \text{ cm}$ $f : 2450 \text{ MHz}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Effets sclérolytiques • Vasodilatation • Diminution de l'excitabilité nerveuse • Action antispasmodique, antalgique ? <p><i>Effets spécifiques au niveau des tissus musculaires</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Séquelles fibreuses des lésions musculaires • Incidents musculaires sans lésion anatomique : myalgies, courbatures, contractures, crampes, fatigue musculaire • Douleurs chroniques non inflammatoires : arthroses des membres 		
INFRA-ROUGES	IR $\lambda : 0,8 \text{ à } 6 \mu\text{m}$ 	THERMOTHÉRAPIE EN SURFACE ACTINOTHÉRAPIE	<ul style="list-style-type: none"> • Douleurs non inflammatoires arthroses, contractures... • Troubles circulatoires des extrémités • Adjuvant du massage, de la posture et de la mobilisation active ou passive 	<ul style="list-style-type: none"> • Distance émetteur-patient à régler selon la loi du carré de la distance → chaleur bien supportée. • Ensuite, émetteur à distance constante du patient et durée d'application progressivement croissante. • Pas d'application sur la tête ni sur la nuque. • Pas d'application simultanée avec des courants électriques : les infrarouges assèchent les spongieux. • Surveillance. Éviter tout contact avec l'émetteur. 	<ul style="list-style-type: none"> • Anesthésies, hypoesthésies et troubles de la sensibilité thermo-algésique • Sites et affections à tendance hémorragique • Infections et inflammations aiguës
ULTRA-VIOLETS	UV $\lambda : 280 \text{ à } 400 \text{ nm}$ 	ACTINOTHÉRAPIE	<ul style="list-style-type: none"> • Dermatologie uniquement : psoriasis, vitiligo • Puvathérapie (psoralènes + UVA) • Aucune indication en rééducation fonctionnelle 	<ul style="list-style-type: none"> • Protéger les yeux du patient et du praticien. • Émetteur à distance constante du patient. • Irradiations prudentes, dosées et progressives tenant compte de la puissance de l'émetteur et de la photosensibilisation. • Hypersensibles : téguments blancs, blonds et roux. • Surveillance : brûlures sans signes précurseurs. • Pas de traitements systématiques : UV cancérogènes 	<ul style="list-style-type: none"> • Tuberculose pulmonaire • Diabète, hyperthyroïdies • Insuffisances cardiaques, hépatiques ou rénales • Artériosclérose

la nuit et décroît le matin. Selon la durée de sécrétion nocturne, le cerveau peut décoder la longueur relative du jour et de la nuit.

La photothérapie participe au traitement des troubles affectifs saisonniers, des troubles du sommeil et de l'humeur, des dépressions cyclothymiques à variations saisonnières, de diverses maladies caractérisées par une fatigue chronique, des troubles induits par le travail à pauses variables ou les vols transmériidiens, des désynchronisations organiques, du syndrome hypernycthéméral ou désynchronisation aléatoire du rythme veille-sommeil.

Les modalités d'application sont le banc de lumière ou le casque à lampes. La prescription doit préciser la dose, l'horaire et la durée de l'application. Un examen ophtalmologique préalable est vivement recommandé.

Les principales contre-indications sont la cataracte, le glaucome, les lésions oculaires en général et celles de la rétine en particulier, le syndrome maniaco-dépressif et certains médicaments (chimiothérapie, antibiotiques...) qui augmentent la photosensibilité [2, 3].

12.4.2. Action sur la bilirubine

On utilise également la photothérapie pour traiter l'ictère du nouveau-né. C'est la lumière bleue (400–500 nm) qui a la plus grande efficacité, mais la lumière verte est également active sur la bilirubine. Des modalités d'application rigoureuses doivent être strictement respectées. Parmi les précautions, une protection oculaire efficace et une surveillance régulière de la température corporelle et de l'état d'hydratation de l'enfant sont indispensables [4].

12.5. Laser de faible puissance

Acronyme de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, le laser est un amplificateur quantique de radiations lumineuses monochromatiques et cohérentes, c'est-à-dire en phase, permettant d'obtenir des faisceaux très directs de grande puissance. Il est utilisé en chirurgie pour coaguler, sectionner ou vaporiser les tissus.

Des lasers de basse énergie ont été proposés en rééducation fonctionnelle pour le traitement des affections de l'appareil locomoteur, mais ils n'ont pas apporté la preuve de leur efficacité, ni sur la lombalgie [5], ni sur la tendinite [6], ni sur l'entorse externe de la cheville [7], ni sur la cicatrisation des tissus [8–10]. Il n'y a aucune preuve pour soutenir l'efficacité de la thérapie au laser de faible intensité dans le traitement de la douleur de la talagie plantaire [11]. Ces études montrent qu'on n'a observé aucune différence significative entre le groupe qui a suivi le traitement par le laser de basse énergie et le groupe qui a suivi le traitement par le laser placebo. Elles corroborent la totale inefficacité de cette technique et ne laissent envisager pour le laser de basse énergie qu'un éventuel effet placebo [12].

La conférence de consensus « Prise en charge kinésithérapique du lombalgique » recommande de ne pas utiliser le laser de basse énergie parce qu'aucune

étude contrôlée n'a démontré l'effet antalgique de ce rayonnement et parce que l'existence d'une agressivité oculaire est reconnue [13].

Inefficace et dangereux, le laser de basse énergie apparaît même nocif dans le traitement de l'entorse. Sur 217 patients porteurs d'une entorse de cheville, il a été mis en évidence une efficacité supérieure du placebo comparé au laser (904nm laser) tant sur la douleur que sur la fonction [14]. L'inefficacité de ce laser a été démontrée avec un retard de récupération en cas d'utilisation [7].

12.6. Stimulation magnétique musculaire

Les champs électromagnétiques pulsés sont générés par des courants électriques de haut voltage. Ils pénètrent profondément dans les tissus et déclenchent des contractions musculaires.

Les avantages de cette nouvelle technique sont qu'il n'y a pas besoin d'appliquer des électrodes sur la peau, que le patient peut rester vêtu et que la stimulation est en général ressentie comme plus agréable. Son intérêt en rééducation périnéale est particulièrement évident puisqu'elle permet de stimuler efficacement les muscles du périnée sans appliquer d'électrode intracavitaire.

Les effets recherchés, notamment le renforcement musculaire, mais aussi la sédation des contractures (figure 12.2), sont les mêmes que ceux de la stimulation électrique musculaire. Cependant, selon les patients, cette technique serait mieux tolérée que la stimulation électrique musculaire.

La stimulation magnétique musculaire du quadriceps a été étudiée comme méthode d'entraînement physique chez des patients atteints de BPCO limités par la dyspnée. Les résultats ont montré des effets positifs sur la fonction musculaire et la capacité à l'effort. De plus, la stimulation magnétique musculaire du quadriceps n'augmente pas le stress oxydatif (cf. 4.3.3.2).

Les contre-indications sont les mêmes que celles des courants électriques et des ondes électromagnétiques (pacemaker, pièces métalliques incluses...).



FIGURE 12.2. Stimulation magnétique musculaire.
Traitement d'une contracture des muscles ischio-jambiers.

Références

- [1] Garnier M, Delamare V, et al. Dictionnaire des termes de médecine. 24^e éd. Paris : Maloine; 1995.
- [2] Chétrit M, Royant-Parola S, Lainey E. Les indications de la photothérapie. *Synapse* 2000; 167 : 68–9.
- [3] Poirrier R, Van Reeth O. Photothérapie : thérapeutique innovatrice dans le traitement des troubles circadiens. *Ans* : Schreder; 1997.
- [4] Gold F. Fœtus et nouveau-né de faible poids. Paris : Masson; 1993.
- [5] Klein RG, Eek BC. Low-energy laser treatment and exercise for chronic low back pain : double blind trial. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71 : 34–7.
- [6] Muller F, Gross M, Grosse D, Rochet Ph, Sengler J. Effet antalgique du laser arsenic-gallium de faible puissance dans les tendinites. *Ann Kinésithér* 1991; 18(6) : 305–9.
- [7] ANAES. Rééducation de l'entorse externe de la cheville. Recommandations pour les pratiques de soins. Paris : ANAES; janvier 2000.
- [8] Hunter J, Leonard L, Wilson R, Snider G, Dixon J. Effects of low energy laser on wound healing in a porcine model. *Lasers Surg Med* 1984; 3 : 285–90.
- [9] Jongsma FHM, Bogaard AEJM., Van Gemert MJC, Hulsbergen Henning JP. Is closure of open skin wounds in rats accelerated by argon laser exposure? *Lasers Surg Med* 1983; 3 : 75–80.
- [10] McCaughan JS, Bethel BH, Johnston T, Janssen W. Effect of low-dose argon irradiation on rate of wound closure. *Lasers in Surgery and Medicine* 1985; 5 : 607–14.
- [11] Crawford F, Thomson CE. Interventions for treating plantar heel pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2010 Jan 20; (1): CD000416.
- [12] Seichert N. Controlled trials of laser treatment. *Rheumatology* 1991; 14 : 205–17.
- [13] AFREK. Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus; Paris, 13 et 14 novembre 1998. Paris : SPEK; 2000.
- [14] de Bie R. Efficacy of 904 nm laser therapy in acute lateral ankle sprains. Maastricht : Thesis Maastricht University; 1998.

CHAPITRE 13

Ondes courtes, ondes centimétriques

Points essentiels

- ♦ La thermothérapie produite par les ondes courtes et les ondes centimétriques est principalement localisée au niveau des tissus musculaires parce qu'ils sont riches en eau.
- ♦ Pour obtenir des résultats sur la fibrose musculaire, il faut nécessairement associer une mobilisation pendant toute la durée de l'application.
- ♦ La diathermie, thermothérapie intratissulaire profonde, présente des dangers dus à l'exposition aux champs électromagnétiques et des contre-indications dont il faut impérativement tenir compte.

PLAN DU CHAPITRE

- 13.1. Définitions
- 13.2. Propriétés
- 13.3. Indications
- 13.4. Contre-indications
- 13.5. Dangers de l'exposition aux champs électromagnétiques
- 13.6. Modalités d'application
- 13.7. Effets cliniques

13.1. Définitions

Les ondes courtes utilisées en physiothérapie ont une longueur d'onde de 11,06 m, donc une fréquence de 27,12 MHz.

Les ondes centimétriques utilisées en physiothérapie ont une longueur d'onde de 12,24 cm, donc une fréquence de 2 450 MHz. On les appelle également micro-ondes, hyperfréquence ou improprement « radar », acronyme de *Radio Detection And Ranging*, qui désigne un instrument de détection et de télémétrie et non pas de thermothérapie.

13.2. Propriétés

Les ondes courtes et les ondes centimétriques sont absorbées par les tissus, d'autant plus que ceux-ci sont riches en eau, et produisent une thermothérapie en profondeur ou diathermie.

On retrouve ici la même règle que dans le cas des ultrasons : ces ondes se propagent d'autant mieux que le milieu traversé est moins atténuant, l'atténuation étant d'autant plus importante que la fréquence est élevée. À ce titre, dans un milieu donné, la profondeur de pénétration d'une onde électromagnétique est d'autant plus importante que la fréquence est basse.

À l'inverse de ce qui se produit dans le cas des ultrasons, le tissu osseux, relativement pauvre en eau et assez bon isolant électrique, n'absorbe pratiquement pas les ondes centimétriques. La thermothérapie produite par ces ondes est principalement localisée au niveau des tissus musculaires parce qu'ils sont riches en eau [1].

Pour obtenir un échauffement musculaire, il est préférable de faire usage des ondes centimétriques plutôt que des ultrasons. En effet, si ces deux types de rayonnement sont absorbés de manière quantitativement voisine par le muscle, la largeur du faisceau d'ondes centimétriques – dont l'ordre de grandeur se situe autour d'une dizaine de centimètres contre 2 ou 3 cm pour les ultrasons – induit un champ thermique beaucoup plus uniforme au sein du muscle, limitant ainsi la déperdition de chaleur par diffusion. L'hyperthermie ainsi obtenue est plus homogène et d'extension latérale nettement plus importante que l'hyperthermie obtenue avec les ultrasons [2].

Concernant les effets de la diathermie appliquée sur le tronc, l'étude thermographique sur pièces anatomiques humaines du champ thermique électromagnétique en physiothérapie rachidienne montre que les ondes centimétriques (fréquence : 2 450 MHz ; puissance nominale d'émission : 100 W) appliquées avec un émetteur de 8 cm de diamètre placé à 9 cm pendant 11 minutes produisent un échauffement dont le champ thermique est étendu à tout le canal rachidien [3] (figure 13.1).

La diathermie produit une vasodilatation, un accroissement de l'élasticité du collagène et une diminution de l'excitabilité nerveuse. On lui attribue des effets trophiques, « sclérololytiques », antispasmodiques et antalgiques.

La diathermie par ondes courtes pulsées est plus efficace que les ultrasons de 1 MHz pour échauffer une grande masse musculaire et ses effets thermiques durent plus longtemps [4].

La diathermie par ondes courtes pulsées, associée à l'étirement prolongé, améliore la flexibilité du tendon plus que le stretching seul [5].

L'étude *in vitro* des effets de la radiofréquence sur les propriétés mécaniques du tendon et de la capsule montre que c'est le tendon qui présente le plus de modifications [6].

Une étude sur 30 volontaires de 18 à 30 ans soumis à un effort de contraction volontaire isométrique maximale pendant 1 minute montre que la force des muscles fléchisseurs du coude diminue significativement après l'application de diathermie par micro-ondes (contrôle EMG avant et après diathermie). Les auteurs constatent également une diminution des signes de fatigue musculaire [7].

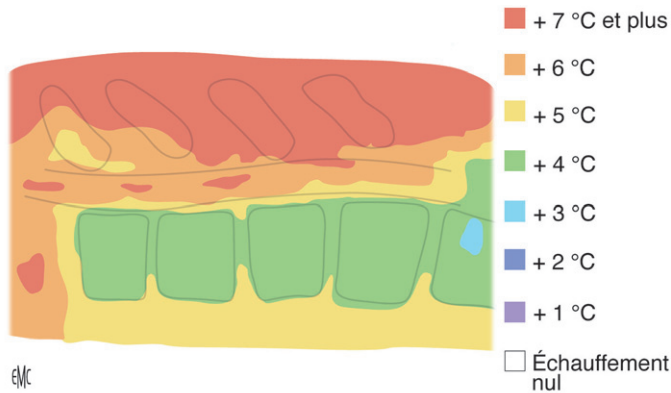


FIGURE 13.1. Échauffement du canal rachidien par les ondes centimétriques.

Mesures ex vivo, sur pièce anatomique, par téléthermographie infrarouge. Ondes centimétriques (fréquence : 2 450 MHz ; puissance nominale d'émission : 100 W) appliquées pendant 11 minutes : l'échauffement est étendu à tout le canal rachidien ; à cet endroit, l'augmentation de température atteint jusqu'à + 6 °C en l'absence de vascularisation.

13.3. Indications

L'indication principale de la diathermie est la fibrose, et plus particulièrement les séquelles fibreuses des lésions musculaires puisque cette thermothérapie est principalement localisée au niveau des tissus musculaires, riches en eau.

Classiquement, ces ondes sont indiquées sur les incidents musculaires sans lésion anatomique, sur les séquelles traumatiques, sur les contractures et les douleurs chroniques non inflammatoires, par exemple les arthroses des membres.

13.4. Contre-indications

Les contre-indications sont celles de la thermothérapie profonde, donc les mêmes que celles des ultrasons, auxquelles il convient d'ajouter les pièces métalliques incluses et les risques pour la vue :

- grossesse ;
- cancers ;
- rachis ;
- cartilages de croissance ;
- gonades ;
- pacemaker, neuromodulateur ;
- zones mal vascularisées [8] : artérites, phlébites, ischémies ;
- hypoesthésies profondes, troubles de la sensibilité thermo-algésique ;
- infections et inflammations aiguës ;
- sites et affections à tendance hémorragique ;
- greffes récentes et fractures non consolidées ;
- pièces métalliques incluses.

En ce qui concerne les pièces métalliques incluses, le risque d'échauffement est probablement plus important avec les ondes courtes qu'avec les ondes centimétriques [9].

En conséquence, pour les mêmes raisons que celles mentionnées pour les ultrasons, les ondes courtes et les ondes centimétriques ne doivent pas être appliquées sur la tête ni sur le tronc.

Il est d'autant plus important de respecter ces contre-indications que le champ thermique de la diathermie est beaucoup plus étendu que celui des ultrasons.

13.5. Dangers de l'exposition aux champs électromagnétiques

Les ondes courtes et les ondes centimétriques sont peu usitées en raison de la contre-indication absolue due à la présence de matériel métallique, du danger pour la vue et du risque de brûlure. De plus, leur efficacité antalgique n'a pas été démontrée [10].

Une étude des risques encourus par les physiothérapeutes qui pratiquent la diathermie et qui sont professionnellement exposés aux champs électromagnétiques considère que cette pratique représente une menace réelle dans 25 % des cas. Les auteurs proposent que soient mis en œuvre des systèmes de mesure et de contrôle [11].

Une autre étude montre que les mesures des intensités des champs électromagnétiques obtenues dans des centres de physiothérapie sont généralement au-dessus des niveaux d'exposition recommandés, et que la cage Faraday n'offre aucune protection aux physiothérapeutes, elle augmente à l'inverse leur niveau d'exposition [12].

13.6. Modalités d'application

- **Installation du patient**

Le patient est installé sur une table en bois, sa peau doit être sèche et ne doit être en contact avec aucun élément métallique (bague, bijou...), ni avec les câbles des émetteurs.

- **Application**

L'application se fait uniquement sur les membres. Il ne faut pas irradier la tête ni le tronc, et ne surtout pas mettre les yeux dans le faisceau des ondes vu les risques de cataracte que cela pourrait engendrer.

- **Intensité**

Après avoir éliminé une hypoesthésie, l'intensité est augmentée afin d'obtenir une sensation de douce chaleur.

- **Durée**

La durée de la séance est augmentée progressivement, de 5 à 15 min, si toutefois la séance précédente a été bien tolérée.

- **Ondes continues ou pulsées**

Les ondes courtes et les ondes centimétriques, comme les ultrasons, peuvent être délivrées en mode continu ou pulsé, mais seules les ondes à effet thermique présentent un intérêt thérapeutique.

- **Surveillance**

La surveillance du patient doit être constante pour écarter tout risque de brûlure physique.

- **Mobilisation associée**

Il est indispensable d'associer une mobilisation douce, progressive et prolongée pour utiliser de façon optimale les modifications bénéfiques thermo-induites des propriétés mécaniques du collagène, et afin d'obtenir les effets « sclérolytiques » recherchés [8].

13.7. Effets cliniques

La conférence de consensus « Prise en charge kinésithérapique du lombalgie » indique qu'il n'y a pas d'étude contrôlée montrant l'efficacité antalgique de la diathermie (ultrasons, ondes courtes) chez le lombalgie [10].

Les recommandations pour les pratiques de soins publiées par l'ANAES précisent que la diathermie n'a pas fait la preuve de son efficacité dans le traitement de rééducation de l'entorse externe de la cheville [13].

Un essai contrôlé randomisé en double aveugle incluant 27 patients atteints d'ostéoartrite du genou conclut après scintigraphie que les ondes courtes pulsées ne modifient pas l'inflammation [14].

La diathermie par ondes courtes pulsées n'est pas efficace dans le traitement de l'ostéoartrite du genou [15], ni dans celui des cervicalgies [16].

Selon d'autres études, la diathermie aurait des effets bénéfiques, notamment sur le genou. La diathermie peut augmenter la température à l'intérieur de l'articulation du genou et soulager la douleur de la gonarthrose [17].

Une revue systématique avec méta-analyse qui a évalué l'efficacité des ondes courtes thermiques et athermiques dans le traitement de l'arthrose du genou a montré des effets faibles mais significatifs sur la douleur et la fonction musculaire, mais uniquement quand la diathermie par ondes courtes a produit une sensation de chaleur locale. Cependant, les auteurs concluent qu'il est difficile de tirer des conclusions définitives sur les facteurs qui déterminent l'efficacité du traitement de diathermie par ondes courtes [18].

Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer les effets thérapeutiques de la diathermie. Étant donné leurs dangers et leurs contre-indications, les ondes courtes et les ondes centimétriques doivent être utilisées avec discernement. Il est indispensable de respecter les précautions d'utilisation pour le patient comme pour le physiothérapeute. Leur principale indication est la fibrose musculaire et, pour être efficaces, elles nécessitent d'être accompagnées d'une mobilisation tissulaire pendant toute la durée de leur application.

Références

- [1] Normand H, Darlas Y, Solassol A, Allas T, Clouard R, Bailliart O, et al. Le champ thermique électromagnétique (ondes radar) en physiothérapie : Étude thermographique sur pièces anatomiques humaines. In : Simon L, Péliissier J, editors. Act Réed Fonct Réadapt, 14^e série. Paris : Masson; 1989. p. 25–32.

- [2] Crépon F, Darlas Y. Électrothérapie. Ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et biofeedback. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation, 26-145-A-20, 2008 [1-4].
- [3] Solassol A, Darlas Y, Normand H, Allas T, Clouard R, Fernandez Y, et al. Champ thermique électromagnétique (ondes radar) et ultrasonore en physiothérapie rachidienne. Étude thermographique sur pièces anatomiques humaines. In : Simon L, Péliissier J, Hérisson Ch, editors. Act Rééd Fonct Réadapt, 15^e série. Paris : Masson; 1990. p. 425-33.
- [4] Garrett CL, Draper DO, Knight KL. Heat distribution in the lower leg from pulsed short-wave diathermy and ultrasound treatments. *J Athl Train* 2000 Jan; 35(1) : 50-5.
- [5] Draper DO, Castro JL, Feland B, Schulthies S, Eggett D. Shortwave diathermy and prolonged stretching increase hamstring flexibility more than prolonged stretching alone. *J Orthop Sports Phys Ther* 2004 Jan; 34(1) : 13-20.
- [6] Nightingale EJ, Walsh WR. Radiofrequency energy effects on the mechanical properties of tendon and capsule. *Arthroscopy* 2005 Dec; 21(12) : 1479-85.
- [7] Pereira WM, Ferreira LA, Rossi LP, Kerpers II, Grecco St LA, de Paula Jr AR, et al. Influence of heat on fatigue and electromyographic activity of the biceps brachii muscle. *J Bodyw Mov Ther* 2011 Oct; 15(4) : 478-84. Epub 2011 Jun 23.
- [8] Darlas Y, Normand H, Solassol A, Clouard R, Beades E, Morelec I, et al. Échauffement musculaire in vivo chez l'être humain sous irradiations ultrasonore et électromagnétique. In : Simon L, Péliissier J, Hérisson Ch., editors. Act Rééd Fonct Réadapt, 16^e série. Paris : Masson; 1991. p. 37-46.
- [9] Solassol A, Darlas Y, Clouard R, Normand H, Beades E, Morelec I, et al. Effets thermiques des irradiations ultrasonores et radar sur les structures articulaires : conséquences thérapeutiques et iatrogénicité. In : Simon L, Péliissier J, Hérisson Ch, editors. Act Rééd Fonct Réadapt, 17^e série. Paris : Masson; 1992. p. 57-72.
- [10] AFREK. Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus; Paris, 13 et 14 novembre 1998; Paris : SPEK; 2000.
- [11] Aniolczyk H, Mariańska M, Mamrot P. Optimization of methods for measurement and assessment of occupational exposure to electromagnetic fields in physiotherapy (SW diathermy). *Med Pr* 2011; 62(5) : 499-515.
- [12] Messias Ide A, Okuno E, Colacioppo S. Occupational exposure of physical therapists to electric and magnetic fields and the efficacy of Faraday cages. *Rev Panam Salud Publica* 2011 Oct; 30(4) : 309-16.
- [13] ANAES. Rééducation de l'entorse externe de la cheville. Recommandations pour les pratiques de soins. Paris : ANAES; janvier 2000.
- [14] Callaghan MJ, Whittaker PE, Grimes S, Smith L. An evaluation of pulsed shortwave on knee osteoarthritis using radiolucoscintigraphy : a randomised, double blind, controlled trial. *Joint Bone Spine* 2005 Mar; 72(2) : 150-5.
- [15] Laufer Y, Zilberman R, Porat R, Nahir AM. Effect of pulsed short-wave diathermy on pain and function of subjects with osteoarthritis of the knee : a placebo-controlled double-blind clinical trial. *Clin Rehabil* 2005 May; 19(3) : 255-63.
- [16] Dziedzic K, Hill J, Lewis M, Sim J, Daniels J, Hay EM. Effectiveness of manual therapy or pulsed shortwave diathermy in addition to advice and exercise for neck disorders : a pragmatic randomized controlled trial in physical therapy clinics. *Arthritis Rheum* 2005 Apr 15; 53(2) : 214-22.
- [17] Takahashi K, Kurosaki H, Hashimoto S, Takenouchi K, Kamada T, Nakamura H. The effects of radiofrequency hyperthermia on pain and function in patients with knee osteoarthritis : a preliminary report. *J Orthop Sci* 2011 Jul; 16(4) : 376-81.
- [18] Laufer Y, Dar G. Effectiveness of thermal and athermal short-wave diathermy for the management of knee osteoarthritis : a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage* 2012 May 30.

CHAPITRE 14

Infrarouges

Point essentiel

- ♦ La thermothérapie produite par les infrarouges reste superficielle, ce qui permet de les appliquer dans de nombreux cas où la diathermie est contre-indiquée.

PLAN DU CHAPITRE

- 14.1. Définitions
- 14.2. Propriétés
- 14.3. Indications
- 14.4. Contre-indications
- 14.5. Modalités d'application
- 14.6. Effets cliniques

14.1. Définitions

Les infrarouges sont des rayons thermogènes émis par toute matière. Leurs longueurs d'onde sont comprises entre 1 μm et 1 mm. Le rayonnement infrarouge est invisible, non ionisant et possède des propriétés thérapeutiques.

La thermothérapie, utilisation de la chaleur dans un but thérapeutique, est utilisée spontanément pour calmer la douleur, notamment de certaines affections de l'appareil locomoteur.

Cette utilisation naturelle de la chaleur – mais aussi du froid – est très ancienne. Les thermes (bains publics dans l'Antiquité gréco-romaine) comprenaient un caldarium, c'est-à-dire une étuve, et un frigidarium où l'on prenait des bains froids, préfiguration de ce que nous appelons maintenant la balnéation alternée.

À l'origine, le thermalisme désignait l'usage thérapeutique des eaux médicinales chaudes. Actuellement, ce vocable définit l'utilisation de l'eau minérale en fonction des éléments qu'elle contient et de ses actions thérapeutiques.

En physiothérapie, et plus précisément en actinothérapie, le terme infrarouge désigne classiquement une lampe ou un émetteur sombre alimenté par un courant électrique. En réalité, tout corps dont la température est plus élevée que les tissus du patient constitue pour celui-ci un émetteur d'infrarouges : péloïdes (parafango) et toute compresse ou enveloppement chaud, hydrothérapie, balnéothérapie chaude, etc.

14.2. Propriétés

14.2.1. Propriétés physiques

Les infrarouges sont réfléchis par la peau et produisent une thermothérapie en surface, contrairement à la diathermie, produite par les ondes courtes et les ondes centimétriques, qui est profonde.

Les rayonnements infrarouges ne traversant pas les tissus, la chaleur ne peut se transmettre que par conduction, c'est-à-dire de proche en proche. Les infrarouges n'ont pas d'effet thermique en profondeur avec les puissances utilisées en thérapeutique.

14.2.2. Propriétés biologiques

Les propriétés antalgiques des infrarouges sont dues à l'effet sédatif de la chaleur qui provoque une diminution de l'excitabilité des terminaisons nerveuses superficielles et aux effets réflexes de la stimulation cutanée.

La thermothérapie infrarouge produit une vasodilatation superficielle. La chaleur est évacuée par diffusion et par la circulation systémique.

14.2.3. Effets sur la peau

Différentes méthodes de thermothérapie (infrarouges, paraffine, péloïdes) ont été appliquées sur la région lombaire pour étudier la microcirculation de la peau et la température cutanée. Toutes ces méthodes augmentent la microcirculation de la peau et la température cutanée. Néanmoins, les rayons infrarouges augmentent davantage la température cutanée tandis que le parafango améliore davantage la microcirculation de la peau. Les auteurs ne constatent pas de différence entre les patients atteints de polyarthrite rhumatoïde et les sujets sains. Et l'administration additionnelle de 500 mg d'acide acétylsalicylique avant le traitement ne modifie ni la microcirculation ni la température cutanée [1].

14.2.4. Effets sur la douleur chronique

Les effets de la thermothérapie ont été évalués chez des patients présentant des douleurs chroniques. Deux groupes ont bénéficié d'une prise en charge multidisciplinaire. Un seul groupe a bénéficié en supplément d'une thermothérapie composée de rayons infrarouges, sauna sec et chaleur après sauna, pendant les quatre semaines d'hospitalisation.

Les résultats (échelle visuelle analogique, comportement, irritabilité) mettent en évidence que la prise en charge multidisciplinaire améliore la douleur chronique. Néanmoins, l'association de la thermothérapie permet de diminuer un peu plus la douleur et surtout l'irritabilité.

Après deux ans de traitement, 77 % des patients ayant bénéficié de la thermothérapie ont repris le travail *versus* 50 % pour le groupe témoin [2].

14.3. Indications

Traitement d'appoint de la douleur non inflammatoire et traitement de confort en rééducation fonctionnelle, les infrarouges ont un effet sédatif et renforcent les effets du massage, de la posture et de la mobilisation active ou passive.

En rééducation fonctionnelle, il convient de bien discerner les indications de la thermothérapie et de la cryothérapie.

La cryothérapie est indiquée pour le traitement des lésions fraîches, des douleurs aiguës, inflammatoires.

La thermothérapie infrarouge est indiquée pour le traitement des lésions anciennes, chroniques, dégénératives, non inflammatoires :

- arthroses du rachis et des membres;
- séquelles traumatiques sans risque hémorragique;
- lombalgies, dorsalgies;
- contractures musculaires douloureuses;
- troubles circulatoires et trophiques.

14.4. Contre-indications

Les infrarouges n'ont pas d'action en profondeur, néanmoins ils sont contre-indiqués dans les cas suivants :

- infections et inflammations aiguës;
- sites et affections à tendance hémorragique;
- lésions cutanées, affections dermatologiques, notamment tumeurs cutanées;
- troubles circulatoires locaux, toute altération de la vascularisation pouvant entraîner une diminution de l'évacuation de la chaleur;
- anesthésies, hypoesthésies, troubles de la sensibilité cutanée et de la sensibilité thermo-algésique.

On n'applique pas d'infrarouges sur la tête, ni sur la face, ni sur la nuque, ni après la prise de médicaments antalgiques.

14.5. Modalités d'application

La distance entre l'émetteur et le patient détermine l'intensité de l'irradiation selon la loi du carré de la distance. La distance émetteur-patient est réglée afin que le patient ressente une chaleur confortable, bien tolérée. Ensuite, la distance définie reste constante pour toutes les irradiations, et la durée de la séance est progressivement croissante selon l'intensité supportée.

Le praticien doit contrôler la température appliquée, veiller à ce que le patient ne puisse pas être en contact direct avec l'émetteur et exercer une surveillance pendant la séance afin d'éviter tout risque de brûlure des tissus.

Les infrarouges présentent l'avantage de produire une sensation de chaleur qui indiquera au patient les limites à ne pas dépasser. En cas d'altération de la sensibilité thermo-algésique, les risques de brûlure augmentent considérablement.

On n'applique jamais simultanément des infrarouges et des courants électriques sur la même région; l'échauffement des électrodes et l'assèchement des spongieux augmenteraient les risques de brûlure [3].

14.6. Effets cliniques

Les infrarouges, souvent considérés comme une thérapeutique mineure, présentent néanmoins de nombreux avantages. En plus de leurs effets et indications non négligeables décrits ci-dessus, ils sont facilement applicables, y compris au domicile du patient et avec un matériel très simple. Un enveloppement chaud peut être très efficace si l'indication est bien posée. Mais surtout, ils ne présentent pas les risques ni les contre-indications de la diathermie (tumeurs, grossesse...) puisque la thermothérapie reste superficielle. Les infrarouges représentent donc une alternative intéressante, notamment lorsque la thermothérapie profonde ne peut pas être appliquée.

Références

- [1] Berliner MN, Maurer AI. Effect of different methods of thermotherapy on skin microcirculation. *Am J Phys Med Rehabil* 2004; 83(4) : 292–7.
- [2] Masuda A, Koga Y, Hattanmaru M, Minagoe S, Tei C. The effects of repeated thermal therapy for patients with chronic pain. *Psychother Psychosom* 2005; 74(5) : 288–94.
- [3] Crépon F. Infrarouges et thermothérapie. *Kinésithér Scient* 2006; 463 : 61–2.

CHAPITRE 15

Ultraviolets

Points essentiels

- ♦ Les ultraviolets sont cancérigènes et n'ont aucune indication en rééducation fonctionnelle. Ils ne doivent pas être utilisés à des fins esthétiques. Les enfants doivent particulièrement en être protégés.
- ♦ Leur seule indication est en dermatologie et ils doivent être appliqués en respectant un protocole strict.

PLAN DU CHAPITRE

- 15.1. Définitions
- 15.2. Propriétés et indications
- 15.3. Dangers
- 15.4. Conduite à tenir
- 15.5. Contre-indications
- 15.6. Modalités d'application

15.1. Définitions

Les rayons ultraviolets sont des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est plus petite que celle du violet et plus grande que celle des rayons X. Ces rayons sont invisibles. Leur source peut être naturelle ou artificielle.

Les ultraviolets sont subdivisés en trois classes : les UVA (λ : 315 à 400 nm) et les UVB (λ : 280 à 315 nm) qui sont utilisés en thérapeutique, et les UVC (λ : 185 à 280 nm) qui ont des effets bactéricides.

15.2. Propriétés et indications

Les ultraviolets sont utilisés pour des applications médicales connues sous le terme d'actinothérapie qu'il convient de bien distinguer des applications esthétiques destinées au bronzage.

Les ultraviolets produisent une pigmentation de la peau ainsi qu'une activation de la synthèse de la vitamine D et de l'anabolisme du calcium.

Ils étaient anciennement utilisés pour le traitement du rachitisme et, de façon plus empirique, pour d'autres pathologies. Désormais, le rachitisme est largement prévenu par la supplémentation systématique en vitamine D des jeunes enfants ou traité par des compléments calcique et vitaminique, et les ultraviolets ne sont plus pratiqués.

Les ultraviolets n'ont aucune indication en rééducation fonctionnelle.

Actuellement, leurs seules indications sont en dermatologie, notamment le traitement du psoriasis par la puvathérapie, association de psoralènes et d'UVA. Plus récemment, on a traité le psoriasis par association d'alefacept et d'UVB, ce qui permet d'augmenter l'efficacité de l'alefacept sans en augmenter les effets secondaires [1]. Les UVB apparaissent plus efficaces que les UVA [2].

Dans le traitement de la sclérodermie localisée, un essai clinique fait état de résultats significatifs obtenus par l'association de decorin et d'UVA [3].

15.3. Dangers

Les ultraviolets sont cancérogènes. Il apparaît que ce risque est sous-estimé – même chez ceux qui en sont conscients – et qu'il faut changer les comportements [4].

De nombreuses publications et plusieurs rapports ont mis en évidence les risques encourus [5–7].

15.4. Conduite à tenir

Les ultraviolets A et B doivent être exclusivement réservés aux applications thérapeutiques, sur prescription médicale et en respectant les précautions d'usage, notamment la protection des yeux.

Il faut proscrire les applications des ultraviolets dans un but esthétique.

Il faut informer les patients sur les graves dangers du bronzage, sur les risques qu'ils encourrent et sur les précautions à prendre pour se protéger du soleil, en insistant particulièrement sur la protection des enfants [8].

15.5. Contre-indications

Les ultraviolets sont contre-indiqués dans les cas de tuberculose pulmonaire, de diabète, d'hyperthyroïdies, d'artériosclérose et d'insuffisances cardiaques, hépatiques ou rénales.

15.6. Modalités d'application

En cas d'application sur prescription médicale en dermatologie, il faut protéger les yeux du patient et du praticien par des lunettes opaques aux ultraviolets.

La distance émetteur-patient reste constante. La durée de la séance est augmentée, si la séance précédente a été bien tolérée.

Les irradiations doivent être prudentes, dosées et progressives, tenant compte de la puissance de l'émetteur et de la photosensibilisation. Les téguments blancs, blonds et roux sont les plus sensibles.

Une surveillance constante s'impose parce que les ultraviolets peuvent brûler avant de produire une sensation de chaleur au patient.

Références

- [1] Ortonne JP, Khemis A, Koo JY, Choi J. An open-label study of alefacept plus ultraviolet B light as combination therapy for chronic plaque psoriasis. *J Eur Acad Dermatol Venerol* 2005 Sep; 19(5) : 556-63.
- [2] Dawe RS, Cameron H, Yule S, Man I, Wainwright NJ, Ibbotson SH, et al. A randomized controlled trial of narrowband ultraviolet B vs bath-psoralen plus ultraviolet A photochemotherapy for psoriasis. *Br J Dermatol* 2003 Jun; 148(6) : 1194-204.
- [3] Gambichler T, Skrygan M, Tomi NS, Altmeyer P, Kreuter A. Differential expression of decorin in localized scleroderma following ultraviolet-A1 irradiation. *J Am Acad Dermatol* 2007 jun ; 56(6): 956-9.
- [4] Knight JM, Kirincich AN, Farmer ER, Hood AF. Awareness of the risks of tanning lamps does not influence behavior among college students. *Arch Dermatol* 2002 Oct; 138(10) : 1311-5.
- [5] Robert C, Muel B, Benoit A, Dubertret L, Sarasin A, Stary A. Cell survival and shuttle vector mutagenesis induced by ultraviolet A and ultraviolet B radiation in a human cell line. *J Invest Dermatol* 1996 Apr; 106(4) : 721-8.
- [6] Civatte J, Bazex J. At the National Academy of Medicine. Presentation of the noxious effects of ultraviolet rays. *Presse Med* 1998 Jan 17; 27(2) : 67.
- [7] Civatte J, Bazex J. Prevention of injurious effects of ultraviolet rays. *Bull Acad Natl Med* 1997 Dec; 181(9) : 1825-50.
- [8] Crépon F. Ultraviolets et actinothérapie. *Kinésithér Scient* 2007; 474 : 59-60.

CHAPITRE 16

Biofeedback

Point essentiel

- ♦ En renvoyant instantanément au patient les résultats de son action pour la réguler, le biofeedback précise et motive le mouvement.

PLAN DU CHAPITRE

16.1. Définitions

16.2. Instruments

16.3. Indications en rééducation fonctionnelle

16.1. Définitions

16.1.1. Du *feedback* au *myofeedback*

16.1.1.1. *Feedback*, rétroaction ou rétrocontrôle

« *Feedback* » est un terme puisé dans le vocabulaire de la cybernétique, dont l'étymologie grecque désigne l'action de gouverner un vaisseau, un État (Platon utilisait le mot *kubernêtikê* pour définir l'art de piloter un navire). La cybernétique est donc la science des appareils de gouverne ou de commande qui étudie la distribution des ordres, le fonctionnement des mécanismes de communication et de contrôle chez les êtres vivants, dans les communautés animales ou les machines automatiques.

Pour Norbert Wiener, le terme *feedback* désigne la « façon de bien commander un ensemble en lui faisant connaître les résultats des actions en cours et donc la différence entre ces résultats et ce qui était désiré *a priori* » [1, 2]. Encore plus concis, L. Couffignal définit le feedback comme « l'art d'assurer l'efficacité de l'action ».

Les termes rétroaction, rétrocontrôle et rétrorégulation sont synonymes de feedback.

En cybernétique, *feedback* désigne l'action en retour des corrections et des régulations d'un système d'informations sur le centre de commande du système. L'exemple classique est celui du *skipper* qui doit orienter son bateau sur un cap. Il doit en permanence s'informer, grâce aux moyens de contrôle mis à sa dis-

position, de sa direction, de la direction du vent, des courants, de sa dérive, et corriger à la barre pour maintenir son cap. Le pilote automatique est l'exemple type de l'application à la machine. Il corrige en permanence les déviations du cap en tenant compte des informations qui lui sont fournies par le compas.

En physiologie, *feedback* désigne les systèmes biologiques autorégulateurs :

- le mécanisme par lequel les variations du taux sanguin d'une hormone entraînent, au niveau de l'hypophyse, des variations inverses de la stimuline qui règle la sécrétion de la glande correspondante ;
- l'influence des variations fonctionnelles d'un organe sur le système qui, en amont, en assure la régulation.

En rééducation fonctionnelle, *feedback* désigne un procédé permettant de renvoyer au sujet une information sur son état physiologique ou pathologique afin de lui permettre de le corriger ou de l'orienter [3].

16.1.1.2. *Biofeedback, myofeedback*

« *Biofeedback* » désigne l'application du feedback au vivant. Le *biofeedback* est un procédé permettant de renvoyer au sujet une information sur son état physiologique ou pathologique afin de lui permettre de le corriger ou de l'orienter.

Le *biofeedback* musculaire, que certains auteurs appellent « *myofeedback* », a été défini par J.V. Basmajian [4] : « Technique d'utilisation d'un équipement (habituellement électronique) destiné à révéler aux êtres humains certains des événements physiologiques internes, normaux ou anormaux, dont ils sont l'objet, au moyen de signaux visuels ou auditifs, pour leur apprendre à manipuler ces événements (par ailleurs parfois involontaires ou inconscients), en employant les signaux qui leur sont présentés. »

Anne Rémond et Antoine Rémond proposent une définition plus actuelle et plus complète : « Groupe de procédés thérapeutiques qui utilise une instrumentation électronique ou électromécanique pour mesurer avec précision, traiter et représenter, sous forme analogique ou numérique, une information aux propriétés renforcées, sur l'activité neuromusculaire ou l'activité autonome (normale ou anormale) des individus au moyen de signaux sonores ou optiques. Ses objectifs – d'autant mieux atteints qu'ils sont effectués sous l'égide d'un professionnel compétent dans le domaine du *biofeedback* – sont d'aider les individus à développer une meilleure conscience et un contrôle volontaire plus intense de leurs processus physiologiques, processus pratiquement inconscients (c'est-à-dire peu indépendants a priori, ou indépendants d'un contrôle volontaire), ceci en contrôlant d'abord le signal externe, puis finalement en utilisant des moyens psychophysiologiques internes. »

Il existe au moins deux types de *biofeedback*.

1. *Biofeedback* du premier type dans lequel le sujet est seul avec l'instrument :
 - a. le sujet produit des événements physiologiques, ses propres stratégies et motivations, et envoie ces données à l'appareil ;
 - b. l'instrument saisit, mesure, enregistre et présente les événements physiologiques en renvoyant l'information directement au sujet ;
 - c. le sujet adapte les événements physiologiques en fonction de l'objectif défini au départ et en fonction de l'information qu'il a reçue en retour.

2. *Biofeedback* du deuxième type dans lequel le thérapeute s'interpose entre l'instrument et le sujet :

- a. le sujet produit des événements physiologiques, ses propres stratégies et motivations, et envoie ces données à l'appareil;
- b. l'instrument saisit, mesure, enregistre et présente les événements physiologiques en renvoyant l'information au thérapeute;
- c. le thérapeute analyse ces informations, transmet sa synthèse au sujet, fournit des stratégies et des encouragements, ajuste les paramètres instrumentaux;
- d. le sujet adapte les événements physiologiques en fonction de l'objectif défini et en fonction des éléments qu'il a reçus du thérapeute.

Le thérapeute peut ainsi guider le sujet selon les objectifs établis, l'inciter, vérifier la bonne application de la technique et corriger les erreurs [5].

16.1.1.3. Autoévaluation contrôlée

L'autoévaluation contrôlée est un *biofeedback* du deuxième type dans lequel le thérapeute intervient. Il s'interpose entre l'instrument et le sujet. Les informations fournies par l'appareil ne sont visibles que par le thérapeute qui les interprète avant de les transmettre au sujet.

Le sujet effectue une contraction de référence et la maintient pendant que le thérapeute mesure la valeur de cette contraction. Quand la contraction de référence est établie, c'est-à-dire intégrée par le sujet et chiffrée par le thérapeute, deux façons de procéder sont alors possibles :

1. le sujet effectue une contraction et évalue son intensité en pourcentage de la contraction de référence; le thérapeute vérifie le bien-fondé de l'autoévaluation;
2. le thérapeute demande au sujet d'effectuer une contraction dont il fixe la valeur en pourcentage de la contraction de référence; puis il vérifie si sa demande a été respectée.

16.1.1.4. Conditionnement opérant

B. Brugerolle, C. Chauvière et J-M. André définissent le *biofeedback* dans le cadre du conditionnement opérant ou apprentissage instrumental. Lors d'un traitement par *biofeedback*, la chaîne instrumentale – au cours de la séance – donne un résultat immédiat, sanction de réussite ou d'échec. Ce résultat exerce le rôle d'agent renforçateur. En fin de séance, la comptabilisation des succès ou erreurs donne une performance. Les deux types de renforcement sont et doivent être associés pour permettre un apprentissage instrumental. La motivation du sujet, indispensable à tout apprentissage, doit être développée et maintenue afin d'atteindre les objectifs [6].

16.1.1.5. Feedforward

Le « *feedforward* » est un système qui agit par anticipation en répondant à une perturbation d'une manière prédéfinie, préprogrammée et mémorisée, afin d'éviter la lésion qui pourrait être produite par cette perturbation. C'est un système de réponses apprises à des signaux connus. Ce qui suppose que le sujet

connaît déjà la perturbation, qu'il peut la prévoir et mettre en jeu automatiquement des protections pour l'éviter.

Ce principe s'intègre dans la rééducation proprioceptive. Par exemple, la lombalgie étant associée à un dysfonctionnement des muscles et des mécanismes de contrôle postural, *feedback* et *feedforward*, les physiothérapeutes incluent l'utilisation de ces mécanismes dans leurs protocoles de traitement [7].

Chez 79 patients atteints de lombalgie chronique, les exercices de rééducation de l'équilibre et de la stabilité associés aux exercices d'assouplissement ont montré qu'ils étaient plus efficaces que les exercices de renforcement musculaire associés aux exercices d'assouplissement pour réduire l'incapacité et améliorer la qualité de vie [8].

16.2. Instruments

16.2.1. Instruments de mesure

Le biofeedback peut se pratiquer avec tout instrument de mesure, de contrôle ou d'évaluation : miroir, goniomètre, spiromètre ou bocal d'expiration, tensiomètre ou périnéomètre pneumatique, systèmes thermiques, plateau de stabilométrie, biofeedback électronique.

16.2.2. *Myofeedback*

Le biofeedback musculaire électronique, qu'on appelle également *myofeedback*, est une méthode non invasive de détection des potentiels d'action de la contraction musculaire. C'est une électromyographie de surface. L'appareil enregistre les potentiels d'action de la contraction musculaire, traduit leur intensité par des signaux visuels ou sonores afin de renvoyer l'information au sujet qui peut ainsi contrôler sa contraction, l'augmenter ou la diminuer. Il est utilisé pour la rééducation des troubles de la motricité [6].

En rééducation fonctionnelle, le *myofeedback* permet de :

- mettre en évidence la physiologie musculaire;
- visualiser les contractions les plus faibles;
- guider l'éveil musculaire;
- contrôler le renforcement musculaire;
- aiguïser la motivation du patient;
- pratiquer une rééducation incitatrice;
- mettre en évidence le succès ou l'échec de l'objectif fixé;
- détecter la fatigue;
- doser l'intensité et la durée d'une contraction (résistance et endurance);
- vérifier le relâchement des hypertonies.

S'il possède deux canaux distincts, le *myofeedback* permet de :

- comparer deux muscles ou deux fonctions;
- coordonner deux muscles ou deux fonctions synergistes;
- dissocier deux muscles ou deux fonctions antagonistes.

16.3. Indications en rééducation fonctionnelle

16.3.1. Rhumatologie, traumatologie, orthopédie, chirurgie

Instrument de rééducation des affections de l'appareil locomoteur, le *myofeedback* :

- établit la réalité et l'intensité de la contraction musculaire dans le traitement de renforcement musculaire des amyotrophies;
- donne au sujet des indications complémentaires au cours d'une rééducation proprioceptive;
- met en évidence la coordination des muscles synergistes au cours de la rééducation d'une chaîne musculaire (figures 16.1, 16.2);
- montre l'impossibilité de dissocier la contraction du muscle vaste médial et du muscle vaste latéral (figure 16.3) [9];
- contrôle la sédation des contractures;
- constate la réapparition de la contraction après les sidérations musculaires;
- vérifie si la contraction effectuée correspond au mouvement demandé après les transplantations musculaires.

16.3.2. Rééducation neurologique

16.3.2.1. Neurologie centrale

En neurologie centrale, le *myofeedback* participe au contrôle de l'inhibition de la spasticité.



FIGURE 16.1. Contrôle de la contraction de la chaîne série antérieure.

Recrutement assisté contrôlé par *myofeedback*, de la chaîne série antérieure : extenseurs du genou et releveurs du pied. Le praticien applique la paume de sa main sous le calcanéum du patient et exerce un déplacement cutané antéropostérieur qui reproduit la stimulation provoquée par la réception du talon au sol au cours de la marche.



FIGURE 16.2. Contrôle de la contraction d'une chaîne parallèle.

Recrutement assisté contrôlé par *myofeedback*, de la chaîne des extenseurs de la hanche et du genou.



FIGURE 16.3. Contrôle de la contraction du vaste médial et du vaste latéral.

Le *myofeedback* permet de constater que, lors de l'extension du genou, ces faisceaux musculaires sont totalement synergiques, sans prédominance en fonction du degré d'extension.

16.3.2.2. Neurologie périphérique

En neurologie périphérique, pendant la phase de réinnervation, le *myofeedback* permet de détecter la première ébauche de contraction, puis la progression de la récupération.

16.3.3. Rééducation respiratoire

16.3.3.1. Syndromes obstructifs

Le *myofeedback* à deux canaux guide la rééducation en mettant en évidence la physiologie musculaire, par exemple l'effet expirateur du grand pectoral et du grand dorsal lors du désencombrement bronchique ([figure 16.4](#)) [9, 10] ou la dissociation des inspireurs et expirateurs dans la rééducation de l'asthme ([figure 16.5](#)) [11].

16.3.3.2. Syndromes restrictifs

Le *myofeedback* participe à l'élaboration de la stratégie de rééducation destinée à augmenter les volumes ventilatoires en contrôlant la contraction des muscles abdominaux dans l'inspiration forcée abdomen fixe ([figure 16.5](#)) [12].



FIGURE 16.4. Contrôle de la contraction des muscles grand pectoral et grand dorsal.

Le *myofeedback* permet de constater que ces muscles sont inspireurs lorsque leur point fixe est supérieur, qu'ils sont expirateurs lorsque leur point fixe est inférieur.

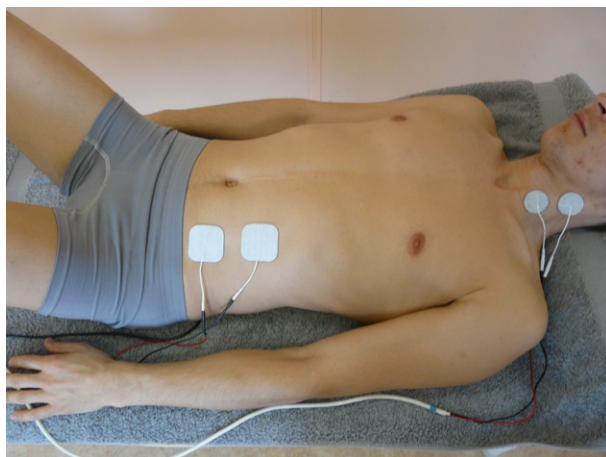


FIGURE 16.5. Contrôle de la contraction des muscles inspireurs et expirateurs. Le *myofeedback* permet de constater la synergie de ces muscles lors de l'inspiration forcée destinée à augmenter les volumes ventilatoires ou leur dissociation dans la rééducation de l'asthme.

16.3.4. Rééducation périnéale

16.3.4.1. Prise de conscience des muscles du périnée

La contraction de ces muscles n'est pas visuelle et nécessite quelques connaissances anatomiques. Le *myofeedback* permet au patient de percevoir la contraction volontaire analytique de ses muscles périnéaux. Il constitue une aide à la mise en œuvre des exercices du plancher pelvien (*Guidelines on Urinary Incontinence. European Association of Urology. 2010*) [13].

Une revue *Cochrane* de 24 essais incluant 1 583 femmes présentant une incontinence urinaire montre que la rééducation avec *biofeedback* est plus efficace que la rééducation seule. Cependant, les auteurs souhaiteraient des études complémentaires qui permettraient de distinguer si ces résultats sont dus au *biofeedback* ou au fait que ces femmes ont fait plus de rééducation que les autres [14].

16.3.4.2. Instauration de l'effort de retenue volontaire (ERV)

La contraction volontaire des muscles périnéaux est utilisée comme renforcement du système de clôture notamment aux efforts. Son efficacité nécessite une durée de quelques secondes et un apprentissage dans des situations d'effort réelles, par exemple en orthostatisme ou à la toux. Le *myofeedback* permet de vérifier la localisation, l'intensité et la durée de ces contractions [15].

16.3.4.3. Dissociation abdomino-périnéale

La contraction périnéale entraîne une ascension du périnée. Elle doit donc être indépendante des mouvements abdominaux et respiratoires. Le *myofeedback* à deux canaux met en évidence la contraction périnéale afin de la sélectionner, et les contractions parasites (abdominaux, grands fessiers, adducteurs) afin de les évincer.

16.3.4.4. Inhibition du détrusor instable

La contraction volontaire ou électro-induite des muscles du périnée inhibe les centres sacrés parasympathiques par l'intermédiaire du nerf pudendal (anciennement appelé nerf honteux interne) et donc inhibe les contractions du détrusor. Cette rééducation est fondée sur le troisième des 12 réflexes mictionnels décrits par Mahony [16]. Elle améliore les signes de l'hyperactivité vésicale : impériosités avec ou sans fuite, et pollakiurie. L'intérêt du myofeedback pour ce traitement est le même que pour l'instauration de l'effort de retenue volontaire.

16.3.4.5. Douleurs périnéales

Une étude a comparé les effets du *biofeedback*, de la stimulation des nerfs sacrés, des antidépresseurs et des injections de Botox chez 170 patients atteints de proctalgies. Les résultats montrent que le *biofeedback* est le plus efficace, particulièrement chez les patients qui présentent une dyschésie [17].

16.3.5. Perspectives

Les exemples d'applications évoqués ci-dessus ne sont pas exhaustifs. En effet, étant donné le large spectre des possibilités qu'il offre, le *biofeedback* pourrait être intégré dans tous les domaines de la rééducation fonctionnelle.

Références

- [1] Wiener N. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Paris : Hermann; 1958.
- [2] Wiener N. *Cybernétique et société*. Paris : Éditions des Deux-Rives; 1962.
- [3] Crépon F. *Électrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle*. 3^e éd. Paris : Frison-Roche; 2002.
- [4] Basmajian JV. *Biofeedback : principles and practice for clinicians*. Baltimore : Williams and Wilkins; 1989.
- [5] Rémond A, Rémond A. *Biofeedback, principes et applications*. Paris : Masson; 1994.
- [6] Brugerolle B, Chauvière C, André J-M. *Rétroaction biologique musculaire. Applications du biofeedback dans les troubles moteurs*. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Rééducation fonctionnelle, 26-147-A-10, 1994 [1-5].
- [7] Ribeiro DC, Sole G, Abbott JH, Milosavljevic S. A rationale for the provision of extrinsic feedback towards management of low back pain. *Man Ther* 2011 Jun; 16(3) : 301-5.
- [8] Gatti R, Faccendini S, Tettamanti A, Barbero M, Balestri A, Calori G. Efficacy of trunk balance exercises for individuals with chronic low back pain : a randomized clinical trial. *J Orthop Sports Phys Ther* 2011 Aug; 41(8) : 542-52.
- [9] Crépon F. Intérêt du myofeedback. *Ann Kinésithér* 2001; 28(6) : 261-8.
- [10] Crépon F. Le myofeedback, instrument de contrôle de la physiologie musculaire. *Kinésithér Scient* 2001; 407 : 58-9.
- [11] Pierron G. Contrôle ventilatoire de l'asthmatique. *Cah Kinésithér* 1992; 156-157(4-5) : 32-9.
- [12] Crépon F, Pierron G, Crépon B, Majer L, Chekroun MR. Influence des mobilités thoracique et abdominale sur les volumes ventilatoires. In : *Entretiens de Bichat, Rééducation* 1997. Paris : Exp Scient Fr; 1997. p. 145-9.
- [13] Thüroff JW, Abrams P, Andersson KE, Artibani W, Chapple CR, Drake MJ, et al. EAU guidelines on urinary incontinence. *Eur Urol* 2011 Mar; 59(3) : 387-400.

- [14] Herderschee R, Hay-Smith EJ, Herbison GP, Roovers JP, Heineman MJ. Feedback or biofeedback to augment pelvic floor muscle training for urinary incontinence in women. *Cochrane Database Syst Rev* 2011 Jul 6; (7) CD009252.
- [15] Dannecker C, Wolf V, et al. EMG-biofeedback assisted pelvic floor muscle training is an effective therapy of stress urinary or mixed incontinence : a 7-year experience with 390 patients. *Arch Gynecol Obstet* 2005 Dec; 273(2) : 93–7.
- [16] Mahony DT, Laferte RO, Blais DJ. Integral storage and voiding reflexes. Neurophysiologic concept of continence and micturition. *Urology* 1977 Jan; 9(1) : 95–106.
- [17] Atkin GK, Suliman A, Vaizey CJ. Patient characteristics and treatment outcome in functional anorectal pain. *Dis Colon Rectum* 2011 Jul; 54(7) : 870–5.

Législation

Décret n° 96-879 du 8 octobre 1996 relatif aux actes professionnels et à l'exercice de la profession de masseur-kinésithérapeute modifié par le décret n° 2000-577 du 27 juin 2000.

Art. 7 - Pour la mise en œuvre des traitements mentionnés à l'article 5, le masseur-kinésithérapeute est habilité à utiliser les techniques et à réaliser les actes suivants : (...)

h) Électro-physiothérapie :

- applications de courants électriques : courant continu ou galvanique, galvanisation, diélectrolyse médicamenteuse, le choix du produit médicamenteux étant de la compétence exclusive du médecin prescripteur, et courant d'électrostimulation antalgique et excito-moteur ;
- utilisation des ondes mécaniques (infrasons, vibrations sonores, ultrasons) ;
- utilisation des ondes électromagnétiques (ondes courtes, ondes centimétriques, infrarouges, ultraviolets) ;

i) Autres techniques de physiothérapie :

- thermothérapie et cryothérapie, à l'exclusion de tout procédé pouvant aboutir à une lésion des téguments ;
- kinébalnéothérapie et hydrothérapie ;
- pressothérapie.

Électrothérapie. Décret n° 96-879 du 8 octobre 1996, *Kiné Presse* 1998 ; 113 : 10-1.

Index

A

Accoutumance, 25, 30, 110, 121
Aponévrosites, 192, 217
Arthrites, 116
Arthrose, 199, 202, 235, 241
Assistance proprioceptive vibratoire, 173
Axonotmésis, 90

B

Bain galvanique, 38
BPCO, 66, 79
Brûlures, 6, 34

C

Calcifications, 217
Capsulites, 192
Cartilage, 208
Cervicalgie, 123, 124
Champs électromagnétiques, 233
Chronaxie, 46, 84
Cicatrices, 162, 176, 192
Consolidation osseuse, 199, 205
Contraction volontaire, 76
Contractures, 26, 70, 122, 124, 162, 235, 241
Contre-indications, 145
Courant
– alterné, 20
– bidirectionnel, 8, 144, 147
– BIOPP, 26
– continu, 33
– galvanique, 33
– intermittent, 21
– inversé, 20
– rythmé, 21
– STIPL, 29
– unidirectionnel, 8, 144, 147
– VIF, 25
Courants
– composites, 30, 126
– types, 23
Courbe I/t, 47
Cruralgies, 116

D

Décontraction musculaire, 54
Dénervation, 83, 87

Désencombrement bronchique, 159
Diathermie, 234
Diélectrolyse, 34
Discopathies, 162
Disque intervertébral, 208
Dorsalgie, 123, 124, 241
Douleur
– de sièges multiples, 124
– des arthroses, 124
– diffuses, 124, 127
– directes, 105
– localisées, 116, 127
– mixtes, 118, 124, 127
– musculo-aponévrotiques, 116
– neurogènes, 102, 116
– par excès de nociception, 102, 116, 124
– pariétales postopératoires, 124
– post-traumatiques, 124
– projetées, 105
– satellites, 127
Durée
– d'établissement, 85
– optimale, 47
– utile, 47
Dysesthésies, 176

E

Effet de pointe, 146
Électroacupuncture, 128
Électrodes, 110, 121, 144, 146
Électrostimulation
– antalgique, 131
– commandée, 63
Enthésopathies, 217
Entorses, 116, 176, 192, 203
Épaule hémiplégique, 64, 81
Épicondylalgie, 201, 208
Éveil musculaire, 54

F

Fibromyalgie, 124, 131, 203
Fibroses, 54, 187, 233, 235

G

Gate control, 25, 27, 30, 107, 108, 126
Gériatrie, 82
Gilet pneumatique, 160

H

Hyperesthésies, 176
Hyperhidrose, 38

I

ICC, 66
Illusions kinesthésiques, 174
Immobilisation, 76, 78, 176
Impulsion
– bidirectionnelle, 14
– galvanique, 87
– optimale, 22
– unidirectionnelle, 11
Incontinence, 28
– par impériosité, 55, 74
– urinaire d'effort, 74
Infrarouges, 239
Infrasons, 159
Insuffisance cardiaque chronique, 80
Intensité, 147
Ionisation, 34
Ionophorèse, 34

L

Lésions musculaires, 235
Libération d'endorphines, 24, 27, 30, 107, 119, 126
LIPUS, 199, 205
Loi du tout ou rien, 46
Loi fondamentale, 46
Lombalgie, 123, 124, 203, 241
Lombo-sciatalgies, 127
Lombosciatique opérée, 116

M

Membre fantôme, 116
Méralgies paresthésiques, 116
Mobilisation, 187, 233
Mobilisations passives, 116
Modulations, 19
Mouvement imaginé, 91
Moyenne nulle, 14

N

Neurotémésis, 90
Névralgies, 30, 127
– cervico-brachiales, 116
Névromes d'amputation, 176

O

Ondes
– centimétriques, 233
– courtes, 233

Ondes de choc, 215
Orthopédie, 78
Oscillations, 160
Ostéoporose, 199, 205, 208

P

Pente
– d'établissement, 47, 85
– limite, 48, 85
Période réfractaire, 46
Physiothérapie antalgique, 107
Plaies
– chroniques, 204
– des nerfs, 116
Plates-formes vibrantes, 174
Points gâchettes, 107, 128, 203
Polynévrites, 90
Polyradiculonévrites, 90
Postures, 116
Potentiel d'action, 46
Prolapsus, 28
Pseudarthrose, 207

R

Rachialgies, 30, 122, 124, 127, 162
Raideurs articulaires, 70, 192
Récupération après effort, 54
Rééducation
– active aidée, 61
– assistée, 61
– neurologique, 73, 253
– périnéale, 73, 256
– respiratoire, 73, 255
– sensori-motrice, 176
Renforcement musculaire, 66
Rétraction de l'aponévrose palmaire, 192
Rhéobase, 46, 83

S

Sciatalgies, 116
SDRC, 30, 73, 127
Secousse élémentaire, 50
Sécurité circuit ouvert, 143
Séquelles fibreuses, 192, 235
Sommaton
– spatiale, 49
– temporelle, 50
Sonophorèse, 202
Sorties
– additionnelles, 60
– alternées, 57
– simultanées, 57
– successives, 57
Spongieux, 144

Steppage, 64

Stimulation

– électrique fonctionnelle, 64, 81

– vibratoire transcutanée, 173

Symphyses pleurales, 124

Syndrome

– douloureux régional complexe, 176

– du canal carpien, 192

T

Techniques de recentrage, 66

Tendinopathies, 116, 176, 199, 208, 217

TENS, 107

Tétanisation, 50

Traumatologie, 78

Trigger points, 107, 128

Troubles circulatoires

et trophiques, 70

U

Ultrasons, 187

Ultraviolets, 243

Unité motrice, 49

V

Vessie neurologique, 81

Vibrations

– externes, 160

– internes, 160

– sonores, 173