

Électrothérapie. Ondes mécaniques, ondes électromagnétiques et « biofeedback »

F. Crépon, Y. Darlas

Les infrasons, vibrations mécaniques de très basse fréquence (< 20 Hz) et d'amplitude supérieure à 1 mm, s'appliquent perpendiculairement à la paroi pour faciliter le désencombrement bronchique, pour améliorer la trophicité, et pour traiter les contractures et les discopathies. Ils s'appliquent tangentiellement pour assouplir les cicatrices fibreuses. Les vibrations sonores, vibrations mécaniques de basse fréquence (de 50 à 100 Hz), également appelées stimulations vibratoires transcutanées, induisent l'illusion du mouvement, éveillent la sensibilité proprioceptive, soulagent la douleur, préviennent l'enraidissement articulaire, préparent et facilitent la rééducation fonctionnelle. Les ultrasons, vibrations mécaniques de haute fréquence (de 1 à 3 MHz), ont des effets thermiques. Leur indication est le traitement de la fibrose. Le strict respect de leurs contre-indications majeures proscrit de les appliquer sur la tête et sur le tronc. On les applique uniquement sur les membres et sur des lésions anciennes, fibreuses, cicatricielles. Pour améliorer la mobilité articulaire, il faut associer aux ultrasons une mobilisation pendant toute la durée de l'application. Les ultrasons pulsés de basse intensité sont actuellement l'objet d'études destinées à déterminer leurs effets, notamment sur la consolidation osseuse. Les ondes de choc focalisées, convergentes, et les ondes de choc radiales, divergentes, sont en cours d'évaluation notamment pour le traitement des paraostéopathies, des tendinites calcifiées, des tendinopathies et des aponévrosites. Les ondes courtes et les ondes centimétriques produisent une thermothérapie en profondeur ou diathermie. Les ondes centimétriques produisent une thermothérapie principalement localisée aux tissus musculaires. Les contre-indications de la diathermie sont identiques à celles des ultrasons, auxquelles il faut ajouter les pièces métalliques incluses. On n'applique pas la diathermie sur la tête ni sur le tronc. On l'applique uniquement sur les membres pour traiter les douleurs chroniques non inflammatoires des arthroses et les incidents musculaires sans lésion anatomique. Les rayons infrarouges produisent une thermothérapie en surface. Traitement d'appoint de la douleur, de la contracture, des arthroses du rachis et des membres, les infrarouges renforcent les effets du massage, de la posture et de la rééducation. Les rayons ultraviolets n'ont pas d'indication en rééducation fonctionnelle, mais uniquement en dermatologie. Ils présentent un risque de cancer cutané et ne doivent pas être appliqués dans un but esthétique. Le biofeedback, en renvoyant l'information au sujet, permet de corriger ou d'orienter la rééducation.

© 2008 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Électrothérapie ; Électrologie médicale ; Physiothérapie ; Vibrothérapie ; Thermothérapie ; Diathermie ; Actinothérapie ; Ondes mécaniques ; Infrasons ; Vibrations sonores ; Ultrasons ; Ondes de choc ; Ondes électromagnétiques ; Ondes centimétriques ; Ondes courtes ; Infrarouges ; Ultraviolets ; Biofeedback

Plan

■ Introduction	1
■ Ondes mécaniques	2
Définition. Classification	2
Infrasons	2
Vibrations sonores	3
Ultrasons	4
Ondes de choc	8
■ Ondes électromagnétiques	9
Définition, classification	9
Ondes courtes. Ondes centimétriques	9
Infrarouges	10
Ultraviolets	10

■ « Biofeedback »	11
Définitions	11
Instruments	11
Indications en rééducation fonctionnelle	11
■ Conclusion	12

■ Introduction

La vibrothérapie et la thermothérapie ont des propriétés thérapeutiques différentes et complémentaires de l'électrostimulation. En participant à l'assouplissement de la fibrose, au relâchement des contractures, à l'amélioration de la circulation locale et des troubles trophiques, à la facilitation du désencom-

brement bronchique et à la sédation de la douleur, les ondes mécaniques et les ondes électromagnétiques complètent les effets de la rééducation fonctionnelle.

En renvoyant instantanément au patient les résultats de son action pour la réguler et en lui permettant de s'autoévaluer, le *biofeedback* peaufine, précise et motive le mouvement.

Le présent article concerne l'application des ondes mécaniques, des ondes électromagnétiques et du *biofeedback* en rééducation fonctionnelle. L'application des courants électriques, notamment l'électrostimulation, fait l'objet d'un article distinct.

■ Ondes mécaniques

Définition. Classification

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.

La « portée utile » de ces ondes 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.

Selon leur fréquence, on distingue les infrasons (< 20 Hz), les vibrations sonores et les ultrasons (> 20 000 Hz).

Infrasons

Rappels

Définition

Les infrasons sont des ondes mécaniques longitudinales produites par des vibrations mécaniques d'amplitude supérieure à 1 mm et de très basse fréquence, inaudible 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.

Générateurs

On obtient des infrasons avec divers 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.

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.

Propriétés. Indications. Application

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 trachéobronchique. Les vibrations de la paroi thoracique à 13 Hz augmentent de 240 % ($p < 0,001$) la clairance du mucus trachéal par rapport à la respiration spontanée, alors que les vibrations de la colonne d'air par la bouche n'augmentent pas [1].



Figure 1. Vibrations externes produites par un gilet pneumatique. Les vibrations infrasonores externes, c'est-à-dire appliquées sur la paroi thoracique, et les techniques classiques de désencombrement bronchique sont compatibles et complémentaires.

Les vibrations externes utilisées dans les pays anglo-saxons sont produites par un gilet pneumatique (Fig. 1). Ces oscillations de la paroi thoracique présentent l'avantage que leur fréquence, leur amplitude et leur durée d'application peuvent être définies par des paramètres précis et constants [2]. De plus, si elles sont correctement dosées, elles sont bien tolérées. 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 : diminution des pneumopathies, des hospitalisations pour pneumopathie et des crises d'épilepsie [3].

Les premières études destinées à mettre en évidence l'intérêt des vibrations pour faciliter le désencombrement bronchique remontent aux années 1960 [4]. Depuis, cette technique a été continuellement évaluée [5-12].

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 [13]. Cependant, ces vibrations n'augmentent pas la durée de vie des patients [14].

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 [15].

L'association des vibrations et des techniques classiques de drainage est une méthode efficace de désencombrement des voies aériennes dans le traitement des bronchectasies [16].

Les vibrations externes doivent répondre à un certain nombre de critères pour être efficaces, notamment : matériel utilisé, fréquence de 3 à 25 Hz et application pendant le temps expiratoire [17].

Plusieurs études effectuées sur l'homme et sur l'animal [1, 18-21] 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 newton ;
- la fréquence doit se situer entre 3 et 25 Hz, avec un maximum d'efficacité à 13 Hz ;



Figure 2. Infrasons et rachialgies. Appliqués sur la main du praticien, les infrasons contribuent au relâchement des contractures en complétant les effets myorelaxants du massage. Pour le traitement des discopathies, les infrasons doivent être appliqués perpendiculairement à la paroi sur un patient obligatoirement installé en décubitus.

- à 13 Hz la pression intrathoracique mesurée atteint 20 cmH₂O lorsque le contact est axillaire et 40 cmH₂O lorsque le contact est sternal ;
- la transmission est maximale en fin d'expiration.

Infrasons et appareil respiratoire

Hormis le désencombrement bronchique, les infrasons présentent d'autres propriétés sur l'appareil respiratoire [22, 23].

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 cmH₂O a montré une diminution significative de la pression partielle artérielle en gaz carbonique ($p < 0,05$) [24].

Infrasons et rééducation fonctionnelle

En pratique courante, les infrasons ont des effets trophiques, myorelaxants, « sclérolitiques » et antalgiques [25]. Aux membres inférieurs, ils ont un effet bénéfique sur la circulation de retour et soulagent les « jambes lourdes ».

Appliqués perpendiculairement à la paroi, les infrasons ont une action en profondeur. Ils facilitent la diffusion des liquides injectés par voie intramusculaire, relâchent les contractures et participent au traitement 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 [26].

Appliqués tangentiellement aux tissus, les infrasons ont une action superficielle. Ils assouplissent les cicatrices fibreuses, les adhérences et les indurations des tissus sous-cutanés (zones réflexes, cellulalgies).

Leurs effets antalgiques sont la conséquence des effets précédents. Les infrasons peuvent être appliqués sur la main du praticien effectuant un massage (Fig. 2).

“ Point essentiel

Les propriétés des infrasons qui ont été les plus évaluées en physiothérapie sont leurs effets sur l'appareil respiratoire. Dans cette spécialité, les paramètres et le protocole d'application sont bien établis. Des travaux ultérieurs devront permettre de valider l'intérêt des infrasons dans les autres domaines de la rééducation fonctionnelle.

Contre-indications

Les infrasons sont contre-indiqués sur la phlébite, l'abdomen de la femme enceinte, les foyers tumoraux, infectieux ou inflammatoires, les greffes récentes et les fractures non consolidées.

Vibrations sonores

Rappels

Définition

Les vibrations mécaniques de basse fréquence (de 50 à 100 Hz) et d'amplitude égale ou inférieure à 1 mm sont des vibrations sonores. Leur application sur l'appareil locomoteur est désignée par différents termes selon les auteurs : vibrations mécaniques transcutanées, stimulation vibratoire transcutanée, assistance proprioceptive vibratoire...

Générateurs

Le vibreur est 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, une simple brosse à dents électrique permet d'obtenir ces vibrations, mais son utilisation est limitée au traitement d'une zone ponctuelle.

Propriétés. Indications. Application

Rééducation sensorimotrice par assistance proprioceptive vibratoire

Les afférences proprioceptives d'origine musculaire contribuent au codage conscient du mouvement. Les vibrations mécaniques de basse fréquence appliquées sur les tendons sont susceptibles d'induire un message nerveux à dominante proprioceptive qui évoque des sensations de mouvements illusoire accompagnées d'activités motrices involontaires cohérentes avec ces sensations [27, 28].

Ces vibrations éveillent la sensibilité, facilitent les plans de glissement, préviennent l'enraidissement des articulations, préparent et facilitent la rééducation fonctionnelle dont elles optimisent les résultats [29, 30].

La rééducation motrice par assistance proprioceptive vibratoire améliore la restauration de la mobilité articulaire après immobilisation thérapeutique [31, 32]. L'utilisation précoce des vibrations est préconisée en traumatologie et en orthopédie [33]. Ces vibrations peuvent être appliquées sur les tendons sous les appareils plâtrés [34].

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 greffes nerveuses [35-38].

Effets antalgiques de la stimulation vibratoire transcutanée

Des stimulations vibratoires de 1, 5, 15, 25 et 45 minutes, appliquées sur 366 patients, permettent les conclusions suivantes :

- la première diminution perceptible de la douleur peut être obtenue après un temps de stimulation inférieur à 10 minutes ;
- le soulagement maximal 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 de 3 à 6 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 [39, 40].



Figure 3. Stimulation vibratoire transcutanée. La stimulation vibratoire est appliquée directement sur le site concerné. Pour le traitement de la tendinite, elle peut aussi être appliquée sur le muscle antagoniste.

Les mécanismes nerveux responsables des effets antalgiques semblent être de type *gate control*, mais sans écarter la participation d'autres mécanismes segmentaires de contrôle. En effet, plusieurs études ont montré que la vibration du muscle antagoniste pouvait soulager les épicondylites [41]. Les afférences musculaires de type I a, 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.

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 [41]. La double stimulation, électrique et vibratoire, à 100 Hz est significativement plus efficace que chacune de ces techniques utilisée séparément [42].

Néanmoins, 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 bêta-endorphine et de metenképhaline qui ne varient pas avant et après une séance de 30 minutes de vibrations [43].

Les principales indications sont les névromes, les douleurs du membre fantôme, les tendinopathies et particulièrement les épicondylites, les myalgies, les douleurs ligamentaires, les rachialgies, les névralgies, les douleurs orofaciales et, en règle générale, toutes les douleurs ponctuelles de l'appareil locomoteur [36, 37, 44-47] (Fig. 3).

Le soulagement maximal est obtenu en appliquant la stimulation sur la zone douloureuse elle-même. Certains auteurs proposent de stimuler également le muscle antagoniste, d'associer une mobilisation, de stimuler les zones de projection réflexe et les points d'acupuncture.

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.

La durée optimale de la séance est de 40 minutes. La simplicité, l'innocuité et le confort de la technique ainsi que l'absence de contre-indications autorisent l'autoapplication par le patient.

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 5 minutes en phase avec l'activité des muscles respiratoires (vibration des muscles inspireurs lors de l'inspiration, vibration des muscles expirateurs lors de l'expiration), les vibrations de 100 Hz majorent le volume courant, réduisent la fréquence respiratoire, prolongent

“ Point essentiel

Les vibrations mécaniques de fréquences sonores ont été l'objet d'études sérieuses et concluantes ayant notamment démontré un effet proprioceptif et antalgique. La stimulation vibratoire transcutanée est une technique efficace et d'une totale innocuité.

le temps expiratoire, diminuent la capacité résiduelle fonctionnelle, 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 (vibration des muscles inspireurs lors de l'expiration, vibration des muscles expirateurs lors de l'inspiration). Les auteurs proposent que l'action des vibrations se situe plus sur les muscles respiratoires que sur les poumons, en rappelant que les sensations respiratoires passent par des afférences qui cheminent depuis les muscles respiratoires jusqu'aux centres supraspinaux [48].

Ultrasons

Rappels

Définition

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques, longitudinales dans les tissus mous, de haute fréquence ($> 20\ 000$ Hz), fréquence correspondant par convention au seuil maximal d'audibilité par l'oreille humaine.

Générateurs

Les fréquences thérapeutiques (de 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/cm² en mode continu. La largeur du faisceau est conditionnée par le diamètre de la sonde, soit quelques centimètres.

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 et al., Normand et al., Solassol et al. [49-57] 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.

Effets thermiques

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

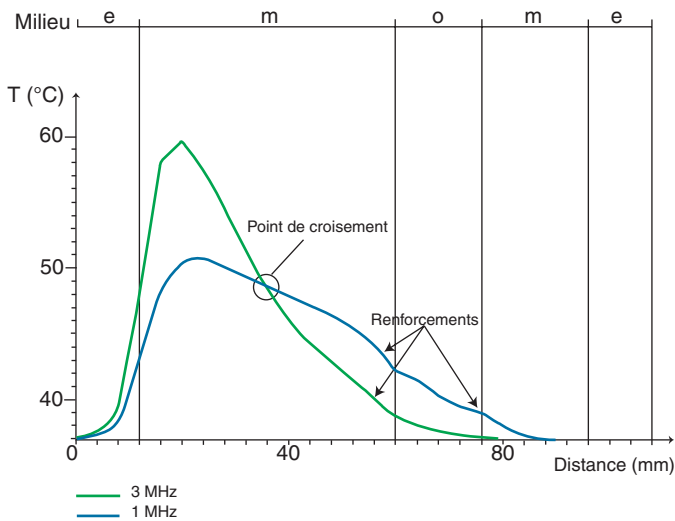


Figure 4. Température tissulaire calculée pour deux fréquences différentes : 1 et 3 MHz. Calcul en l'absence de vascularisation. e : eau ; m : tissu musculaire ; o : tissu osseux. Ultrasons de 1 et 3 MHz à 1 W/cm² pendant 5 minutes. En superficie, l'échauffement est plus important avec les ultrasons de 3 MHz. En profondeur, l'échauffement est plus important avec les ultrasons de 1 MHz. D'après [51].

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.

Il existe un point chaud, à l'interface tissus mous-os, responsable d'une hyperthermie en profondeur douloureusement ressentie par le patient. Celui-ci décrit alors une douleur de type « périostée », 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.

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.

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.

Température selon la fréquence. L'origine physique de l'hyperthermie est l'absorption des ultrasons par les tissus. Celles-ci étant d'autant plus importantes que la fréquence est élevée, il en résulte que :

- à 3 MHz, l'augmentation de température est plus importante en superficie qu'à 1 MHz, mais la portée utile en profondeur est moins grande ;
- à 1 MHz, l'augmentation de température est plus importante en profondeur qu'à 3 MHz (Fig. 4).

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.

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) ;

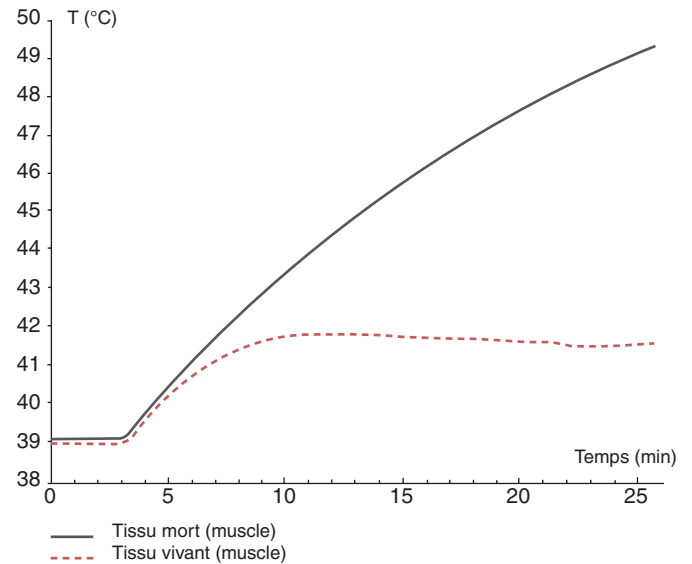


Figure 5. Température musculaire sous irradiation ultrasonore : rôle de la circulation sanguine. Transducteur fixe de 5 cm², 3 MHz, 1,85 W/cm², mode continu. Comparaison tissu mort/tissu vivant. D'après [57].

- 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, il a été montré expérimentalement in vivo que dans les conditions de la physiothérapie, au sein d'un tissu musculaire sain, la vasodilatation générée par l'augmentation de température empêche celle-ci de dépasser un seuil critique de 42 °C, létal à l'échelle cellulaire (Fig. 5).

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.

Effets biologiques. La chaleur modifie les propriétés mécaniques des structures conjonctives, surtout tendinologiques.

Les effets thermiques des ultrasons produisent :

- un accroissement de l'extensibilité du collagène [58, 59], 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 [57] ;
- 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 [56, 57].

Parmi les effets thérapeutiques invoqués, effets dits « sclérotiques », 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 températures 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.

“ Point essentiel

Pour augmenter les amplitudes articulaires, il faut associer aux ultrasons une mobilisation pendant toute la durée de l'application.

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.

Effets non thermiques

De façon simplifiée, nous considérons que ces effets sont dus aux micromouvements particuliers 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. 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 [49, 54].

Il existe des preuves expérimentales solides démontrant que les ultrasons peuvent interagir avec la cicatrisation tissulaire sans qu'une élévation de température 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 [54].

La portée pratique de ces constatations en physiothérapie reste à établir.

Indications

Vu 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.

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 de l'effet thermique favorisant l'œdème et des vibrations mécaniques perturbant la cicatrisation [60].

Les indications classiques des ultrasons sont les fibroses et les pathologies abarticulaires :

- séquelles fibreuses des entorses et lésions musculaires ;
- tendinopathies chroniques dégénératives, épicondylites, enthésites, ténosynovites sténosantes ;
- syndrome du canal carpien ;
- capsulites, raideurs articulaires ;
- 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).

On manque d'études cliniques pour valider ces indications classiquement attribuées aux ultrasons. On peut s'interroger sur l'intérêt des ultrasons en rhumatologie. En se basant sur les résultats du faible nombre d'essais contrôlés disponibles, on ne peut juger de l'efficacité ou de l'inefficacité des ultrasons [61]. Les ultrasons n'ont pas fait la preuve de leur efficacité dans le traitement de l'épicondylite [62, 63]. Une revue de la littérature qui a recensé 293 articles concernant l'effet des ultrasons sur la plupart des troubles de l'appareil musculosquelettique conclut que l'utilisation des ultrasons repose actuellement sur des données empiriques mais manque du soutien substantiel d'études contrôlées [64]. Une autre revue de la littérature portant sur 38 essais conclut à l'absence d'efficacité des ultrasons sur la plupart des troubles musculosquelettiques : épaule douloureuse, entorse de la cheville, rhumatismes dégénératifs... [65]. Chez l'hémiplégique, les ultrasons ne produisent pas de diminution significative de la spasticité [66].

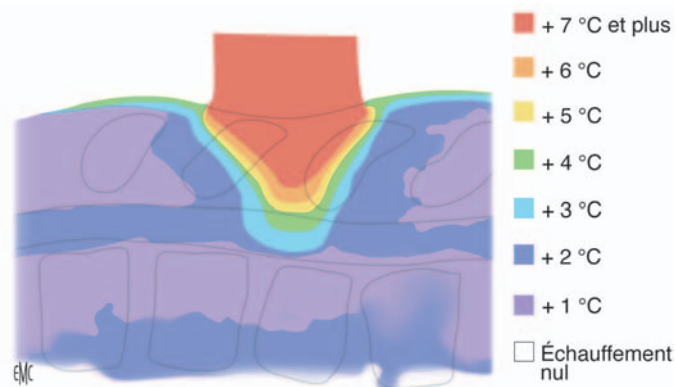


Figure 6. Échauffement du canal rachidien par les ultrasons. Mesures ex vivo, sur pièce anatomique, par téléthermographie infrarouge. Ultrasons de 3 MHz à 0,45 W/cm² pendant 10 minutes. L'échauffement des structures du canal rachidien apparaît à partir de 2 minutes 30 secondes. Au bout de 10 minutes, l'augmentation de température atteint + 3 à 4 °C en l'absence de vascularisation. D'après [56].

Contre-indications

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 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 [49, 57].

Cancers

Des températures modérées (de 41 à 41,5 °C) peuvent augmenter le taux de division des cellules malignes et la dissémination cellulaire par accroissement des flux sanguins [57].

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 [56] (Fig. 6). Certains faits cliniques [67] pourraient être en relation avec ces constatations expérimentales et font douter de l'innocuité de la technique [56].

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, nous n'avons 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.

Conséquences locorégionales

Les ultrasons sont donc formellement contre-indiqués sur tout tissu germinal et/ou en prolifération rapide, donc dans les régions de l'utérus, de l'ovaire, les tumeurs malignes et les tumeurs bénignes en évolution. On évite également de provoquer une hyperthermie dans les 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 sévères et les risques majeurs qui en résultent, vu qu'il n'y a pas d'étude contrôlée montrant leur

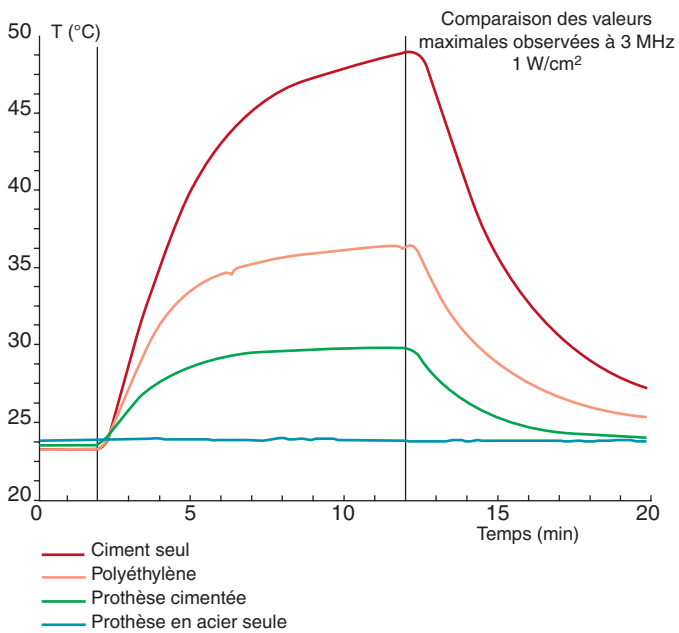


Figure 7. Effets thermiques des ultrasons sur le matériel prothétique. Mesures sur échantillons de matériaux isolés. Ultrasons de 3 MHz à 1 W/cm² pendant 10 minutes. Sur le ciment de scellement, l'effet thermique est très important, maximal en surface mais rapidement atténué pour devenir négligeable 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 [55].

efficacité antalgique chez le lombalgique [68], les ultrasons ne doivent pas être appliqués sur la tête ni sur le tronc [69]. Pour le traitement des rachialgies, l'électrostimulation antalgique par libération d'endorphines avec des électrodes de grande surface (150 cm²) présente une efficacité et une innocuité nettement supérieures.

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/cm² 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 [55] (Fig. 7).

Concernant la contre-indication classique sur les pièces métalliques non scellées, remarquons que les ultrasons n'engendrent aucune hyperthermie significative dans 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.

Autres contre-indications

- Cartilages de croissance (tissus à prolifération rapide).
- Gonades.
- Pacemaker, neuromodulateur.
- Zones mal vascularisées [53] : artérites, phlébites, ischémies.
- Hypoesthésies profondes, troubles de la sensibilité thermoalgésique.
- Infections et inflammations aiguës.
- Sites et affections à tendance hémorragique.
- Greffes récentes et fractures non consolidées.

Modalités d'application

Les ultrasons s'appliquent uniquement sur les membres. Lors du traitement des articulations proximales, épaules et hanches,

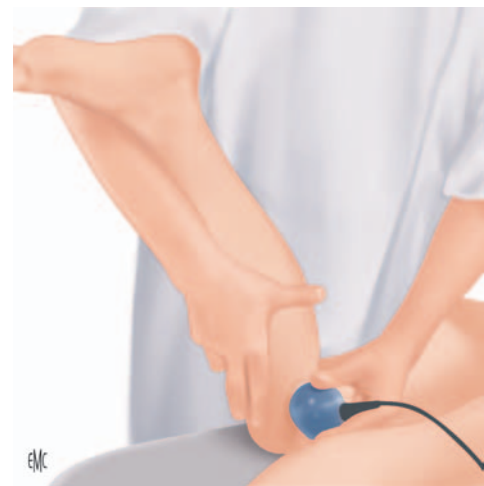


Figure 8. Application des ultrasons avec un gel. Le gel de contact permet la transmission du faisceau ultrasonore dans les tissus. La mobilisation de l'articulation est indispensable pour obtenir une amélioration des amplitudes articulaires.

le praticien oriente le transducteur afin que le faisceau ne puisse pas atteindre les organes du thorax ou du petit bassin [70-72].

Paramètres

On utilise une puissance d'environ 1 W/cm² pendant 5 à 8 minutes. La fréquence de 1 MHz permet d'obtenir une thermothérapie en profondeur. La fréquence de 3 MHz permet d'obtenir une thermothérapie en superficie.

Émission continue ou pulsée

L'émission d'ultrasons peut être continue (permanente) ou pulsée (intermittente). 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.

Surface d'application

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.

Interface

Pour une application sur un segment proximal, on utilise un gel de contact (Fig. 8).

Sur un segment distal, on applique les ultrasons en immersion. L'immersion 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 (Fig. 9) ;
- l'application sur une petite articulation avec un transducteur large, plus efficace qu'un transducteur étroit.

Mobilisation associée

Pour obtenir de meilleurs résultats sur la mobilité articulaire, il faut 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 [53].

Ultrasons et infections nosocomiales

Les ultrasons peuvent transmettre des infections nosocomiales. Vingt-sept pour-cent des têtes et 28 % des gels sont contaminés. Le nettoyage de la tête par de l'alcool à 70° entre les patients pourrait réduire ce risque [73].



Figure 9. 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. La mobilisation de l'articulation est indispensable pour obtenir une amélioration des amplitudes articulaires.

Ultrasons pulsés de basse intensité

Les ultrasons pulsés de basse intensité (0,03 à 0,1 W/cm²), appelés LIPUS (*low intensity pulsed ultrasound*) dans la littérature anglo-saxonne, sont l'objet d'études humaines et animales pour déterminer leurs effets, notamment sur la consolidation osseuse.

Sur 60 rats adultes présentant une lésion expérimentale d'un ligament du genou, les ultrasons pulsés de basse intensité accélèrent l'amélioration alors que les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) la retardent. Les auteurs concluent que les ultrasons pulsés de basse intensité permettent un retour plus précoce à l'activité et que les AINS augmentent le risque de lésion supplémentaire car l'amélioration est plus tardive [74].

Chez le rat, après fracture du fémur, on ne trouve pas de différence avec le groupe contrôle à 25 jours, mais à 40 jours on observe un meilleur contenu minéral osseux sur le site de la fracture. Des études chez l'homme sont nécessaires avant de conclure [75].

Chez 55 patients présentant une épicondylite résistante au traitement de première ligne (injections de cortisone et d'AINS), traités quotidiennement pendant 12 semaines par ultrasons pulsés de basse intensité autoadministrés, on n'observe pas de différence significative avec le groupe placebo [76].

Des publications ultérieures devront permettre de définir l'intérêt des ultrasons pulsés de basse intensité dans le traitement des affections de l'appareil locomoteur.

Ondes de choc

Rappels

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.

Ondes de choc focalisées

Les ondes de choc extracorporelles ou *extracorporeal shockwave therapy* (ESWT) 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). Les générateurs sont électrohydrauliques, piézoélectriques ou électromagnétiques. Ces ondes sont focalisées, donc convergentes, pour agir en profondeur jusqu'à 11 cm [77].

Ondes de choc radiales

Les ondes de choc radiales ou *radial shockwave therapy* (RSWT) sont produites par des générateurs pneumatiques. Un projectile inséré dans une pièce à main cylindrique est soumis par un



Figure 10. Application des ondes de choc radiales. La pièce à main est appliquée directement sur le tendon douloureux.

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 de l'ESWT, est divergente et n'atteint pas plus de 3,5 cm de profondeur [77]. Ces ondes produisent une stimulation mécanique à visée antalgique (Fig. 10).

Application

Ces ondes, dont la fréquence est en général inférieure à 10 Hz, sont appliquées directement sur la zone considérée, à raison de 1 000 à 4 000 chocs par séance.

Classification selon leur énergie

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 [78] ou la moyenne énergie entre 0,12 et 0,28 mJ/mm² [77], alors que d'autres considèrent une onde de choc à 0,21 mJ/mm² de haute énergie [79] ou une onde de choc à 0,17 mJ/mm² de basse énergie [80].

Propriétés. Indications. Application

Les études effectuées donnent différents résultats selon les auteurs. Les ondes de choc de 0,21 mJ/mm² (3 000 chocs par séance) sont efficaces sur la douleur dans le traitement des tendinopathies d'insertion du tendon d'Achille [79].

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 [81], alors qu'une autre étude sur 88 sujets traités par ondes de choc de 0,12 mJ/mm² versus placebo montre une amélioration sur la douleur dans un tiers des cas dans les deux groupes, sans différence significative [82].

Une étude randomisée en double aveugle des ondes de choc de basse énergie (0,03 à 0,17 mJ/mm²) versus placebo (pare-choc 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 [80]. 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 [83].

Selon une revue de la littérature portant sur 16 études concernant le traitement par 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 [84]. 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 mJ/mm², 4 000 chocs à 3 Hz)

apparaissent intéressantes en complément du traitement médical, de la rééducation et avant la chirurgie [78].

Ces résultats ne permettent pas encore d'être affirmatif. De prochains travaux devraient permettre de mieux cerner les indications des ondes de choc.

Contre-indications et précautions

Les ondes de choc sont contre-indiquées sur la tête, sur le tronc (rachis, grossesse, cavités contenant de l'air, poumons, intestins) et chez l'enfant (cartilages de croissance). Elles s'appliquent uniquement sur les douleurs palpables et bien localisées des membres, chez l'adulte coopérant sans risque d'hémorragie, en excluant les zones et affections suivantes : troncs nerveux ; gros vaisseaux sanguins ; phlébite, tumeur, infection ou inflammation aiguë ; lésions tissulaires, cutanées, osseuses (fractures, métastases, ostéoporose...).

■ Ondes électromagnétiques

Définition, classification

Ondes électromagnétiques

La mise en vibration d'un champ électromagnétique engendre des ondes électromagnétiques qui peuvent se propager dans le vide ou au sein de la matière, à l'exception des milieux isolants électriques.

Selon leur fréquence et leur longueur d'onde, 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 .

En physiothérapie, on distingue :

- la diathermie, thermothérapie intratissulaire 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.

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.

Laser

Acronyme de *light amplification by stimulated emission of radiation*, le laser est un amplificateur quantique de radiations lumineuses monochromatiques et cohérentes 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 [85], ni sur la tendinite [86], ni sur l'entorse externe de la cheville [60], ni sur la cicatrisation des tissus [87-89]. On ne peut envisager pour le laser de basse énergie qu'un éventuel effet placebo [90].

La Conférence de consensus « Prise en charge kinésithérapique du lombalgie » 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 [68].

Ondes courtes. Ondes centimétriques

Rappels

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 », ce dernier étant un instrument de détection et de télémétrie et non pas de thermothérapie.

▲ Mise en garde

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 (904 nm laser) tant sur la douleur que sur la fonction [91]. L'inefficacité de ce laser a été démontrée, avec un retard de récupération en cas d'utilisation [60].

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 dans les tissus musculaires, riches en eau [92].

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.

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 [56] (Fig. 11).

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, « sclérolytiques », antispasmodiques et antalgiques.

La diathermie par ondes courtes pulsées associée à l'étirement prolongé améliore la flexibilité du tendon plus que le stretching seul [93].

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 [94].

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 [95].

Indications

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. Leur indication principale est la fibrose et plus particulièrement les séquelles fibreuses des lésions musculaires.

Il n'y a pas d'étude contrôlée montrant l'efficacité antalgique de la diathermie (ultrasons, ondes courtes) chez le lombalgie [68].

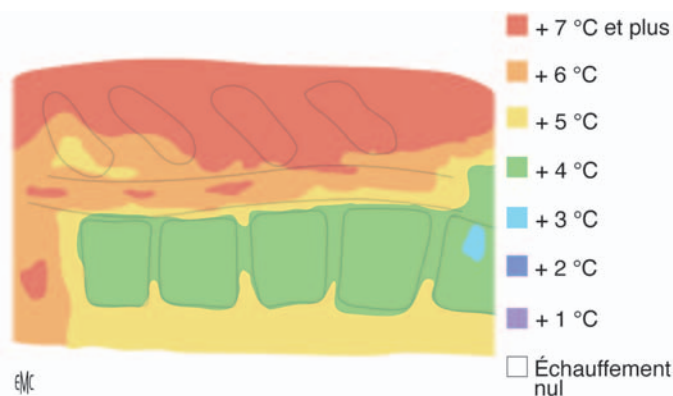


Figure 11. Échauffement du canal rachidien par les ondes centimétriques. Mesures ex vivo, sur pièce anatomique, par téléthermographie infrarouge. Ondes centimétriques (fréquence : 2 450 MHz ; puissance nominale d'émission : 100 W) appliquées pendant 11 minutes : l'échauffement est étendu à tout le canal rachidien ; à cet endroit, l'augmentation de température atteint jusqu'à + 6 °C en l'absence de vascularisation. D'après [56].

La diathermie par ondes courtes pulsées n'est pas efficace dans le traitement de l'ostéoarthrite du genou [96], ni dans celui des cervicalgies [97].

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. 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.

Les contre-indications des ondes courtes et des ondes centimétriques sont :

- grossesse ;
- cancers ;
- rachis ;
- pièces métalliques incluses ;
- cartilages de croissance ;
- gonades ;
- pacemaker, neuromodulateur ;
- zones mal vascularisées [53] : artérites, phlébites, ischémies ;
- hypoesthésies profondes, troubles de la sensibilité thermoalgésique ;
- infections et inflammations aiguës ;
- sites et affections à tendance hémorragique ;
- greffes récentes et fractures non consolidées.

Modalités d'application

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...). L'application se fait uniquement sur les membres : ne pas irradier la tête ni le tronc, et surtout ne pas mettre les yeux dans le faisceau des ondes (risque de cataracte).

Après avoir éliminé une hypoesthésie, l'intensité est augmentée afin d'obtenir une sensation de douce chaleur. La durée de la séance est progressive, de 5 à 15 min, si la séance précédente a été bien tolérée. Les ondes peuvent être continues ou pulsées, mais seules les ondes à effet thermique présentent un intérêt thérapeutique. La surveillance doit être constante pour écarter tout risque de brûlure physique.

Il faut associer une mobilisation douce, progressive et prolongée pour utiliser de façon optimale les modifications bénéfiques thermo-induites des propriétés mécaniques du collagène [53].

Infrarouges

Rappels

Rayons thermogènes émis par toute matière, les infrarouges ont des longueurs d'onde comprises entre 1 µm et 1 mm.

Propriétés

Les infrarouges sont réfléchis par la peau et produisent une thermothérapie en surface. Leur action est une vasodilatation superficielle et une diminution de l'excitabilité des terminaisons nerveuses superficielles : effets antalgiques et effets réflexes.

Effets sur la peau

La thermothérapie augmente 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 [98].

Effets sur la douleur chronique

La thermothérapie (rayons infrarouges, sauna sec et chaleur après sauna) participe au traitement de la douleur chronique [99].

Indications

Traitement d'appoint de la douleur non inflammatoire et traitement de confort en rééducation fonctionnelle, les infrarouges ont un effet sédatif et ils renforcent les effets du massage, de la posture et de la mobilisation active ou passive.

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.

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 thermoalgésique.

On n'applique pas d'infrarouges sur la tête, ni sur la face, ni sur la nuque, ni après la prise de médicaments antalgiques.

Modalités d'application. Précautions

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 indique au patient les limites à ne pas dépasser. En cas d'altération de la sensibilité thermoalgésique, 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 [100].

Ultraviolets

Les ultraviolets se répartissent en trois classes : les UVA (longueur d'onde de 315 à 400 nm), les UVB (longueur d'onde de 280 à 315 nm) et les UVC, bactéricides (longueur d'onde de 185 à 280 nm). Les UVA produisent une pigmentation de la

peau, et une activation de la synthèse de la vitamine D et de l'anabolisme du calcium. Ils étaient anciennement utilisés pour le traitement du rachitisme.

Actuellement, les ultraviolets ne sont plus utilisés qu'en dermatologie, notamment pour le psoriasis traité par la PUVA-thérapie, association de psoralènes et d'UVA, et plus récemment par les UVB [101]. Ils n'ont pas d'indication en rééducation fonctionnelle.

Il faut protéger les yeux du patient et du praticien par des lunettes filtrant les ultraviolets. La distance émetteur-patient reste constante. Seule 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 : les ultraviolets brûlent avant de produire une sensation de chaleur.

Les ultraviolets sont cancérigènes. Il faut informer les patients sur les graves dangers du bronzage (notamment chez l'enfant) et proscrire l'application des ultraviolets dans un but esthétique [102].

■ « Biofeedback »

Définitions

« Feedback »

Feedback, terme puisé dans le vocabulaire de la cybernétique, a été défini par Wiener en 1950 : « 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 ».

Rétroaction, rétrocontrôle et rétrorégulation sont synonymes de *feedback*.

En physiologie, *feedback* désigne l'influence des variations fonctionnelles d'un organe sur le système qui, en amont, en assure la régulation.

« Biofeedback »

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.

Il a été défini par Basmajian [103] : « 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. »

Il existe au moins deux types de *biofeedback*.

« Biofeedback » du premier type

Le sujet produit des événements physiologiques, produit ses propres stratégies et motivations, et envoie ces données à l'appareil.

L'instrument saisit, mesure, enregistre et présente les événements physiologiques en renvoyant l'information directement au sujet.

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.

« Biofeedback » du deuxième type

Le thérapeute s'interpose entre l'instrument et le sujet, reçoit les informations et les analyse, transmet sa synthèse au sujet, fournit des stratégies et des encouragements, ajuste les paramètres instrumentaux. Le thérapeute peut ainsi guider le sujet selon les objectifs établis, l'inciter, vérifier la bonne application de la technique et corriger les erreurs [104].

Instruments

Instruments de mesure

Le *biofeedback* peut se pratiquer avec tout instrument de mesure, de contrôle ou d'évaluation : miroir, goniomètre, stéthoscope, bocal d'expiration, spiromètre, tensiomètre, périnéomètre pneumatique, systèmes thermiques, plateau de stabilométrie, *biofeedback* électronique.

« Myofeedback »

Le *biofeedback* musculaire électronique, ou électromyogramme de surface, qu'on appelle également *myofeedback*, est une méthode non invasive de détection des potentiels d'action de la contraction musculaire. Il les enregistre, 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 [105].

En rééducation fonctionnelle, le *myofeedback* permet :

- de mettre en évidence la physiologie musculaire ;
 - de visualiser les contractions les plus faibles ;
 - de guider l'éveil musculaire ;
 - de contrôler le renforcement musculaire ;
 - d'aiguiser la motivation du patient ;
 - de pratiquer une rééducation incitatrice ;
 - de mettre en évidence les succès et les échecs ;
 - de détecter la fatigue ;
 - de doser l'intensité et la durée d'une contraction (résistance et endurance) ;
 - de vérifier le relâchement des hypertonies.
- S'il possède deux canaux distincts, le *myofeedback* permet :
- de comparer deux muscles ou deux fonctions ;
 - de coordonner deux muscles ou deux fonctions synergistes ;
 - de dissocier deux muscles ou deux fonctions antagonistes.

Indications en rééducation fonctionnelle

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 ;
- met en évidence la coordination des muscles synergistes au cours de la rééducation d'une chaîne musculaire ;
- montre l'impossibilité de dissocier le vaste médial et le vaste latéral [106] ;
- 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.

Rééducation neurologique

Neurologie centrale

En neurologie centrale, le *myofeedback* participe au contrôle de l'inhibition de la spasticité.

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.

Rééducation respiratoire

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 [106, 107] ou la dissociation des inspireurs et expirateurs dans la rééducation de l'asthme [108].

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 [109].

Rééducation périnéale

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.

Instauration de l'effort de retenue volontaire

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 [110].

Dissociation abdominopérinéale

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.

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 et al. [111]. Elle améliore les signes de l'hyperactivité vésicale : impériosité 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.

Conclusion

Les différentes techniques de physiothérapie ne sont pas toutes validées par des niveaux de preuve équivalents.

Les techniques les plus utilisées en pratique courante ne sont pas forcément celles dont l'efficacité a été démontrée. Inversement, certaines techniques qui bénéficient d'un bon niveau de preuve scientifique sont négligées.

L'attention doit être attirée sur l'intérêt des infrasons, notamment en rééducation respiratoire pour faciliter le désencombrement bronchique, mais aussi pour leurs effets trophiques, pour la sédation des contractures et pour le traitement des discopathies si toutefois le sujet est installé en décharge.

Il faut élargir le champ d'application de la stimulation vibratoire transcutanée, technique efficace et d'une totale innocuité que le patient peut appliquer lui-même.

En revanche, les ultrasons sont très utilisés bien que leur effet antalgique ne soit pas prouvé et malgré leurs contre-indications sévères.

Les ondes centimétriques et les ultrasons doivent être réservés au traitement de la fibrose. Leur application doit être obligatoirement accompagnée d'une mobilisation articulaire. Vu les graves contre-indications de la thérapie profonde, il convient de les proscrire, à titre de précaution systématique, sur la tête et sur le tronc, ainsi que, et de manière absolue, sur tout tissu germinal et/ou en prolifération rapide, donc dans les régions utéro-ovariennes et les tumeurs.

Le *biofeedback* n'a pas d'effet thérapeutique en tant que tel mais, en renvoyant l'information au sujet pour préciser le geste, il optimise la rééducation.



Références

- [1] King M, Phillips DM, Zidulka A, Chang HK. Tracheal mucus clearance in high frequency oscillation. II: chest wall versus mouth oscillation. *Am Rev Respir Dis* 1984;**130**:703-6.
- [2] Warwick WJ, Wielinski CL, Hansen LG. Comparison of expectorated sputum after manual chest physical therapy and high-frequency chest compression. *Biomed Instrum Technol* 2004;**38**:470-5.
- [3] Pliplys AV, Lewis S, Kasnicka I. Pulmonary vest therapy in pediatric long-term care. *J Am Med Dir Assoc* 2002;**3**:318-21.
- [4] Denton R. The effects of treatment with mechanical percussion-vibration. *Am Rev Respir Dis* 1962;**86**:41-6.
- [5] 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;**85**:1278-89.
- [6] 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;**128**:3377-81.
- [7] Klufft J, Beker L, Castagnino M, Gaiser J, Chaney H, Fink RJ. A comparison of bronchial drainage treatments in cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 1996;**22**:271-4.
- [8] Hansen LG, Warwick WJ. High-frequency chest compression system to aid in clearance of mucus from the lung. *Biomed Instrum Technol* 1990;**24**:289-94.
- [9] 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;**3**:6-13.
- [10] 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**:122-6.
- [11] 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;**20**:507-11.
- [12] 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;**128**:511-5.
- [13] Lange DJ, Lechtzin N, Davey C, David W, Heiman-Patterson T, Gelinas D, et al. High-frequency chest wall oscillation in ALS: an exploratory randomized, controlled trial. *Neurology* 2006;**67**:991-7.
- [14] 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;**7**:107-11.
- [15] 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;**129**:712-7.
- [16] 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**:127-30.
- [17] Perrin C. Rectificatif sur les recommandations d'experts publiées en 2001 sur le thème : « Intérêt des vibrations mécaniques ». *Kinésithér Scient* 2002;**426**:49-51.
- [18] Gross D, King M. High frequency chest wall compression: a new non-invasive method of chest physiotherapy for mucociliary clearance. *Physiotherapy Canada* 1984;**36**:137-9.
- [19] Gross D, Zidulka A, O'Brien C. Peripheral mucociliary clearance with high frequency chest wall compression. *J Appl Physiol* 1985;**58**:1157-63.
- [20] Vandevenne A. *Rééducation respiratoire*. Paris: Masson; 1999.
- [21] Milla CE, Hansen LG, Warwick WJ. Different frequencies should be prescribed for different high frequency chest compression machines. *Biomed Instrum Technol* 2006;**40**:319-24.
- [22] Crépon F. Apport des vibrations infrasonores pour optimiser le désencombrement des voies aériennes. In: *Journées internationales de kinésithérapie respiratoire instrumentale*, Lyon, novembre. 2000.
- [23] Crépon F. Infrasons, désencombrement bronchique et rééducation fonctionnelle. *Kinésithér Scient* 2001;**410**:55-6.
- [24] 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;**139**:1223-30.
- [25] Allain YM, Mallet R, Tuchais C, Toussaint Y. La physiothérapie en médecine du sport. *Cinésiologie* 1986;**108**:263-88.

- [26] Crépon F. *Électrophysiothérapie et rééducation fonctionnelle*. Paris: Frison-Roche; 2002.
- [27] 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.
- [28] 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**:1-0.
- [29] Durand PA, Romain M. L'assistance vibratoire proprioceptive dans la rééducation du poignet. *Ann Kinésithér* 1992; **19**:152-4.
- [30] Durand PA, Romain M. La stimulation vibratoire transcutanée dans la rééducation de la main. *Ann Kinésithér* 1993; **20**:419-24.
- [31] 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**: 11-9.
- [32] Neiger H, Gilhodes JC, Tardy-Gervet MF, Roll JP. Rééducation sensorimotrice par assistance proprioceptive vibratoire. *Kinésithér Scient* 1986; **252**:6-21.
- [33] Neiger H, Thouvignon D. In: *Assistance proprioceptive vibratoire : utilisation précoce en traumatologie-orthopédie. Journée de médecine physique et de rééducation 1986*. Paris: Expansion Scientifique Française; 1986. p. 73-8.
- [34] Faure C. L'application des vibrations mécaniques sur les tendons sous les appareils plâtrés. *Ann Kinésithér* 1983; **10**:325-9.
- [35] Riera G. Intérêt des stimulations vibratoires dans la pathologie traumatique des nerfs périphériques. [thèse médecine], Montpellier, 1986.
- [36] 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. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (13^e série). Paris: Masson; 1988. p. 178-83.
- [37] Romain M, Ginouves P, Durand PA, Riera G, Allieu Y. La stimulation vibratoire transcutanée en algologie. *Ann Readapt Med Phys* 1989; **32**: 63-9.
- [38] Romain M, Durand PA, Kizlik C, Allieu Y. Que peut-on attendre de la stimulation vibratoire transcutanée en rééducation? *Ann Kinésithér* 1989; **16**:361-4.
- [39] Lundeberg T. Long-term results of vibratory stimulation as a pain relieving measure for chronic pain. *Pain* 1984; **20**:12-23.
- [40] Lundeberg T, Nordemar R, Ottoson D. Pain alleviation by vibratory stimulation. *Pain* 1984; **20**:25-44.
- [41] 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.
- [42] 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.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 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.
- [46] Crépon F. Vibrations sonores. *Kinésithér Scient* 2002; **425**:59-60.
- [47] Crépon F. Électrophysiothérapie des tendinopathies. *Sport Med* 2002; **144**:8-12.
- [48] 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; **149**:1235-40.
- [49] 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.
- [50] Darlas Y, Allas T, Solassol A, Fernandez Y, Perrin J. Effets thermiques des ultrasons : expériences préliminaires. In: Simon L, editor. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (13^e série). Paris: Masson; 1988. p. 170-8.
- [51] Darlas Y, Solassol A, Clouard R, Normand H, Allas T, Perrin J, et al. Ultrasonothérapie : calcul de la thermogénèse. *Ann Readapt Med Phys* 1989; **32**:181-92.
- [52] 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. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (14^e série). Paris: Masson; 1989. p. 14-24.
- [53] 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, editor. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (16^e série). Paris: Masson; 1991. p. 37-46.
- [54] Darlas Y, Clouard R, Solassol A, Normand H, Morelec I, Beades E, et al. Interactions ultrasonores à médiation non thermique : micro-mouvements particuliers et cavitations. Perspectives thérapeutiques. In: Simon L, editor. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (17^e série). Paris: Masson; 1992. p. 73-84.
- [55] 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 Readapt Med Phys* 1989; **32**:193-201.
- [56] 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, editor. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (15^e série). Paris: Masson; 1990. p. 425-33.
- [57] 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, editor. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (17^e série). Paris: Masson; 1992. p. 57-72.
- [58] Lehmann JF, Masock AJ, Warren CG, Koblanski JN. Effect of therapeutic temperatures on tendon extensibility. *Arch Phys Med Rehabil* 1970; **51**:481-7.
- [59] Warren CG, Lehmann JF, Koblanski JN. Elongation of rat tail tendon: effect of load and temperature. *Arch Phys Med Rehabil* 1971; **52**: 465-74.
- [60] ANAES. *Rééducation de l'entorse externe de la cheville. Recommandations pour les pratiques de soins*. Paris: ANAES; janvier 2000.
- [61] Schlapbach P. Ultrasound. *Rheumatol* 1991; **14**:163-70.
- [62] Lundeberg T, Abrahamsson P, Haker E. A comparative study of continuous ultrasound, placebo ultrasound and rest in epicondylalgia. *Scand J Rehabil Med* 1988; **20**:99-101.
- [63] Haker E, Lundeberg T. Pulsed ultrasound treatment in lateral epicondylalgia. *Scand J Rehabil Med* 1991; **23**:115-8.
- [64] Gam AN, Johannsen F. Ultrasound therapy in musculoskeletal disorders: a meta-analysis. *Pain* 1995; **63**:85-91.
- [65] 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; **81**:257-71.
- [66] Ansari NN, Adelmanesh F, Naghdi S, Tabtabaei A. The effect of physiotherapeutic ultrasound on muscle spasticity in patients with hemiplegia: a pilot study. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2006; **46**: 247-52.
- [67] Gnatz SM. Increased radicular pain due to therapeutic ultrasound applied to the back. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; **70**:493-4.
- [68] AFREK. *Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus; Paris, 13 et 14 novembre 1998*. Paris: SPEK; 2000.
- [69] Crépon F. Physiothérapie du lombalgique : agents physiques antalgiques. In: AFREK, editor. *Prise en charge kinésithérapique du lombalgique. Conférence de consensus; Paris, 13 et 14 novembre 1998*. Paris: SPEK; 2000. p. 135-41.
- [70] Crépon F. Ultrasons : 1. Propriétés biologiques. *Kinésithér Scient* 2005; **452**:57-8.
- [71] Crépon F. Ultrasons : 2. Indications et contre-indications. *Kinésithér Scient* 2005; **456**:55-7.
- [72] Crépon F. Ultrasons : 3. Modalités d'application. *Kinésithér Scient* 2005; **459**:124-5.
- [73] Schabrun S, Chipchase L, Rickard H. Are therapeutic ultrasound units a potential vector for nosocomial infection? *Physiother Res Int* 2006; **11**:61-71.
- [74] Warden SJ, Avin KG, Beck EM, DeWolf ME, Hagemeier MA, Martin KM. Low-intensity pulsed ultrasound accelerates and a nonsteroidal anti-inflammatory drug delays knee ligament healing. *Am J Sports Med* 2006; **34**:1094-102.
- [75] 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; **86**:1118-27.

- [76] 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* 2006;**45**: 566-70.
- [77] Sablayrolles P, Gremaux V, Hérisson C. Stratégie thérapeutique : la place des ondes de choc extracorporelles. In: Hérisson C, Rodineau J, editors. *Le coude microtraumatique*. Paris: Masson; 2006. p. 201-10.
- [78] 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;**48**:581-9.
- [79] Furia JP. High-energy extracorporeal shock wave therapy as a treatment for insertional Achilles tendinopathy. *Am J Sports Med* 2006;**34**: 733-40.
- [80] Lebrun CM. Low-dose extracorporeal shock wave therapy for previously untreated lateral epicondylitis. *Clin J Sport Med* 2005;**15**: 401-2.
- [81] 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;**24**:115-23.
- [82] Speed CA, Nichols D, Wies J, Humphreys H, Richards C, Burnet S, et al. Extracorporeal shock wave therapy for plantar fasciitis. A double blind randomized controlled trial. *J Orthop Res* 2003;**21**:937-40.
- [83] 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;**33**:1351-63.
- [84] Hamiman 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;**17**:132-51.
- [85] 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.
- [86] Muller F, Gross M, Grosse D, Rochet P, Sengler J. Effet antalgique du laser arsenic-gallium de faible puissance dans les tendinites. *Ann Kinésithér* 1991;**18**:305-9.
- [87] 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.
- [88] Jongsma FH, vd Bogaard AE, van Gemert MJ, Hulsbergen Henning JP. Is closure of open skin wounds in rats accelerated by argon laser exposure? *Lasers Surg Med* 1983;**3**:75-80.
- [89] McCaughan JS, Bethel BH, Johnston T, Janssen W. Effect of low-dose argon irradiation on rate of wound closure. *Lasers Surg Med* 1985;**5**: 607-14.
- [90] Seichert N. Controlled trials of laser treatment. *Rheumatol* 1991;**14**: 205-17.
- [91] de Bie R. *Efficacy of 904 nm laser therapy in acute lateral ankle sprains*. Maastricht: Thesis Maastricht University; 1998.
- [92] 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, editor. *Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation*. (14^e série). Paris: Masson; 1989. p. 25-32.
- [93] 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;**34**: 13-20.
- [94] Nightingale EJ, Walsh WR. Radiofrequency energy effects on the mechanical properties of tendon and capsule. *Arthroscopy* 2005;**21**: 1479-85.
- [95] Callaghan MJ, Whittaker PE, Grimes S, Smith L. An evaluation of pulsed shortwave on knee osteoarthritis using radioleucoscintigraphy: a randomized, double blind, controlled trial. *Joint Bone Spine* 2005;**72**: 150-5.
- [96] 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;**19**:255-63.
- [97] 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;**53**:214-22.
- [98] Berliner MN, Maurer AI. Effect of different methods of thermotherapy on skin microcirculation. *Am J Phys Med Rehabil* 2004;**83**:292-7.
- [99] 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**:288-94.
- [100] Crépon F. Infrarouges et thérapie. *Kinésithér Scient* 2006;**463**: 61-2.
- [101] 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 Venereol* 2005;**19**:556-63.
- [102] Crépon F. Ultraviolets et actinothérapie. *Kinésithér Scient* 2007;**474**: 59-60.
- [103] Basmajian JV. *Biofeedback: principles and practice for clinicians*. Baltimore: Williams and Wilkins; 1989.
- [104] Rémond A, Rémond A. *Biofeedback, principes et applications*. Paris: Masson; 1994.
- [105] Brugerolle B, Chauvière C, André JM. Réroaction biologique musculaire. Applications du biofeedback dans les troubles moteurs. *EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Kinésithérapie-Rééducation fonctionnelle*, 26-147-A-10, 1994 : 5p.
- [106] Crépon F. Intérêt du myofeedback. *Ann Kinésithér* 2001;**28**:261-8.
- [107] Crépon F. Le myofeedback, instrument de contrôle de la physiologie musculaire. *Kinésithér Scient* 2001;**407**:58-9.
- [108] Pierron G. Contrôle ventilatoire de l'asthmatique. *Cah Kinésithér* 1992;**156-157**:32-9.
- [109] 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: Expansion Scientifique Française; 1997. p. 145-9.
- [110] Dannecker C, Wolf V, Raab R, Hepp H, Anthuber C. 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;**273**:93-7.
- [111] Mahony DT, Laferte RO, Blais DJ. Integral storage and voiding reflexes. Neurophysiologic concept of continence and micturition. *Urology* 1977;**9**:95-106.

F. Crépon (f.crepon@hopital-saint-maurice.fr).

École nationale de kinésithérapie et de rééducation, 12 rue du Val d'Osne, 94410 Saint-Maurice, France.

École nationale de chimie physique et biologie, 11 rue Pirandello, 75013 Paris, France.

Y. Darlas, Médecin spécialiste de médecine nucléaire, Docteur ès sciences, ancien Maître de conférence universitaire-Praticien hospitalier.

Centre d'imagerie scintigraphique blésois et régional, Mail Pierre-Charlot, BP 782, 41007 Blois cedex, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : 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.

Disponibles sur www.emc-consulte.com



Arbres
décisionnels



Iconographies
supplémentaires



Vidéos /
Animations



Documents
légaux



Information
au patient



Informations
supplémentaires



Auto-
évaluations