

---

# L'APPLICATION DE VIBRATIONS SUR LE CORPS HUMAIN

## Informations scientifiques

---

1. **Qu'est-ce que la vibration**5
2. **Neurophysiologie de la perception vibratoire : les récepteurs dans le corps humain**7
3. **Classification des vibrations**9
  - 3.1. Différence entre vibration et électrostimulation9
4. **Vibration mécanique comme forme de stimulation proprioceptive**10
5. **Évolution des études sur les vibrations mécaniques appliquées au corps humain**13
  - 5.1. FV : La voie scientifique15
    - 5.1.1. Vibration mécanique focale (VF) et récepteurs nerveux16  
musculotendineux
  - 5.2. MFV : Structure conçue pour créer des effets positifs induits par des vibrations multiples18  
mécanique focale
- 6 **Un nouveau protocole pour l'application de vibrations au corps humain : la vibration musculaire répétitive (VMR)** 19
  - 6.1 La première étude sur des sujets sains concernant le potentiel du rMV : Action du rMV sur le contrôle de la rigidité des articulations20
  - 6.2 Corrélats neurophysiologiques 21

---

<b>7</b>	<b>Effet les effets positifs des vibrations sur le corps humain</b>	<b>24</b>
<b>s</b>		
7.1	Effets sur le système hormonal	25
7.2	Effets sur le système musculo-squelettique	26
7.3	Effets sur le tissu osseux	27
7.4	Effets sur les personnes âgées	30
7.5	Effets sur l'obésité et l'ostéoporose	32
7.6	Effets dans la thérapie de la douleur	32
7.7	Effets sur la circulation sanguine	33

## **8 Recherche et application des vibrations mécaniques par35**

**Universités italiennes** : rapport du Congrès du 13 décembre 2008 paru sur "Paginemediche.it" - De simples vibrations mécaniques répétées augmentent les fonctions cérébrales et améliorent le contrôle des muscles des articulations.

Bibliographie38



## INTRODUCTION

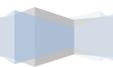
Tout dans l'univers vibre. L'être humain est également affecté par cette réalité, qui se manifeste à l'extérieur et à l'intérieur de lui. La vibration est une force vitale. En ce qui concerne l'homme, les vibrations peuvent être divisées en deux domaines fondamentaux : les vibrations bénéfiques et les vibrations nuisibles.

Dans la gamme infinie des vibrations, la perception de l'homme se situe dans une bande qui va de l'Esteroeption, à travers les fréquences de la sensorialité (les cinq sens), à la Proprioception, à travers les fréquences de résonance de ses propres cellules et organes. Les contraintes de la vie et les vibrations qui en résultent influencent de manière tangible l'état de bien-être et de santé. Les aspects négatifs sont, par exemple, le stress (introception) et le bruit (externotion).

L'intérêt de la thérapie par vibrations est connu depuis l'Antiquité. Elle a été appliquée par le biais de sons, de battements d'objets sur le corps et d'effets visuels par le biais de couleurs.

Au cours de la dernière décennie, la science, à travers la recherche, a réussi à donner aux vibrations mécaniques un visage thérapeutique avec de grands résultats positifs pour la santé humaine. La vibration mécanique a ouvert la porte à une véritable thérapie globale de l'être humain.





## Chapitre 1

### QU'EST-CE QUE LA VIBRATION

Le terme "vibration" décrit un mouvement de type oscillatoire autour d'une position de référence à intervalles réguliers.

Le nombre de cycles complets réalisés pendant l'unité de temps, c'est-à-dire la seconde, est appelé fréquence. La fréquence est mesurée en Hertz (Hz). Le Hertz définit le nombre d'oscillations (vibrations) qui se produisent en une seconde. Ce qui nous préoccupe, ce sont les vibrations mécaniques.

Le terme "vibration mécanique" désigne en particulier une oscillation mécanique autour d'un point d'équilibre. Il convient également de préciser que les termes récemment introduits, tels que "**énergie vibratoire**", **n'ont aucune signification scientifique**.

L'oscillation est le mouvement que fait un point mobile pour s'éloigner et revenir à sa position de départ : en fait, on parle aussi souvent de petits mouvements autour de la position d'équilibre. Le mouvement oscillatoire peut se produire périodiquement ou alternativement.



Si l'on observe un objet en mouvement vibratoire (figure ci-dessus), on peut observer des mouvements périodiques ; le temps entre deux passages d'un point à la position de référence (position d'équilibre ou de départ) est appelé période (ou cycle) [s].

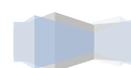
La magnitude des oscillations est appelée amplitude. Le nombre d'oscillations dans l'unité de temps constitue la fréquence.

Chaque jour, le corps humain est soumis, consciemment et inconsciemment, à des vibrations de différents types, de celles produites par une voiture ou un train à celles générées par une voiture ou un train.

provenant de machines ou d'outils industriels tels que marteaux pneumatiques, perceuses, etc. 5

Les vibrations à basse, moyenne et haute fréquence peuvent avoir des effets positifs et

négatifs sur le corps. L'exposition aux vibrations peut avoir de graves répercussions



sur le corps humain, en fonction du type d'oscillation et de la durée d'exposition à laquelle le corps est soumis. **L'amplitude de la surface de contact avec l'objet vibrant, la fréquence de la vibration, l'amplitude (puissance de l'onde transmise), le temps d'exposition et la direction de propagation de la vibration sont déterminants.**

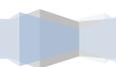
Les effets négatifs sont liés aux ondes énergétiques transférées de la source vibrante au corps soumis à l'exposition : celles-ci provoquent divers effets sur les tissus et les organes avant d'être atténuées.

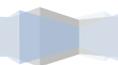
Le corps humain, comme toute autre machine, ne peut tolérer que certains niveaux d'énergie (ondes de choc) de vibration, au-delà desquels il commence à se détériorer et à subir des dommages à long terme.

**Le corps humain ne vibre pas comme une masse unique avec une fréquence naturelle, mais les organes et chaque segment individuel du corps humain ont leur propre fréquence de résonance.** Cela entraîne une amplification ou un amortissement des vibrations d'entrée par chaque zone du corps, en fonction de sa propre fréquence de résonance.

La propagation des sons et des bruits transmet l'énergie sous forme d'ondes de pression dans l'air : dans le cas des vibrations, l'énergie apparaît sous forme d'ondes se propageant dans une structure solide. Un corps vibre lorsqu'il décrit un mouvement oscillatoire autour d'une position d'équilibre statique.

L'exposition du système main-bras à des vibrations, par exemple, est corrélée à un risque accru de lésions vasculaires, neurologiques et musculo-squelettiques du système main-bras lui-même (par exemple, marteau pneumatique).





## Chapitre 2

# NEUROPHYSIOLOGIE DE LA PERCEPTION VIBRATOIRE : LES RÉCEPTEURS DANS LE CORPS HUMAIN

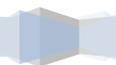
La perception vibratoire est en fait une sensibilité de type mécanique et, pour cette raison, fait intervenir des structures réceptrices sensibles au stimulus mécanique, les mécanorécepteurs (Mouncastle et Rose, 1959 <sup>1</sup>). **Les mécanorécepteurs sont des microstructures aux fonctions diverses qui reçoivent des signaux vibratoires provenant de différentes parties du corps.**

D'un point de vue anatomico-structurel, les mécanorécepteurs sont dotés à la fois de fibres myélinisées de différents calibres et de fibres amyélinisées, et se trouvent dans différents **types** de tissus, tels que la **peau, le tissu musculaire, le périoste, les capsules articulaires et les ligaments**. Plus précisément, les **mécanorécepteurs musculaires participent aux phénomènes de réponse réflexe résultant de l'étirement de l'unité muscle-tendon.**

Ces types de mécanorécepteurs constituent des structures hautement spécialisées et sont appelés "terminaisons anulo-spirales" des fuseaux neuromusculaires. D'un point de vue fonctionnel, elles sont connectées à des fibres myélinisées appartenant au groupe Ia de Lloyd ; celles-ci présentent une vitesse de conduction élevée, de l'ordre de 100 m/s-1, et répondent sélectivement à des stimuli de type vibration de fréquences comprises entre 90 et 150 Hz (Hagbarth, 1973 <sup>2</sup>).

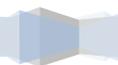
En outre, **au niveau de la peau, quatre autres types de mécanorécepteurs peuvent être identifiés chez l'homme** au moyen de techniques microneurographiques, qui peuvent être classés sur la base de l'adaptation et de la taille du champ récepteur (Johansson et Valbo, 1983 <sup>3</sup>). Cependant, **les quatre types de récepteurs identifiés ne se révèlent pas tous sensibles à la perception vibratoire**, et même ceux qui s'avèrent réceptifs au stimulus vibratoire présentent des **différences dans la réponse dictée par la fréquence du stimulus vibratoire lui-même** (Mountcastle et al., 1969 <sup>4</sup>).

Mountcastle et al. (1969), suite à des études chez l'animal, ont classé les unités réceptrices responsables de la **réception sensorielle du stimulus tremblement-vibration** en trois classes, qui se distinguent les unes des autres sur la base du type de terminaison nerveuse, de la zone du champ d'action du récepteur, des propriétés adaptatives et de la sensibilité dynamique.



**Les trois classes de mécanorécepteurs ainsi identifiées sont :**

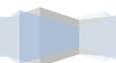
7



- **Les mécanorécepteurs à adaptation rapide** sont sensibles au mouvement. Ils se trouvent essentiellement dans le **derme** et correspondent aux **corpuscules de Meissner**, autrement appelés FA-1 (Fast Adaptation-1).
- **Les mécanorécepteurs à adaptation lente**, également **situés dans le derme**, correspondent aux **disques de Merkel** ou SA-1 (Slow Adaptation-1). Ils montrent une réceptivité à la fois au mouvement et à l'intensité du stimulus mécanique auquel ils sont soumis.
- **Les corpuscules de Pacini** ou FA-2 (Fast Adaptation-2), situés **dans le tissu sous-cutané**.

Les études menées par Cosh <sup>5</sup> (1953), sur le seuil de perception vibratoire, avant et après anesthésie cutanée, ont montré que le seuil de réception de la sensibilité vibratoire est situé **au niveau sous-cutané**. Pour cette raison, **les corpuscules de Pacini** peuvent être considérés à toutes fins utiles **comme les mécanorécepteurs les plus impliqués dans la perception vibratoire**. Pour confirmer cette hypothèse, il faut souligner que chez l'individu âgé il y a une élévation du seuil de perception vibratoire concomitante à une perte des corpuscules de Pacini (Cauna et Mannan, 1958 <sup>6</sup>).

En ce qui concerne les mécanorécepteurs situés au **niveau du derme**, ceux qui jouent le **rôle le plus pertinent dans la perception vibratoire** sont **les corpuscules de Meissner**, qui présentent toutefois un type d'activation sélectif pour les stimuli **vibratoires de basse fréquence**, entre **5 et 40 Hz** (La Motte et Mountcastle, 1975 <sup>7</sup>). À cet égard, il faut rappeler que la **sensation psychophysique au niveau liminal perçoit les vibrations à basse fréquence, autour d'une valeur de 40 Hz, comme une sensation de tremblement**, autrement appelée "**flutter**" (Talbot et al., 1969 <sup>8</sup>). **Au contraire, pour les vibrations de plus haute fréquence, de l'ordre de 100 Hz environ, on perçoit une véritable sensation de vibration**. Pour cette raison, il est raisonnable d'attribuer la perception de l'effet de **battement** aux corpuscules de Meissner, dont la réception optimale se situe dans la gamme comprise entre 5 et 40 Hz, tandis que la perception du stimulus vibratoire serait attribuée essentiellement aux corpuscules de Pacini, qui présentent une fréquence vibratoire optimale autour de 100 Hz, même si, en vérité, leur gamme réceptive s'étend de 90 à 600 Hz (Loewenstein et Skalak, 1966 <sup>9</sup>).



## Chapitre 3 CLASSIFICATION

### DES VIBRATIONS

Les vibrations peuvent être classées en fonction de plusieurs paramètres.

Outre la fréquence, les vibrations sont également caractérisées par d'autres paramètres étroitement liés, quoique moins déterminants, tels que l'amplitude, la vitesse et l'accélération.

L'accélération est un paramètre important pour évaluer la réponse du corps aux vibrations, car l'homme ressent davantage la variation d'un stimulus que sa persistance.

**Pour obtenir un effet bénéfique maximal, il faut tenir compte de la durée d'exposition, de la zone dans laquelle la vibration est administrée, de la fréquence de résonance émise, du facteur ergonomique (la position posturale), de la condition psychologique et des facteurs environnementaux.**

Il faut donc considérer le point d'application de la vibration. Pour cette raison, les vibrations peuvent être divisées en deux catégories :

- les vibrations transmises d'une source unique à l'ensemble du corps ;
- des vibrations aux sources multiples et impliquant l'ensemble du corps.

### 3.1 DIFFÉRENCE ENTRE ÉLECTROSTIMULATION ET VIBRATION

L'électrostimulation semble être fructueuse dans les cas post-traumatiques, post-opératoires ou en tant que massage pour réactiver la fonction initiale ou pour l'utilisation de courants analgésiques comme le TENS.

Nous ne parlons pas des avantages liés à la performance et au bon fonctionnement biomécanique.

**Contrairement aux vibrations, la réponse musculaire de la stimulation électrique est circonscrite. En outre, elle n'implique pas la stimulation des systèmes proprioceptifs des muscles, des tendons et des articulations, car la stimulation électrique n'exerce pas d'effets sur les mécanorécepteurs de Pacini et de Meissner comme la stimulation mécanique.**

Alors que les vibrations mécaniques activent l'ensemble du système musculaire par le biais des système proprioceptif, l'électrostimulateur n'obtient que la contraction des muscles agonistes, ce qui entraîne un manque de stimulation du système proprioceptif au détriment des importantes fonctions de coordination intermusculaire.



## Chapitre 4

### LA VIBRATION MÉCANIQUE COMME FORME DE STIMULATION PROPRIOCEPTIVE

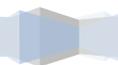
Le physiologiste russe Pavlov a démontré en 1927 que l'association appropriée de deux stimuli adéquats pouvait modifier certaines fonctions motrices et/ou comportementales chez le chat (paradigmes de conditionnement neuronal associatif, pour l'association temporelle de deux stimuli). Par la suite, ce phénomène a été défini au niveau cellulaire et on en est venu à parler de **Potentialisation à Long Terme (PLT), c'est-à-dire d'un renforcement à long terme (mois) de certains réseaux nerveux.**

Chaque année, plusieurs centaines de publications scientifiques montrent une multiplicité de méthodes pour induire des phénomènes de LTP dans les réseaux neuronaux. Les effets du **conditionnement associatif se caractérisent par une persistance de plusieurs semaines ou mois, par opposition aux minutes ou heures de conditionnement**, une grande amplitude des effets et des mécanismes entièrement physiologiques, car ces procédures ne peuvent qu'activer des mécanismes physiologiques. Au vu de ces travaux, il est apparu possible d'induire une **forme de LTP dans le réseau proprioceptif, améliorant ainsi rapidement et à long terme les performances musculaires, par une procédure très simple et totalement non invasive.**

Au cours des dix dernières années, plusieurs groupes de recherche, appartenant à **différents instituts universitaires** (*Département des sciences de l'appareil locomoteur et École de médecine sportive de l'Université de Rome "La Sapienza", Chaire de médecine physique et de réadaptation. Département de médecine interne, Section de physiologie humaine et Département des spécialités médicales et chirurgicales, Section d'orthopédie, Université de Pérouse, Institut de physiologie humaine, Université catholique de Rome, Département de science et société, Faculté des sciences de la motricité, Université de Cassino*) ont tenté d'identifier un stimulus vibratoire mécanique capable, d'une part, de ne causer aucun dommage et, d'autre part, d'avoir des effets thérapeutiques **en agissant sur le réseau de contrôle proprioceptif.**

Cela a conduit au développement de la recherche sur l'utilisation de séquences de microstimuli mécaniques, perçus comme des vibrations par le patient, mais constituant en réalité un **véritable code pouvant être lu par le système nerveux central et capable d'améliorer de façon marquée certaines fonctions motrices. Il a été établi que cette procédure très simple et entièrement non invasive induit une forme de LTP dans le réseau proprioceptif, améliorant ainsi la qualité de la vie. rapidement et la performance musculaire à long terme.**

Des travaux très récents convergent sur deux aspects : pour avoir des effets persistants, les vibrations mécaniques doivent durer un temps suffisant (10-15 minutes). En ce qui concerne l'augmentation



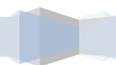
du tonus musculaire des muscles de la pesanteur, la vibration mécanique doit avoir une fréquence<sup>10</sup> à laquelle le système des circuits proprioceptifs semble particulièrement sensible (90-120 Hz), et doit être administrée à des muscles détendus. En outre, pour le renforcement des muscles squelettiques, en plus du signal produit par la stimulation vibratoire mécanique, il est nécessaire d'avoir la participation du patient par la contraction des muscles cibles. Le stimulus mécanique est donc associé à la contraction volontaire simultanée du muscle stimulé : de cette façon, deux stimuli simultanés arrivent sur le réseau de contrôle musculaire, l'un induit par le patient, le second donné par la vibration.

L'application idéale se développe en 3 traitements de 10 minutes par jour pendant 3 jours consécutifs. Chaque séance doit être séparée par 3 à 10 minutes de relaxation musculaire et de suspension du stimulus vibratoire (le cycle de 3 séances peut être réalisé dans un temps de 45 minutes par jour pendant trois jours consécutifs). Les résultats de cette recherche ont été présentés lors de conférences<sup>11</sup>.

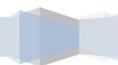
Les effets unilatéraux sur les sujets sains et la rapidité des effets (24 heures) chez les patients orthopédiques suggèrent une action directe du traitement sur le système nerveux central. Par ailleurs, la récupération de la stabilité sur une jambe les yeux fermés chez des patients ayant subi une reconstruction du LCA (ligament croisé antérieur) permet de déduire que le **traitement effectué a modifié l'analyse des informations proprioceptives. La persistance des effets suggère enfin l'induction réelle de changements plastiques dans les circuits proprioceptifs.** Aucun effet secondaire n'a jamais été observé.

**Il s'agit d'une voie entièrement nouvelle qui vise à "reprogrammer"** (presque une sorte de "mise à niveau" informatique) **les réseaux nerveux de contrôle des muscles.** Cette nouvelle frontière de l'entraînement (sportif, mais aussi de la rééducation) repose sur un principe fondamental : **la performance musculaire n'est pas due à la masse musculaire disponible, mais à la façon dont elle est gérée.**

Un exemple macroscopique est fourni par les sprinters : Mennea et ses contemporains avaient une masse musculaire inférieure de plus de 50 % à celle des sprinters d'aujourd'hui, mais leurs temps étaient très difficiles à battre. Ils étaient des machines musculaires bien plus efficaces que celles d'aujourd'hui. La raison en est connue depuis longtemps par la neurophysiologie : leur système nerveux était capable de gérer leurs muscles de manière optimale, leur entraînement visait la fluidité de la performance afin d'atteindre une efficacité maximale.



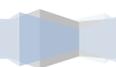
**Aujourd'hui, malheureusement aidés par la chimie, pour plus de puissance nous recherchons la masse contractile,<sup>11</sup> mais la performance devient de moins en moins efficace.**



**L'efficacité dépendant donc bien plus du contrôle de la masse musculaire que de son volume, il est essentiel d'augmenter cette fonction.** Il existe des techniques, basées sur le traitement de séquences de signaux de vibrations mécaniques, qui sont conçues pour obtenir des formes de potentialisation à long terme (LTP) sur des fonctions nerveuses spécifiques. Grâce à ces techniques, il est possible d'agir directement sur le contrôle neuromusculaire avec des effets extraordinairement puissants (augmentations de plusieurs dizaines de points de pourcentage), rapides (avec des applications de quelques minutes répétées sur de courtes périodes) et persistants (semaines ou mois).

Fait remarquable, ce nouveau système produit non seulement des effets de taille assez impressionnants, mais prend aussi la forme d'une méthode qui est l'antithèse du dopage. Cette dernière, en effet, pousse le sujet au-delà de ses possibilités et l'amène à dépenser beaucoup plus d'énergie que l'organisme n'est disposé à le faire. Améliorer le contrôle moteur, en revanche, c'est optimiser le geste athlétique, permettre une économie d'énergie dans chaque mouvement, et donc permettre un plus grand nombre de mouvements avec la même dépense énergétique.

**L'amélioration du contrôle permet de concentrer et d'exprimer la force explosive tout en ne l'augmentant pas** : les performances sont améliorées par une meilleure gestion des muscles.





## Chapitre 5

# ÉVOLUTION DE L'ÉTUDE DES VIBRATIONS MÉCANIQUES APPLIQUÉES AU CORPS HUMAIN

Cycliquement, l'intérêt pour d'éventuelles applications thérapeutiques ou sportives des vibrations mécaniques est ravivé dans le monde scientifique, et cette recherche, au fil des ans, a donné lieu à une impressionnante littérature.

**Les premiers travaux scientifiques** sur l'utilisation de vibrations à des fins thérapeutiques chez l'homme (exercice vibratoire thérapeutique) **remontent à 1949**, lorsque **Whedon et al.** ont fait état des **effets positifs** de l'application de vibrations générées par un lit oscillant spécial sur les anomalies métaboliques de patients alités et plâtrés.

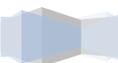
Une étude expérimentale ultérieure (Hettinger, **1956**) a montré que l'administration de **vibrations d'une fréquence de 50 Hz et d'une accélération de 10 g était capable d'augmenter la surface de section du muscle, ainsi que de diminuer le tissu adipeux dans le muscle lui-même.**

Dans le domaine purement thérapeutique, presque quarante ans plus tard, Schiessl (1997) a breveté l'utilisation d'une machine capable de générer des oscillations de type rotatif, tandis que Fritton et al. (1997) ont développé une machine basée sur des oscillations de type translatoire (une technique abandonnée par la suite en raison de ses mauvais résultats). Dans les deux cas, le champ d'application de ces appareils était de tenter d'obtenir une **stimulation de la croissance osseuse, grâce à des fréquences spécifiques que l'on pourrait définir comme "ostéogéniques".**

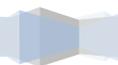
Un an plus tard, les travaux expérimentaux de **Flieger et al. (1998) ont montré que chez les animaux soumis à des vibrations, il y avait une augmentation de la prolifération osseuse.**

**De 1994 à aujourd'hui, le professeur C. Rubin** a concentré ses études sur la compréhension des mécanismes cellulaires responsables de la croissance, de la **guérison et de l'homéostasie des os** et, en particulier, sur l'analyse de la façon dont les stimuli biophysiques (mécaniques et autres) médient ces réponses<sup>12</sup>. Les résultats obtenus à partir de ses travaux montrent comment ces stimuli induisent **une inhibition de l'ostéopénie**, la promotion de la repousse osseuse dans les prothèses ou dans les défauts du squelette, et même une **guérison plus rapide des fractures.**

Cependant, jusqu'en 1987, toutes les études faisant référence aux vibrations mécaniques visaient les effets sur le système squelettique, donc le traitement de l'ostéoporose, la guérison



des traumatismes,



décalcification osseuse, dégénérescence osseuse et diminution de la calcification chez les astronautes. Ce n'est qu'à la fin des années 80 que sont apparues les premières études sur la possibilité d'**augmenter les capacités contractiles des muscles soumis à un stress vibratoire** (Nazarov et Spivak, 1987). Depuis, les recherches dans ce domaine spécifique sont devenues de plus en plus exhaustives et les bénéfices des vibrations contrôlées ont commencé à être analysés également du point de vue musculaire.

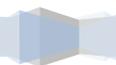
Les Russes Nazarov et Spirav ont travaillé pour le gouvernement russe et leurs études sur les vibrations ont été utilisées pour soutenir les activités gymniques des astronautes dans l'espace. Au début des années 1990, les Américains n'ont pas réussi à rester plus de 120 jours dans l'espace et ont toujours eu de graves problèmes musculaires et osseux, tandis que les astronautes russes ont réussi à battre record sur record en envoyant deux astronautes dans l'espace sur la station orbitale MIR pendant 450 jours.

Depuis lors, la recherche dans ce domaine spécifique s'est approfondie, notamment grâce aux études menées par le **professeur Carmelo Bosco, l'un des plus grands représentants de l'étude de la réponse du corps humain aux vibrations mécaniques**. Il a conçu une méthode d'entraînement (AV - Vibratory Training) capable d'améliorer la puissance, la résistance et la vitesse du sujet examiné, en effectuant des exercices simples sur une plate-forme vibrante à certaines fréquences, permettant également de traiter les personnes âgées et les blessés, sans avoir recours à des thérapies de rééducation désagréables <sup>13</sup>.

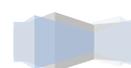
**En 2007**, un article coordonné par la faculté des sciences du sport de l'université de Lyon (France) et l'école interfacultaire des sciences du sport de Turin a été publié dans la revue "New athletic Research in Science Sport" (Bisciotti, 2007). <sup>14</sup> L'article stipule :

*"Les effets de l'administration contrôlée de vibrations sur le corps humain sont connus depuis 1949, date des premiers travaux scientifiques dans ce domaine spécifique. Cependant, ce n'est que quarante ans plus tard que la valeur thérapeutique des vibrations a été scientifiquement reconnue en ce qui concerne leur effet ostéogénique, ce qui justifie leur application en médecine gériatrique de manière générale et dans certaines pathologies spécifiques comme l'ostéoporose. En outre, les effets physiologiques induits par les vibrations ont récemment été exploités pour induire des adaptations particulières, en termes d'augmentation de la force contractile sous ses différents aspects, même dans le domaine sportif. La réadaptation fonctionnelle constitue un autre domaine thérapeutique des vibrations, bien que peu connu. Le but de cet article est d'illustrer les principes neurophysiologiques du travail vibratoire."*

Aujourd'hui, nous pouvons **définir deux formes** sous lesquelles les vibrations mécaniques



peuvent atteindre notre corps:



1. Le premier est capable de stimuler puissamment et sélectivement certains types de récepteurs nerveux impliqués dans le contrôle moteur. Elle est donc limitée à un seul muscle ou à de petits groupes de muscles adjacents et est donc appelée **vibration focale (VF)** ;
2. La deuxième forme implique le corps entier. Il est appliqué avec une posture en complète décharge fonctionnelle, avec des articulations en décoaptation. Il est appliqué à des points précis, avec des fréquences ciblées. Cette application, avec une irradiation limitée et en points symétriques, ne provoque pas la génération et la propagation de basses fréquences harmoniques, qui sont nocives pour les structures du corps humain, mais implique uniquement la stimulation des mécanorécepteurs de la peau. Cette forme est appelée **Vibration multifocale (Keope MFV)**.

## 5.1 VIBRATION FOCAL (FV) : LA VOIE SCIENTIFIQUE

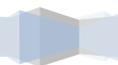
PV permet une utilisation très précise du stimulus vibratoire. Il est largement utilisé dans la recherche pour activer le système proprioceptif de certains muscles ou articulations. On tente depuis longtemps de l'utiliser à des fins thérapeutiques, car son action sur les fuseaux neuromusculaires est bien connue<sup>15</sup>.

Alors que la plate-forme vibrante a une diffusion massive le long du corps, déterminée par une source unique située dans la zone plantaire, la PV et la MFV, restant confinées à de petites zones, empêchent le phénomène typique de la propagation des signaux mécaniques à travers des structures inhomogènes comme les tissus biologiques (graisse, peau, muscles, os, cartilage, tissu conjonctif, etc.), c'est-à-dire la distorsion du signal appliqué. Avec la PV, et de même avec la MFV, on sait quel signal est appliqué, quelles terminaisons nerveuses sont stimulées et quel signal atteint les centres.

Ces dernières années, un certain nombre de paramètres de la PV ont été identifiés comme pouvant altérer de manière persistante le contrôle moteur. En particulier, la recherche a mis en évidence **trois aspects pertinents** :

1. Comme cela a déjà été largement documenté par de nombreux auteurs<sup>16</sup>, la fréquence de vibration doit être un signal "pur", constitué d'une seule harmonique, c'est-à-dire une seule fréquence, capable de donner lieu à un phénomène "moteur" ;
2. les effets ne persistent que si une fréquence pure comprise entre 90 et 120 Hz <sup>17</sup> est appliquée (en ce qui concerne le stimulus du tonus musculaire) ;
3. Les effets persistent si la stimulation est poursuivie pendant au moins 10 minutes <sup>18</sup>. En

outre, la PV et la MFV sont capables de modifier l'excitabilité corticale de l'aire <sup>15</sup>. Certains groupes de recherche ont donc abordé le problème de manière systématique,



de manière à définir un protocole d'application capable d'obtenir des résultats reproductibles et donc évaluables dans les mécanismes sous-jacents <sup>20 21 22 23</sup>.

### 5.1.1 VIBRATIONS MÉCANIQUES FOCALES (FV) ET RÉCEPTEURS NERVEUX MUSCULOTENDINEUX

Les muscles et les tendons possèdent deux types de récepteurs nerveux innervés par des fibres de moyen et gros calibre, c'est-à-dire à haute vitesse de conduction, les fuseaux neuromusculaires et l'organe de Golgi du tendon (GTO).

Les premières, par le biais de fibres sensibles conventionnellement appelées Ia (primaires, avec une vitesse de conduction comprise entre 72 et 120 m/s) et II (secondaires avec une vitesse de conduction comprise entre 24 et 72 m/s), auraient pour fonction de contrôler la vitesse et l'importance de l'allongement ou du raccourcissement des fibres musculaires<sup>24</sup>.

Ces derniers, dont les fibres nerveuses sont dites Ib (avec une vitesse de conduction comprise entre 72 et 120 m/s), sont considérés comme étant destinés à détecter les contraintes développées par les unités motrices individuelles <sup>25</sup>.

En 1963, le professeur R. Bianconi, premier professeur de physiologie humaine à l'Université catholique de Rome, a démontré comment une vibration mécanique, appliquée à un seul muscle, à des amplitudes et des fréquences appropriées, était capable d'activer sélectivement les afférences du fuseau primaire (Ia) et secondaire (Iib) ou GTO, en fonction des caractéristiques du stimulus.

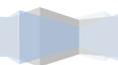
En outre, non seulement il a été démontré qu'il était possible d'activer des classes sélectionnées de récepteurs de manière totalement non invasive, mais un autre aspect d'une importance extraordinaire pour la recherche a également été mis en évidence : en **raison de certaines caractéristiques de fréquence et d'amplitude de la vibration appliquée, ces récepteurs génèrent des fréquences de potentiels d'action fidèles à la fréquence de la vibration appliquée, guidant (phénomène de "driving") les afférences activées vers une fréquence de décharge identique à celle de la stimulation** <sup>26 27</sup>.

Le "Driving" permet d'entraîner une AFFECTION FUSALE PRIMAIRE à des fréquences de 20 ou 30 ou 100 Hz en appliquant des vibrations à des fréquences de 20 ou 30 ou 100 Hz, sans avoir à utiliser des stimuli électriques ou à isoler chirurgicalement des fibres nerveuses, mais simplement en appliquant une vibration mécanique à un seul muscle.

Avec des fréquences et des amplitudes de vibration appropriées, il est possible de choisir la

méthode16

activés, et déterminent la fréquence des potentiels d'action envoyés au système nerveux central.



Pour la première fois, des fréquences de potentiels d'action prédéfinis ont pu être envoyées à des centres spécifiques du système nerveux central (ceux qui fonctionnent en utilisant les informations provenant des fuseaux et des GTO), en choisissant les paramètres de vibration de manière appropriée, tout en suivant des modes d'activation non invasifs et des voies afférentes physiologiques. Il s'agissait d'un changement radical dans les modalités de stimulation des voies sensibles par rapport à celles effectuées, au moyen de la stimulation bioélectrique, sur des troncs nerveux entiers ou même sur des fibres uniques, qui sont hautement non physiologiques et non spécifiques.





## 5.2 VIBRATION MULTIFOCALE (KEOPE MFV)

### STRUCTURE CONÇUE POUR CRÉER DES EFFETS POSITIFS INDUITS PAR PLUSIEURS VIBRATIONS MÉCANIQUES FOCALES

En 1991, le Centre de recherche sur le comportement humain (Centro di Ricerca sul Comportamento Umano - Centro A.M. di Sirtori - LC) a commencé et ensuite terminé les travaux de construction d'une structure ergonomique idéale pour l'application de vibrations sur le corps humain.

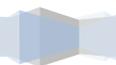
Le corps humain peut être considéré comme un système à  $n$  degrés de liberté, il ne vibre pas comme une masse unique avec une seule fréquence naturelle, mais chaque masse, c'est-à-dire chacune de ses parties, a sa propre fréquence de résonance spécifique, et donc **l'application de vibrations ne peut pas être effectuée en partant d'un seul point du corps pour ensuite propager les effets au reste du corps**. Non seulement cela ne produit pas les résultats escomptés, mais cela génère des effets négatifs sur l'ensemble de l'organisme.

**L'optimum est atteint en localisant les vibrations dans des zones spécifiques du corps, de manière très précise, de façon à concentrer l'effet de la vibration dans la zone souhaitée**, où il est ensuite nécessaire d'appliquer les vibrations, en évitant toute dispersion inutile. Comme expliqué dans le chapitre précédent, c'est précisément l'élément central de l'application focale.

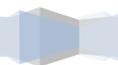
Ces dernières années, le Centre AM a identifié une **nouvelle façon** d'appliquer la vibration au corps humain : la Vibration Multi Focale, qui fonctionne par **vibration mécanique à des fréquences ciblées**, appliquées à **des zones spécifiques du corps**, correspondant à des insertions précises des chaînes musculaires ; des **zones qui impliquent tout le système musculo-squelettique**.

Cela a été rendu possible par une invention antérieure : Keope, la seule structure ergonomique essentielle qui permet au corps humain d'adopter une **posture en complète décharge fonctionnelle**. Cette structure minimise le contact avec le corps, éliminant ainsi toute compression inutile et améliorant la circulation sanguine, la ventilation pulmonaire et réduisant le travail cardiaque. De plus, cette structure permet **l'application de vibrations dans la décoaptation des articulations vertébrales et des grandes articulations**.

L'action de plusieurs micro-vibrateurs sur des zones spécifiques avec des fréquences ciblées permet de maximiser les effets bénéfiques des vibrations qui ont été démontrés



par de multiples recherches scientifiques ces dernières années.



## Chapitre 6

# UN PROTOCOLE POUR APPLIQUER DES VIBRATIONS AU CORPS HUMAIN

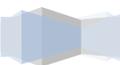
Comme nous l'avons souligné dans les chapitres précédents, on sait depuis plus de 40 ans que les vibrations mécaniques localisées au niveau des muscles individuels sont capables d'activer puissamment les propriocepteurs musculo-tendineux. Ce stimulus étant totalement non douloureux et non invasif, on tente depuis longtemps d'utiliser cette procédure pour améliorer le contrôle moteur. Cependant, les améliorations, lorsqu'elles étaient présentes, disparaissaient quelques instants après la fin de la vibration.

Récemment, des paramètres de vibration et un protocole d'application capables d'induire des changements plastiques, et donc persistants, dans le contrôle moteur ont été identifiés. Ces résultats ouvrent des espaces nouveaux et inédits pour la rééducation, car le contrôle de la raideur articulaire échappe largement à notre conscience, ce qui constitue un sérieux obstacle au travail du kinésithérapeute.

**L'Institut de physiologie humaine de l'Université catholique du Sacré-Cœur à Rome et l'Institut de médecine physique et de réadaptation de l'Université La Sapienza à Rome ont réalisé** une série d'expériences.

Les résultats ont montré que l'exposition à ces vibrations pendant 10 minutes continues, trois fois par jour, pendant trois jours consécutifs, est suffisante pour obtenir l'effet maximal avec le temps d'application le plus court. On a également observé que le fait d'effectuer une vibration continue de 30 minutes, sans même un très court intervalle, réduit nettement les effets, probablement en raison du phénomène d'accoutumance. En raison de cette exposition à des vibrations répétitives, le nom de VMR (vibrations musculaires répétitives) a été introduit.

Enfin, les effets ne sont perceptibles que si le sujet maintient le muscle à traiter en légère contraction volontaire et isométrique pendant toute la durée d'activation de la vibration. Initialement, cette condition a été choisie pour faciliter la transmission de la vibration mécanique dans le contexte musculaire, grâce à l'augmentation de la rigidité induite par la contraction musculaire et pour augmenter la sensibilité des fuseaux neuromusculaires par l'activation concomitante des circuits gamma. Par la suite, elle a été attribuée à cet aspect du protocole joue un rôle beaucoup plus important.



## 6.1 LA PREMIÈRE ÉTUDE SUR DES SUJETS SANTÉS AU SUJET DU POTENTIEL DU VMM : Action du VMM sur le contrôle de la raideur articulaire

Une étude en double aveugle, qui a permis de définir les effets et de comprendre les mécanismes d'action de ce système intégré particulier, composé d'un protocole et d'un dispositif "ad hoc", a été menée sur des sujets sains<sup>28</sup> en appliquant le rMV sur le muscle quadriceps.

L'étude a suggéré que l'action d'une vibration prolongée était capable de modifier de façon persistante (tests effectués 15 jours après le traitement) le contrôle moteur de la principale articulation traitée. En particulier, les sujets ont montré une augmentation marquée (+40%) de la résistance à la fatigue lors d'exercices répétés (mouvements d'extension des jambes sous charge).

Cette augmentation a été attribuée à une amélioration du contrôle de la rigidité articulaire, induite par une réduction de l'impédance articulaire dictée par les coactivations musculaires. La diminution parallèle du temps de montée de la force de contraction isométrique maximale (qui est restée inchangée, avant et après le traitement) a été attribuée à la stabilisation plus fine de l'articulation, manifestée par la réduction probable des coactivations, qui a permis au système nerveux d'exploser plus efficacement la force du Quadriceps.

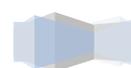
En résumé, le protocole élaboré a présenté des effets tout à fait nouveaux et suggéré des mécanismes possibles. En particulier, il a été souligné que :

1. l'application d'une vibration de faible amplitude ( $< 0,1$  mm), à 100 Hz, pendant 10 minutes consécutives, 3 fois par jour, pendant 3 jours consécutifs, est capable d'induire des changements importants et persistants dans la performance motrice.
2. Le rMV semble agir directement sur le contrôle moteur, en augmentant le contrôle des articulations et en particulier le contrôle de la raideur articulaire.

Les innovations introduites par cette étude sont vraiment remarquables, en effet, cette première étude a mis en évidence un système intégré composé d'un protocole et d'une instrumentation particulière capable d'induire des effets sur le contrôle moteur pendant au moins 15 jours et de grande intensité en seulement 90 minutes.

De plus, le mécanisme d'action semblait résider dans une modification du contrôle de la rigidité articulaire, donc dans une action directe sur le Système Nerveux Central et sur un paramètre : **la rigidité articulaire**. La rigidité des articulations est l'un des paramètres les plus complexes et<sup>20</sup> déterminants dans le contrôle moteur. En particulier, le contrôle de la rigidité des

articulations est le cœur de la rééducation motrice, et est entièrement géré en dehors du contrôle



volontaire et donc uniquement modifiable par le thérapeute par des voies indirectes et donc difficiles, longues et incertaines.

C'est un aspect qui touche presque toutes les pathologies motrices, on pense à la spasticité ou à l'hypotonie musculaire (respectivement les excès et les déficits de rigidité articulaire) et aux conséquences que celles-ci ont sur les déficits moteurs, la qualité de vie, et l'obstacle qu'elles constituent pour le duo thérapeute-patient pour arriver à des stratégies motrices correctes. Suite à ces déductions, l'étude a été étendue à des situations dans lesquelles la raideur articulaire était explicitement modifiée, soit dans le sens d'un déficit, soit dans le sens d'une augmentation.

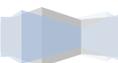
## 6.2 CORRÉLATS NEUROPHYSIOLOGIQUES

Les deux études ci-dessus suggèrent que le **VrM** est capable d'**induire des changements** plastiques dans le système nerveux central, en particulier dans les **circuits de contrôle du muscle traité** et peut-être dans des **circuits** fonctionnellement liés. Ces résultats ont rendu indispensable la recherche de corrélations neurophysiologiques aux données obtenues par l'étude de la performance motrice.

Le mécanisme déclenché est apparu capable de modifier la gestion de la rigidité articulaire, un contrôle très complexe qui nécessite l'interaction de nombreux groupes d'unités motrices appartenant à des muscles anatomiquement différents, avec des modifications fines et rapides au cours de l'acte moteur. Les **modifications plastiques du système nerveux doivent donc être recherchées "en amont" dans le système nerveux central. L'attention s'est donc portée sur le cortex moteur primaire (M1).**

Une technique non invasive et relativement simple, la stimulation magnétique transcrânienne (SMT), permet de stimuler des micro-zones de cette région. Les cellules pyramidales activées activent à leur tour les populations motrices spinales et le signal électrique musculaire évoqué (potentiel évoqué magnétique, PEM) par cette stimulation corticale peut être enregistré au moyen d'un EMG de surface. Il est ainsi possible d'étudier l'extension corticale des zones impliquées dans le contrôle de certains muscles, leur niveau d'excitabilité et, au moyen de procédures un peu plus complexes, les mécanismes de contrôle exercés par les circuits corticaux sur ces mêmes zones.

Pour cette étude, menée par Barbara Marconi <sup>29</sup>, chercheur à la Fondazione S. Lucia et de la Fondation EBRI, ainsi que d'autres collaborateurs, le rMV a été appliqué sur le muscle Fléchisseur radial du carpe sur des sujets sains. <sup>21</sup>



L'application de la TMS a montré que le traitement par VMR stimulait les mécanismes d'inhibition intracorticaux sur les zones liées au muscle traité, tandis que les zones correspondant au muscle antagoniste (l'extenseur commun des doigts) étaient facilitées. **Les effets n'étaient présents que dans la combinaison contraction musculaire volontaire + vibration** et ont persisté pendant au moins 15 jours, avec un retour à la situation pré-RMV dans les 30 jours suivant le traitement.

**La nécessité d'associer contraction musculaire volontaire + vibration suggère que le phénomène plastique est induit par un mécanisme de type associatif, impliquant une activation associée de différentes populations cellulaires.**

Du point de vue de la signification fonctionnelle, on pense qu'une augmentation de l'inhibition dans les circuits intracorticaux de M1 favorise l'identification des muscles à utiliser pendant le mouvement, réduisant ainsi les contractions non désirées ou, dans un sens plus général, les co-contractions non désirées. Ce mécanisme est bien sûr accentué par des processus d'inhibition corticale réciproque, par lesquels l'activation d'un groupe musculaire inhibe l'antagoniste et vice versa. Le traitement par le rMV semble donc activer ces deux mécanismes, qui, sur le plan fonctionnel, sont censés contribuer à la régulation des cocontractions.

Le mécanisme de co-contraction est, pour le meilleur ou pour le pire, déterminant dans nos mouvements, mais il constitue aussi, comme déjà mentionné, un problème majeur dans l'entraînement et la rééducation.

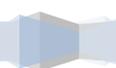
Les co-contractions sont cruciales dans la régulation de la raideur articulaire, mais, en même temps, elles entraînent une augmentation de la dépense énergétique et métabolique, une réduction de l'efficacité musculaire, une augmentation de la fatigue et une réduction de la vitesse d'exécution. **Les résultats de l'étude avec la TMS ont donc semblé cohérents avec les hypothèses formulées dans des études antérieures<sup>30 31</sup> : la VMR semble être capable d'améliorer les mécanismes de contrôle moteur, censés être impliqués dans le contrôle des articulations.**

**La possibilité que le VrM produise une réduction des co-contractions et une meilleure gestion des agonistes/antagonistes est également cohérente avec l'augmentation de la résistance à la fatigue et la réduction des temps d'explosion de la force observées chez les sujets sains.**

L'amélioration des co-contractions, d'une part indispensable, d'autre part obstacle à l'exécution motrice, est très difficile, de même que le contrôle conjoint au sens large.

Il s'agit en fait d'ajustements qui sont au-delà de notre volonté et de notre conscience et qui dépendent<sup>22</sup>.

entièrement par l'action du système nerveux central. Toute intervention sur eux n'est



donc que très indirecte et donc extrêmement chronophage et fatigante, comme en témoignent les caractéristiques de l'entraînement sportif et de la rééducation motrice. **Le VMR, basé sur ces**

**résultats, il semble pouvoir agir directement, rapidement et de manière totalement non invasive sur ces mécanismes.**

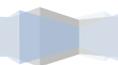
Dans l'étude de Marconi, la situation est revenue à celle qui prévalait avant la VMR dans les 30 jours, tandis que les sujets ayant bénéficié d'une reconstruction du LCA, suivis jusqu'à 120 jours après le traitement, sans répétition de celui-ci, ont continué à augmenter leurs performances. Ces différences résident probablement dans le manque de consolidation des effets plastiques dans le cas du traitement du fléchisseur radial du carpe chez les sujets sains par rapport à celui des patients ayant subi une reconstruction du LCA. Dans le premier cas, en effet, après le traitement par le rMV, le groupe musculaire traité a continué à être utilisé comme avant le traitement. Chez ces derniers, en revanche, la rééducation a stimulé davantage le contrôle du genou. La situation neuromotrice du fléchisseur du carpe a donc été ramenée physiologiquement à la situation "normale" chez les sujets sains, tandis que chez les patients opérés, la rééducation a poussé à augmenter et surtout à consolider les effets de la VMR.

Ces considérations soulignent l'importance de l'interaction entre le VMr et l'exercice, sur la base des données expérimentales obtenues par l'utilisation du VMr et de ce que l'on sait de la neurophysiologie.

En résumé, quelques points semblent pertinents dans les différentes recherches sur le VMR :

- ✓ **Le rMV est un protocole non invasif basé sur une vibration de très faible amplitude.** La stimulation semble tout à fait tolérable à partir de **4 ans**, facile à appliquer, bien que basée sur un ensemble de règles très strictes. De même, les paramètres de vibration doivent être totalement constants et de petites variations peuvent annuler les résultats, ce qui rend l'instrumentation presque immuable d'un point de vue technique.
- ✓ Le VMr n'est pas séparable de la rééducation, il s'agit seulement d'une procédure destinée à ouvrir de nouvelles portes à la rééducation en améliorant, par une action directe sur le Système Nerveux Central, le contrôle de la raideur articulaire. Une réadaptation spécifique et ciblée devrait permettre de tirer le meilleur parti de ce qui a été réalisé. Les interventions ultérieures sur un patient atteint de VMR doivent être définies avec les thérapeutes ou, mieux encore, mises en œuvre par les thérapeutes eux-mêmes selon le plan thérapeutique établi.
- ✓ Le VMR apporte la preuve de ce que la réadaptation affirme depuis longtemps, à savoir que la chronicité ne signifie pas la fin de l'amélioration. Des résultats importants, souvent montrés en vidéo lors de conférences ont été obtenus plus de 10 ans après la blessure.

- ✓ Le VMR pour la physiothérapie se présente comme une **opportunité d'entrer dans des domaines qui sont aujourd'hui presque abandonnés** : les **plus de 80 ans**, les blessures neurologiques chroniques.



## Chapitre 7

### LES EFFETS POSITIFS DES VIBRATIONS SUR LE CORPS HUMAIN

Le système musculo-squelettique constitue une machine biologique complexe responsable de la locomotion humaine. Afin d'accomplir et de réaliser ses diverses demandes fonctionnelles, ce système change constamment de structure et de métabolisme, répondant à l'utilisation par des changements de forme et de force. Les deux systèmes sont conçus pour pouvoir résister au même niveau de tension auquel la structure osseuse est soumise.

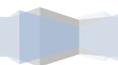
Une "surcharge" constante (mouvement du corps) fournit un stimulus biologique par le biais de facteurs structurels et métaboliques, maintenant les tissus, tant osseux que musculaires, dans une limite de sécurité fonctionnelle. Un alitement prolongé ou une immobilisation causée par une blessure peuvent affaiblir ses structures à tel point que sa fonction est limitée. Certaines maladies courantes, comme l'ostéoporose ou la myosite, réduisent la qualité et la quantité des structures osseuses et musculaires avec la dégénérescence associée, qui se manifeste par des symptômes cliniques. Lorsque les charges quotidiennes à soutenir sont drastiquement réduites, il en résulte une remarquable atrophie musculaire dont la demi-vie dure environ 8-10 jours, avec une dégradation sélective de la structure protéique qui forme la composante contractile du muscle, surtout aux dépens des fibres lentes. C'est la principale cause du dysfonctionnement et de la diminution de la force des os et des muscles avec l'arrivée de la vieillesse.

Il a été démontré que les exercices de courte durée, mais de très haute intensité, produisent des effets positifs sur les structures osseuses, musculaires et articulaires, à tel point que la masse et la force sont maintenues à un niveau élevé en réponse à ces efforts cycliques. Or, l'homme est normalement sédentaire, surtout dans sa vieillesse. Et, souvent, son activité physique est réduite à une simple locomotion pour les fonctions quotidiennes normales. **La locomotion humaine quotidienne représente le stimulus mécanique minimal qui assure le tonus musculaire de base. C'est pourquoi il est recommandé aux personnes âgées de faire beaucoup de marche.** Ce stimulus, qui est généralement nécessaire pour surmonter la force de gravité, **est à peine suffisant pour protéger les os des fractures.** En effet, lors de la locomotion, à l'impact avec le sol, un train d'ondes de choc est généré et transmis dans tout le corps. Ces vibrations sont transmises par le pied, la jambe, la colonne vertébrale et le cou. Cela représente un fort stimulus pour le la formation des os au cours de la vie humaine. Malheureusement, **la conception moderne**  
**de**



**vitalité**, avec une forte augmentation<sup>24</sup>

d'hypokinésie, ce qui entraîne un effet négatif sur le système musculo-squelettique. Pour compenser le manque de mouvement, plusieurs



des projets visant à stimuler et à inciter la population à augmenter son activité physique. Malheureusement, en raison d'un manque d'équipement et d'un mauvais mode de vie, cela ne se produit pas. Ou bien cela se produit en très petites quantités. Souvent insuffisante pour éviter les risques.

Dans ce domaine, la **recherche a montré que les vibrations mécaniques constituent un stimulus puissant pour l'ensemble de l'organisme et en particulier pour le système neuro-musculaire et squelettique. Voici un résumé des principaux effets positifs de la mécanovibration, mis en évidence par la recherche scientifique au cours des 40 dernières années.**

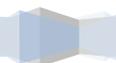
## 7.1 LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LE SYSTÈME HORMONAL

Comme on le sait depuis longtemps, il existe une relation entre la discipline sportive pratiquée et le profil hormonal de l'athlète. L'exercice répété est, en effet, capable d'induire une réponse hormonale importante, non seulement en termes d'adaptation à l'exercice lui-même, mais aussi sous la forme d'une réponse à long terme à celui-ci.

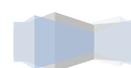
De même, l'application de vibrations mécaniques au corps humain est également capable de produire **une réponse hormonale adaptative**, produisant, par exemple, **une augmentation de la concentration plasmatique de testostérone (T) et d'hormone de croissance (GH)**, en même temps qu'une **diminution de la concentration de cortisol (C)**. L'**augmentation de la T et de la GH est** attribuable à l'**action des métaborécepteurs musculaires**, tandis que la diminution de la C est probablement attribuable à un effet stimulant insuffisant de la commande motrice centrale et du feedback nerveux dans les muscles squelettiques.

Comme le rapporte une étude du professeur Carmelo Bosco (2000), **la variation de la concentration de ces hormones s'accompagne également d'une augmentation de la puissance mécanique des muscles soumis à la vibration**, ce qui conduit à l'hypothèse que, bien que les deux phénomènes se produisent indépendamment l'un de l'autre, ils pourraient avoir des mécanismes sous-jacents en commun.

**Parmi les hormones dont la sécrétion est fortement stimulée par les vibrations mécaniques, il faut citer** en premier lieu **la sérotonine** (5-hydroxytryptamine), une amine biogène dérivée de la décarboxylation du 5-hydroxytryptophane. La sérotonine est produite par les cellules entérochromaffines de la muqueuse intestinale et est présente dans le système nerveux, les muscles lisses et les plaquettes sanguines. C'est un puissant vasoconstricteur local et a un effet hypotenseur général, il joue également un rôle important dans la



l'hémostase, en stimulant la réparation des vaisseaux blessés.



La vibration stimule également la **production de neurotrophines**, une famille de protéines, à laquelle appartient le NGF, qui agit **en régulant la mort cellulaire naturelle des neurones qui se produit au cours du développement**. Les **neurotrophines** sont également **capables de stimuler la survie de populations distinctes de neurones** in vitro.

Les **endorphines**, neuropeptides opioïdes qui imitent l'action analgésique et les effets comportementaux de la morphine (action semblable à celle de la morphine), **sont également fortement stimulées par l'exposition aux vibrations**.

Enfin, il faut rappeler que les **vibrations stimulent la sécrétion de l'IGF-I, ou somatomédine C, qui est l'un des deux facteurs de croissance polypeptidiques** (le second est l'IGF-II) et est constitué de molécules composées de 70 acides aminés, avec 45% d'homologie avec l'insuline. **Le rôle physiologique de l'IGF-I est de médier l'action de l'hormone de croissance, en stimulant le développement du squelette**.

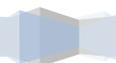
## 7.2 LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LES SYSTÈMES MUSCULAIRES SQUELETTIQUES

Lors de la locomotion, à l'impact avec le sol, un train d'ondes est généré et transmis dans tout le corps via le pied, la jambe, la colonne vertébrale et le cou. Ce train d'ondes représente un fort stimulus pour l'ensemble de l'organisme, en particulier pour le système musculo-squelettique, car il représente la stimulation mécanique minimale qui assure le maintien du tonus musculaire de base. En effet, les muscles et les os interagissent et réagissent en permanence sous l'action d'une charge constante, représentée par le poids du corps.

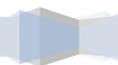
Lorsque cette charge quotidienne est perdue, par exemple en raison d'un alitement prolongé ou d'une immobilisation due à une blessure, les structures peuvent s'affaiblir au point de limiter leurs fonctions et d'entraîner, en particulier, une atrophie musculaire.

**Il a été démontré que l'application de vibrations mécaniques de haute intensité et de courte durée a des effets positifs sur la structure des os, des muscles et des articulations, de sorte que la masse et la force des tissus sont maintenues à un niveau élevé, ce qui réduit la perte musculaire et osseuse** <sup>32</sup>.

Ces changements dans la réponse neuromusculaire sont principalement attribuables à l'augmentation de l'**activité des centres moteurs supérieurs** et à l'amélioration substantielle de la



des commandes nerveuses qui régulent la réponse neuromusculaire.



**Les vibrations mécaniques, appliquées localement à la structure musculaire et/ou tendineuse (40 Hz), provoquent l'activation des récepteurs du fuseau neuromusculaire (récepteurs du fuseau musculaire), au niveau du complexe muscle-tendon directement sollicité, mais aussi des groupes musculaires adjacents.**

**Ce type de réponse du muscle à une contrainte vibratoire est appelé "réflexe vibratoire tonique" (RTV).**

Il est scientifiquement documenté que le RTV induit une augmentation de la force contractile des groupes musculaires impliqués et cela se traduit par un changement clair dans la relation force-vélocité et la relation force-puissance <sup>33</sup>.

L'entraînement vibratoire peut donc être assimilé à une succession de contractions de faible amplitude, qui entraînent des modifications rythmiques modestes mais significatives de la longueur du complexe muscle-tendon soumis à la vibration. Ce comportement mécanique particulier induit une facilitation de l'excitabilité du réflexe spinal.

À cet égard, en effet, **certaines études ont proposé que le VTR opère principalement, voire exclusivement, par le biais des motoneurons alpha** et n'utilise pas les mêmes schémas corticaux efférents que le mouvement volontaire. Cependant, **il est également possible que la VTR, induite par les vibrations elles-mêmes, provoque une augmentation du recrutement des unités motrices par une activation des fuseaux neuromusculaires et des schémas d'activation polysynaptiques** <sup>34</sup>.

### 7.3 LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LE TISSU OSSEUX

Le système squelettique remplit essentiellement trois fonctions :

- La première consiste à fournir un soutien mécanique aux muscles et aux tendons, afin que le mouvement soit possible ;
- le second est de protéger les organes vitaux ;
- tandis que le troisième est de fournir une réserve organique de calcium visant à stabiliser la calcémie.

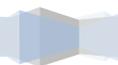
Pour ces raisons, le squelette, quel que soit l'âge biologique, n'est pas une masse inerte mais, au contraire, une entité plastique en renouvellement continu : il suffit de penser au processus de remodelage osseux qui se produit pendant la croissance, ou à la nécessité de phénomènes de réparation appropriés en cas de fracture, sans parler du rôle de la réserve...

le calcium

organique. 27

Le comportement plastique est orchestré par deux phénomènes physiologiques très spécifiques :

- l'ostéoréactivité, assurée par les ostéoclastes ;



- ostéoformation attribuable à l'activité des ostéoblastes.

La relation entre ces deux phénomènes, qui sont physiologiquement antagonistes l'un de l'autre, se traduit par le maintien, la perte ou l'acquisition éventuelle de la masse osseuse.

On sait depuis longtemps que le facteur mécanique joue un rôle crucial dans le contrôle dynamique du remodelage osseux, permettant à la structure osseuse de s'adapter aux contraintes. C'est pourquoi une diminution de la contrainte mécanique du squelette peut constituer un sérieux problème en termes de maintien de la masse osseuse. Par exemple, **l'immobilisation par plâtre peut être à l'origine d'une perte osseuse importante et rapide, facilement réversible chez l'adulte, mais largement définitive chez les patients gériatriques.**

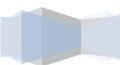
Les mécanismes par lesquels l'activité physique est capable d'influencer positivement le processus de remodelage osseux sont relativement complexes. D'un point de vue cellulaire, il semblerait que seuls les ostéoblastes soient équipés de mécanorécepteurs et que, pour cette raison même, ils soient capables de répondre positivement à une augmentation des forces de compression. Pour la même raison physiologique, une diminution de ce dernier est capable de réduire l'activité ostéoblastique, laissant le processus de résorption osseuse inchangé.

Les améliorations évidentes de la fonction musculaire induites par l'administration de traitements vibratoires produisent des contraintes très efficaces sur les fonctions biologiques des os sur lesquels ils sont placés ; en effet, la force générée par le tissu musculaire est fortement corrélée au développement de la masse osseuse et à sa capacité de résistance mécanique.

Une structure osseuse soumise à un niveau élevé de stress mécanique, comme dans le cas d'un exercice intense, est capable de supprimer le mécanisme de remodelage osseux, facilitant ainsi le processus conservateur. Cependant, il est démontré que seul un entraînement intense et prolongé a une influence positive sur la densité minérale osseuse (DMO). L'efficacité de la contrainte musculaire est particulièrement évidente sur l'axe transversal, qui est le plus faible et donc le plus sujet aux fractures.

En raison de leur intensité et de leur durée élevées, les exercices physiques ne sont pas bien adaptés à une population âgée ou à des personnes souffrant de fractures.

L'application de vibrations, en revanche, permet une sollicitation intense de l'appareil squelettique et musculaire sans exiger un haut degré d'engagement de la part du patient, ce qui s'avère être une stratégie d'intervention particulièrement adaptée dans certains cas. Bien qu'une explication claire et sans ambiguïté de l'approche de la phénomène, l' **action des vibrations mécaniques contre les mécanismes de**



**le remodelage osseux est évident et signalé dans de nombreuses études cliniques réalisées sur des patients**

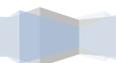


**souffrant de fractures osseuses ou d'ostéoporose.** Dans les deux cas, **les sujets traités par vibrothérapie ont montré une réelle accentuation de l'activité ostéogénique**<sup>35</sup>.

**L'application de la vibrothérapie est donc en mesure d'interférer positivement sur le métabolisme osseux, même en présence d'une dégénérescence ostéoporotique,** et compte tenu de la preuve que la vibrothérapie est en mesure de favoriser une augmentation de la DMO, **on peut affirmer qu'elle constitue un moyen thérapeutique de choix en médecine gériatrique dans le cadre des thérapies de traitement et de prévention de l'ostéoporose.**

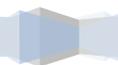
L'ostéoporose est une ostéopathie métabolique d'étiologie complexe, caractérisée par une réduction localisée ou généralisée du tissu osseux, dont la matrice ostéoïde, par suite d'un déséquilibre entre la vitesse de synthèse et la vitesse de dégradation, tout en restant normalement minéralisée, est quantitativement réduite. A l'examen radiologique, on observe une raréfaction osseuse, un amincissement et une réduction numérique des trabécules ainsi qu'une augmentation des espaces médullaires. On distingue une forme sénile et post-ménopausique, et une forme secondaire à une immobilisation prolongée ou à des troubles endocriniens. En particulier, dans la population féminine, le déficit en œstrogènes qui se produit pendant la période de la ménopause entraîne une accélération du renouvellement des os et une perte de masse osseuse, ce qui explique que l'ostéoporose touche une femme sur quatre, alors que dans la population masculine, ce ratio est de un sur huit. **Compte tenu de l'augmentation progressive de l'âge moyen de la population, l'ostéoporose a désormais pris les dimensions d'un véritable problème socio-économique, qui touche la population âgée (et pas seulement) à l'échelle mondiale.** Rien qu'en Italie, le coût social de cette maladie s'élève à cinq cents millions d'euros par an. **L'exercice est fortement recommandé aux patients souffrant d'ostéoporose, à la fois dans le cadre de son traitement et comme forme de thérapie préventive.** En effet, la **stimulation mécanique** physiologique **induite par l'exercice** s'avère **particulièrement utile tant pour limiter la perte osseuse que pour stimuler l'augmentation de la masse osseuse.** L'ostéoporose s'accompagne en effet d'une susceptibilité accrue aux fractures.

Précisément en raison des effets qu'elle a sur les patients ostéoporotiques, la vibration mécanique est également (et surtout) applicable avec des résultats étonnants aux patients souffrant de fractures des membres supérieurs et inférieurs. La vibration, en effet, induit une accélération de la croissance osseuse qui permet de souder l'os fracturé en un temps extrêmement court par rapport à la normale, avec des avantages clinicoéconomiques évidents, avant tout pour le patient, mais aussi pour le Service national de santé. Il convient de noter que l'incidence des fractures de la hanche dues à des chutes simples, atteint dans la population



personnes âgées, des chiffres de l'ordre de 90%, sans tenir compte des fractures dites de la hanche causées<sup>29</sup>

par la réduction osseuse due à l'ostéoporose seule, de sorte que la vibration dans ce cas est d'une importance et d'une utilité extrêmes <sup>36</sup>.



## 7.4 LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LES PERSONNES ÂGÉES

Chez les sujets âgés, les mécanorécepteurs situés au niveau des ostéoblastes, qui répondent normalement à une augmentation des forces appliquées, diminuent leur réponse pour une même charge globale ; ainsi, l'activité ostéoblastique se désolidarise progressivement de l'activité ostéoclastique, induisant ainsi une cascade de phénomènes physiologiques qui aboutissent à une perte plus ou moins importante de la masse osseuse.

En outre, chacun sait que le processus de vieillissement entraîne une sédentarisation progressive du mode de vie du sujet, ainsi que **diverses maladies**, dont (comme mentionné précédemment) l'**ostéoporose**.

La capacité du VMr à agir sur le contrôle de la co-contraction a suggéré deux domaines d'intervention apparemment opposés, mais ayant en réalité un dénominateur commun, l'altération du contrôle articulaire : l'**instabilité des personnes âgées et les tableaux neurologiques caractérisés par la spasticité**.

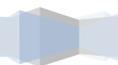
Le mauvais contrôle articulaire dans la spasticité se manifeste essentiellement par le déséquilibre entre agonistes et antagonistes et par la dyssynergie. **Chez les personnes âgées, le mauvais contrôle des articulations joue certainement un rôle important dans la perte de stabilité et la diminution de la force**. La perte de stabilité, en particulier, revêt une importance considérable, car **le problème des chutes représente un coût social énorme** : les **fractures du fémur** qui en résultent entraînent à elles seules plus d'**un milliard d'euros** par an de coûts directs et indirects et le **décès de plus de 16 000 personnes de plus de 65 ans par an**. De plus, le tableau de l'instabilité des personnes âgées est un cercle vicieux typique que les chutes accélèrent. La personne se sent en effet faible et instable, elle réduit donc son activité physique et aussi ses activités quotidiennes. Cette réduction accentue la fatigue et l'instabilité, et le cercle se referme.

Pendant longtemps, on a tenté de compenser ce déficit en essayant d'augmenter la force du sujet par des entraînements même à fort impact, ce qui est toutefois difficilement acceptable pour les sujets âgés. Plus récemment, cependant, des preuves ont été apportées du rôle que jouent les co-contractions chez les personnes âgées et de la perte de contrôle proprioceptif qui se développe. En effet, **la perte de contrôle (donc ceci plus que la perte de force) pousse les personnes âgées à se raidir, en faisant davantage appel aux co-contractions** <sup>37</sup>. **On peut dire, paradoxalement, que la personne âgée se tient debout avec force plutôt qu'avec équilibre**.

La première étude sur les effets du traitement par le rMV sur les personnes âgées a été réalisée à l'université de Pérouse, en collaboration avec l'université catholique et l'université Sapienza de

Rome.

De même, dans cette étude présentée sous forme préliminaire en 2004<sup>38</sup> et actuellement en cours d'examen à Eur J Appl Physiol, menée en double aveugle et utilisant à la fois le rMV et un



fausse stimulation, les **quadriceps de femmes de plus de 60 ans ont été stimulés**. Les patients **n'ont reçu qu'un seul traitement par VMR** et aucun d'entre eux n'a participé à des programmes d'activité physique avant le traitement et pendant la période d'étude (90 jours).

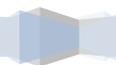
Encore une fois, 24 heures après la fin du traitement, les indices analysés (puissance au saut et balancement du corps en posture monopodale) étaient significativement améliorés, et **au cours des 90 jours suivants, l'amélioration s'est accentuée, atteignant et maintenant jusqu'au 90ème jour de l'étude une augmentation d'environ 35% de la puissance des jambes et d'environ 40% de la stabilité**.

Le maintien prolongé des résultats dans ce cas a été attribué à la consolidation des effets plastiques par l'augmentation spontanée des activités quotidiennes simples. **Les participants à l'étude, traités par rMV** (dans les deux autres groupes, aucun effet n'a été observé), bien que n'effectuant aucun entraînement spécifique, **ont tous déclaré se déplacer avec moins de fatigue et plus facilement au cours de la journée, pour faire les courses, le ménage, monter les escaliers, etc.** Le tableau suggère que le VMR a brisé le cercle vicieux décrit, favorisant l'augmentation et le maintien par consolidation des effets plastiques.

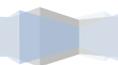
Cette étude a non seulement confirmé les hypothèses formulées par Marconi et ses collaborateurs, mais a également révélé une **augmentation marquée de la puissance des jambes**. Ce dernier résultat peut s'expliquer par une meilleure stabilité articulaire et une diminution des co-contractions, mais la question s'est posée de savoir si un meilleur **recrutement des unités motrices** pouvait également être présent.

**Cette dernière hypothèse a d'ailleurs été confirmée** par une nouvelle étude sur la SMT, toujours menée par le groupe du Dr Marconi et actuellement en cours de rédaction.

Les sujets de plus de 65 ans soumis à la VMR montrent une importante réduction du seuil dans les populations neuronales contrôlant le Quadriceps, parallèlement à une augmentation de l'inhibition intracorticale et de la facilitation réciproque des fléchisseurs de la jambe. L'amélioration de ces trois paramètres, qui s'aggravent typiquement avec l'âge, et leur amélioration persistante pendant au moins un mois (chez les sujets âgés, la TMS est très inconfortable et peu de tests peuvent être effectués), témoignent d'une contre-action du rMV contre la détérioration motrice typique du vieillissement. En même temps, il est prouvé que cette détérioration n'est en aucun cas irréversible et, au contraire, qu'il existe des réserves plastiques considérables même dans le système



nerveux central des sujets âgés.



## 7.5 L'OBÉSITÉ ET L'

## LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR OSTÉOPOROSE

Les études les plus récentes menées par le professeur C. Rubin (2009) nous apprennent comment les **signaux mécaniques de** faible magnitude (LMMS) sont capables de **supprimer la croissance de la graisse sous-cutanée et viscérale**, tout en favorisant la **régénération osseuse**. Ces processus ont lieu grâce à la **stimulation** directe par des signaux mécaniques **des cellules souches mésenchymateuses pluripotentes (CSM)**, qui sont des cellules immatures ayant la capacité de s'auto-renouveler et de se différencier continuellement en cellules spécifiques à un tissu. **En effet, l'ostéoblastogenèse et l'adipogenèse**, qui conduisent à la **formation d'ostéoblastes et d'adipocytes respectivement, proviennent de ces cellules**, parmi de nombreuses autres voies de différenciation.

La stimulation mécanique des CSM active l'ostéoblastogenèse de manière directement proportionnelle et l'adipogenèse de manière indirectement proportionnelle par l'activation des facteurs de transcription Runx2, pour les ostéoblastes, qui favorise la différenciation, et du facteur PPAR $\gamma$ , pour les adipocytes, qui la supprime. **Ainsi, cette méthode peut représenter une stratégie sûre, non invasive et non pharmacologique pour prévenir l'obésité et même l'ostéoporose** <sup>39</sup>.

C'est précisément en ce qui concerne cette dernière pathologie qu'une étude (Foti C, Annino G, Bosco C et al., 2009)<sup>40</sup> a été récemment réalisée sur un groupe de femmes ostéoporotiques pour montrer les effets positifs induits par un traitement vibratoire combiné à une activité physique. Cette étude a porté sur 26 femmes âgées de 63 ans, souffrant de cette pathologie. Ils ont été divisés en deux groupes, un groupe témoin et un groupe expérimental. Tous ont été soumis à un programme d'entraînement d'une heure, trois fois par semaine pendant 4 mois, et seul le groupe expérimental a été soumis à des vibrations de faible intensité à une fréquence de 30 Hz après l'entraînement. À la fin de l'étude, le groupe expérimental a montré une augmentation de la densité osseuse, tandis que dans le groupe témoin, il n'y a pas eu de changements significatifs. Il a ainsi été démontré que **cette méthode**, associée à l'activité physique, **représente une intervention forte, non invasive et la seule intervention non pharmacologique pour le traitement de l'ostéoporose**.

## 7.6 LES EFFETS DES VIBRATIONS DANS LA THÉRAPIE DE LA DOULEUR

32

L'effet analgésique des vibrations repose sur la théorie du "contrôle de la marche", déjà énoncée par Melzack et Wall en 1965, sur laquelle repose la justification scientifique des courants TENS (stimulation électrique transcutanée des nerfs). Exactement comme dans le cas de l'utilisation

de TENS, il serait également démontré que les vibrations produisent une sorte de "barrage" afférent le long des fibres myélinisées de type Ia, d'une intensité telle qu'elle pourrait être définie comme un véritable effet de "ligne occupée" <sup>41</sup>.

Tant d'un point de vue clinique qu'expérimental, il semble justifié d'affirmer que la vibration a un effet neurophysiologique, mais seulement segmentaire. Cette affirmation est étayée à la fois par la rapidité avec laquelle l'effet analgésique est enregistré et par son déclin tout aussi rapide, facteurs qui témoigneraient de l'inhibition segmentaire spinale "pure", exercée par les vibrations, sur les afférences Ia, en ce qui concerne la transmission de l'entrée nociceptive <sup>42</sup>.

Les vibrations, l'utilisation du chaud et du froid et les courants électriques sont, dans la littérature, les méthodes les plus fréquemment citées comme moyens de stimulation périphérique à des fins antalgiques <sup>43</sup>, bien que les vibrations, parmi celles-ci, semblent être la méthode la moins utilisée. Dans la bibliographie, il est possible de voir comment les vibrations ont été essentiellement utilisées, à des fins antalgiques, pour les douleurs d'origine céphalique <sup>44</sup>, dans les douleurs musculo-squelettiques <sup>45 46 47</sup>, dans certaines pathologies douloureuses d'origine neurogène et dans les lombalgies <sup>48 49</sup>.

Les temps d'application des vibrations utilisées à des fins antalgiques varient, selon les différents protocoles de travail expérimental, de 5 à 30 minutes, tandis que la valeur de fréquence généralement considérée comme la plus efficace à cette fin se situe autour de 100 Hz. D'une manière générale, la technique d'application prévoit que la vibration soit effectuée de manière homolatérale, sur le dermatomère sur lequel est enregistré le site de la douleur, en appliquant une certaine pression avec l'équipement vibratoire. Après 5 minutes d'application vibratoire, la douleur disparaît ou, du moins, s'atténue sensiblement, pour ne réapparaître que 5 à 10 minutes après la fin de l'application. A l'inverse, si l'application vibratoire dure 30 minutes, l'effet antalgique peut persister jusqu'à 5 heures <sup>50 51</sup>. Il **est également intéressant de noter comment, dans les lombalgies d'intensité moyenne** et non associées à une compression radiculaire, **l'application de vibrations à une fréquence de 100 Hz et une amplitude de 1,5 mm, au moyen d'un cylindre vibrant positionné sur le tendon d'Achille, est capable de réduire drastiquement, et en peu de temps, l'intensité de la douleur**<sup>52</sup>.

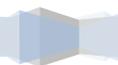
## 7.7 LES EFFETS DES VIBRATIONS SUR LA CIRCULATION SANGUINE

L'application de vibrations mécaniques sur le corps produit également une **augmentation de la circulation sanguine**, avec une augmentation de la vitesse moyenne du flux sanguin et une baisse considérable de l'indice de résistance, mesuré par des examens Doppler.

Cependant, comme aucune augmentation de la vitesse maximale n'a été constatée dans le vaisseau individuel, il est possible que l'augmentation de la vitesse moyenne soit due à la dilatation des petits vaisseaux sanguins, réduisant ainsi la résistance périphérique.

**Cette augmentation de la circulation sanguine a un effet bénéfique sur le métabolisme, l'apport d'oxygène aux tissus et contribue à faire baisser la pression artérielle.**

**Les vibrations sont donc particulièrement indiquées en cas de troubles circulatoires tels que l'artériosclérose ou un mauvais drainage lymphatique.**



## Chapitre 8

Le rapport du Congrès du 13 décembre 2008 est paru sur 'Paginemediche.it'.

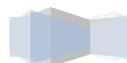
### LES VIBRATIONS MÉCANIQUES SIMPLES ET RÉPÉTÉES AUGMENTENT LES FONCTIONS CÉRÉBRALES ET AMÉLIORENT LE CONTRÔLE DES MUSCLES ET DES ARTICULATIONS <sup>53</sup>

De nouveaux résultats encourageants d'une procédure appelée "rMN" (Repeated Muscle Vibration), obtenus dans les domaines de la neurologie, de l'orthopédie, de la stabilité chez les personnes âgées et de la récupération de la fatigue chez les sujets sains, sont publiés dans le numéro de décembre du Journal of Neurological Science. Les études ont été menées par des chercheurs de l'Institut de physiologie humaine de l'Université catholique de Rome, en collaboration avec la Fondation Santa Lucia et l'EBRI, l'Université de Pérouse et l'Université La Sapienza de Rome.

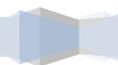
Les fondements physiologiques et les résultats de la procédure ont été présentés lors du séminaire scientifique intitulé "Stimulation proprioceptive, contrôle et rééducation motrice". Nouvelles preuves cliniques et corrélats neurophysiologiques", qui a eu lieu le samedi 13 décembre 2008 à la Polyclinique Universitaire Agostino Gemelli, promue par le physiologiste catholique Guido Maria Filippi. Parmi les intervenants figuraient le professeur Vito Enrico Pettorossi (Institut de physiologie humaine, Université de Pérouse), le docteur Filippo Camerota (Institut de médecine physique et de réadaptation, Université La Sapienza de Rome) et le docteur Diego Ricciardi (Département des sciences gériatriques et gériatriques - Policlinico Gemelli, Rome).

Le protocole est basé sur un instrument spécifique, qui développe une séquence de signaux mécaniques de très faible amplitude, qui sont lus par des capteurs nerveux spécifiques dans les muscles et envoyés au système nerveux central. Ce qui semble être une petite vibration mécanique est en fait un code capable de reprogrammer certaines zones du système nerveux. Cette procédure est la première à agir de manière simple, non invasive et persistante sur les contrôles nerveux des muscles. Cette stimulation, grâce à des études menées par le Dr Barbara Marconi (Fondation Santa Lucia et EBRI) et le professeur Guido M. Filippi (Université catholique), est capable de modifier la fonction de zones corticales spécifiques de l'organisme. le contrôle moteur, en activant des mécanismes capables de favoriser une nette amélioration de

35  
les fonctions motrices.



Ces résultats (maintenant publiés dans le Journal of Neurological Sciences) ont été observés par l'équipe de l



les chercheurs Marconi et Filippi chez des sujets sains, chez des patients souffrant de séquelles chroniques d'un accident vasculaire cérébral (spasticité), même des années après la blessure et chez des sujets de plus de 70 ans. Il s'agit de la première preuve expérimentale de l'existence d'une telle possibilité, qui, en outre, peut être obtenue par une procédure simple, non invasive et essentiellement dépourvue d'effets secondaires. La procédure basée sur des micro-vibrations localisées, à laquelle les chercheurs ont donné le nom de "rMV", Repeated Muscle Vibration, a été mise au point par le professeur Filippi, enseignant à l'Institut de physiologie humaine de l'Université catholique de Rome. L'application de séquences particulières de micro-vibrations mécaniques sur certains muscles du corps est capable d'augmenter les fonctions de certaines zones du cerveau, améliorant ainsi la fonction musculaire.

### **Le protocole**

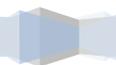
Cette procédure, très simple à réaliser (le protocole consiste à appliquer les micro-vibrations 3 fois par jour, 10 minutes chaque fois, pendant 3 jours consécutifs sur les différents muscles sur lesquels on souhaite agir), s'est révélée capable de produire des effets positifs et surprenants dans un très large éventail de situations : dans le domaine neurologique, dans la rééducation post-AVC et la spasticité et la flaccidité, dans le contrôle de la fatigue et de la douleur et de la force chez les personnes âgées à risque de chute, et dans les pathologies orthopédiques.

Ce renforcement est "à long terme", car après quelques minutes de stimulation, il est maintenu pendant des semaines et des mois. L'utilisation ultérieure de cette amélioration (physiothérapie, entraînement) consolide, renforce et maintient les effets pendant des mois, voire de nombreux mois dans certaines situations.

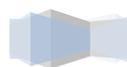
### **Résultats en neurologie, orthopédie, chez les personnes âgées et les sujets sains**

Plus précisément, dans le domaine neurologique, sur la base des données actuellement disponibles, il a été démontré que le rMV permet d'augmenter le contrôle moteur de ce qui reste d'une lésion neurologique chez les sujets qui ont conservé une motilité volontaire résiduelle, même minime. Les améliorations chez les sujets présentant des formes spastiques (suite à un accident vasculaire cérébral, un traumatisme), mais avec des mouvements volontaires résiduels, sont également significatives.

Dans le domaine orthopédique, la procédure s'est avérée très efficace dans les situations où l'immobilisation, les suites d'opérations ou les douleurs articulaires entraînent une mauvaise utilisation des muscles. Par exemple, des études préliminaires menées au Policlinico Gemelli de Rome ont montré que la réduction de la douleur chez les patients souffrant d'arthrose grave pouvait atteindre 50 % deux semaines seulement après le traitement.



Dans les études menées jusqu'à présent par les chercheurs de la Cattolica, en collaboration avec des collègues de l'Université de Pérouse (Prof. Enrico Pettorossi) et de l'Université La Sapienza de Rome, le traitement du VrM axé sur le quadriceps a permis, chez les personnes âgées, d'obtenir les résultats suivants



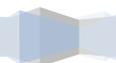
collaboration avec la municipalité de Rome, une augmentation de la puissance de 70-75% et une stabilité de 30-35%. En particulier, une étude menée sur 200 personnes de plus de 65 ans dans les centres pour personnes âgées de Rome a montré une diminution du risque de chute chez 83 % des sujets et un retour à la normale chez 89 % d'entre eux. Cependant, l'amélioration des performances musculaires n'est pas limitée aux sujets pathologiques ou débilisés, mais peut être étendue aux sujets sains ou aux sportifs. Le traitement par rMN a montré une augmentation de l'endurance à la fatigue de plus de 40 % et une augmentation de la force explosive de 27 % chez de jeunes individus qui n'avaient suivi aucune forme d'entraînement dans les mois précédant l'étude et pendant celle-ci.

*"Aussi étendue que puisse paraître l'applicabilité de la procédure et aussi surprenante que soit l'ampleur de ses effets", explique le physiologiste Filippi de la Cattolica, "il faut se rappeler que, comme le montrent les études réalisées en collaboration entre l'EBRI et la Cattolica di Roma, la procédure renforce les réseaux nerveux et les mécanismes qui régulent le contrôle musculaire, en minimisant les contractions inutiles (présentes dans la spasticité, chez les personnes âgées qui ont peur de tomber, chez les sujets qui n'ont pas acquis un fluidité " du geste athlétique), favorisant le recrutement des fibres musculaires (absent chez les sédentaires par habitude ou contrainte thérapeutique). Il s'agit donc d'une action directe et ciblée sur des réseaux nerveux sélectionnés, qui jouent un rôle primordial dans le contrôle et la coordination de chacun de nos mouvements". Afin d'éviter tout faux espoir, prévient M. Filippi, il faut préciser que le traitement ne peut ni faire de miracles ni remplacer la rééducation traditionnelle. Le VMR ouvre des portes nouvelles et importantes à la physiothérapie, qui doit donc intervenir de manière spécialisée et adaptée à chaque patient".*

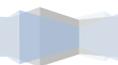
*"Améliorer le fonctionnement de certaines zones du cerveau signifie améliorer les performances de nos moteurs que sont les muscles en termes de force, de résistance à la fatigue et de coordination. En particulier, la mauvaise coordination s'exprime par la spasticité, les déchirures musculaires, le mauvais fonctionnement des articulations, d'où la douleur, l'arthrite et l'arthrose. Agir sur la coordination, c'est donc agir sur la qualité de vie", explique le physiologiste Filippi.*

La vibration rMN a des paramètres stricts : l'application de la micro-vibration 3 fois par jour, 10 minutes chaque fois, pendant 3 jours consécutifs sur les différents muscles sur lesquels vous souhaitez agir, avec une fréquence de 100 cycles par seconde. L'instrument permet de produire cette vibration et, surtout, de la délivrer aux muscles telle quelle, sans distorsion excessive.

*Cette vibration localisée des muscles individuels, ajoute M. Filippi, est un stimulus léger mais puissant pour les centaines de capteurs nerveux des muscles. Ceux-ci "lisent" les 100 cycles par seconde et les envoie aux centres nerveux qui contrôlent le muscle traité. La fréquence utilisée 37 constitue un "code" pour ces centres, ce qui a pour effet d'améliorer les réseaux de contrôle*



*nerveux. Le système nerveux central devient "meilleur" pour contrôler et coordonner les faisceaux de muscles.*



## BIBLIOGRAPHIE

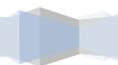
---

- <sup>1</sup> Mountcastle V.B., Rose J. : Touch and kinesthesia in neurophysiology. Dans : Magoun H.W.. (Ed). Manuel de physiologie. Société américaine de physiologie. Vol 1 : 387-430, 1959.
- <sup>2</sup> Hagbarth K.E. : L'effet de la vibration musculaire chez l'homme normal et chez les patients atteints de maladies motrices. Dans : New Developments in Electromyography and Clinical Neurophysiology. Desmet J.E. Ed. pp 428-443. Karger, Bâle, 1973.
- <sup>3</sup> Johansson R.S., Valbo A.B. : Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. Trends in Neurosis. 6 : 27-32, 1983.
- <sup>4</sup> Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J. : Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Périodicité neuronale et discrimination de fréquence. J Neurophysiol. 32 : 452- 484, 1969.
- <sup>5</sup> Cosh J.A. : Études sur la nature du sens vibratoire. Clin Sci. 12 : 131-151, 1953.
- <sup>6</sup> Cauna N., Mannan G. : The structure of human digital Pacinian corpuscles and its functional significance. J Anat (Londres). 92 : 1-20, 1958.
- <sup>7</sup> La Motte R.H., Mountcastle V.B. : Capacités des humains et des singes à discriminer entre des stimuli vibratoires de fréquence et d'amplitude différentes : corrélation entre les événements neuronaux et les événements psychophysiques. J Neurophysiol. 38:593-559, 1975.
- <sup>8</sup> Mountcastle V.B., Talbot W.H., Sakata H., Hyvarinen J. : Cortical neuronal mechanism in flutter-vibration studied in unanesthetized monkeys. Périodicité neuronale et discrimination de fréquence. J Neurophysiol. 32 : 452- 484, 1969.
- <sup>9</sup> Loewenstein W.R., Skalak R. : Transmission mécanique dans un Pacinian corpuscle. Une analyse et une théorie. J Physiol. 182 : 346-37, 1966.
- <sup>10</sup> Rosenkranz K, Rothwell JC. J Physiol 2003 ; 551.2:649-660 ; **Rosenkranz K, Rothwell JC.** J Physiol 2004 ; 561:307-320.
- <sup>11</sup> Effets de la stimulation mécanique des propriocepteurs chez les femmes ostéoporotiques ménopausées. Congrès national SINFER 21-23 septembre 2004 CHIETI ; Effet de l'activation proprioceptive vibrante sur la posture des patients après une reconstruction du LCA. Assisi 8ème interne. Conf. Orthopédie, Biomécanique, Réhabilitation du Sport 19-21 Nov 2004 ; Persistance des effets de la stimulation mécanique sur le contrôle et l'efficacité musculaire. 35° Congrès National S.F.M.K.S 3-4-5 Juin 2005 saint-Tropez - France ; Traitement par énergie vibratoire chez les patients atteints de paralysie cérébrale infantile SIMFER Catania 2005.
- <sup>12</sup> Luu Y. K., Pessin J. E., Judex S., Rubin J., Rubin T.C. - Mechanical signals as a non-invasive means to influence mesenchymal stem cell fate, promoting bone and suppressing the fat phenotype. IBMS Bone KEY 6(4):132-149, 2009.
- <sup>13</sup> Bosco C., Colli R., Intorini E., Cardinale M., Tsarpela O., Madella A., Tihanyi J., Viru A. - Réponses adaptatives du muscle squelettique humain à l'exposition aux vibrations. Physiologie clinique 19.2:183-187, 1999.
- <sup>14</sup> Gian Nicola Bisciotti - Faculté des Sciences du Sport, Université de Lyon (France) ; Ecole Universitaire Interfacultaire des Sciences du Sport, Turin (Italie) ; Entraîneur sportif du F.C. Internazionale (Italie) - 'L'application des vibrations dans la médecine de réhabilitation (New Athletic Research in Science Sport) 2007'.
- <sup>15</sup> G.M. Filippi, F. Camerota, V.M. Saraceni - Article "Vibrations mécaniques et rééducation motrice".



Une nouvelle opportunité' - Sci Riabilitaz 2007 ; 8(2) : 55-61.

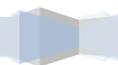
<sup>16</sup> Bianconi R. et van der Meulen J. J. Neurophysiol. 1963 ; 26:177-90 ; . Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. J. Physiol. 1967;192;773-800 ; Matthews PBC. Edward Arnold, Londres ; 1972.



- 
- <sup>17</sup> Rosenkranz K, Rothwell JC *J Physiol* 2003;551 : 649-660 ; Rosenkranz K, Rothwell JC. *J Physiol.* 2004;561 : 307-320.
- <sup>18</sup> Rosenkranz K, Rothwell JC. *J. Physiol.* 2004;561:307-320
- <sup>19</sup> Heath CJ, Hore J et Phillips CG... *J Physiol* 1976;257:199-227 ; Hore J, Preston JB & Cheney PD. *J Neurophysiol* 1976;39:484-500 ; Jones EG & Porter R. *Brain Res Rev*, 1980;203:1-43
- <sup>20</sup> Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- <sup>21</sup> Brunetti O, Filippi GM, Liti A, Panichi R, Roscini M, Pettorossi VE. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2006;14:1180-1187 ;
- <sup>22</sup> Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- <sup>23</sup> Litta-Modignani R, Blivaiss Bb, Magid Eb, Priede I. *Aerosp Med.* 1964;35:662-7.
- <sup>24</sup> Matthews PBC. Edward Arnold, Londres ; 1972
- <sup>25</sup> Jami L, Petit J. *Exp Brain Res.* 1976 Mar 15;24(5):485-93
- <sup>26</sup> Brown MC, Engberg I, Matthews PBC. *J. Physiol.* 1967;192;773-800.
- <sup>27</sup> R. et van der Meulen J. *J. Neurophysiol.* 1963 ; 26:177-90 ; Matthews PBC. Edward Arnold, Londres ; 1972.
- <sup>28</sup> Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87
- <sup>29</sup> Marconi B, Filippi GM, Koch G, Pecchioli C, Salerno S, Don R, Camerota F, Saraceni VM, Caltagirone C. *J Neurol Sci* 2008;275:51-59
- <sup>30</sup> Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- <sup>31</sup> Fattorini L, Ferraresi A, Rodio A, Azzena GB, Filippi GM. *Eur J Appl Physiol* 2006;98:79-87.
- <sup>32</sup> Runge M., Rehfeld G., Resnicek E. - Balance training and exercise in geriatric patients. *J Musculoskel Interact* 1 : 54-58, 2000.
- <sup>33</sup> Cormie P, Deane RS, Triplett NT, McBride JM - Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *J Strength Cond Res.* 2006 May;20(2):257-61.
- <sup>34</sup> Bisciotti G. N. - Aspects neurophysiologiques et applications de l'entraînement vibratoire, Ph. D. Centre de recherche pour l'innovation scientifique de la Faculté des sciences du sport de l'Université Claude Bernard de Lyon (F), 2005.
- <sup>35</sup> Chestnut C.H. - Masse osseuse et exercice (revue). *Amer J of Med* 95(5A):345-365, 1993.
- <sup>36</sup> Gutin B., Kasper M.J. - L'exercice vigoureux peut-il jouer un rôle dans la prévention de l'ostéoporose ? (revue). *Osteop Int* 2:55-69, 1992.
- <sup>37</sup> Hortobágyi T, del Olmo MF, Rothwell JC *Exp Brain Res* 2006;171:22-329
- <sup>38</sup> Brunetti, Scarponi, Roscini, Mannarino Pettorossi, Azzena GB, Filippi GM. SIMFER 2004.
- <sup>39</sup> Bisciotti G. N. - Activité physique et ostéoporose, Nouvelle recherche athlétique en sciences du sport.195, 2006
- <sup>40</sup> Foti C., Annino G., D'Ottavio S., Masala S., Sensi F., Tsarpela O., Tranquilli C., Bosco C. - L'effet des vibrations du corps entier à basse fréquence et à haute magnitude chez les femmes ostéoporotiques physiquement actives : une étude pilote. *Med Sport*, 2008.
- <sup>41</sup> Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E. : Analgesic effect of vibration and cooling an pain induced by intraneural electrical stimulation. *La douleur.* 18 : 239-28, 1984.
- <sup>42</sup> Ottoson D., Ekblom A., Hansson P. : Stimulus vibratoire pour le soulagement de la douleur d'origine dentaire. *La douleur.* 10 : 36-39



45, 1981.



- 
- <sup>43</sup> Procacci P., Maresca M. : Traitements de la douleur par les stimulations périphériques. Dans : Abdelmoumène M., Cambier J., Ctchlove R., Cosyns P., Jacob M., Maresca M., Meyerson B.A., Michaud G. Procacci P. : La douleur. Masson (Eds), Paris. 59-70, 1979.
- <sup>44</sup> Lunderberg T., Ottoson D., Hakansson S., Meyersson B.A. : stimulation vibratoire pour le contrôle de la douleur orofaciale chronique rebelle. Dans : Bonica J.J., Lindbloom U., Iggo A. : Advances in pain research and therapy. Vol 5. Raven Press (Eds). New York. 555-561, 1983.
- <sup>45</sup> Lunderberg T. : L'effet antidouleur de la stimulation vibratoire et de la stimulation électrique transcutanée des nerfs (TENS) par rapport à l'aspirine. Brain Res. 284 : 201-209, 1984.
- <sup>46</sup> Lunderberg T., Abrahamsson P., Bonesson L., Haker E. : Vibratory stimulation compared to placebo in alleviation of pain. Scand J Rehab Med. 19 : 153-158, 1987.
- <sup>47</sup> Lunderberg T., Nordemar T., Ottoson D. : Soulagement de la douleur par stimulation vibratoire. La douleur. 20 : 25-44, 1984.
- <sup>48</sup> Casale R., Giordan A., Tiengo M. : Spinal nociceptive reflex responses. Variation de la réponse réflexe nociceptive. Rall et douleur lomboscialgique induite par TENS et vibration. Minerva Anest. 51 : 217-229, 1985.
- <sup>49</sup> Casale R., Tiengo M. : Réflexe de retrait de flexion : un lien entre douleur et motricité. Dans : Tiengo M et al. Advances in pain research and therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), New York. 77-83, 1987.
- <sup>50</sup> Kemppainen P. : Modification du seuil de douleur dentaire chez l'homme par le conditionnement d'une stimulation vibrotactile à haute fréquence. Arch Oral Biol. 10 : 959-962, 1983.
- <sup>51</sup> Bini G., Cruccu G., Hagbarth K.E., Schady W., Torebjork E. : Analgesic effect of vibration and cooling on pain induced by intraneural electrical stimulation. La douleur. 18 : 239-28, 1984.
- <sup>52</sup> Casale R., Tiengo M. : Réflexe de retrait de flexion : un lien entre douleur et motricité. Dans : Tiengo M et al. Advances in pain research and therapy. Vol. 10. Raven Press (Eds), New York. 77-83, 1987.
- <sup>53</sup> Policlinico Gemelli, Articolo publié le 15 décembre 2008 sur [Paginemediche.it](http://Paginemediche.it) news

