

Rééducation Proprioceptive par Vibration Tendineuse

JEAN-PIERRE ROLL
PROFESSEUR DE NEUROSCIENCES
UNIVERSITÉ DE PROVENCE /
CNRS MARSEILLE

Elaborée dans les années 80-90 avec le concours actif d'Henri Neiger*, la méthode de Rééducation Proprioceptive par Vibration Tendineuse s'est considérablement développée ces dernières années en raison d'abord des avancées de la Recherche fondamentale qui a révélé ses fondements physiologiques, ensuite de la validation clinique de ses applications dans la Rééducation du Mouvement et l'Antalgie, enfin de progrès Technologiques et méthodologiques décisifs facilitant sa mise en œuvre par le praticien de rééducation. Ces trois points seront développés dans la perspective d'une utilisation pratique par le kinésithérapeute de cette méthode rééducative seule, ou en appoint des méthodes conventionnelles.

I - Bases neurophysiologiques de la méthode de rééducation proprioceptive par vibration tendineuse

1 → L'innervation sensitive de l'appareil moteur

L'appareil moteur dans sa totalité est richement innervé au plan sensoriel qu'il s'agisse des muscles, des tendons et ligaments ou des articulations. Il s'agit principalement de **mécanorécepteurs** sensibles à l'état et aux changements d'état des tissus qui les contiennent. Les informations qui en sont issues, conjointement à celles provenant de la peau, alimentent des boucles sensori-motrices distribuées à tous les niveaux du névraxe et se projettent au **niveau cortical** où elles sont à la base de nos **représentations motrices**.

Ces informations sensorielles multiples, à la base du sens du mouvement et des postures corporelles, contribuent à la

programmation centrale de nos actions et à la mise en place et l'actualisation de la mémoire motrice.

Il est aujourd'hui établi que les diverses catégories de mécanorécepteurs assurent des fonctions distinctes et fonctionnellement complémentaires. Brièvement : les **récepteurs articulaires** ont pour principale mission de « **protéger** » les articulations dans leurs plages extrêmes de fonctionnement.

Les **récepteurs tendineux** de **golgi** codent les forces actives et passives auxquelles sont soumis les tendons et contribuent à l'élaboration du « **sens de l'effort** ».

Les **récepteurs musculaires**, quant à eux, codent avec une précision extrême les positions articulaires et les mouvements et sont à la base de la **kinesthésie** ou **sens du mouvement**.

Ils délivrent à chaque instant au Système Nerveux Central le « compte rendu » de chaque action que nous exécutons en terme de direction et de vitesse. Véritables « **signatures sensorielles** » de chacun de nos actes, ces messages peuvent être comparés à des « **codes-barres neurosensoriels** » particuliers à chacun de nos actes moteurs (*figure 1*).

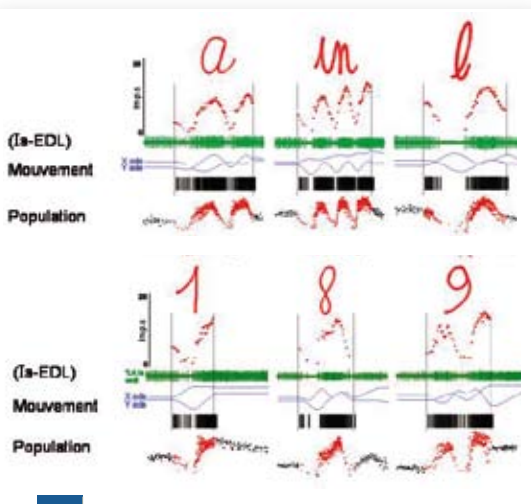


Figure 1 : « Signatures Sensorielles » de divers mouvements (ex. de mouvements d'écriture).
De haut en bas : Trajectoires des Mouvements, Courbes de Fréquences Instantanées, Messages proprioceptifs (Fibre Ia), Coordonnées X et Y en fonction du temps, « Codes-Barres Neurosensoriels », Courbes de fréquences Instantanées superposées pour une population de sujets. (Roll et al., 2004)

Rééducation Proprioceptive

par Vibration Tendineuse

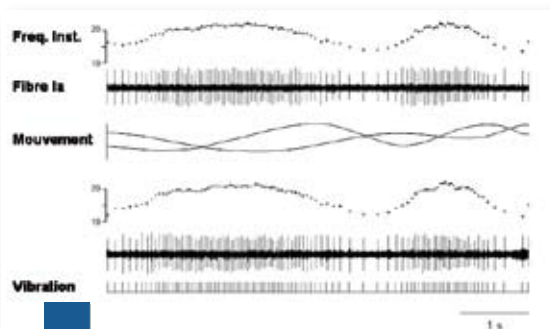


Figure 2 : La vibration tendineuse : « Leurre Neurosensoriel parfait ».

En haut : Message proprioceptif émis par un mécanorécepteur musculaire au cours d'un mouvement réel.

En bas : Une vibration dont la fréquence est identique à celle du message sensitif enregistré au cours du mouvement ci-dessus, évoque en l'absence de mouvement strictement le même message neurosensoriel. (Albert et al., 2006)

2 → Sensibilité aux vibrations mécaniques des mécanorécepteurs proprioceptifs musculaires

Grâce à la méthode **microneurographique** qui permet d'enregistrer chez l'Homme, par microélectrodes intraneurales, l'activité des fibres sensitives issues des mécanorécepteurs musculaires et tactiles, on a pu établir avec certitude **leur sensibilité aux vibrations mécaniques**.

Parmi les récepteurs proprioceptifs, les **fuseaux neuromusculaires**, et notamment leurs terminaisons primaires (fibre Ia), sont les plus sensibles aux micro-étirements générés par des vibrations appliquées sur les tendons des muscles qui les hébergent.

Leur réponse suit linéairement la fréquence de la vibration dans la plage de fréquence 1 à 100 Hz même pour des amplitudes faibles (0.25 à 1 mm pic à pic). La vibration tendineuse active la plupart des récepteurs fusoriaux contenus dans un muscle et génère un **flux proprioceptif massif** simulant celui émis lors d'un **allongement de celui-ci**.

De ce point de vue, le muscle vibré est fonctionnellement dans un statut de **muscle antagoniste passivement allongé** par un mouvement qui serait dû à la contraction des agonistes. De telles propriétés des fuseaux neuromusculaires font que, si l'on module la fréquence de la vibration, la fréquence de réponse des fibres afférentes suit exactement la même modulation. Si cette dernière copie celle de messages proprioceptifs naturels enregistrés par microneurographie au cours de mouvements réels, le système nerveux central reçoit, en l'absence de mouvement, un message **simulant parfaitement** le feedback proprioceptif attendu de l'exécution de celui-ci. En ce sens, le **stimulus vibratoire constitue un « leurre neurosensoriel » quasi parfait**.

La figure 2 qui décrit les messages fusoriaux évoqués par l'exécution d'une trajectoire motrice (ici l'écriture de la lettre e) montre que le même message peut être induit en l'absence de mouvement grâce à la vibration tendineuse.

3 → La vibration tendineuse évoque des sensations conscientes de mouvement.

Chez un sujet **relaxé ayant les yeux fermés**, l'application d'une stimulation vibratoire sur le tendon d'un muscle induit une **sensation illusoire de mouve-**

ment dont la direction est celle d'un mouvement réel qui aurait allongé le muscle vibré. Cette sensation de mouvement est lente (quelques degrés à quelques dizaines de degrés par seconde) et sa vitesse est relativement constante si la fréquence du stimulus est elle-même maintenue constante. Son **contenu perceptif** est proche de celui d'un **mouvement volontaire** (à l'exception de l'intention motrice) et la majorité des sujets expriment le fait que le membre concerné ou le corps entier ont effectivement bougé. De telles sensations illusoire de mouvement peuvent être évoquées au niveau de la plupart des segments corporels et peuvent concerner le corps dans son ensemble lorsque les muscles vibrés appartiennent à la chaîne motrice intervenant dans l'organisation et le **contrôle postural**, du segment céphalique au segment podal.

Ces illusions de mouvement, qui attestent de la contribution des afférences musculaires à la **représentation consciente des mouvements corporels**, peuvent être simples si l'on utilise un seul ou deux vibreurs, ou complexes si plusieurs vibreurs (figure 3) sont placés sur un ensemble de muscles et activés par des patterns de fréquence s'inspirant des patterns naturels d'activation des afférences enregistrées au cours de mouvements plus complexes comme l'écriture ou le dessin.

4 → La vibration tendineuse induit des activités motrices involontaires.

Selon le contexte perceptif, postural ou attentionnel du sujet, la vibration tendineuse peut induire soit **une activation réflexe tonique** du muscle vibré (Tonic Vibration Reflex ou TVR) ou de **ses antagonistes** (Réponse Vibratoire Antagoniste ou RVA).

La TVR correspond à une activation à haute fréquence du classique circuit spinal **myotatique** et se développe en quelques secondes sous la forme d'une contracture réflexe du muscle vibré. Elle se produit notamment lorsque le sujet n'est pas détendu, qu'il regarde le segment de membre mobilisé par le muscle vibré ou dans le cas d'hypertonies pathologiques des muscles vibrés.

La RVA est une réponse motrice, **recherchée en rééducation**, qui se développe dans les muscles **antagonistes** aux

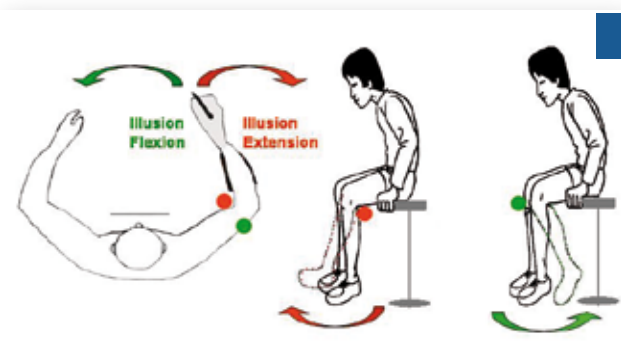


Figure 3 : Sensation Illusoire de Mouvement.

Exemples de sensations illusoire de mouvements induites au niveau de l'avant-bras (à gauche) et de la jambe (à droite) par vibration des groupes musculaires correspondants. Dans tous les cas, le sujet a les yeux fermés et les segments de membres sont maintenus immobiles. (Roll and Roll, 1988)

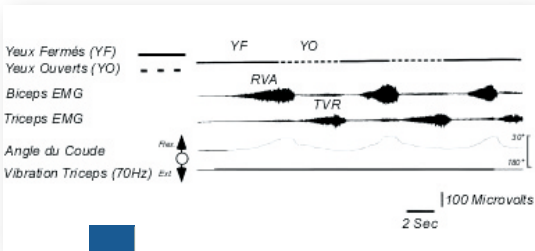


Figure 4 : Effets moteurs de la vibration tendineuse.

Selon que le sujet regarde sa main immobile ou ferme les yeux et ressent une sensation illusoire du mouvement, le muscle vibré (TVR) ou les muscles antagonistes (RVA) sont activés. (Roll et al., 1980)

muscles vibrés. Elle est particulièrement induite lorsque le sujet **ressent une illusion de mouvement** dont elle est un corrélat moteur, c'est-à-dire lorsque le sujet a les yeux fermés et qu'il est relaxé.

Elle résulte d'une **transformation perceptivo-motrice** transitant par l'écorce cérébrale et met en cohérence le mouvement ressenti et l'activation involontaire des muscles qui en assureraient l'exécution (figure 4).

5 → La vibration tendineuse active un réseau cortical proche de celui du mouvement volontaire.

L'imagerie cérébrale fonctionnelle (IRMf) et la Magnétoencéphalographie (MEG) ont permis ces dernières années de décrire avec précision le **réseau cortical activé** lorsque l'on évoque par vibration tendineuse une sensation illusoire de mouvement et ses corrélats moteurs (RVA). Ce réseau inclut, dans le cas d'une vibration des muscles du poignet droit par exemple, quatre régions corticales : le cortex pariétal gauche, les cortex prémoteur et moteur, l'aire motrice supplémentaire et les aires cingulaires antérieures.

Ce motif d'activation cortical est complété par une activation cérébelleuse médiane et il est très **proche** de celui activé lors d'une **activité motrice volontaire** ou d'une **action imaginée** (figure 5).

Considérant cet ensemble de données, issues de la **Recherche Fondamentale**, il devient évident que la **stimulation vibratoire tendineuse constitue un véritable générateur de mouvement** avec toutes ses composantes **neurosensorielle, perceptive et motrice**. C'est donc l'ensemble de ces propriétés qui s'imposent

au rééducateur pour **faciliter, entretenir ou recouvrer une mobilité** déficiente et maintenir l'**image consciente du mouvement**.

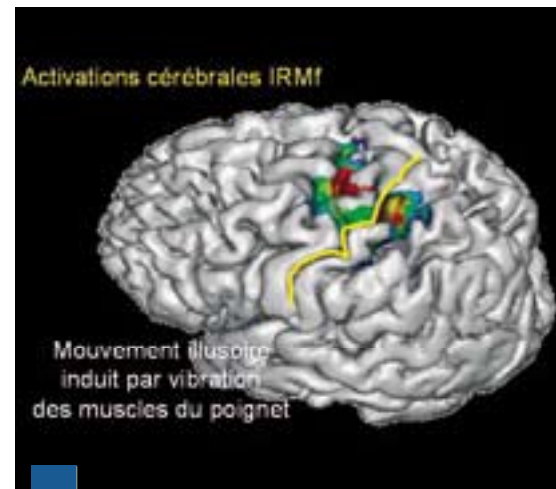


Figure 5 : Réseau cortical activé lors de la perception d'une sensation illusoire de mouvement.

Sont activées les aires pariétales, prémotrices et motrices, l'aire motrice supplémentaire et le cortex cingulaire antérieur (ce dernier n'est pas visible sur la figure). (Romaiguère et al., 2003)



Rééducation Proprioceptive

par Vibration Tendineuse

II - Validation clinique de la méthode de rééducation proprioceptive par vibration tendineuse

L'intérêt clinique des vibrations tendineuses en rééducation a été validé en milieu hospitalier pour diverses indications dans lesquelles le mouvement est soit limité soit empêché. L'idée sous-jacente étant que la réduction pathologique de la mobilité articulaire déafférente partiellement ou totalement le Système Nerveux Central en informations proprioceptives de mouvement et désorganise au niveau cortical à la fois la **représentation imagée du mouvement** et les centres chargés de **sa commande volontaire**.

Le maintien ou le supplément d'afférentation proprioceptive induit par la vibration tendineuse a donc pour but de corriger ou de suppléer les altérations ou la suppression des afférences proprioceptives afin de maintenir l'activité des **boucles sensorimotrices** déficientes, l'**intégrité fonctionnelle des structures cérébrales** et l'**image du mouvement**.

Les indications majeures concernent :

- La rééducation de la **mobilité articulaire** pendant ou suite à une immobilisation thérapeutique totale ou partielle.
- L'**assistance** à la **rééducation du mouvement** lorsque celui-ci est limité et /ou d'exécution douloureuse.
- L'entretien des **schémas moteurs** segmentaires posturaux ou locomoteurs.
- Le maintien ou le recouvrement fonctionnel des **structures corticales de représentation** et de **commande** du mouvement.

Sont alors concernées par la Rééducation Proprioceptive, des pathologies associées à la contention ou à l'**immobilisation partielle ou totale** d'un membre ou du corps entier, certaines **pathologies centrales**, les **algodystrophies**, les **dyskinésies douloureuses** ou non, les diverses formes de **raidement** et d'**ankylose articulaire**. Dans toutes ces pathologies, et si le praticien respecte la méthodologie de mise en œuvre, les stimu-



Figure 6 : Vibration alternée des biceps et triceps brachiaux. « Vibrateurs autonomes ».

La même lanière élastique permet d'appliquer simultanément 2 vibrateurs sur les 2 groupes musculaires antagonistes. Biceps et triceps brachiaux. L'activation de chaque vibrateur est alternée. Le sujet ressent une sensation illusoire d'extension/flexion de l'avant-bras.



Figure 7 : Vibration des tendons distaux du biceps brachial. « Vibrateur autonome ».

Le vibrateur est maintenu sur les tendons distaux du biceps brachial par une lanière élastique réglable. La pression d'appui est modérée. Le sujet ressent une sensation illusoire d'extension de l'avant bras.

lations vibratoires tendineuses permettent **d'accélérer et d'amplifier la mobilité articulaire** et de réduire la durée du traitement tout en améliorant le **confort** du patient. En effet, les vibrations tendineuses, à l'amplitude et aux fréquences définies, sont perçues comme un traitement **agréable et confortable** qui se double **d'effets antalgiques puissants** et durables favorisant le geste thérapeutique. Aucune contre-indication n'a été à ce jour mise en évidence.

III - Méthodologie d'application des vibrations tendineuses en rééducation

Les vibrateurs proprioceptifs actuellement disponibles appartiennent à deux grandes catégories.

- 1 - Vibrateurs **tenus et pilotés manuellement** par le thérapeute pendant la séance de rééducation. Ces derniers délivrent des vibrations dont l'amplitu-

de est constante (entre 0.5 et 1 mm pic à pic) et dont la fréquence est réglable à partir d'un variateur étalonné placé sur le boîtier de commande. Ce type de vibrateur vient en **assistance** à la mobilisation passive lente d'une articulation et permet aussi un traitement antalgique précis au niveau de la main ou des musculatures cervicales ou faciales, par exemple.

- 2 - Vibrateurs **placés à demeure** sur un ou plusieurs tendons musculaires et activés isolément, en alternance ou simultanément par le clinicien ou grâce à une **interface informatique** et de puissance **programmable**. Cette dernière configuration permet un traitement **quasi automatisé** du patient qui reçoit des patterns de vibration « sur mesure » adaptés à une pathologie spécifique. Ce type de vibrateur est tenu en place grâce à des **lanières élastiques** ou est inclus dans un **bandage élastique** adapté aux articulations à traiter (contention souple de cheville, de genou ou d'épaule, par exemple) (figures 6 et 7).



Figure 8 : Vibration des tendons distaux du biceps brachial. « Vibrateur manuel ».

Le vibrateur est tenu en main par le praticien et appliqué avec une pression modérée sur le tendon. Le sujet ressent une sensation illusoire d'extension de l'avant-bras. Elle peut être amplifiée si on accompagne la vibration par un mouvement très lent d'extension du coude.

Dans ce dernier cas, la programmation informatique permet de définir la structure fréquentielle, la durée d'activation de chaque vibreur et le nombre de répétitions souhaitées. Dans tous les cas, et quel que soit le type de vibreur proprioceptif utilisé, les patients devront être, autant que possible, détendus et **relaxés**, se trouver dans un **environnement calme** leur permettant de se concentrer sur leurs sensations de mouvement et garder les **yeux fermés**.

Chaque muscle vibré devra se trouver dans un état **d'allongement modéré** de façon à ce que le stimulus vibratoire appliqué au tendon puisse se transmettre au tissu musculaire (le stimulus est inefficace sur un muscle court et flasque). Cet état de longueur optimal sera obtenu par la **mobilisation passive** de la, ou des articulations concernées, selon que les muscles considérés sont mono ou bi-articulaires.

Par exemple, pour les groupes Biceps et Triceps brachiaux, le coude devra être ouvert à 110-120° pour une vibration optimale du Biceps et fermé à 60-70° pour une vibration appliquée sur le Triceps. Il en va de même pour toutes les articulations traitées.

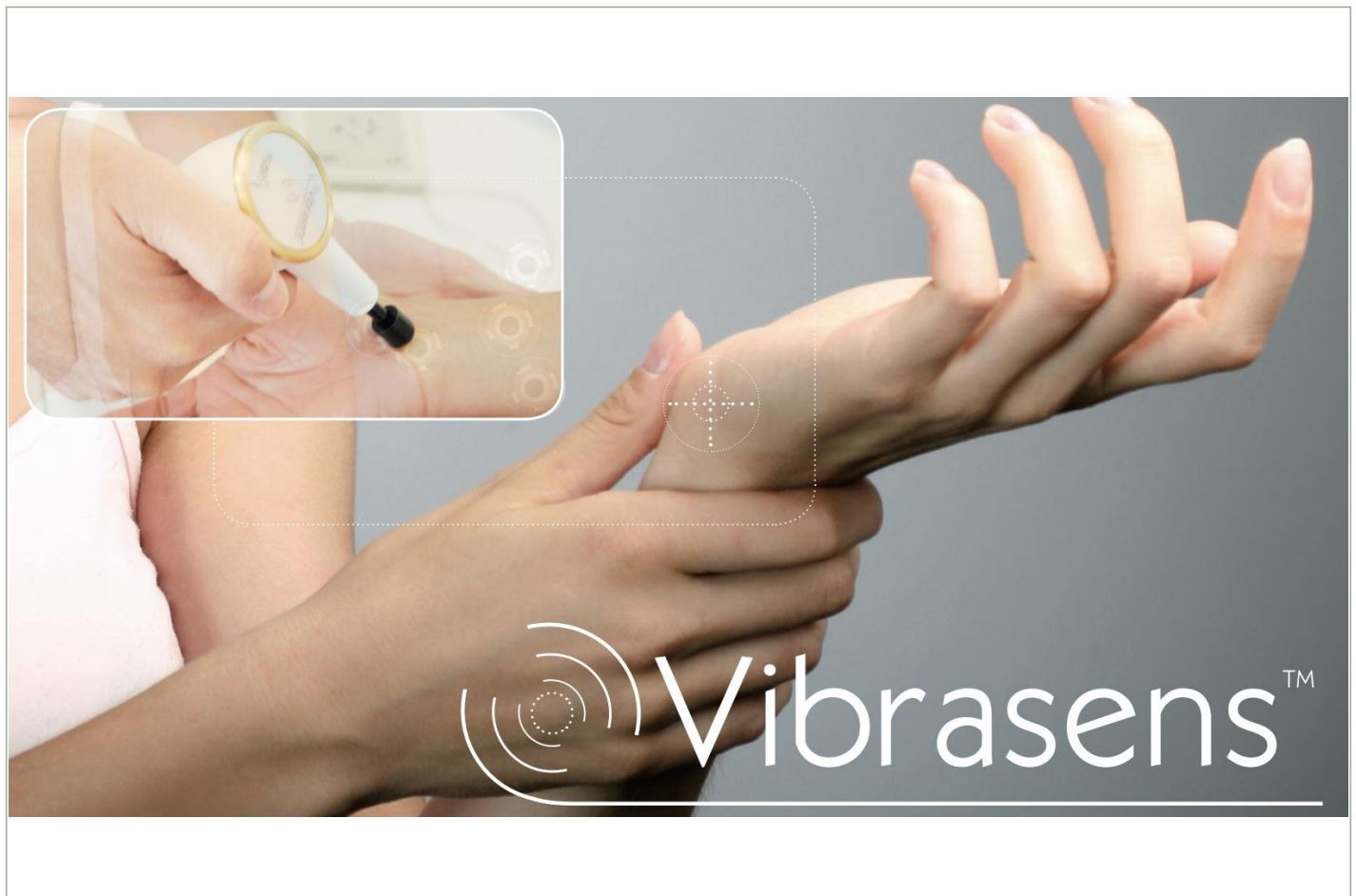
Dans le cas **d'un traitement alterné d'un couple de muscles antagonistes** (qui est d'une grande efficacité), on recherchera une **position médiane** de l'articulation mettant en tension « équivalente » les deux groupes musculaires concernés.

Enfin, l'adjonction, **pendant la vibration**, d'un **mouvement passif et lent** (quelque degrés/seconde) de l'articulation allongeant le muscle vibré, **renforce considérablement la sensation de mouvement** et les activations motrices associées (RVA) et rend le traitement plus efficace (*figure 8*).

Durée et fréquences des stimulations vibratoires

La durée de la stimulation vibratoire d'un même tendon sera réglée de manière optimale à quelques secondes (5 à 15) et répétée autant de fois que nécessaire. En effet, un mouvement, même lent, n'excède pas cette durée et une stimulation plus longue perd alors son efficacité à induire une sensation illusoire de mouvement.

Dans le cas de stimulations alternées de deux muscles antagonistes, les durées seront réduites à 4 à 6 secondes sur chacun des muscles du couple.



Rééducation Proprioceptive

par Vibration Tendineuse

La durée totale d'une séance de rééducation proprioceptive vibratoire sera de l'ordre de vingt minutes au cours de laquelle on **répètera les séquences de stimulation** séparées par de **courtes pauses** de quelques secondes.

Trois séances par semaine sont généralement suffisantes pour constater des améliorations notables. Le traitement peut toutefois être délivré journallement sans contre-indication connue.

Dans le cas d'une **rééducation posturale** ou **locomotrice**, le praticien veillera à protéger le patient d'une instabilité excessive pouvant entraîner des chutes. La fréquence et/ou l'amplitude de la stimulation vibratoire pourront alors être réduites afin de palier d'éventuelles difficultés.

Conclusion

La méthode de rééducation proprioceptive vibratoire du mouvement, non invasive, confortable et antalgique s'impose aujourd'hui comme un moyen puissant de Rééducation Sensorimotrice utilisée seule ou en association avec les méthodes conventionnelles.

La connaissance de ses fondements théoriques et la validation clinique de ses indications tout comme les progrès accomplis dans l'instrumentation ne peuvent toutefois dispenser le praticien d'un apprentissage rigoureux de sa mise en œuvre opérationnelle. ■

* Henri Neiger : Cadre formateur en masso-kinésithérapie

Bibliographie

- 1. ROLL J.P., GILHODES J.C. (1983). Méthode de rééducation motrice par assistance proprioceptive vibratoire. Partie I : Données fondamentales concernant les effets perceptifs et moteurs des vibrations tendineuses chez l'Homme. **Annales de Kinésithérapie**, 1-2 Tome 10 : 1-10.
- 2. NEIGER H., GILHODES J.C., ROLL J.P. (1983). Méthode de rééducation motrice par assistance proprioceptive vibratoire. Partie II : Restauration de la mobilité articulaire après immobilisation thérapeutique. **Annales de Kinésithérapie**, 1 : 13-23.
- 3. NEIGER H., GILHODES J.C., TARDY-GERVET M.F. et ROLL J.P. (1986). Rééducation sensori-motrice par assistance proprioceptive vibratoire. **Kinésithérapie Scientifique**, 252: 6-21.
- 4. ROLL J.P., ROLL R. (1988). From eye to foot. A proprioceptive chain involved in postural control. In: **Posture and gait: Development, adaptation and modulation**. B. AMBLARD, A. BERTHOZ, F. CLARAC (Eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 155-164.
- 5. KAVOUNOUDIAS A, GILHODES JC, ROLL R, ROLL JP (1999). From balance regulation to body orientation : two goals for muscle proprioceptive information processing ? **Experimental Brain Research**, 124 : 80-88..
- 6. ROLL J.P. (1994). Sensibilités cutanées et musculaires. In : M. RICHELLE, J. REQUIN, M. ROBERTS (Eds.), **Traité de Psychologie Expérimentale**. Presses Universitaires de France, Chap. 2.6 : pp 483-542.
- 7. TARDY-GERVET M.F., GUIEU R., DEMARIA J.L., ROLL J.P. (1994). Le traitement des douleurs chroniques par association de vibrations et de stimulations électriques transcutanées. **Kin. Scient.**, 333 : 7-12.
- 8. TARDY-GERVET M.F., GUIEU R., RIBOT-CISCAR E., GANTOU M.B., ROLL J.P. (1994). Two methods for the sensory control of pain : transcutaneous mechanical vibration applied either alone or associated with TENS. **Eur. J. Pain**, 15(1) : 13-21.
- 9. TARDY-GERVET M.F., GUIEU R., RIBOT-CISCAR E., ROLL J.P. (1994). Une méthode de contrôle sensoriel de la douleur: les vibrations mécaniques transcutanées. **Kin. Scient.**, 333 : 13-18.
- 10. ROLL J.P. (2003). Animer virtuellement le corps. **Pour la Science**, Dossier « Les Illusions des Sens » pp 86-93.
- 11. ROLL J.P. (2003). Physiologie de la Kinesthèse «La proprioception musculaire : Sixième Sens ou Sens Premier ?» **Intellectica**. Vol. 36/37 - pp 49-66.
- 12. ROMAIGUÈRE P., ANTON J.L., ROTH M., CASINI L., ROLL J.P. (2003) Kinaesthesia activates both motor and parietal cortical areas in humans: a parametric fMRI study. **Cognit. Brain Res.** 16, 74-82.
- 13. ROLL J.P., ALBERT F., RIBOT-CISCAR E., BERGENHEIM M. (2004) «Proprioceptive signature» of cursive writing in humans : a multi-population coding. **Exp Brain Res.** 157: 359-368.
- 14. ROLL J.P., ROLL R. (2004). A la Recherche du Corps perdu. **Cerveau et Psycho**, 5, 62-67.
- 15. ALBERT F., BERGENHEIM M., RIBOT-CISCAR E., ROLL J.P. (2006). The Ia afferent feedback of a given movement evokes the illusion of the same movement when returned to the subject via muscle tendon vibration. **Exp. Brain Res.**, 19 : 1-12.
- 16. AIMONETTI J.M., HOSPOD V., RIBOT-CISCAR E. & ROLL J.P. (2007). Cutaneous afferents encode spatially oriented two-dimensional limb movements according to the neuronal population vector model in humans. **J Physiol. London.** 580: 649-658.
- 17. GAY A., PARRATE S., SALAZARD B., PHAM T., GUINARD D., LEGRE R., ROLL J.P. (2007). Vibratory stimulation for proprioceptive feedback enhancement in complex regional pain syndrome type I. Elsevier Ed. : **Journal of Bone and Spine** 74: 461-466.