



D.I.U. Européen de Rééducation et d'Appareillage en Chirurgie de la Main.
Session 2019-2021

Stimulations vibratoires transcutanées : applications en rééducation de la main

LEHNERT Stéphanie
Masseur kinésithérapeute D.E.
ANNECY

Membres du jury :

Mr BAILLY Nicolas
Dr FORLI Alexandra
Mr GERLAC Denis
Pr MOUTET François
Pr OBERT Laurent

Remerciements

Je remercie tout d'abord les formateurs de ce DIU qui nous ont permis, malgré les circonstances, d'avoir cet apport de connaissances et d'échanges pendant ces 2 années.

Merci aussi à tous les collègues de promotion pour les échanges, tout particulièrement à Anne-Laure BARTHELEMY avec qui j'ai partagé cette aventure.

Je remercie François DELAQUAIZE pour son apport bibliographique et pour son accueil lors de notre stage à Genève.

Je remercie les intervenants de stage pour le temps qu'ils nous accordent et pour les conseils qu'ils ont pu nous donner.

Un grand merci à Guillaume pour le temps accordé à mes divers dépannages informatiques.

Merci aussi à Nicolas et Véronique, pour leur participation et leur partage de connaissances en bibliographie.

Enfin, un merci tout particulier à Philippe, Maxime et Adrien pour le temps que je leur ai volé.

Liste des abréviations

S.V.T. : stimulations vibratoires transcutanées

S.N.C. : système nerveux central

R.P.V. : rééducation proprioceptive vibratoire

R.T.V. : réflexe tonique vibratoire

R.V.A. : réponse vibratoire d'antagonistes

T.E.N.S. : neuro stimulation électrique cutanée

Table des matières

Introduction	5
Historique des Stimulations Vibratoires Transcutanées (S.V.T.).....	7
1. Physiologie	9
1.1. Les mécanorécepteurs tactiles cutanés	9
1.2. Les thermorécepteurs.....	11
1.3 Les récepteurs nociceptifs	12
1.4. Les mécanorécepteurs proprioceptifs	13
1.5. Physiologie des vibrations.....	14
2. Action antalgique.....	16
2.1. Physiologie : Théorie du Gate Control System	16
2.2. Effets sur la douleur	18
2.3. Particularités des vibrations pour induire l'antalgie.....	18
2.4. SDRC	20
3. Aide à la mobilisation.....	24
3.1. Mise en évidence	24
3.2. Physiologie, mode d'action	26
3.3. Conditions d'application	27
3.4. Action sur la spasticité	27
4. Applications en rééducation sensitive	29
4.1. Hypoesthésie	29
4.2. Hyperesthésie	31
4.3. Allodynie mécanique.....	31
4.4. Névrome.....	33
4.5. Principes généraux	34
4.6. Chez patients hémiparétiques	35
5. Sensation de mouvement.....	37
5.1. Physiologie de l'illusion de mouvement	37
5.2. Imagerie motrice.....	38
5.3. Conditions des SVT pour induire une illusion de mouvement.....	39
5.4. Mouvement induit par les vibrations.....	40
5.5. Effets des SVT en neurologie.....	43
6. Association des SVT avec d'autres techniques	44
6.1. SVT et thérapie miroir.....	44
6.2. SVT et TENS.....	44
.....	45
6.3. Combinaison des SVT avec une posture	45
Discussion	46

Conclusion.....	47
Bibliographie.....	48

Introduction

Les Stimulations Vibratoires Transcutanées (SVT) sont pour le rééducateur une aide précieuse notamment dans le domaine de la rééducation de la main. En effet, cette méthode est encore très peu utilisée dans les cabinets de kinésithérapie générale mais se répand dans les cabinets plus spécialisés.

Les nombreux domaines d'application leur donnent une place de choix dans la rééducation : elles peuvent être utilisées aussi bien pour l'antalgie, l'aide à la mobilisation ou la rééducation sensitive. Depuis une dizaine d'années, elles ouvrent de nouveaux horizons grâce à la rééducation proprioceptive et l'illusion de mouvement.

Historique des Stimulations Vibratoires Transcutanées (S.V.T.)

Les vibrations sont utilisées depuis l'antiquité, notamment pour leur action antalgique.

Déjà dans l'antiquité romaine, le médecin attitré de l'empereur Claude (41-54) les recommandait pour lutter contre les migraines ou les crises de goutte.

Quant aux grecs, dès le IV^e siècle avant J-C, Hippocrate recommandait des lits vibrants ou des chaises à porteurs pour soulager les douleurs[1].

L'anatomiste et médecin de Louis XV, Pierre Chirac proposait de rouler à vive allure sur des pavés en chaise de poste pour lutter contre les maux.

L'Abbé de Saint Pierre invente le trémousoir, un fauteuil vibrant en 1734. Jusqu'à la moitié du XIX^e siècle, de nombreux médecins l'utilisent pour calmer les douleurs de leurs patients dont Charcot[2].

En 1883, dans « Nerve vibration And excitation », le dr Mortimer [3] déterminent que la vibration sur un nerf entraîne une diminution de la douleur en en diminuant la sensibilité.

En 1903, le Dr René MESNARD décrit dans un article (de la vibration, effets physiologiques et applications thérapeutiques – bulletins de la société de kinésithérapie, Paris, 1903) les propriétés analgésiques et sédatives des vibrations[3].

Plus récemment, en Europe, dans les années 1970, le sujet est véritablement étudié sous l'impulsion des toulousains Delprat et Mansat[4]. Ils introduisent la notion de vibrométrie électronique et de rééducation de la sensibilité par vibrations.

En 1984, l'équipe suédoise de Lundeberg[5], réalise une étude sur l'effet [antalgique](#) des stimulations vibratoires.

En 1993, Romain et al montrent les effets de ces thérapies dans le traitement de la sensibilité et de la douleur.

De nos jours, l'équipe du professeur Roll avec le C.N.R.S. unité de Provence, met en évidence les propriétés de la stimulation vibratoire tendineuse, son impact rapide et puissant sur la [plasticité](#) centrale. Le professeur Roll est l'auteur de plus de 120 publications liées aux SVT.

Ce n'est que dans les années 1980 que des études scientifiques ont été menées pour démontrer l'efficacité des SVT sur l'antalgie[1] que ce soit dans le cas de douleurs aiguës[6] ou chroniques[7].

Roll et al. en 1983 avaient en effet constaté qu'une grande majorité des patients traités à l'aide de vibrations décrivaient une sédation de la douleur[8].

Jones en 1988 publie des recherches scientifiques reprenant la chronologie des vibrations[9].

1. Physiologie

Les mécanorécepteurs sont des organes périphériques spécialisés qui nous renseignent sur les déformations mécaniques de la peau. Ils ont un rôle de filtre et d'amplificateur du stimulus.

Grâce à la technique micro neuro graphique, il est possible d'étudier le comportement des récepteurs cutanés et musculaires. La technique micro neuro graphique consiste en l'introduction d'une micro-électrode de tungstène par voie transcutanée au niveau des nerfs périphériques. Elle permet d'avoir un enregistrement de l'activité d'une seule fibre afférente.

Il existe 3 types de récepteurs somatosensoriels selon le stimulus :

1.1. Les mécanorécepteurs tactiles cutanés

Ce sont les mécanorécepteurs qui interviennent dans la sensibilité vibrotactile (tact et pression). Ils sont situés à différentes profondeurs dans la peau. Comme on peut le voir sur cette coupe cutanée[10].

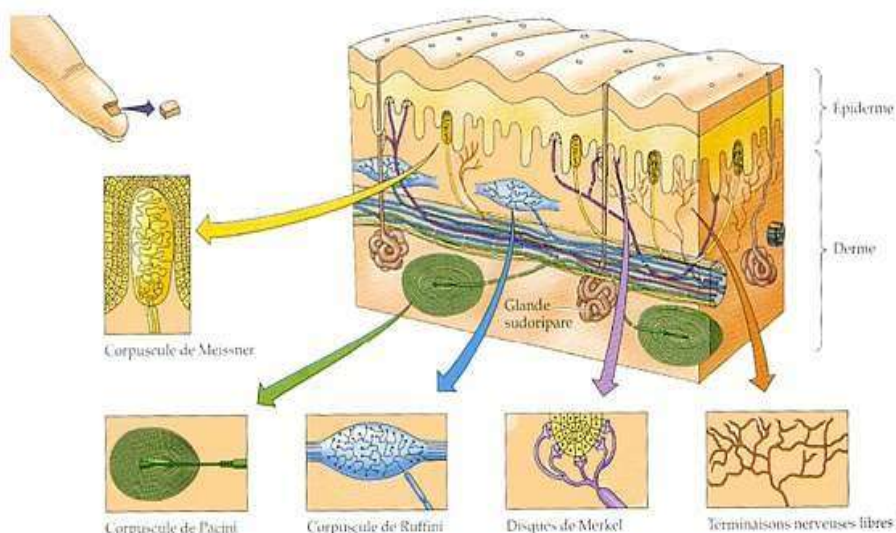


Figure 1 : coupe cutanée différents types de mécanorécepteurs
Image du cours RSDN

Il existe plusieurs types de mécanorécepteurs [11]:

Nous pouvons les classer en 3 groupes (Annexe 3) :

- 1.1.1. **Les récepteurs phasiques à adaptation rapide**

Ils sont les plus sensibles aux vibrations.

1.1.1.1. Les corpuscules de Pacini

On les retrouve au niveau du derme profond. Ils sont sensibles uniquement aux variations rapides d'intensité de déformation. Ce sont donc eux qui donnent l'indication d'étirement de la peau et de pression au niveau de la pulpe des doigts.

1.1.1.2. Les corpuscules de Meissner

Ils se retrouvent au niveau des couches les plus superficielles de la peau (jonction derme-épiderme). Ils sont plus nombreux sur les zones sensibles du corps, notamment la langue, les lèvres et la face palmaire de la main. Ils sont surtout sensibles à la vitesse et répondent aux frôlements, à des dépressions minimales de la peau, des vibrations lentes. Ce sont les mécanorécepteurs qui interviennent dans la lecture et l'écriture du braille.

Les mécanorécepteurs à adaptation rapide interviennent uniquement au début et à la fin de la stimulation vibratoire.

1.1.2.1. Les corpuscules de Ruffini

On les retrouve surtout dans le derme et les articulations (capsules articulaires). Ils sont sensibles aux vibrations et à l'étirement tel que celui produit par les mouvements des doigts.

1.1.2.2. Les disques de Merkel

On les retrouve au niveau des couches superficielles de la peau, à la base de l'épiderme. Ces cellules sont localisées entre les kératinocytes dans la couche de renouvellement. Quand elles sont regroupées entre elles, il s'agit de corpuscules de Merkel. Ces mécanorécepteurs répondent surtout à des pressions, comme un enfoncement de la peau. Ce sont eux qui permettent la discrimination statique des formes et textures.

Les récepteurs à adaptation lente interviennent pendant toute la durée de la stimulation vibratoire.

1.1.3. Les récepteurs à terminaisons nerveuses libres

Ils sont innervés par des fibres de petit diamètre myélinisées $A\delta$ et amyéliniques C. On les rencontre à la fois dans les ligaments et les capsules. Ils interviennent dans la nociception lors des mouvements forcés.

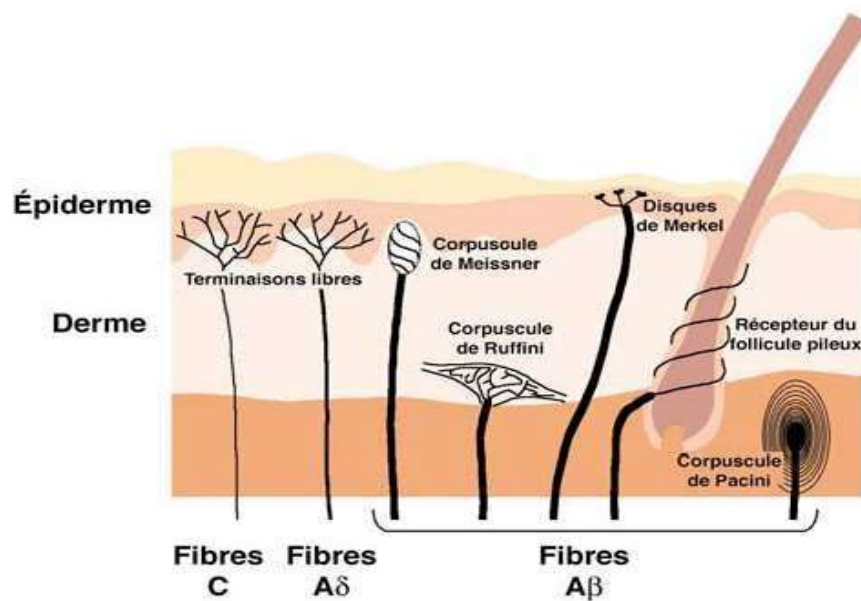


Figure 2 : fibres et mécano récepteurs[12]

1.2. Les thermorécepteurs

Ce sont les récepteurs cutanés sensibles principalement aux changements de température.

Il en existe 2 types :

1.2.1. Sensibles au chaud : leur seuil d'activation se situe autour de 30 °C. Ils augmentent leur décharge jusqu'à 45 °C mais si la température est plus importante, ce sont les nocicepteurs qui s'activent. Ils sont connectés à des fibres de type C.

Les fibres C ne sont pas myélinisées et sont de très petit diamètre (inférieur à 1,2 µm). Par conséquent, elles ont une vitesse de conduction très lente de l'ordre de 1 m/s. Elles répondent au stimulus en traduisant une douleur retardée et durable. Elles permettent l'apparition des réflexes lents.

1.2.2. Sensibles au froid :

Ils diminuent leur activité jusqu'à devenir nulle autour de 10 °C. Ils sont connectés à des fibres de type Aδ.

Les fibres Aδ sont de petit diamètre et sont myélinisées. La myéline sert à protéger les fibres nerveuses et permet d'augmenter de façon importante la vitesse de conduction (environ 20 m/s). Elles répondent au stimulus par décharge de fréquence plus ou moins élevée en fonction de l'intensité de celui-ci. Elles traduisent une douleur rapide et répondent en quelques millisecondes en activant les réflexes.

1.3 Les récepteurs nociceptifs

La nociception est le processus sensoriel à l'origine du message nerveux qui provoque la douleur. Les nocicepteurs sont très nombreux au niveau de la peau. À l'inverse, ils sont beaucoup moins nombreux au niveau des tendons et des articulations. Chacun des nocicepteurs donne naissance à des fibres nerveuses de type Aδ et C.

Les nocicepteurs peuvent être classés en 3 catégories :

- **Les nocicepteurs mécaniques** : ils sont principalement liés aux fibres A δ , répondent aux piqures, pincements et torsions. La réponse dure le temps du stimulus. La sensation de douleur est brève et précise.
- **Les nocicepteurs thermiques** : ils sont principalement liés aux fibres C. Ils répondent uniquement si les températures sont supérieures à 45° C ou inférieures à 10° C.
- **Les nocicepteurs polymodaux** : ils sont principalement liés aux fibres C. Ces récepteurs répondent aux deux types de stimuli. La douleur est durable et de localisation plus étendue. On les retrouve au niveau des tendons et des muscles.

1.4. Les mécanorécepteurs proprioceptifs

Une vibration se caractérise à la fois par une direction, une fréquence et une amplitude[11].

Ce sont eux qui informent sur la position des différents segments dans l'espace, ils permettent la protection des articulations. Ils sont situés au niveau des tendons et des muscles.

Ce sont les fibres ABeta qui conduisent les informations vibrotactiles. Ce sont des fibres myélinisées, de gros diamètre. La vitesse de conduction est donc très rapide et peut atteindre 120 m/s.

On en retrouve 3 types :

- **Les fuseaux neuro musculaires** : ils indiquent la position dans l'espace et renseignent sur l'avancement du mouvement. Ils ont 2 types de fibres (primaires et secondaires).
- **Les récepteurs articulaires** permettent de protéger les articulations en alertant en cas de contrainte trop importante.

- **Les organes tendineux de Golgi** renseignent principalement sur les forces induites dans le mouvement.

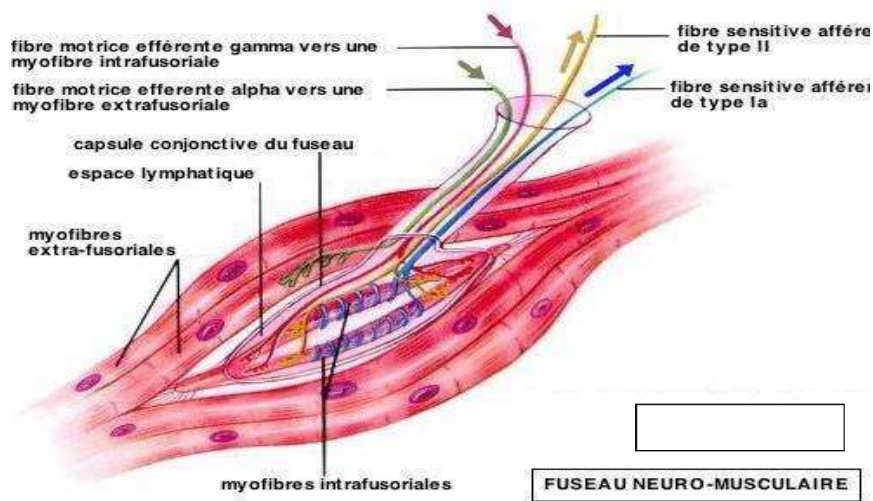


Figure 3 [13]

Les fuseaux neuro musculaires sont sensibles à l'étirement, à la vitesse du mouvement et à la longueur du muscle[2].

1.5. Physiologie des vibrations

Les mécanorécepteurs sont très sensibles aux vibrations (à des fréquences entre 1 Hz et 300 Hz). L'amplitude minimale des SVT pour les activer est de 0,2 mm. Dans le cas des terminaisons nerveuses de Pacini, ce seuil est même abaissé à 0,01 mm. Dès que le seuil de 0,2 mm est dépassé, tous les récepteurs sont donc activés.

Quatre-vingt-dix pour cent des mécanorécepteurs répondent « coup pour coup » à une fréquence de 100 Hz. Entre 120 et 160 Hz, ils ne sont plus que 50 % à répondre « coup pour coup. »

Comme les récepteurs cutanés, les terminaisons nerveuses primaires (fibres 1a) des fuseaux neuro musculaires, répondent « coup pour coup » entre 60 et 120 Hz. Les terminaisons secondaires et les organes tendineux de Golgi sont moins sensibles.

Les récepteurs à adaptation lente (Merkel et Ruffini) interviennent pendant toute la durée de la vibration. Ils répondent jusqu'à des fréquences de 200 Hz.

Les récepteurs à adaptation rapide (Meissner, Pacini, Golgi) interviennent au début et à la fin de la vibration. Ils répondent jusqu'à des fréquences de 300 Hz.

On peut noter 4 principaux effets induits par les vibrations :

- Inhibition des réflexes mono synaptiques
- Provoquent des contractions lentes réflexes du muscle vibré (RTV)
- Inhibition du muscle antagoniste à celui vibré
- Sensation illusoire de mouvement

L'application de SVT avec une pression modérée entraîne un flux sensoriel véhiculé vers les centres nerveux par des fibres afférentes de gros diamètre. Ces SVT entraînent des sensations non douloureuses.

2. Action antalgique

2.1. Physiologie : Théorie du Gate Control System

Comme évoqué précédemment, les effets des SVT sur la douleur sont connus depuis l'Antiquité.

Afin de mesurer l'efficacité des SVT dans le domaine algique, on utilise principalement des EVA (échelle visuelle analogique).

Le docteur René Mesnard publie en 1903 une étude sur les effets des SVT [14] et décrit donc ses effets analgésiques et sédatifs. Il montre son efficacité dans les raideurs articulaires et les contractures musculaires de par son effet décontracturant.

La première description des effets de celles-ci dans le domaine algique remonte à 1981. Ce sont Ottoson and al.[6] qui démontrent qu'au niveau cutané, l'application de SVT permet une activation des mécanorécepteurs (constitués de fibres A β) intervenant dans la sensibilité tactile et vibratoire.

2 théories permettent d'expliquer l'effet antalgique des SVT :

- **Gate control system**

En 1965, Melzack et Wall décrivent le phénomène du Gate Control[11]. L'information vibro tactile prime sur l'information nociceptive.

La stimulation des récepteurs cutanés entraîne un flux sensoriel vers les centres nerveux véhiculé par des fibres de gros diamètre et myélinisées[3]. La douleur est à l'inverse véhiculée par des fibres de petit diamètre et amyélinisées. Par conséquent, la stimulation des fibres vibro tactiles musculaires et cutanées vont permettre le blocage du message douloureux.

La douleur est véhiculée par les fibres de petit diamètre non myélinisées (fibres C) et par les fibres de très petit diamètre myélinisées (fibres A δ). Par conséquent, la vitesse de conduction est très lente (peut atteindre 2 m/s pour les fibres C et 30 m/s pour les fibres A δ).

Au niveau cutané, ce sont les fibres nerveuses à terminaisons libres qui interviennent. Comme elles sont de gros diamètre et myélinisées, la vitesse de conduction est très rapide.

Selon cette théorie, le recrutement sélectif des fibres afférentes A α de gros diamètre intervenant dans la sensibilité vibro-tactile bloque les fibres fines nociceptives A δ et C au niveau de la substance gélatineuse de la moelle.

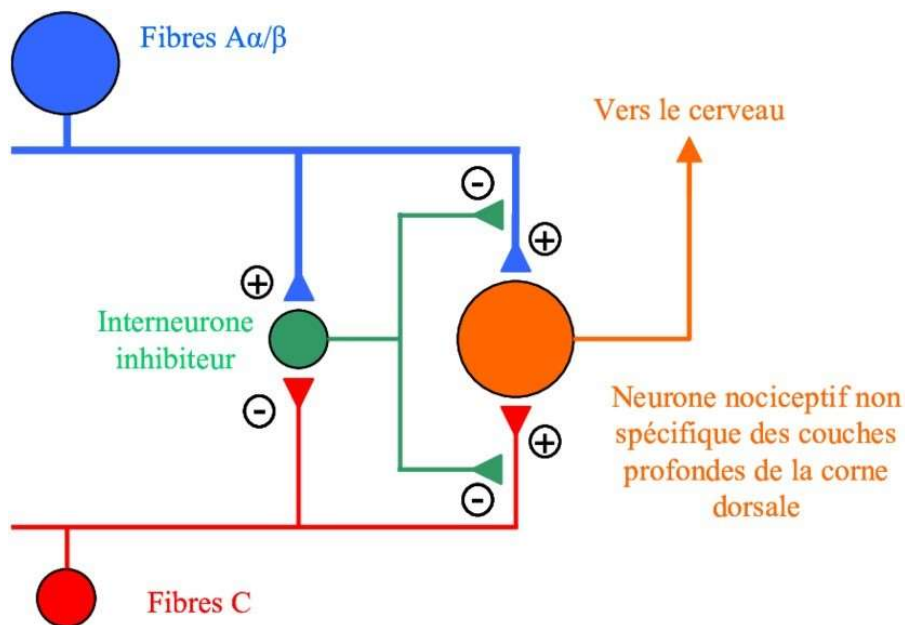


Figure 4 : gate control [15]

Pour expliquer l'effet des SVT sur la douleur, la seule théorie du gate control ne suffit pas. En effet, elle ne permet pas d'expliquer la persistance de l'antalgique après l'arrêt des SVT.

- **Un Mécanisme d'origine centrale** qui n'est pas encore défini avec certitude expliquerait que les effets perdurent dans le temps. Ce mécanisme fait intervenir la réorganisation corticale associée aux vibrations (Feed back proprioceptif induit par les vibrations tendineuses). Il agit sur le même schéma que la thérapie miroir : on perturbe la réception au niveau cortical.

2.2. Effets sur la douleur

Lundeberg, dans une de ces études[16], a pu démontrer l'efficacité des SVT par rapport à la prise médicamenteuse d'1g d'aspirine . En effet, sur 60 patients souffrant de douleurs myofasciales et musculo squelettiques, 65% ont déclaré que les SVT couplées au TENS étaient plus efficaces que l'aspirine pour soulager leurs douleurs.

Les SVT sont aussi plus efficaces que l'effet placebo [2]. Ils ont utilisé dans une étude avec des générateurs de vibrations qui ne délivraient aucune vibration ainsi que des électrodes de stimulation électrique qui ne délivraient aucun courant. Ils obtiennent pour cette étude des résultats significatifs démontrant que les SVT sont plus efficaces que le placebo.

Pendant plusieurs décennies, les SVT ont été mises de cote. Il est possible d'interpréter cet oubli par la pharmacopée. En effet, les patients étaient moins demandeurs de techniques physio thérapeutiques, ayant plus facilement recours aux antalgiques.

2.3. Particularités des vibrations pour induire l'antalgie

2.3.1. Fréquence des vibrations : entre 70 et 120 Hertz [17]

En 1984, Lundeberg et al. font une étude sur les effets de la fréquence des vibrations. Au-delà de 250 Hz, elles sont perçues comme désagréables et en dessous de 20 Hz, elles sont sans effet donc la fréquence de vibrations la plus fréquemment utilisée est 100 Hz.

2.3.2. Amplitudes : entre 0.2 et 0.4 mm

Celle-ci est difficile à tester de façon précise dans un essai clinique puisqu'elle varie en fonction de la pression d'application.

2.3.3. Pression exercée

Une pression modérée de l'applicateur de vibrations entraîne un soulagement plus important qu'une pression légère en raison de l'implication des tissus superficiels et profonds[18].

Il est aussi possible d'exercer une très légère pression directement sur la zone douloureuse[18], [19].

2.3.4. Durée du traitement

Pour obtenir une action la plus maintenue dans le temps, on applique les vibrations pendant 25 à 45 minutes.

L'effet antalgique des SVT est immédiat et durable.

Une première perception de soulagement peut être ressentie en moins de 10 minutes d'application des SVT.

Le soulagement maximal est perçu autour de 20 à 25 minutes et ne peut plus être augmenté après 45 minutes de SVT. Après ce délai, l'effet persiste plusieurs heures.

La durée du soulagement est proportionnelle à l'intensité de l'effet antalgique ressenti.

La majorité des patients étant traités pour une entorse ou une fracture avec l'aide des vibrations ont en parallèle exprimé une diminution de la douleur de la zone traitée.

Il a pu être démontré que l'effet antalgique n'est pas lié à la libération des opioïdes endogènes[20]. En effet, l'injection de naloxone (inhibiteur de la morphine) ne modifie absolument pas la douleur ressentie par le patient[20]. Les opioïdes sont les mêmes après 30 minutes de vibration[2].

Chez le chat, Salter et Henry [21] ont pu mettre en évidence que seule l'adénosine est seule responsable de l'inhibition par vibration des réponses des neurones nociceptifs spinaux aux stimulations douloureuses.

Chez l'homme, le neuromédiateur impliqué n'est pas connu[22].

Gay et al., dans leur étude sur les effets des SVT simultanément au niveau des récepteurs cutanés (à une fréquence de 150 Hz, amplitude de 0,1 mm et un angle d'application de 45 degrés) et musculaires (fréquence de 80 à 100 Hz, amplitude 0,5 mm, angle d'application 90 degrés), ont pu montrer un meilleur effet analgésique que lors de la stimulation vibratoire d'un seul type de récepteurs. En effet, les patients exprimaient une baisse de douleur de 51 % alors qu'elle n'était que d'environ 30 % dans le cas de stimulations simples.

2.4. SDRC

Les mécanismes qui induisent les SDRC de type I ne sont pas vraiment connus. Il semblerait qu'il s'agit à la fois d'une altération périphérique (inflammation, œdème) et centrale (cognitive, neurologique).

On utilise la rééducation proprioceptive vibratoire.

La vibration du FUC (fléchisseur ulnaire du carpe) entraîne une sensation d'extension du poignet. L'illusion de mouvement induite par la vibration stimule le cortex sensitive moteur. Cela permet de diminuer les conséquences de la décorticalisation.

Une étude menée par R. Roll [23] sur 2 groupes de patients immobilisés 5 jours (un groupe témoin et un groupe vibré 3 à 4 fois par jour) montre que les vibrations ralentissent la décorticalisation du membre. Chez les patients immobilisés, on retrouve la même composante corticale que chez les patients atteints de SDRC de type 1.

Il faut vibrer 2 ou 3 cycles de 10 secondes sur chaque point, la fréquence des vibrations doit avoisiner les 100 Hz[23]. On associe une légère mobilisation passive dans le sens recherché. Il est parfois nécessaire de débiter du côté sain pour les patients ayant des difficultés à ressentir les vibrations.

Les patients sont vibrés sur 14 sites de la main et du poignet. Le protocole prévoit 3 séances de 20 minutes par semaine pendant 10 semaines. La douleur entraîne une déafférentation fonctionnelle. Les SVT permettent une ré-afférentation en réduisant la douleur. Si la douleur est accompagnée d'une diminution des mobilités articulaires, on associe des SVT sur les

tensions pour entraîner des sensations illusoires de mouvement, pour cela on utilise une fréquence de 80 Hz et une amplitude de 0,5 mm)[24].

De nombreuses études montrent l'intérêt de l'utilisation des S.V.T. dans le traitement des SDRC de type I

Notamment, Gay et al. en 2007 [25] ont étudié l'effet de celles-ci.

Sont inclus dans leur étude :

- évènement nociceptif initiateur ou immobilisation
- douleur continue (stimulus auparavant indolore devenu douloureux)
- œdème ou altération de la vascularisation cutanée

Dans le groupe vibré, ils observent une amélioration de l'amplitude de 30%. Les patients traités dans cette étude décrivent une baisse de la douleur de 50 % sur l'EVA. Cette antalgie persiste pendant une dizaine d'heures. En parallèle, ils ont réduit leur consommation d'antalgiques. Cette étude présente tout de même une limite étant donné le faible nombre de participants.

Il semblerait que la SDRC de type 1 fasse intervenir le SNC[26]. Janig et Baron mettent en évidence une altération des processus d'intégration sensori motrice.

Dans les conditions de SVT à visée antalgique, (fréquence 100 Hz, amplitude 0,3 à 1 mm, pression sur l'applicateur), on constate une activation de la plupart des mécanorécepteurs à adaptation lente et rapide situés dans les tissus superficiels et profonds[2].

La localisation à privilégier lors de l'application des SVT semble être à proximité des zones osseuses. En effet, les mécanorécepteurs y sont plus nombreux car la zone est très innervée. En même temps, on peut avoir une stimulation des terminaisons nerveuses des fuseaux neuro musculaires (fibres 1a) si on applique les SVT proche des tendons et/ou d'un muscle étiré. Les SVT sont d'autant plus efficaces qu'elles sont appliquées perpendiculairement au tendon. Les récepteurs musculaires répondent à la fréquence des SVT autour de 80-100 Hz. L'activité musculaire induite dans le muscle vibré entraîne l'activation à haute fréquence du circuit myotatique.

Lors de l'application de SVT, on constate un effet vasomoteur[2]. En effet, on peut observer un érythème cutané au niveau de la zone vibrée. Celui-ci est dû à une augmentation du flux sanguin et de la température cutanée locale. L'action vasodilatatrice des SVT pourrait participer à l'antalgie. Chez les patients douloureux chroniques, l'augmentation du débit sanguin favoriserait l'élimination des substances algogènes accumulées au sein de la zone inflammatoire. L'augmentation du flux sanguin liée à la contraction musculaire induite par les SVT pourrait agir de même.

Dans le cas de douleurs aiguës, Roll et Gay[24] ont fait une étude consistant à injecter dans le muscle jambier antérieur de l'eau salée hypertonique à 5% pour provoquer la sensation d'une crampe chez le patient. La douleur provoquée disparaissait complètement en une dizaine de minutes. Ils ont mesuré l'intensité de celle-ci à l'aide d'une EVA. Si les SVT sont appliquées perpendiculairement au tendon discal du jambier antérieur, le récepteur proprioceptif est activé. A l'inverse, si les SVT balayent la zone musculaire, seul le récepteur tactile est activé. Cette étude met donc en évidence que les informations sensorielles au niveau des muscles (fuseau neuro musculaire) ont des propriétés antalgiques aussi importantes que les informations tactiles. Quand elles sont utilisées en même temps, elles s'additionnent.

Par conséquent, les propriétés antalgiques des vibrations ne peuvent pas être dues uniquement aux afférences cutanées, elles demandent aussi l'intervention des afférences musculaires. Elles participent ensemble à atténuer la douleur.

La sensation illusoire de mouvement renforce elle aussi les propriétés antalgiques des informations d'origine musculaire.

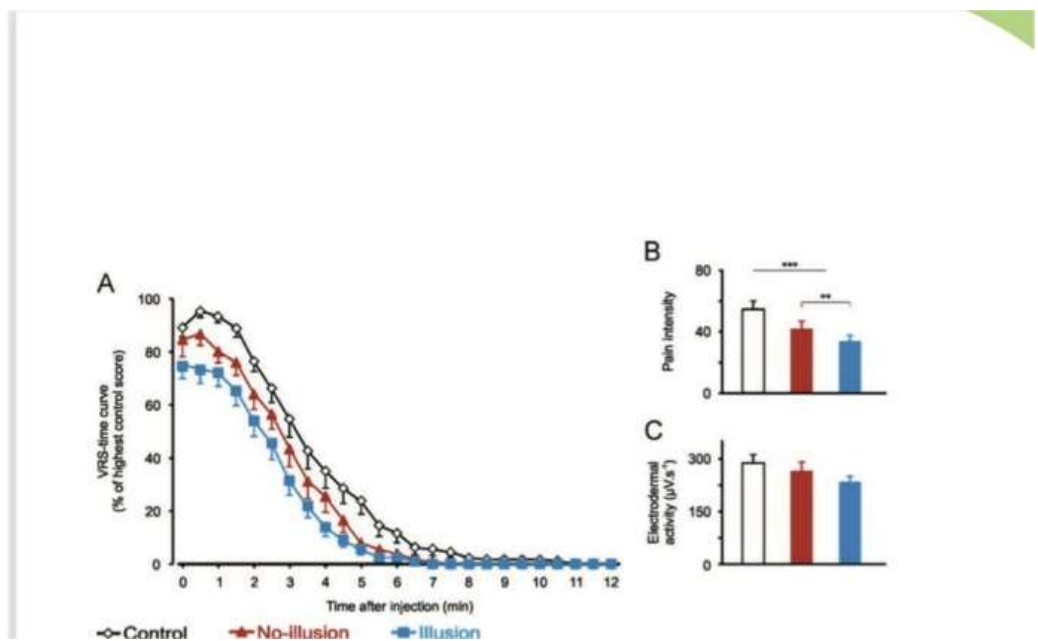


Figure 5 : Etude des SVT antalgie[1]

Nous pouvons donc en conclure que les SVT peuvent être utilisées sans contre-indication dans tous les cas de douleurs rebelles aux traitements médicamenteux et physiothérapeutiques. Des études ont en effet montré leur efficacité dans les tendinopathies, principalement dans les épicondylites.

Il y a cependant certaines conditions (fréquence, amplitude) à respecter dans leur application.

3. Aide à la mobilisation

3.1. Mise en évidence

Des études ont été réalisées dans les années 70-80 pour montrer l'intérêt des SVT dans la lutte contre les effets négatifs de l'immobilisation[8], [9].

De plus en plus, les protocoles de rééducation se tournent vers des techniques de mobilisation précoce, voire immédiate.

Lucas-Championnière dans ses travaux[3], montre qu'une petite somme de mouvements au niveau du foyer de fracture peut être favorable à la consolidation plutôt que de lui nuire (1895). Il a donc été un précurseur dans la lutte contre les raideurs articulaires en faveur d'une mobilisation précoce[19], [27].

Les effets favorables des SVT sont nombreux. Parmi eux, on a l'antalgie et la lutte contre les raideurs articulaires.

Les chirurgiens de la main préconisent la thérapeutique proposée par Lucas-Championnière qui montre l'intérêt des mobilisations précoces voire immédiates. On a à la fois l'avantage lié à la sensation illusoire de mouvement générée par les SVT et le relâchement induit par celles-ci sur les muscles vibrés.

Le professeur Faure à Grenoble en 1983 [28] a étudié leur effet sur les fractures de Pouteau-Colles.

Dans cette étude, les patients sont immobilisés et une fenêtre a été découpée dans le plâtre (à proximité de la jonction musculo-tendineuse) afin de permettre d'appliquer des SVT. Celles-ci étaient générées par une brosse à dents électrique de fréquence 70 Hz et d'amplitude 3,5 mms. Malgré l'amplitude élevée des SVT, aucun effet néfaste n'a été observé et la raideur articulaire à la sortie de plâtre était moindre suite aux vibrations. L'ankylose articulaire était moins importante. Sous plâtre, les SVT ne génèrent pas de mouvement réel mais une illusion de mouvement. C'est donc cet effet illusoire des SVT qui est recherché pour limiter l'enraidissement.

Les vibrations permettent des mobilisations précoces et facilitent la rééducation suite à des lésions osseuses ou ostéo ligamentaires. Elles permettent de raccourcir le temps de rééducation[29].

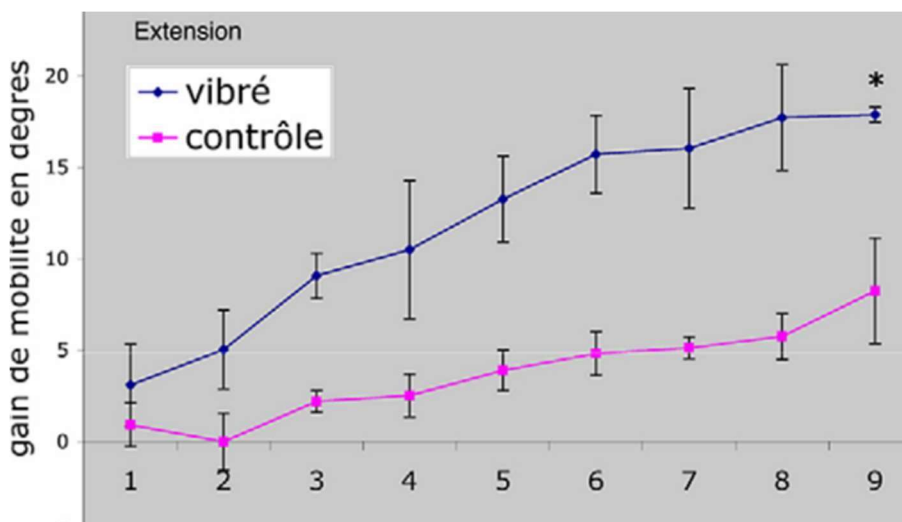
L'étude de Imai et al. en 2015[30] montre que, suite à une fracture de l'extrémité inférieure du radius, on observe une baisse de la douleur au repos et pendant le mouvement et une meilleure récupération d'amplitude et de la fonction dans le groupe vibré.

Dans leur étude sur la rééducation proprioceptive vibratoire chez des patients atteints de SDRC de type I[25], les patients présentent, dans le groupe vibré, un gain de mobilité articulaire du poignet et des doigts de 30 %.

Afin de faciliter la reprogrammation sensori motrice, la rééducation par assistance proprioceptive vibratoire, décrite par H. Neiger et étudiée dans plusieurs articles par J.P. Roll, est un moyen préventif et curatif permettant de minimiser les troubles liés à l'immobilisation.

Les vibrations effectuées à des fréquences voisines de 70 Hz produisent un effet d'étirement tendineux et induisent une sensation illusoire de mouvement.

Figure 6 : influence des SVT sur les amplitudes articulaires [31]



Il n'y a pas de mobilisation vraie, ce n'est qu'une illusion de mouvement

On peut commander la direction de ce mouvement ressenti. L'effet des SVT est reproductible. Dans ses travaux, Rubin utilise des vibrations à faible fréquence et faible amplitude. Il montre alors qu'il y a une stimulation des ostéoblastes[3]. Il n'y a donc pas de risque de pseudarthrose ni de débricolage ou de déplacement secondaire de la fracture[32]. Il faut pour cela que la fréquence soit inférieure à 150 Hz et que les amplitudes ne dépassent pas 0,2 mm.

Une étude sur des bovins ayant une fracture de patte arrière ostéosynthésée avec fixateur externe a été réalisée en séparant en un groupe vibré (fréquence de 30 Hz) et un groupe témoin[33]. Il a alors été montré que le groupe vibré avait une meilleure consolidation osseuse.

3.2. Physiologie, mode d'action.

Les SVT agissent sur la raideur articulaire grâce à leur effet direct sur les mécanorécepteurs.

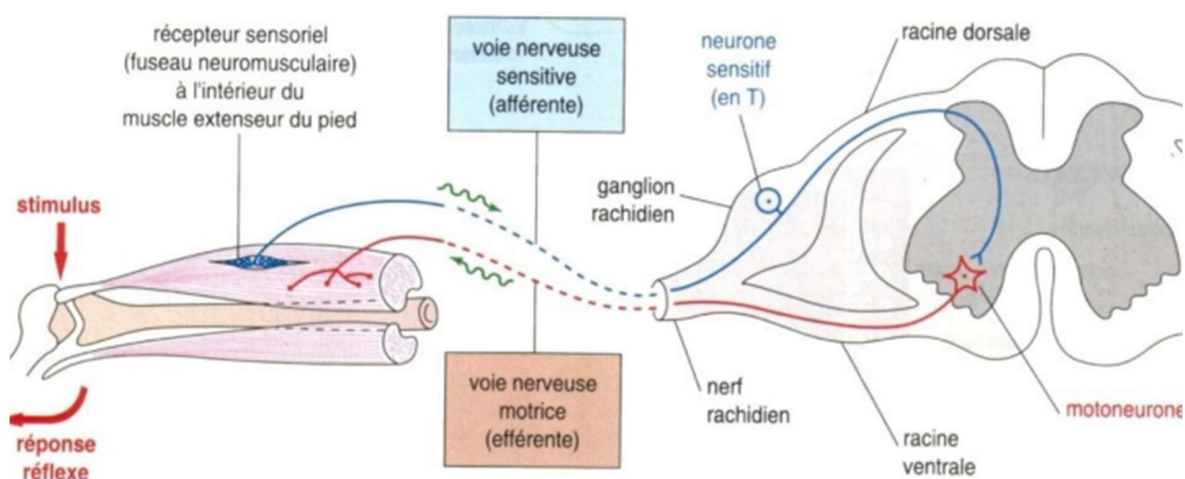
Les FNM sont les plus réceptifs aux vibrations (jonction tendino-musculaire)

Ce sont les terminaisons primaires (fibres 1a) des fuseaux neuro musculaires qui sont les plus sensibles aux micro-étirements générés par les vibrations.

L'effet est meilleur si le tendon vibré est étiré.

L'action des SVT peut alors s'expliquer par l'arc réflexe myotatique. L'activation du FNM engendre une contraction réflexe du muscle vibré si et seulement si le patient garde les yeux ouverts.

Figure 7 : arc réflexe myotatique (présentation de C. Santos : intérêts de la vibration tendineuse dans le cadre de la rééducation de la main, Lonjumeau, 15-10-2016)



Lissek a montré dans son étude [34] une réorganisation du réseau cortical lors d'une immobilisation du poignet et de la main. Après seulement quelques jours d'immobilisation, le volume de représentation corticale du segment concerné diminue et cela proportionnellement à la durée de l'immobilisation.

Il a aussi montré que cette réorganisation est réversible, il y a une diminution des afférences proprioceptives. Les SVT permettent pendant l'immobilisation d'augmenter la stimulation proprioceptive. En les appliquant très précocement, on limite fortement la baisse de volume des aires corticales motrices.

Les aires du cortex activées lors de l'application de SVT sont les mêmes que celles lors de la réalisation d'un mouvement volontaire.

Si on étire la peau en plus des vibrations, on obtient une amplitude beaucoup plus importante[35].

Dans la maladie de Dupuytren, les vibrations peuvent être utilisées en face palmaire et associées à des mobilisations en extension passive pour augmenter leur efficacité[36].

3.3. Conditions d'application

Fréquence : entre 70 et 120 Hz

Amplitude : entre 0,2 et 0,4 mm

Durée d'application : plusieurs séquences courtes entrecoupées de pauses

Le patient doit avoir les yeux fermés

3.4. Action sur la spasticité

Les SVT ont, par de nombreuses études, été étudiées dans le domaine de la rééducation neurologique.

Les effets des SVT perdurent plus de 48 h d'après l'étude de Casale et al en 2014 [37]. Ils ont traité pendant 2 semaines à raison de 5 fois par semaine des patients hémiparétiques. Ils ont vibré sur le triceps pendant 30 minutes (patients présentant une spasticité du biceps). Ils ont démontré une amélioration de la fonction motrice du membre supérieur, de la dextérité. Chez ces mêmes patients, ils montrent aussi une augmentation de la stabilité dans le membre hémiparétique. Les mouvements sont aussi plus rapides après le traitement par SVT.

4. Applications en rééducation sensitive

Mansat et Delprat[36] avaient déjà évalué les effets du vibromètre dans le domaine de la sensibilité dans les années 80.

Depuis les années 2000, on utilise les S.V.T. dans la rééducation sensitive. Spicher établit alors un protocole de désensibilisation qui permet de traiter les allodynies. Le but de cette rééducation est de faire supporter au patient des vibrations de plus en plus intenses tout en gardant le même seuil de tolérance non douloureux.

Les SVT interviennent dans le traitement des différentes paresthésies.

Dans la rééducation sensitive, on cherche un contact vibratoire du plus doux au plus agressif afin d'obtenir une inhibition du message douloureux.

Il sera important pendant toute la période de rééducation de chasser tout ce qui peut être perçu comme négatif par le patient aussi bien sur le plan somatique que psychologique.

4.1. Hypoesthésie

4.1.1. Bilan de l'hypoesthésie

Les SVT font alors partie intégrante du bilan sensitif et de l'estésiographie[38]. En effet, sur les zones présentant une hyposensibilité, après les avoir cartographiées, nous recherchons le seuil de perception vibratoire (S.P.V.).

Quintal et al.[39] ont proposé 6 tests à associer pour permettre le diagnostic d'une hypoesthésie :

- L'esthésiographie
- Le test de discrimination de 2 points statiques

- Le signe du fourmillement : avec des SVT de fréquence 100 Hz, on balaie le territoire nerveux concerné de façon longitudinale de proximal en distal, le patient décrit une sensation de fourmillement (comparable à celle induite par une stimulation électrique transcutanée). Celle-ci n'est pas douloureuse et disparaît très rapidement.

Si on balaie de distal à proximal, on peut rechercher le signe distal de régénération axonale. Cela permet de se faire une idée de l'avancée de la repousse nerveuse.

- Les qualificatifs somesthésiques
- Le seuil de perception à la pression (SPP)
- Le seuil de perception à la vibration (SPV)

Avec un réglage de fréquence de vibrations de 100 Hz, on détermine quelle est l'intensité de vibration la plus faible ressentie par le patient dans la zone cartographiée lors de l'hypoesthésie.

Après avoir déterminé le SPV du patient, le thérapeute pourra travailler directement sur la zone en respectant des vibrations d'intensité $SPV+4\%$.

4.1.2. Traitement de l'hypoesthésie

Quintal et al. proposent de rééduquer l'hypoesthésie à raison de 5 minutes par séance, une fois par semaine, directement dans le territoire cutané concerné par la paresthésie. Pour son protocole, la fréquence des SVT est de 100 Hz et l'amplitude doit être réglée au seuil de SPV majoré de 0,1 mm ou de 4 % selon l'appareil utilisé.

Durand [40], quant à lui, propose de stimuler la zone hypoesthésique en augmentant graduellement la fréquence des vibrations (de 30 à 300 Hz) tout en évitant la zone de suture nerveuse pendant le premier mois.

Lors de la séance, on fait aussi la rééducation des tracés et de la thérapie du « touche à tout. » Certains auteurs décrivent un retour à une sensibilité normale par bourgeonnement collatéral des axones. Il ne serait pas lié à une régénérescence du nerf suturé.

Dans le cas d'une hypoesthésie, il est recommandé de commencer à des amplitudes élevées (supérieures à 1mm) et de diminuer progressivement au cours des séances.

4.2. Hyperesthésie

Dans le cas d'une hyperesthésie, les SVT sont utilisées pour la désensitisation.

Dans le cas d'une hyperesthésie, on utilisera plutôt des vibrations à amplitude basse (0,1 mm). La fréquence sera élevée (supérieure à 160 Hz) car seulement 50 % des mécanorécepteurs cutanés seront activés à ces fréquences[38].

4.3. Allodynie mécanique

4.3.1. Bilan de l'allodynie mécanique

Dans le cas d'une allodynie, même si celle-ci est caractérisée par une hyposensibilité sous-jacente, nous utilisons aussi les S.V.T. mais cette fois à distance, en zone non douloureuse et en amont du territoire couvert par le nerf atteint. La contre stimulation vibro tactile ainsi effectuée permet de lever cette allodynie, la rééducation sensitive consistera par la suite à travailler l'hypoesthésie de la zone.

Pendant toute la durée de la séance, les SVT doivent être perçues comme confortables et donc non douloureuses. Parfois, il est donc nécessaire de traiter l'allodynie mécanique à une distance importante[41].

Une allodynie mécanique est caractérisée par « une douleur causée par un stimulus qui normalement ne produit pas de douleur ».

Il existe 2 types d'allodynies mécaniques :

- statique (réponse douloureuse à un stimulus fixe de 15 g)
- Dynamique (réponse douloureuse à un balayage de pinceau avec une pression de 40 g et une vitesse de 30 mm/s)

En rééducation sensitive, il ne peut s'agir que de l'allodynie mécanique statique. Elle est sans action sur les allodynies mécaniques dynamiques.

Quintal et al. diagnostiquent l'allodynie à l'aide du QDSA (questionnaire de la douleur de Saint Antoine), de l'EVA, de l'allodyniographie avec l'arc en ciel des couleurs.

Les vibrations ne sont pas utilisées dans le diagnostic de l'allodynie mais elles permettent le traitement de celle-ci.

4.3.2. Traitement de l'allodynie mécanique

Il faut commencer par lever l'allodynie mécanique statique (responsable de la douleur au contact) pour ensuite rééduquer l'hypoesthésie sous-jacente.

Il existe alors deux grandes écoles pour traiter l'allodynie :

- Il est préconisé par certains auteurs de stimuler directement la zone allodynique en appliquant des stimuli très faibles au départ et en les augmentant progressivement. On propose au patient de répéter les stimuli 3 à 4 fois par jour pendant 10 minutes. On applique aussi des SVT (le réglage de la fréquence et de l'amplitude se fait de façon à être perçu comme non douloureux). La désensitisation ainsi proposée permettra au patient de retrouver un toucher fonctionnel. Au fur et à mesure des séances, on pourra diminuer la fréquence en augmentant les amplitudes des SVT.
- Spicher quant à lui, propose de ne pas du tout toucher à la zone allodynique. Il faut alors bien informer le patient. Il utilise la contre stimulation vibro-tactile à distance. Lors de la séance bilan, on détermine avec le patient la zone qui sera ressentie comme agréable en amont. Cette zone de travail doit être sur le même territoire de distribution cutanée du nerf lésé. Le patient pourra frotter la zone définie à l'aide d'une matière douce (peau de lapin) à domicile 8 fois par jour. Lors des séances de rééducation, les SVT appliquées sont réglées à une fréquence de 100 Hz et à très faible amplitude (0,06 mm ou 2%).

Mathis et al. réalisent une étude en 2007[39] sur des patients atteints de névralgie crurale. Les 59 patients sont divisés en 2 groupes (36 d'entre eux sont allés au bout de leur traitement de rééducation sensitive). La différence entre les deux groupes est très significative puisque 56 % des patients n'ayant pas terminé leur rééducation sont soulagés contre 89 % de ceux qui l'ont terminée.

Spicher a mené une étude similaire et retrouve des résultats en faveur d'une rééducation sensitive menée à son terme (83 % sont satisfaits contre 40 % des patients ayant abandonné le traitement sensitif avant la fin).

Il ne faut pas oublier que la rééducation sensitive d'une allodynie mécanique reste très longue. Une moyenne de 132 jours a été calculée, 55 jours dans une autre étude.

D'autres traitements peuvent être proposés en parallèle à la rééducation sensitive, comme par exemple l'hypnose, le TENS sur la zone à contre stimuler, l'imagerie motrice, les traitements médicamenteux.

4.4. Névrome

Le mécanisme douloureux des névromes est différent de celui de l'hyperesthésie. C'est l'enroulement des repousses atonales sur elles-mêmes qui le génère. Les SVT font partie du traitement de cette pathologie. Les stimulations répétées et légères des fibres ABeta amplifieraient en effet l'action inhibitrice sur le phénomène douloureux (gate control).

La douleur peut être intense à l'application des vibrations pendant 5 à 10 sec. On vibre pendant 30 sec et on décolle l'applicateur de la zone douloureuse, on se déplace de quelques millimètres. On tourne autour de la zone douloureuse du névrome (zone peu étendue). On explique au patient qu'il va falloir supporter la douleur. L'effet est optimal en 2 à 3 séances.

Plusieurs études ont montré que les SVT ont une action favorable sur la repousse axonale. Chez le rat, le protocole utilisait des vibrations à raison de 20 minutes par séance pendant 10 séances. Les SVT étaient débutées seulement 3 semaines après la section nerveuse. On a alors pu voir la présence de fibres myéliniques d'aspect normal alors qu'elles ne sont pas observées avec un névrome non vibré.

Durand et al. [42] ont fait une étude à grande échelle sur 148 névroses douloureuses. 51 % des patients étaient moins algiques après un traitement par SVT.

Les SVT peuvent même être efficaces dans le cas de névrome ancien. En effet, on rapporte une diminution de la douleur induite par l'application de celles-ci ainsi qu'une amélioration de la sensibilité.

Dans une étude, G.Riera [11] montre au niveau des zones vibrées des signes de régénérescence alors que les zones non vibrées affichent plutôt une dégénérescence.

4.5. Principes généraux

La rééducation sensitive doit être débutée à des fréquences plutôt élevées pour une meilleure tolérance de la part du patient et peut ensuite être diminuée autour de 100 Hz si la fréquence plus élevée est bien supportée. Il faut toujours lors des SVT respecter le seuil de tolérance du patient. L'effet antalgique est proportionnel à l'amplitude tolérée.

La durée du traitement peut être variable. Lors des premières séances, notamment dans le cas d'une hypersensibilité, la stimulation vibratoire transcutanée sera courte et augmentera avec les séances.

Les SVT doivent toujours être appliquées en fin de séance de rééducation sensitive. En effet, leur utilisation trop intense permet une réorganisation corticale mais induit aussi un endormissement de la zone vibrée avec réapparition des dysesthésies telles que fourmillements ou engourdissements. C'est l'effet Hochreiter.

De nos jours, les paramètres des générateurs de vibrations sont réglables. Ainsi, il est donc possible de limiter l'endormissement de la zone vibrée.

La stimulation se fait en arrosant le territoire hypoesthésie pendant 10 mn à la fin de la séance hebdomadaire.

Delon en 1972 montre l'intérêt de la vibration pour évaluer la récupération sensitive, les rééducateurs utilisaient des diapasons. (Annexe 2)

Maintenant avec les appareils, on peut régler la fréquence et l'amplitude[44]. Tous les ans, il est tout de même nécessaire de faire étalonner les appareils de mesure.

L'avenir des vibrations pourrait aussi porter sur l'utilisation des plateformes vibrantes, celles-ci permettraient de lutter contre l'ostéoporose. En effet, la NASA les utilise depuis quelques années à bord des navettes spatiales. Ces plateformes vibrantes permettent d'éviter la déminéralisation osseuse. Les spationautes peuvent désormais se tenir debout dès leur retour sur terre.

En 2009, lors d'une étude[45], des patients sains volontaires restent allongés pendant 56 jours, il est alors mis en évidence qu'il n'y a pas de déminéralisation osseuse chez le groupe vibré.

Les vibrations permettent, en 3 semaines à raison de 15 min par jour[32] à une fréquence de 45 Hz, de limiter les effets de l'ostéoporose.

Ces études récentes permettent d'envisager une amélioration du cartilage et par conséquent, on peut penser que les SVT peuvent aider à lutter contre l'arthrose et l'ostéoporose.

Nazarov a créé un appareil générateur de vibrations pour assouplir les danseurs. Les SVT permettent un gain d'extension et des études sont faites sur des équipes de hockey.

4.6. Chez patients hémiparétiques

Dans une étude, il a été montré que les vibrations des extenseurs diminuent l'EMG des fléchisseurs spastiques et la résistance au déplacement passif immédiatement après la vibration. Chez les sujets spastiques, les effets des vibrations sur les amplitudes des réflexes sont moins marqués que chez les sujets sains[46].

Les vibrations augmentent la force musculaire lors des contractions faibles ou modérées.

Dans sa thèse[47], De Andrade Melo étudie l'effet des vibrations de la main dans l'hémiparésie. La vibration augmente l'excitabilité corticospinale. Même les plus faibles connexions peuvent être facilitées. L'avenir des SVT dans le domaine de la neurologie pourrait permettre une récupération partielle des patients ayant subi un AVC.

Les SVT associées à de l'ergothérapie augmentent les résultats. On peut obtenir une flexion d'épaule au-delà de 135 degrés, et après 4 semaines, la manipulation des objets est facilitée[48]. Quand on applique les SVT seules ou qu'on propose de l'ergothérapie seule, les effets sont moindres.

On met en place deux vibrateurs à une fréquence de 60 Hz pendant 30 minutes par jour pendant 6 mois. Les effets sur les AVQ et la fonction de la main et du membre supérieur persistent pendant 6 mois.

Les vibrations à 80 Hz du tendon du triceps brachial augmentent la force de contraction des muscles extenseurs du coude affaiblie lors d'une lésion partielle.

Cela met en évidence le potentiel facilitateur de la vibration musculaire quand la commande motrice sur les motoneurones est faible.

Les vibrations sont donc un outil additionnel fort prometteur en réadaptation chez les patients ayant une faiblesse ou une commande volontaire faible ainsi qu'une incoordination motrice. En effet, il a été démontré que des potentiels évoqués apparaissent grâce aux SVT chez des patients qui n'en présentent pas au repos ni lors d'une contraction musculaire.

5. Sensation de mouvement

La plupart des publications scientifiques en France concernant les illusions de mouvement sont attribuées à JP Roll[49].

5.1. Physiologie de l'illusion de mouvement

Les SVT peuvent, dans certaines conditions de fréquence et d'amplitude, générer des sensations illusoires de mouvement[50]. Il faudra pour cela les appliquer au plus proche du tendon et le patient devra garder les yeux fermés. Quand le mouvement est réel, on observe une contraction du muscle agoniste (donnant la direction du mouvement) associée à un relâchement du muscle antagoniste qui favorisera le mouvement.

La propagation des vibrations se fait par le tendon vibré et stimule donc les mécanorécepteurs musculaires et articulaires.

Le relâchement du muscle vibré induit par les vibrations entraîne une illusion de mouvement dans la direction de l'étirement du muscle[51].

La vibration du triceps donne donc une illusion de flexion du coude

Elle est d'environ 5,5 degrés par seconde. Les illusions de mouvement sont donc de l'ordre des mouvements lents.

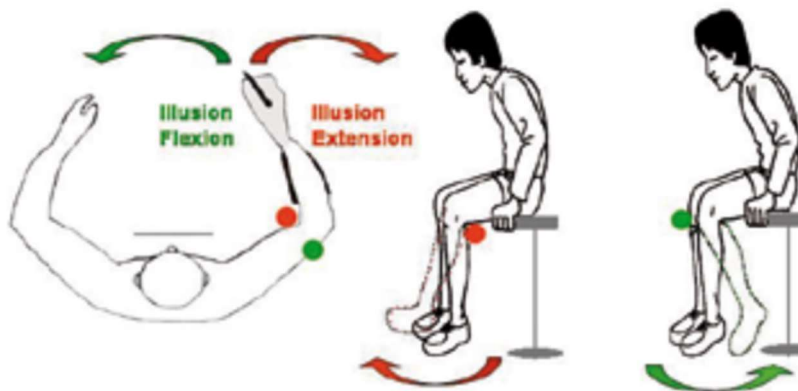


Figure 8 : illusions de mouvement[52]

Lors du mouvement illusoire[49], ce sont les mêmes zones du cortex qui s'activent que lors de la réalisation d'un mouvement réel.

Selon J.P. Roll, les SVT doivent être appliquées au niveau du tendon pour générer cette sensation de mouvement.

Lorsque les SVT sont appliquées perpendiculairement au tendon, elles se répercutent sur les FNM, plus précisément sur les terminaisons libres primaires (fibres Ia). Ceux-ci vont informer le SNC sur la longueur et la vitesse de déplacement du segment vibré.

Lors de l'application des SVT, on constate une réponse tonique de relâchement du muscle vibré. Le RVT (réflexe vibratoire tonique) est un réflexe myotatique[8]. On le rencontre quand le sujet n'est pas particulièrement relâché, ou quand il a un contrôle visuel sur le segment corporel vibré. Cela peut aussi être constaté chez les patients présentant une hypertonie pathologique du muscle vibré[53].

Les SVT entraînent alors, dans de telles conditions, une contraction réflexe du muscle vibré qui dure quelques secondes.

Le RVA (réflexe vibratoire antagoniste) est mis en évidence quand le patient est relâché et a les yeux fermés. Il y a une contraction réflexe des muscles antagonistes. Les SVT peuvent évoquer une réponse excitatrice des muscles antagonistes à celui vibré. L'intensité du RVA est en corrélation avec l'intensité du mouvement illusoire perçu par le patient. Le RVA proviendrait des voies descendantes et pourrait être une réaction à la déstabilisation imaginaire provoquée par l'illusion de mouvement. Roll (1980) montre que si le patient a les yeux ouverts, l'illusion de mouvement est nulle et le RVA disparaît.

La sensation de mouvement est due à l'inhibition du réflexe monosynaptique du muscle vibré.

5.2. Imagerie motrice

L'imagerie motrice est « la représentation mentale à partir d'expériences sensorielles d'une séquence motrice sans mouvements réels ».

La réalisation du mouvement se divise en 4 étapes :

- L'initialisation
- La planification
- La programmation
- L'exécution

Lorsqu'un patient exclut un segment lors d'une immobilisation ou d'une douleur provoquée par la mobilisation, l'image motrice de la main au niveau du cortex est modifiée[54]. Il y a une désafférentation sensori motrice.

Les SVT permettent d'augmenter le nombre d'afférences sensori motrices.

Le cerveau reçoit l'information donnée par le fuseau neuro musculaire.

Chez les patients amputés[55] d'un membre inférieur, l'utilisation des SVT permet de rééquilibrer la posture. Cela permet d'aider les patients à mettre en charge la prothèse.

Plus les embouts sont larges, plus on aura d'effets.

Le patient perçoit un mouvement qui n'existe pas. On demande au patient de montrer le mouvement qu'il ressent avec le côté controlatéral. Le mouvement perçu peut être aux alentours des 40 degrés.

Les stimulations asymétriques entre agonistes et antagonistes sont essentielles pour provoquer l'illusion de mouvement[51].

En effet, si les vibrations des agonistes et antagonistes sont simultanées, aucune illusion de mouvement n'est générée[56], [57].

5.3. Conditions des SVT pour induire une illusion de mouvement

Pour induire une illusion de mouvement, il faut que certaines conditions d'application des SVT soient présentes.

- Le patient doit garder les **yeux fermés**. En effet, les vibrations agissent sur la sensibilité profonde (sens du positionnement articulaire). On observe une réponse réflexe. On peut générer **l'orientation** qu'on souhaite.

- **Fréquence** entre 70 et 120 Hz
- **Amplitudes** des vibrations entre 0,2 et 0,4 mms.
- La **durée** d'application des SVT : on utilise plusieurs séquences courtes de 10 secondes entrecoupées de pauses de 10 secondes environ.

Il est possible de majorer la sensation de mouvement :

- En étirant au préalable le tendon qui sera vibré
- En utilisant une fréquence optimale entre 70 et 90 Hz pour augmenter la vitesse du mouvement ressenti
- On peut associer aux vibrations une mobilisation passive dans le sens du mouvement illusoire. On peut ainsi mobiliser le patient les yeux fermés en profitant de l'action antalgique des SVT. Le seul frein à la mobilisation dans ces conditions sera donc l'œdème.

La sensation de mouvement est plus importante que le mouvement lui-même[57].

La sensation de mouvement est meilleure si on associe une légère mobilisation passive aux vibrations.

Elle permet de passer la barrière de la douleur. Le patient est capable de refaire en actif la mobilité après la séance. La durée totale du traitement rééducatif est optimisée.

Cette aide dans la réduction de la durée du traitement est indépendante du traitement choisi, qu'il soit orthopédique ou chirurgical.

Les vibrations proches d'une articulation ont un bien meilleur effet.

L'illusion de mouvement permet d'entretenir le schéma moteur grâce à l'activation des aires corticales correspondantes à ce mouvement.

5.4. Mouvement induit par les vibrations

Le Pr ROLL[50] fait un travail en 2009 sur 10 volontaires sains. Les vibrations sont appliquées par 4 vibreurs au niveau du poignet droit, les sujets tiennent un stylo dans la main droite. En gardant les yeux fermés, il leur est demandé de suivre les sensations de mouvement. Il est alors possible de les faire écrire ou dessiner des formes géométriques.

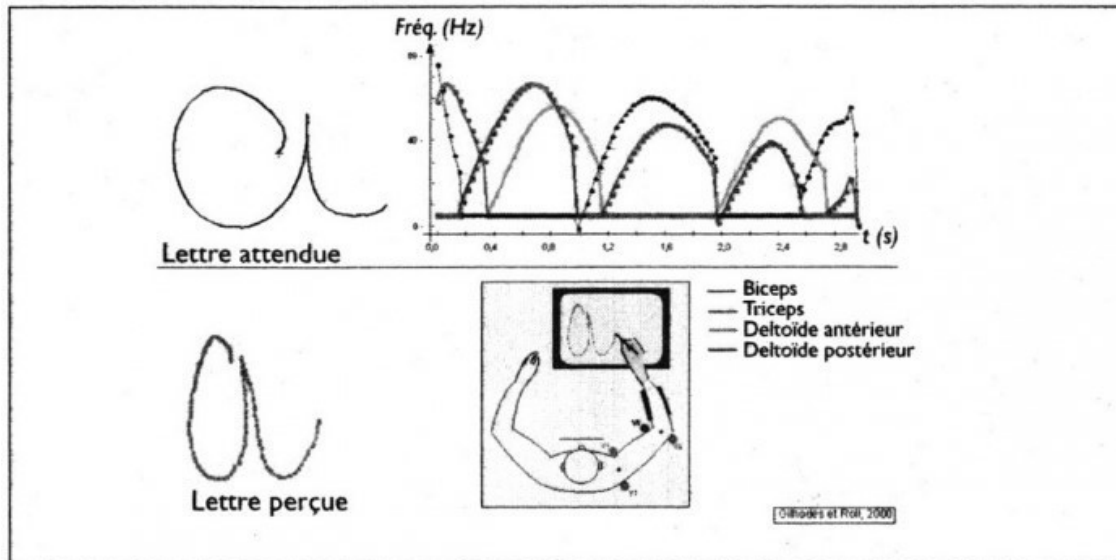


Figure 9 : modèle proprioceptif [8]

On peut définir très précisément la direction du mouvement que l'on souhaite.

Avec des vibreurs au niveau de la cheville, l'expérience de JP Roll a été refaite. En alternant les zones d'application des vibrations entre fléchisseurs, adducteurs et supinateurs, on obtient des séquences de vibrations pendant lesquelles le patient dessine une lettre.

Il en est de même en plaçant des vibreurs au niveau du coude, d'autres au niveau du poignet. Au départ on demande au patient de dessiner un « a ». On enregistre grâce à des capteurs, cela permet de définir à quel moment chaque muscle intervient. Le patron obtenu permet de faire le schéma inverse en activant les vibreurs au bon moment.

Avec des capteurs sur l'épaule et le coude, on obtient de la même façon des séquences d'activation musculaire. On fait vibrer au moment précis de la séquence, le patient redessine la lettre.

Si on se pince le nez et qu'on fait vibrer le biceps on a une sensation d'extension on a une sensation que le nez s'allonge. De même avec la main sur la tête, si on vibre le biceps, on a l'impression que le crâne s'allonge. C'est l'illusion de Pinocchio (Annexe 4).

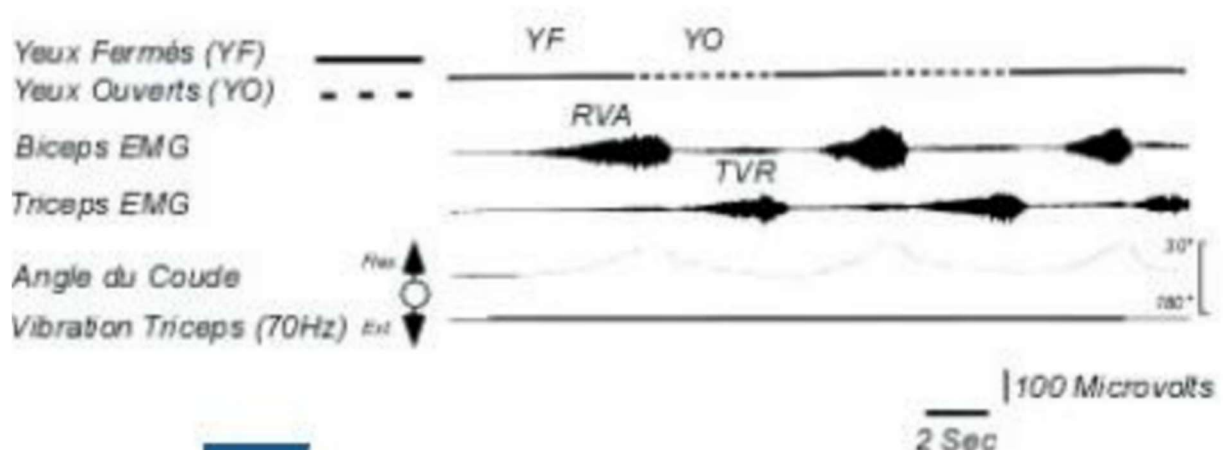


Figure 10 : vibrations yeux fermés yeux ouverts [49]

Ainsi, lorsque la mobilisation passive était rendue difficile par la douleur, l'œdème, l'appréhension du patient, le thérapeute peut associer aux SVT un mouvement passif dans le sens de l'illusion de mouvement, lent et doux.

La décharge des afférences Ia sur le muscle vibré est interprétée par le Système Nerveux Central comme si le muscle était étiré. On a donc une illusion de mouvement du muscle vibré.

Certains auteurs pensent que cette sensation de mouvement est due à l'activation de l'aire prémotrice, sensorielle motrice et pariétale du côté controlatéral à l'application des vibrations .

Rosenkranz et Rothwell (2004) font une étude [58] en vibrant plusieurs groupes musculaires au niveau de la main. Ils appliquent pendant 15 minutes des vibrations intermittentes (pour éviter la formation de RVA) et mesurent l'effet après 30 minutes. Sur 2 muscles voisins de la main, l'effet hétérotopique disparaît et on observe un effet homotopique sur le muscle non vibré. On met donc en évidence un chevauchement de la représentation au cortex sensoriel.

On note le même chevauchement quand on applique des stimulations simultanées des doigts chez les singes[59] et chez les humains[60].

5.5. Effets des SVT en neurologie

Dans la maladie de Parkinson, il est possible d'utiliser les sensation illusoires de mouvement[61]. L'effet antalgique et d'aide au mouvement (notamment aide à la marche) des SVT permet aux patients d'obtenir un gain important sans prise médicamenteuse supplémentaire.

6. Association des SVT avec d'autres techniques

6.1. SVT et thérapie miroir

La thérapie miroir fait partie intégrante de la rééducation de la main. Elle a été mise en place en 1996 par le Dr Vilayanur Ramachandran [62]. Il place alors un miroir entre le membre sain et le membre amputé de son patient. Le reflet du membre sain donne grâce à son reflet dans le miroir l'illusion au patient que son membre amputé peut bouger sans créer de douleur. Par la suite, la thérapie miroir a été mise en application dans d'autres pathologies, principalement les SDRC de type I, les pertes de mobilité en traumatologie.

Lors d'un traumatisme, il y a une réorganisation corticale due aux nouvelles afférences sensorimotrices.

Il existe plusieurs théories permettant d'expliquer le processus de la thérapie miroir :

- Existence de neurones miroir (l'observation du membre faisant une action motrice crée un programme moteur et excite le cortex moteur primaire). Il y a une activation de l'aire visuelle puis de l'aire somato sensorielle.
- Excitabilité du cortex moteur primaire du côté lésé associée à une diminution de l'activité corticale du côté sain[63]. Tous les auteurs ne s'accordent pas sur ce point. Il y a donc un rééquilibrage entre les hémisphères cérébraux.
- Activité du cortex moteur primaire du côté homolatéral et du côté controlatéral.

Le gain sur la mobilité est dû à la fois à la thérapie miroir et aux vibrations [44][39].

Plusieurs études sont en cours sur la réalité virtuelle. Cela permettrait, contrairement à la thérapie miroir, d'avoir une vraie illusion de mouvement sans être obligé de bouger la main saine. Le membre en mouvement peut être visualisé directement sur un écran. Cette méthode permet un gain d'extension de 4,5 % d'extension par rapport à la simple vibration des tendons fléchisseurs.

6.2. SVT et TENS

Dans le but d'augmenter l'effet analgésique des SVT, certains auteurs ont étudié leur effet combiné avec le TENS.

En effet, plusieurs études ont permis de démontrer que leur utilisation combinée a des résultats meilleurs en ce qui concerne l'antalgie[64].

La baisse de douleur sera aussi plus durable dans le cas de douleurs chroniques[5], [65].

On peut aussi utiliser les SVT dans un but de gain d'amplitude associé à des stimulations électriques. On peut stimuler le deltoïde pour obtenir une abduction d'épaule en même temps que la séquence excitomotrice. Pour permettre une meilleure amplitude articulaire, on fait relâcher les muscles abaisseurs grâce aux vibrations.

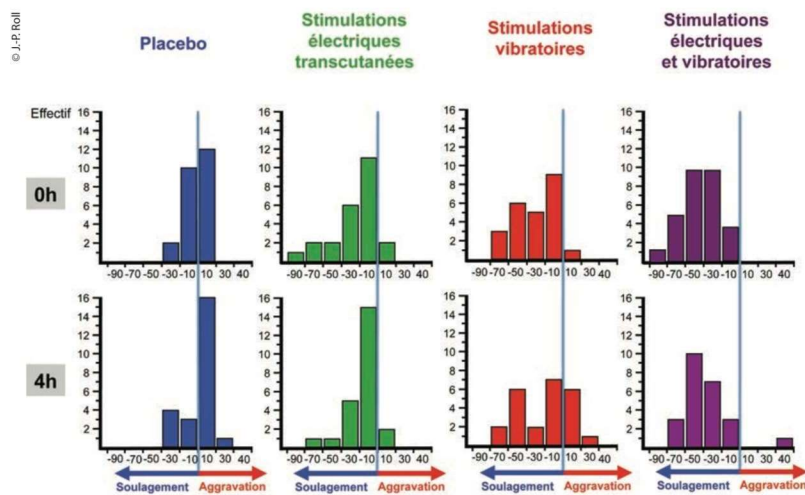


Figure 11 : association des SVT et stimulations électriques [1]

6.3. Combinaison des SVT avec une posture

Afin de permettre un gain d'amplitude articulaire plus important, on pourrait combiner les SVT avec une posture.

Cependant, pour que cela devienne possible, il faut attendre la fin de la consolidation osseuse. Les SVT, quant à elles, peuvent être utilisées de façon très précoce, dès le premier jour du traitement.

Actuellement, des gants vibrants branchés sur une batterie sont également à l'étude. Ceux-ci peuvent encore paraître onéreux pour certains patients puisqu'ils sont commercialisés aux Etats Unis aux environs de 120 euros.

Discussion

Les S.V.T. permettent de diminuer le temps de traitement du patient. Il est primordial de réduire le nombre de séances de rééducation nécessaires au patient afin d'être reconnu comme spécialistes en rééducation de la main.

En 2015, Nicolas BAILLY dans son mémoire dans le cadre du DIU de rééducation et appareillage de la main et du membre supérieur de Grenoble sur les S.V.T. dans les raideurs de l'IPP (inter phalangienne proximale) ne montre pas de différence significative entre son groupe témoin et son groupe vibré. Cependant les S.V.T. permettent d'obtenir des résultats de gain d'amplitudes plus précoces. Ceci même si à 45 jours de traitement, les 2 groupes obtiennent les mêmes résultats.

Certaines études ont par ailleurs démontré que parfois les SVT n'apportent pas d'amélioration mais surtout qu'il a été reporté quelques cas d'aggravation de la douleur après l'application de vibrations. Par conséquent, il faut bien noter que les méthodes de rééducation doivent toujours être réévaluées.

Des avancées ont lieu dans le domaine de la réalité virtuelle. Combinée aux SVT, elle pourrait apporter de nouvelles perspectives en rééducation. Malheureusement, ces techniques sont encore trop onéreuses et ne sont pas encore applicables dans tous les cabinets.

Conclusion

Les SVT ont beau être connues depuis l'antiquité notamment pour leurs effets antalgiques, il semble que l'avenir de cette technique soit encore très prometteur. De nos jours, étant donné le faible coût des appareils générateurs de vibrations, il serait vraiment inapproprié de se passer de cette aide technique.

Les SVT sont donc un outil indispensable dans la rééducation de la main. Par leurs effets antalgiques et facilitateurs de mouvements, elles peuvent être une solution incontournable pour permettre de réduire le temps de soins, notamment en traumatologie. La réduction du temps de soins pourra quant à elle diminuer le nombre de jours d'arrêt de travail.

Dans le domaine neurologique, bien que les études soient en cours, les SVT pourraient permettre une avancée importante puisqu'elles induisent des potentiels évoqués chez des patients n'en présentant pas au repos.

Les recherches sur la densité osseuse pourraient elles aussi amener à rendre les SVT incontournables dans les maladies dégénératives comme l'arthrose ou l'ostéoporose.

Bibliographie

- [1] F. Crepon, « Mdk - Stimulation vibratoire transcutanée : effets sur la douleur », *kinésithérapie scientifique*, avr. 2016.
- [2] M. Tardy-Gervet, R. Guieu, E. Ribot-Ciscar, et J.-P. Roll, « les vibrations mécaniques transcutanées, une méthode de contrôle sensoriel de la douleur », *Kinésithérapie scientifique*, avr. 1994.
- [3] D. Gerlac, « PHYSIOLOGIE ET APPLICATIONS DES STIMULATIONS VIBRATOIRES TRANSCUTANÉES EN RÉÉDUCATION DE LA MAIN », *Kinesither. Sci.*, vol. 624, oct. 2020, Disponible sur: <https://www.maisondeskines.com/article/12094-physiologie-et-applications-des-stimulations-vibratoires-transcutanees-en-reeducation-de-la-main>.
- [4] M. Romain, P. A. Durand, C. Kizlik, et Y. Allieu, « Question : que peut on attendre de la stimulation vibratoire transcutanée en rééducation ? », *Annales de kinésithérapie*, 1989.
- [5] T. Lundeborg, « The pain suppressive effect of vibratory stimulation and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) as compared to aspirin », *Brain Res.*, vol. 294, n° 2, p. 201-209, mars 1984, doi: 10.1016/0006-8993(84)91031-X.
- [6] D. Ottoson, A. Ekblom, et P. Hansson, « Vibratory stimulation for the relief of pain of dental origin », *PAIN*, vol. 10, n° 1, p. 37-45, févr. 1981, doi: 10.1016/0304-3959(81)90043-9.
- [7] R. Guieu, M.-F. Tardy-Gervet, et P. Giraud, « Met-enkephalin and beta-endorphin are not involved in the analgesic action of transcutaneous vibratory stimulation », *Pain*, vol. 48, n° 1, p. 83-88, janv. 1992, doi: 10.1016/0304-3959(92)90134-W.
- [8] H. Neiger, « Méthode de rééducation motrice par assistance proprioceptive vibratoire », *Annales de kinésithérapie*, 1983, t.10, pp. 9-19. Masson, Paris, 1983.
- [9] L. A. Jones, « Motor Illusions: What Do They Reveal About Proprioception? », *The American Psychological Association, Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance, Psychological Bulletin* 1988, Vol. 103, No.1, 72-86.
- [10] G. Dumas, « Influence de stimulations vibratoires appliquées au crâne et aux muscles cervicaux sur la fonction d'équilibration. Interprétations physiologiques et applications à la pathologie. Développement et validation d'un nouveau test d'exploration vestibulaire : le test de Dumas », *Thèse de doctorat, Université de Lorraine*, 2014.
- [11] R. Melzack et P. D. Wall, « Pain Mechanisms: A New Theory », *Science*, vol. 150, n° 3699, p. 971-979, nov. 1965, doi: 10.1126/science.150.3699.971.
- [12] « physiologie de la nociception, douleur de la périphérie au cortex », 2018 févr 12, p.3
- [13] Riemann BL, Lephart SM. The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. *J Athl Train.* 2002;37(1):71-9.
- [14] Mesnard R. « De la vibration, effets physiologiques et application thérapeutiques. » *Bulletins de la société de kinésithérapie.* 1903;
- [15] Thibault K. « Etude comparative de trois modèles de douleur neuropathique chez le rat : étude comportementale, pharmacologique et analyse transcriptomique. », *thèse de doctorat de l'université Pierre et Marie Curie*, sept 2009;
- [16] T. C. Lundeborg, « Vibratory stimulation for the alleviation of chronic pain », *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, vol. 523, p. 1-51, 1983.
- [17] J.-P. Roll, « Stimulation vibratoire transcutanée et douleur », *Douleurs Éval. - Diagn. - Trait.*, vol. 20, n° 5, p. 226-231, oct. 2019, doi: 10.1016/j.douler.2019.09.004.
- [18] M. Hollins, K. McDermott, et D. Harper, « How Does Vibration Reduce Pain? », *Perception*, vol. 43, n° 1, p. 70-84, janv. 2014, doi: 10.1068/p7637.
- [19] T. Lundeborg, R. Nordemar, et D. Ottoson, « Pain alleviation by vibratory stimulation », *Pain*, vol. 20, n° 1, p. 25-44, sept. 1984, doi: 10.1016/0304-3959(84)90808-X.
- [20] R. Guieu, P. Dano, M. Tardy-Gervet, et J.-P. Roll, « [Effects of naloxone on the analgesia induced

- by vibratory stimulation] », *Presse Médicale Paris Fr.* 1983, vol. 18, p. 1207-8, juill. 1989.
- [21] Differential responses of nociceptive vs. non-nociceptive sp... : PAIN
- [22] M. F. Tardy-Gervet, R. Guieu, E. Ribot-Ciscar, et J. P. Roll, « [Transcutaneous mechanical vibrations: analgesic effect and antinociceptive mechanisms] », *Rev. Neurol. (Paris)*, vol. 149, n° 3, p. 177-185, 1993.
- [23] R. Roll *et al.*, « Illusory movements prevent cortical disruption caused by immobilization », *NeuroImage*, vol. 62, n° 1, p. 510-519, août 2012, doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.05.016.

- [24] A. Gay, J.-M. Aimonetti, J.-P. Roll, et E. Ribot-Ciscar, « Kinesthetic illusions attenuate experimental muscle pain, as do muscle and cutaneous stimulation », *Brain Res.*, vol. 1615, p. 148-156, juill. 2015, doi: 10.1016/j.brainres.2015.04.041.
- [25] A. Gay *et al.*, « Apport de la rééducation proprioceptive vibratoire dans la prise en charge du syndrome douloureux régional complexe de type I; étude pilote ouverte sur sept patients et quatre témoins », *Rev. Rhum.*, vol. 74, n° 9, p. 861-867, oct. 2007, doi: 10.1016/j.rhum.2006.10.674.
- [26] W. Jänig et R. Baron, « Complex regional pain syndrome is a disease of the central nervous system », *Clin. Auton. Res. Off. J. Clin. Auton. Res. Soc.*, vol. 12, n° 3, p. 150-164, juin 2002, doi: 10.1007/s10286-002-0022-1.
- [27] Just Marie Marcelin Lucas-Championnière, *Traitement des fractures par le massage et la mobilisation*. Rueff, 1895.
- [28] C. Faure, « L'application des vibrations mécaniques sur les tendons sous les appareils plâtrés », *Annales de kinésithérapie*, 1983, t.10,n°9,pp. 325-329, Masson, Paris,1983.
- [29] D. Gerlac et F. Moutet, « Fractures de métacarpiens et phalanges : utilisation des vibrations pour faciliter les mobilisations précoces », *Kinésithérapie Rev.*, vol. 15, n° 158, p. 50, févr. 2015, doi: 10.1016/j.kine.2014.11.058.
- [30] R. Imai, M. Osumi, et S. Morioka, « Influence of illusory kinesthesia by vibratory tendon stimulation on acute pain after surgery for distal radius fractures: a quasi-randomized controlled study », *Clin. Rehabil.*, vol. 30, n° 6, p. 594-603, juin 2016, doi: 10.1177/0269215515593610.
- [31] Gay A, Parratte S, Salazard B, Guinard D, Pham T, Legré R, et al. Proprioceptive feedback enhancement induced by vibratory stimulation in complex regional pain syndrome type I: An open comparative pilot study in 11 patients. *Joint Bone Spine*. 1 oct 2007;74(5):461-6.
- [32] L. Xie *et al.*, « Low-level mechanical vibrations can influence bone resorption and bone formation in the growing skeleton », *Bone*, vol. 39, n° 5, p. 1059-1066, nov. 2006, doi: 10.1016/j.bone.2006.05.012.
- [33] A. E. Goodship, T. J. Lawes, et C. T. Rubin, « Low-Magnitude High-Frequency Mechanical Signals Accelerate and Augment Endochondral Bone Repair: Preliminary Evidence of Efficacy », *J. Orthop. Res. Off. Publ. Orthop. Res. Soc.*, vol. 27, n° 7, p. 922-930, juill. 2009, doi: 10.1002/jor.20824.
- [34] S. Lissek *et al.*, « Immobilization Impairs Tactile Perception and Shrinks Somatosensory Cortical Maps », *Curr. Biol.*, vol. 19, n° 10, p. 837-842, mai 2009, doi: 10.1016/j.cub.2009.03.065.
- [35] D. F. Collins, K. M. Refshauge, et S. C. Gandevia, « Sensory integration in the perception of movements at the human metacarpophalangeal joint », *J. Physiol.*, vol. 529, n° Pt 2, p. 505-515, déc. 2000, doi: 10.1111/j.1469-7793.2000.00505.x.
- [36] M. Romain, Y. Allieu, P.A. Durand, C. Kizlik, « Que peut-on attendre de la stimulation vibratoire transcutanée en rééducation ? », *Ann. Kinésithér.*, 1989,t.16, n° 7-8.Disponible sur: <https://kinedoc.org/work/kinedoc/66add7c1-b10f-4c2d-9ab4-c6eed4280f2d.pdf>.
- [37] Casale R, Damiani C, Maestri R, Fundarò C, Chimento P, Foti C. Localized 100 Hz vibration improves function and reduces upper limb spasticity: a double-blind controlled study. *Eur J Phys Rehabil Med*. oct 2014;50(5):495-504.
- [38] C. J. Spicher, B. Degrange, L. Noel, E.-M. Rouiller, « DE LA RÉÉDUCATION DE L'HYPOSENSIBILITÉ CUTANÉE TACTILE À LA CONTRE- STIMULATION VIBROTACTILE », *Exp. En Ergothérapie* : 19 ème série, p.207-220.
- [39] J. Balcon, mémoire DIU rééducation de la main et appareillage, « outils et matériels nécessaires au kinésithérapeute pour la rééducation de la main, un plateau minimum », Grenoble, 2019.
- [40] ROMAIN M, GINOUVES P, DURAND PA, RIERA G, ALLIEU Y. La stimulation vibratoire transcutanée en algologie. *Stimul Vibratoire Transcutanée En Algol*. 1989;32(1):63-9.
- [41] C. Spicher, N. Des flux, P. Sprumont, "Atlas des territoires cutanés du corps humain: esthésiologie de 240 branches." Sauramps médical Nov2013, p.29-48.
- [42] Durand et al., « Vibralgic, appareil de stimulation vibratoire transcutanée : intérêt,

méthode et indications. », Bulletin de la société suisse de rééducation de la main, 1996;7(2),20-27.

- [43] Mesplié G. Physiology and Rehabilitation of Sensorial and Motor Disorders. In: Mesplié G, éditeur. Hand and Wrist Rehabilitation: Theoretical Aspects and Practical Consequences [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2015 [cité 23 sept 2021]. p. 329-52. Disponible sur: https://doi.org/10.1007/978-3-319-16318-5_12
- [44] M. Bellugou, Y. Allieu, J. de Godebout, M. N. Thaury, et J. F. Ster, « Techniques de « désensitization dans la rééducation de la main douloureuse », *Ann. Chir. Main Memb. Supér.*, vol. 10, n° 1, p. 59-67, janv. 1991, doi: 10.1016/S0753-9053(05)80039-0.
- [45] J. Rittweger *et al.*, « Prevention of bone loss during 56 days of strict bed rest by side-alternating resistive vibration exercise », *Bone*, vol. 46, n° 1, p. 137-147, janv. 2010, doi: 10.1016/j.bone.2009.08.051.

- [46] K. Nakashima, R. Shimoyama, Y. Yokoyama, et K. Takahashi, « Reciprocal inhibition between the forearm muscles in patients with Parkinson's disease », *Electromyogr. Clin. Neurophysiol.*, vol. 34, n° 2, p. 67-72, mars 1994.
- [47] S. de Andrade Melo, « Effets de la vibration des muscles sur les mécanismes neuronaux et la fonction du membre supérieur et inférieur des personnes ayant une hémiparésie chronique », Montréal, Aout 2010, thèse présentée à la Faculté des études supérieures et postdoctorales, p.72-85.
- [48] I. Shirahashi, S. Matsumoto, M. Shimodozono, S. Etoh, et K. Kawahira, « Functional vibratory stimulation on the hand facilitates voluntary movements of a hemiplegic upper limb in a patient with stroke », *Int. J. Rehabil. Res. Int. Z. Rehabil. Rev. Int. Rech. Readaptation*, vol. 30, n° 3, p. 227-230, sept. 2007, doi: 10.1097/MRR.0b013e32829fa4b6.
- [49] J. P. Roll, « intérêts des stimulations proprioceptives fonctionnelles (FPS) en rééducation », Paris centre de congrès, 6^{ème} Journées Francophones de Kinésithérapie, Congrès SFRE, avr. 2017.
- [50] J.-P. Roll, F. Albert, C. Thyron, E. Ribot-Ciscar, M. Bergenheim, et B. Mattei, « Inducing Any Virtual Two-Dimensional Movement in Humans by Applying Muscle Tendon Vibration », *J. Neurophysiol.*, vol. 101, n° 2, p. 816-823, févr. 2009, doi: 10.1152/jn.91075.2008.
- [51] M. M. Wierzbicka, J. C. Gilhodes, et J. P. Roll, « Vibration-induced postural posteffects », *J. Neurophysiol.*, vol. 79, n° 1, p. 143-150, janv. 1998, doi: 10.1152/jn.1998.79.1.143.
- [52] J.P.Roll « Rééducation Proprioceptive par vibration tendineuse », Profession Kinésithérapeute n°23.
- [53] D. Burke, K. E. Hagbarth, L. Löfstedt, et B. G. Wallin, « The responses of human muscle spindle endings to vibration during isometric contraction », *J. Physiol.*, vol. 261, n° 3, p. 695-711, oct. 1976, doi: 10.1113/jphysiol.1976.sp011581.
- [54] M. Montant, P. Romaguère, et J.-P. Roll, « A new vibrator to stimulate muscle proprioceptors in fMRI », *Hum. Brain Mapp.*, vol. 30, n° 3, p. 990-997, 2009, doi: <https://doi.org/10.1002/hbm.20568>.
- [55] C. Duclos, R. Roll, A. Kavounoudias, J.-P. Roll, et R. Forget, « Vibration-induced post-effects: a means to improve postural asymmetry in lower leg amputees? », *Gait Posture*, vol. 26, n° 4, p. 595-602, oct. 2007, doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.12.005.
- [56] N. H et NEIGER H., « Rééducation sensori-motrice par assistance proprioceptive vibratoire », *Kinésithérapie Sci.*, n° N°252, p. 6-21, déc. 1986.
- [57] J. P. Roll et J. P. Vedel, « Kinaesthetic role of muscle afferents in man, studied by tendon vibration and microneurography », *Exp. Brain Res.*, vol. 47, n° 2, p. 177-190, 1982, doi: 10.1007/BF00239377.
- [58] Rosenkranz K, Rothwell JC. « The effect of sensory input and attention on the sensorimotor organization of the hand area of the human motor cortex. » *J Physiol.* 2004;561(1):307-20.
- [59] X. Wang, M. M. Merzenich, K. Sameshima, et W. M. Jenkins, « Remodelling of hand representation in adult cortex determined by timing of tactile stimulation », *Nature*, vol. 378, n° 6552, p. 71-75, nov. 1995, doi: 10.1038/378071a0.
- [60] B. Ziemus, R. Huonker, J. Haueisen, J. Liepert, F. Spengler, et C. Weiller, « Effects of passive tactile co-activation on median ulnar nerve representation in human SI », *Neuroreport*, vol. 11, n° 6, p. 1285-1288, avr. 2000, doi: 10.1097/00001756-200004270-00028.
- [61] S. Sharififar, R. A. Coronado, S. Romero, H. Azari, et M. Thigpen, « The Effects of Whole Body Vibration on Mobility and Balance in Parkinson Disease: a Systematic Review », *Iran. J. Med. Sci.*, vol. 39, n° 4, p. 318-326, juill. 2014.
- [62] Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proc Biol Sci.* 22 avr 1996;263(1369):377-86.
- [63] C. Fritsch, J. Wang, L. F. Dos Santos, K.-H. Mauritz, M. Brunetti, et C. Dohle, « Different effects of the mirror illusion on motor and somatosensory processing », *Restor. Neurol. Neurosci.*, vol. 32, n° 2, p. 269-280, 2014, doi: 10.3233/RNN-130343.
- [64] A. Jadaud, J. Nizard, C. Danglot, M. Fourneau, et Y. Lajat, « Place du masseur-kinésithérapeute

- dans la prise en charge pluridisciplinaire des douloureux chroniques en Centre de Traitement de la Douleur », *Douleur Analgésie*, vol. 16, p. 145-149, sept. 2003, doi: 10.1007/BF03008062.
- [65] R. Guieu, M.-F. Tardy-Gervet, et J.-P. Roll, « Analgesic Effects of Vibration and Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Applied Separately and Simultaneously to Patients with Chronic Pain », *Can. J. Neurol. Sci.*, vol. 18, n° 2, p. 113-119, mai 1991, doi: 10.1017/S0317167100031541.

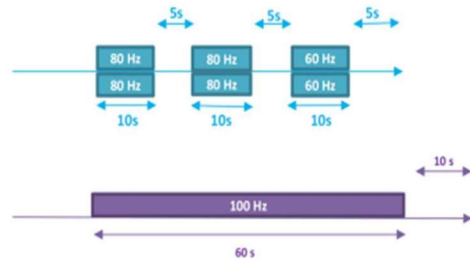
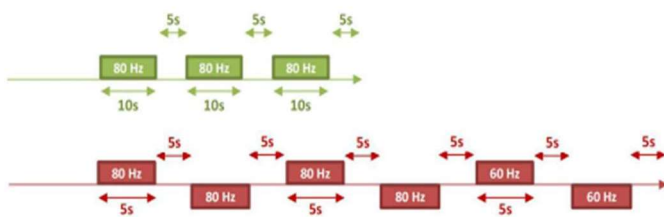
ANNEXES

Annexe 1

Paramètres et protocoles



Mode	Pathologies	Pression d'application	Appareils utilisés	Fréquence de vibration (Hz)	Séquence de vibration (s)	Temps de pause (s)	Durée de séance (min)	Pattern de stimulation			
								1 Vibreur	2 Vibreurs	1 Vibreur	2 Vibreurs
1 Proprioception Récupération de mobilité	Traumatologie (fractures, entorses...) Dyskinésie, plégie, paresie (suites d'AVC...) Spasticité Raideur, ankylose articulaire (épaule gelée...) Alcodystrophie	Modérée > sur le(s) tendon(s)	VB200 + embouts barette 1 VB115 2 VB115	60 - 80 alternatif	10	5	10		non		
2 Antalgie Douleur aiguë ou chronique	Névralgie Névromes douloureux Douleurs fantômes Tendinites (épicondylites...)	Superficielle > Balayage cutané	VB200	100	60	10	10		non	non	non
3 Sensibilité Cutanée	Neurologique Hypo/Hyper esthésie Cicatrices douloureuses (après suture, greffe...)	Superficielle > Balayage cutané	VB200	100	60	10	10		non	non	non
4 Hypotonie	Redressement postural tête-tronc chez l'IMC (Infirme Moteur Cérébral)	Modérée > sur le(s) tendon(s) 2 Quadriceps	2 VB115					non	non	non	



Annexe 2

Liste non exhaustive des appareils générateurs de vibrations :

Le vibralgic

Le vibrasens

Le diapason

Le vibracare de G5 vibre entre 0 et 60 Hz

Le nostrafon vibre a 100 Hz en position 2 au minimum 0,2 mms de débattement

Le vibradol

Le vibramoov

Theragun

Appareils grand public :

Applications sur téléphone : on ne peut pas encore gérer les fréquences

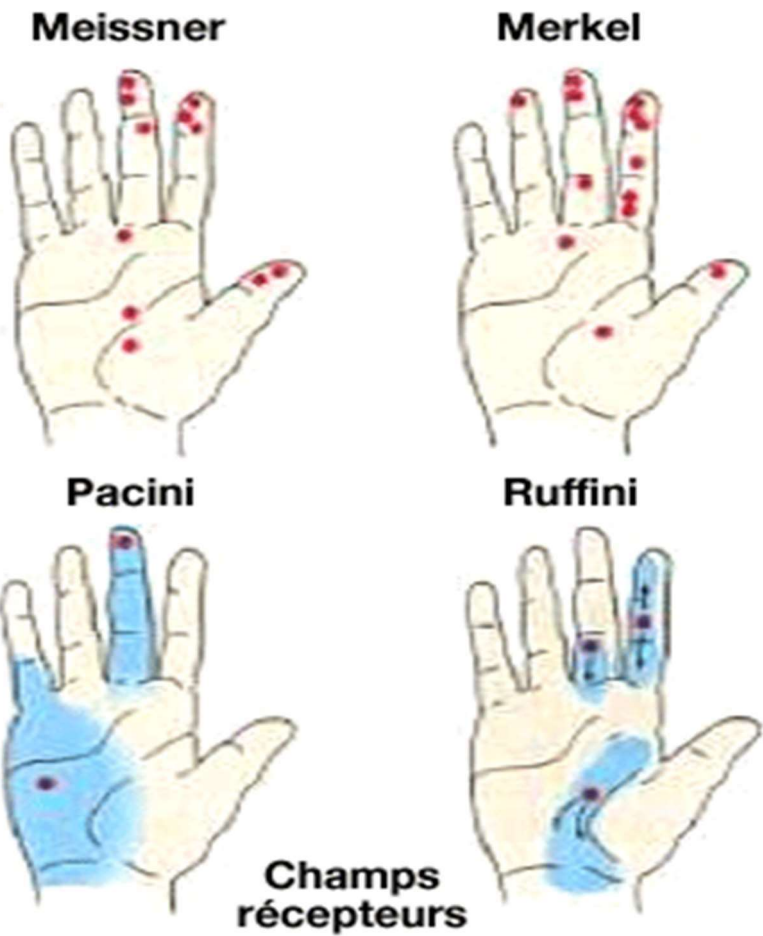
Le bol tibétain

Simulateur de rasoir

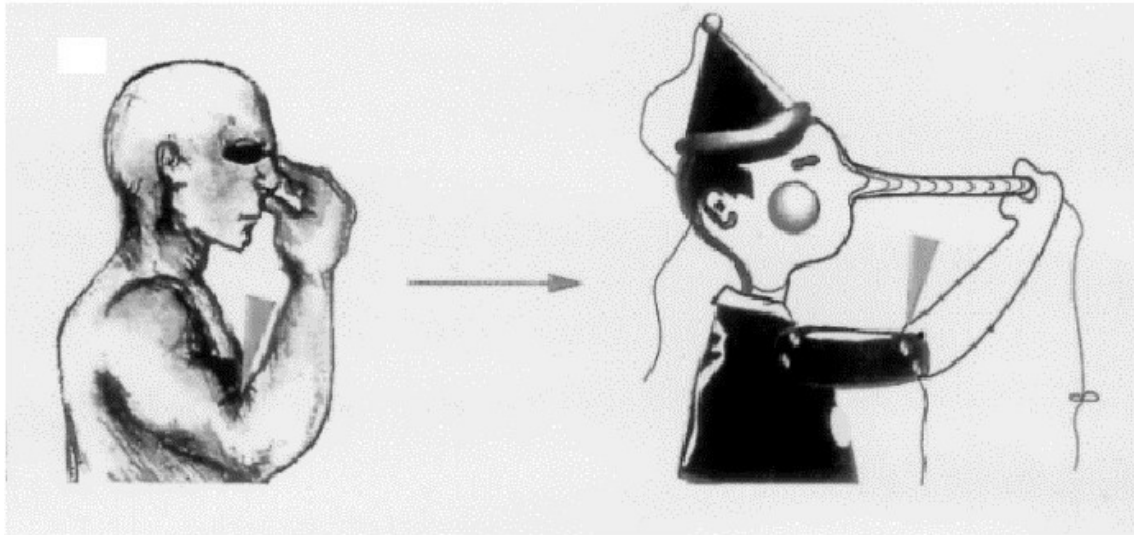
Décathlon à 10 euros Nature et découvertes

Brosse à dents électrique. Les patients peuvent utiliser le dos de la brosse électrique.

Annexe 3



Annexe 4



annexe 4 : illusion de pinocchio