MINISTÈRE DE LA SANTÉ

RÉGION LORRAINE

INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE

DE NANCY

INTÉRÊTS DE L'IMAGERIE MOTRICE LORS DE L'IMMOBILISATION

Mémoire présenté par Mélanie AUBRY

Étudiante en 3ème année de masso-kinésithérapie

En vue de l'obtention du Diplôme d'État

De Masseur-Kinésithérapeute.

2014 – 2015

SOMMAIRE

RÉSUMÉ
1. INTRODUCTION 1
2. MÉTHODE DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE 2
3. EFFET DE L'IMMOBILISATION 3
3.1. Généralités 3
3.2. Au niveau musculaire 4
3.2.1. Amyotrophie 4
3.2.2. Masse musculaire 5
3.2.3. Force musculaire 6
3.2.4. Tissu conjonctif 6
3.3. Au niveau vasculaire 7
3.4. Au niveau cortical et nerveux 7
4. IMAGERIE MENTALE 9
4.1. Généralités 9
4.2. Voies nerveuses mises en jeu 11
4.3. Moyens d'évaluation 13
4.4. Population cible 14
4.5. Effet de l'imagerie mentale 16
5. RÉSULTATS DES DIFFÉRENTES ÉTUDES 17
5.1. Force 17
5.2. Amplitude articulaire 18
5.3. Temps de réponse 19
5.4. Stimulation du système nerveux 20
5.5. Études sur des sujets pathologiques 22
6. DISCUSSION 25
7. CONCLUSION 28
BIBLIOGRAPHIE
ANNEXES

RÉSUMÉ

L'imagerie mentale est une technique qui a prouvé son efficacité dans différents domaines, notamment comme technique de rééducation en neurologie ou comme entraînement sportif pour les athlètes. Les recherches s'intéressant à son application lors d'une immobilisation n'en sont qu'à leurs prémices.

Cette technique semble avoir un intérêt lors d'une immobilisation pour limiter les effets sur la douleur, la force, l'amplitude, le schéma nerveux.

Cette étude a pour but de synthétiser les recherches actuelles sur l'imagerie mentale chez des sujets immobilisés. Le nombre d'études est faible, et très peu sont appliquées sur des sujets pathologiques. Les résultats sont parfois contradictoires quant à son efficacité. Il semble cependant qu'elle soit applicable à tous types de patients quels que soient le sexe, l'âge ou l'activité physique.

Le nombre limité d'études ne permet pas de conclure à une efficacité certaine de l'imagerie mentale lors d'une immobilisation. Cependant, elle a vraisemblablement sa place en complément du traitement habituel masso-kinésithérapique au cours des premières étapes du processus de réhabilitation. Il semble intéressant d'appliquer cette technique pour impliquer le patient dans sa rééducation étant donnés un coût faible et un temps d'application relativement court.

Mots-clés : imagerie mentale (mental imagery), imagerie motrice (motor imagery), immobilisation (immobilization).

1. INTRODUCTION

Au cours d'une vie, le corps subit de nombreux événements traumatiques. Ils peuvent être importants, tels que les fractures osseuses, les entorses graves avec atteintes ligamentaires ou certains traitements chirurgicaux. Ces traumatismes nécessitent la mise en place d'une immobilisation de la partie du corps concernée pour permettre sa cicatrisation et sa consolidation. La durée d'immobilisation peut varier de quelques semaines à quelques mois.

L'immobilisation provoque des complications, telles que l'amyotrophie, la perte de mobilité articulaire et des désafférentations au niveau cortical entraînant une perte de représentation du mouvement. Par conséquent, les fonctions sont souvent sub-optimales après l'immobilisation [1].

Il est communément observé que la rééducation masso-kinésithérapique démarre essentiellement après l'immobilisation, dans le but de retrouver rapidement l'amplitude articulaire, la force et la fonctionnalité.

L'imagerie mentale (répétitions volontaires de représentation imagée de situation ou de tâche dynamique) est une technique utilisée en masso-kinésithérapie. Elle est appliquée notamment dans le domaine de la neurologie en post A.V.C. (Accident Vasculaire Cérébral) mais aussi dans le domaine sportif par les athlètes pour améliorer leurs performances. Elle affecte positivement l'acquisition des compétences et des performances motrices.

La pratique de l'imagerie mentale regroupe deux aspects : l'imagerie visuelle, où le patient doit imaginer un mouvement et son exécution, et l'imagerie kinesthésique dite motrice, où le patient doit imaginer le mouvement et se concentrer sur le fait de le ressentir [2]. Dans ces deux modes, la concentration et les répétitions sont importantes.

Des groupes de recherche suggèrent que l'utilisation de l'imagerie mentale dans la rééducation physique est un moyen simple et peu coûteux pour promouvoir la récupération motrice [3] [2]. Le traitement pourrait s'appliquer lors des premières étapes du processus de réhabilitation, car il n'engendre pas de stress au niveau de l'os et des tissus mous [1].

Une rééducation précoce offrirait un avantage fonctionnel et accélérerait le processus de récupération après une immobilisation.

Au fil des recherches bibliographiques, nous nous demanderons quels sont les effets thérapeutiques de l'imagerie mentale lors de l'immobilisation.

Dans ce mémoire nous allons dans un premier temps synthétiser les troubles physiques et neurologiques dus à l'immobilisation d'un membre. Nous étudierons ensuite la mise en œuvre de l'imagerie mentale et ses effets. Enfin, nous analyserons les études mettant en pratique l'imagerie mentale lors de l'immobilisation.

2. MÉTHODE DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La recherche bibliographique recense les publications qui impliquent l'imagerie mentale lors d'une immobilisation. Elle s'est effectuée de juillet 2014 à mars 2015 en interrogeant les banques de données scientifiques PubMed, Cochrane Library, ScienceDirect, PEDro, Réédoc et Kinédoc. La plupart des recherches sont effectuées en anglais, les mots-clés utilisés étant : mental imagery/imagerie mentale, immobilization/immobilisation, mental practice, motor imagery/imagerie motrice.

Les résultats obtenus sont ensuite triés par lecture de titre et de résumé. Sont exclues de notre étude : les publications écrites dans une langue autre que le français ou l'anglais, celles impliquant des membres fantômes, les traitements sur patient post A.V.C. et sur des dommages cérébraux ou nerveux (sauf pour les prendre en références pour l'introduction et les rappels) (fig. 1). La recherche est complétée en analysant des publications prenant comme sources les articles déjà retenus mais également les propres sources de ces articles.

Finalement, huit articles sont retenus (trois essais contrôlés randomisés, deux essais contrôlés non randomisés, deux séries de cas et un cas clinique), parus entre 2003 et 2014.

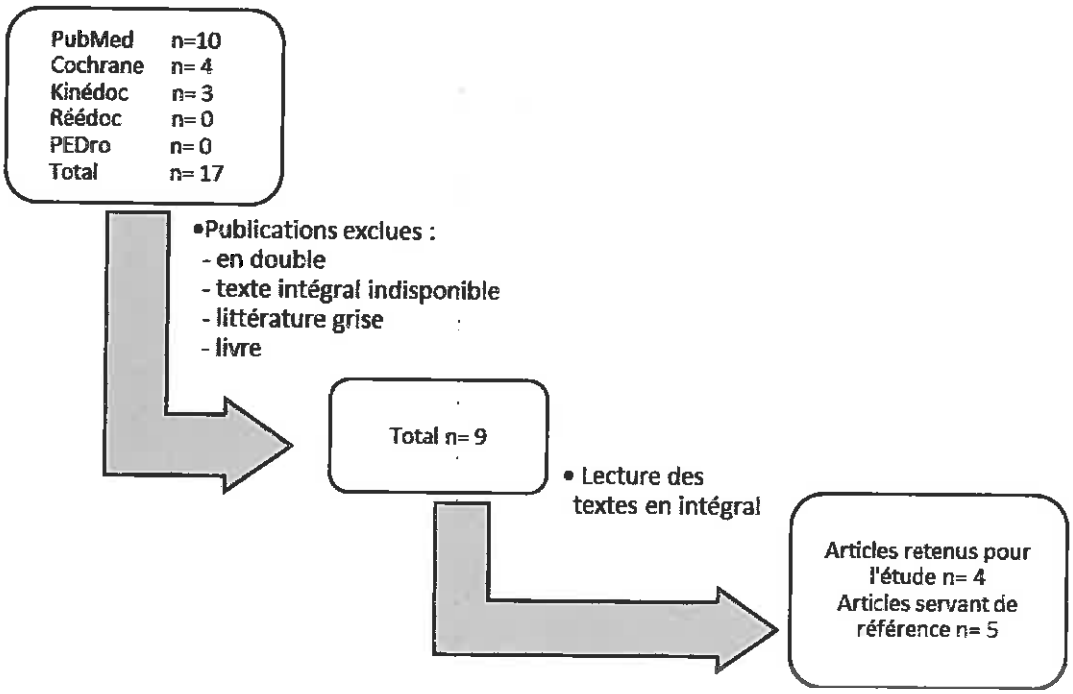

Figure 1 : Méthode de sélection pour l'exemple de la recherche «mental imagery AND immobilization» ou «imagerie mentale ET immobilisation».

3. EFFET DE L'IMMOBILISATION

3.1. Généralités

L'immobilisation est un traitement qui consiste à empêcher tout mouvement du corps ou d'une partie du corps pour permettre la cicatrisation (tendineuse, ligamentaire, nerveuse, cutanée, etc.) ou la consolidation dans la position de correction d'un ou plusieurs os fracturés.

Lors de traumatismes, la durée d'immobilisation est déterminée en fonction de la gravité des lésions occasionnées. En règle générale, il faut compter 6 semaines pour les fractures simples, les entorses et les contusions des parties molles. Cette durée peut être modifiée selon l'importance de la lésion (de 3 à 8 semaines). Pour les entorses simples ou les luxations réduites sans complications, la durée est de 3 semaines. La période d'immobilisation pour les fractures plus compliquées et comminutives est plus longue, même lorsqu'elles sont associées à un traitement chirurgical. Pour les fractures diaphysaires du membre inférieur

avec un traitement orthopédique (non chirurgical), la durée d'immobilisation, qui peut atteindre 4 à 5 mois, est souvent réduite par la chirurgie [49].

Concernant les membres supérieurs, l'H.A.S. (Haute Autorité de Santé) «s'est prononcée en faveur de l'utilisation des orthèses dans les cas d'indications traumatologiques, post-opératoires orthopédiques, rhumatologiques ou neurologiques nécessitant une prise en charge à visée antalgique ou fonctionnelle du membre supérieur. L'effet attendu d'une orthèse statique est le maintien passif d'une position fixe d'une ou plusieurs articulations ou d'un segment de membre, choisie par le prescripteur» [4].

L'orthèse est un «appareil orthopédique destiné à soutenir une fonction locomotrice déficiente et fixé contre la partie atteinte (attelle, gouttière, corset, plâtre, etc.)» [50].

3.2. Au niveau musculaire

3.2.1. Amyotrophie

L'amyotrophie est une «diminution du volume d'un muscle strié par réduction du nombre des fibres contractiles qui le constituent» [50].

Les muscles squelettiques sont responsables du maintien de la posture et de la mise en mouvement volontaire du squelette. Leur amyotrophie est un processus hautement régulé et dépendant des variations métaboliques, biochimiques et des changements structurels qui affectent la fonctionnalité des muscles concernés.

La structure des muscles squelettiques (fig. 2) est conditionnée par l'activité proprioceptive, l'innervation motrice, la mobilité articulaire et la charge mécanique en effectuant des cycles d'étirement-raccourcissement. Si l'un de ces éléments est perturbé, il se développe une amyotrophie qui est caractérisée par une diminution de la taille des fibres musculaires et de la coupe transversale du muscle. Elle s'accompagne d'une baisse de la teneur en protéines, d'une force musculaire réduite, d'une augmentation de la fatigabilité et d'une résistance accrue à l'insuline [5].

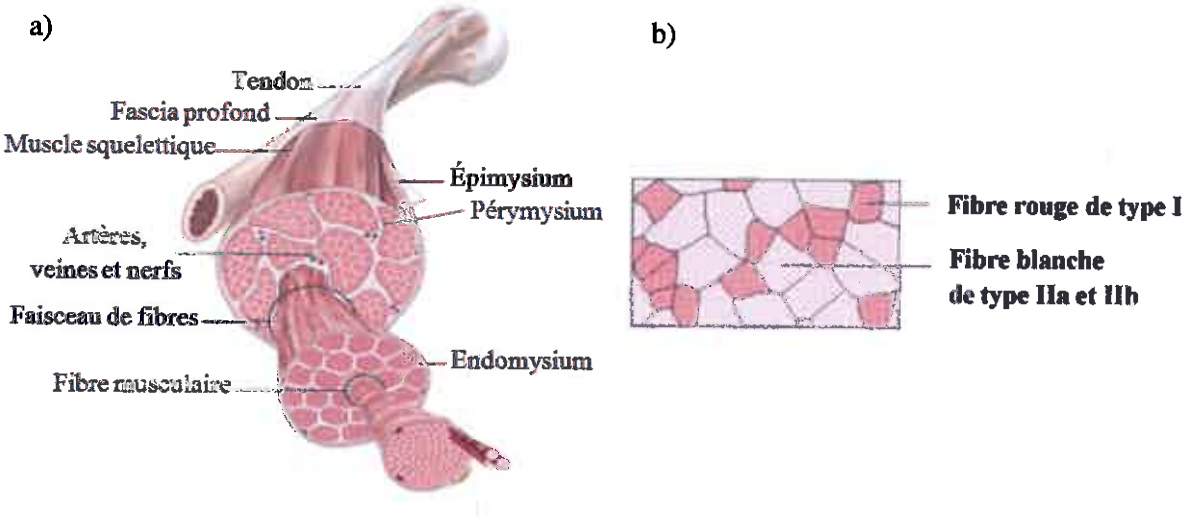

Figure 2 : a) Composition d'un muscle squelettique ; b) Type des fibres musculaires [51]

L'amyotrophie touche majoritairement les fibres à oxydation lente (type I). Hortobagyi et al. montrent que la quantité de fibres de type I, IIa et IIb diminue de 13%, 10% et 10% respectivement après 3 semaines d'immobilisation du genou [6]. Les muscles posturaux et anti-gravifiques sont constitués majoritairement de fibres de type I et sont donc les plus touchés. Des changements qualitatifs, tels que des modifications de type de fibres musculaires, peuvent précéder des changements quantitatifs du muscle squelettique inactif [5].

3.2.2. Masse musculaire

Le volume du muscle est déterminé par la masse maigre et la masse grasse présente à son niveau. La masse musculaire est déterminée par l'activité contractile. L'inactivité physique entraîne une diminution de 14 à 17% de la masse musculaire en 72 heures d'immobilisation [5]. Mais des résultats plus hétérogènes peuvent être trouvés notamment sur les membres supérieurs qui ont moins de masse musculaire par rapport aux membres inférieurs. Cette réduction de masse musculaire et les altérations des propriétés de la membrane musculaire affectent la force de contraction [7].

3.2.3. Force musculaire

Pour Fox et Mathews (1981), «la force musculaire se définit comme étant la tension qu'un muscle ou plus exactement un groupe de muscles peut opposer à une résistance en un seul effort maximal». La force induite durant une contraction maximale volontaire est réduite par l'immobilisation. La réduction de la force se produit habituellement dans les premiers jours de l'immobilisation à un taux de 1% à 6% par jour. Des études d'immobilisation du membre supérieur montrent une réduction de la force relative variant entre 18% et 55% [8]. Hortobagyi et al. observent une diminution de 47% de la force du vaste latéral lors de 3 semaines d'immobilisation du genou. Cette perte de force est retrouvée en mode concentrique, excentrique et isométrique [6].

Pour Weineck (1986) la force maximale «est la force la plus grande que le système neuromusculaire peut exercer par une contraction volontaire contre une résistance». L'étude de Karolczak et al. de 2009 observe une réduction de la force maximale dans différentes positions de l'articulation du coude, suggérant une réduction générale de la production de force musculaire par les muscles fléchisseurs et extenseurs du coude [8].

La réduction de la force maximale est également une conséquence de l'amyotrophie avec une diminution des fibres de type I qui affectent les propriétés contractiles du muscle [7] [8].

Cependant, une grande partie de la réduction de la force lors de la contraction maximale volontaire peut être induite par une adaptation neuronale. Par conséquent, cette diminution de force n'est pas un simple reflet de l'adaptation du muscle [7] [6] [9].

3.2.4. Tissu conjonctif

Le tissu conjonctif est un «tissu d'origine mésenchymateuse, faisant jonction entre les autres tissus, et constitué par une substance fondamentale, des fibres et des cellules d'aspect très divers». La fibre conjonctive est une «fibre du tissu conjonctif constituée d'une protéine : soit collagène, soit élastine» [50].

L'immobilisation augmente à la fois la synthèse de collagène et sa dégradation induisant un remodelage des fibres. L'étude de Kannus et al., faite sur les rats, montre une augmentation significative de la surface du tissu conjonctif au niveau intramusculaire (18,9% pour le muscle soléaire immobilisé contre 3,6% du coté sain). 66% des fibres musculaires du soléaire immobilisé ont des altérations pathologiques contre 6% au niveau du muscle sain [10].

La prolifération du tissu conjonctif stimule la formation de liaisons entre les fibres de collagène ce qui entraîne une perte de l'extensibilité et une augmentation de la rigidité du tissu musculaire. Cette augmentation de tissu conjonctif produit une barrière mécanique qui complique l'approvisionnement en sang des fibres musculaires [5].

3.3. Au niveau vasculaire

Les changements observables au niveau vasculaire ne sont pas encore clairs.

En effet, l'étude faite par Ohmori et al. en 2010 n'observe pas de changement significatif au niveau du flux sanguin ou au niveau du diamètre de l'artère brachiale lors de 3 semaines d'immobilisation du membre supérieur [2]. Ceci peut être expliqué par le fait que la diminution des capillaires est proportionnelle à la perte de masse musculaire et qu'elle touche majoritairement les muscles squelettiques à fibres lentes que ceux à fibres rapides.

A contrario, l'étude de Kanus et al., faite sur des rats, montre une diminution du flux sanguin et du nombre de capillaires intramusculaires (le membre immobilisé ne présente que 63% de la densité normalement présente sur le muscle non immobilisé) [10].

3.4. Au niveau cortical et nerveux

Lors de l'immobilisation, les adaptations neuronales et musculaires sont susceptibles d'évoluer de manière liée et d'apparaître rapidement (moins de 72 heures) [11]. Les modifications des propriétés neuronales et musculaires suggèrent que les altérations dans les propriétés contractiles observées après l'immobilisation sont dues à une baisse de l'activité des motoneurones innervant les unités motrices (déficit de la fonction synaptique) [7].

La diminution de la contraction maximale volontaire est attribuable à un déficit volontaire dû au changement des propriétés fonctionnelles du système nerveux [12]. La commande neuronale est moins efficace pour activer volontairement les muscles squelettiques, entraînant une diminution de la force musculaire. Par exemple, une étude rapporte qu'avant la mise en place d'une immobilisation, l'activation centrale était de 97% au maximum, et la force maximale volontaire représentait une intensité de contraction à 14.5% des capacités maximales du muscle. Après l'immobilisation, l'activation centrale était de 73% au maximum, et les capacités maximales du muscle étaient à 11% [13].

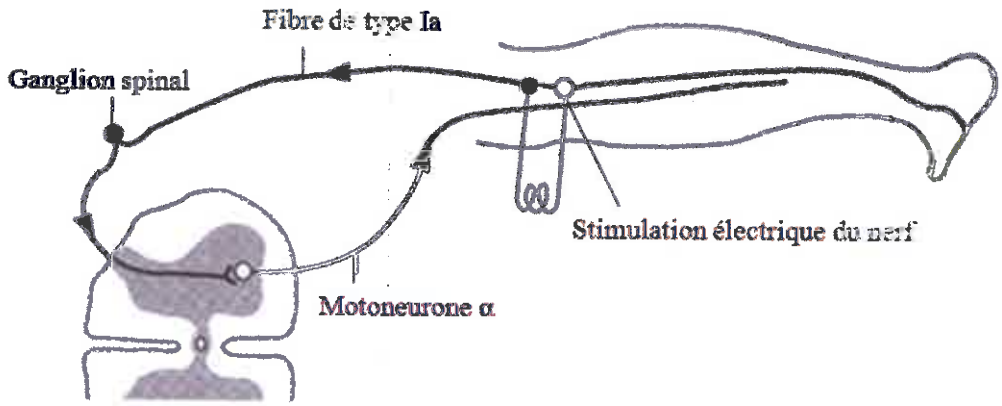

Figure 3 : Schéma des voies neurologiques activées lors du réflexe de Hoffmann [52].

Le reflexe-H (réflexe de Hoffmann) est un réflexe monosynaptique engendré par une stimulation électrique des fibres sensitives d'un nerf. Il reflète le fonctionnement de la boucle sensitivo-motrice entre les fibres sensitives Ia et les motoneurones α (fig. 3). Il augmente au repos et lors de contractions statiques à la suite d'une immobilisation. Ce phénomène peut être dû à une augmentation du seuil d'excitabilité aux niveaux spinal et cortical ou à des changements dans le système descendant du cortex moteur. Ceci entraînerait une déficience dans la capacité du système nerveux à stimuler les muscles squelettiques. Des modifications au niveau du potentiel moteur évoqué, mis en évidence par stimulation magnétique transcrânienne, se retrouvent dans différentes études, qui ne permettent cependant pas de déterminer si ces modifications sont plutôt dues à des adaptations corticales ou spinales [12] [13].

En utilisant la stimulation magnétique transcrânienne, qui permet de cartographier les aires du cortex cérébral, une étude observe que l'aire motrice corticale du tibial antérieur (qui a une surface de 22,6 cm^2 à l'état initial), ne recouvre plus que 13,5 cm^2 après 4 semaines d'immobilisation de la cheville [7]. Les réductions observées se situent principalement dans l'aire motrice primaire (M1) et somesthésique primaire (S1). Ceci sous-entend que les altérations corticales sont dues au dysfonctionnement du système moteur, mais aussi au défaut de feedback sensoriel et proprioceptif du membre immobilisé [14].

La douleur est un facteur qui peut également modifier le système nerveux. Elle peut induire une augmentation de l'excitabilité neuronale [15]. Lors d'un syndrome douloureux régional complexe ou de douleurs chroniques, les aires somesthésiques primaire (SI) et secondaire (SII) sont significativement réduites [14].

Toutes les adaptations faites par le système nerveux sont en fonction du temps de l'immobilisation, et retournent à la normale spontanément après le retrait de l'immobilisation [16] [14].

4. IMAGERIE MENTALE

4.1. Généralités

On considère que la pratique mentale est la répétition volontaire de scènes ou de tâches, alors que la pratique d'imagerie motrice (I.M.) se réfère spécifiquement aux répétitions mentales dans un but d'amélioration des performances motrices. Cependant, les termes «pratique mentale» et «pratique de l'imagerie motrice» sont considérés comme des synonymes et sont souvent utilisés indifféremment dans les études [17].

L'I.M. est la capacité à imaginer mentalement l'exécution d'une tâche plus ou moins complexe sans entraîner de mouvements réels du corps ou de contraction musculaire. C'est un processus actif au cours duquel la représentation d'une action est reproduite en interne au sein de la mémoire de travail [18]. Elle s'appuie sur les cinq modalités sensorielles, la vision étant une utilisation évidente pour la représentation mentale [19] [20].

Il existe deux manières d'imaginer un mouvement. La première est une imagerie interne (à la première personne), où la tâche à effectuer doit être perçue comme si nous étions réellement les acteurs du mouvement. La deuxième manière est l'imagerie externe (à la troisième personne, tel un spectateur), où la tâche est représentée comme si nous l'observions depuis l'extérieur (l'individu faisant l'action pouvant être lui-même ou un tiers) [19].

Chaque point de vue a des propriétés différentes. Le point de vue externe implique essentiellement une représentation visuelle de la tâche motrice, alors que l'interne comprend, en plus de la représentation visuelle, les sensations kinesthésiques associées aux mouvements simulés [18].

L'imagerie kinesthésique est une technique qui se base sur le «ressenti». Elle s'intéresse à la perception des modifications musculo-articulaires, des contractions et des tensions musculo-tendineuses ressenties ordinairement pendant l'exécution réelle d'un mouvement [19]. Elle améliore les feedback somesthésiques des articulations et des muscles. Ainsi, elle est susceptible d'accroître l'excitabilité corticomotrice [21], ce qui est mis en évidence par une activité électromyographique dans les muscles impliqués dans l'exécution du mouvement [20].

Cependant, l'imagerie visuelle n'entraîne pas d'activité électromyographique, donc lorsque les sujets ne s'imaginent pas exécuter l'action en imagerie interne, ils ne perçoivent pas les informations de types kinesthésiques et motrices [22]. L'imagerie en perspective interne joue alors un rôle plus important que l'imagerie en perspective externe dans l'apprentissage de compétences motrices [23] [24]. Néanmoins, une étude montre que les performances d'un groupe considéré comme bon imageur visuel et mauvais imageur kinesthésique étaient meilleures que celle d'un groupe mauvais imageur visuel et kinesthésique. L'imagerie visuelle s'accompagne donc d'un effet bénéfique sur les performances lors d'une imagerie proprioceptive [53]. L'apprentissage d'une séquence motrice est plus efficace lors de l'imagerie visuelle que lors de la pratique physique. L'imagerie kinesthésique n'est efficace que lorsque les sujets ont déjà réalisé préalablement les mouvements individuellement [53].

La structure cérébrale d'un individu est modifiée selon un excès ou une carence de stimulation : c'est la plasticité neuronale. Elle permet une auto-organisation dans le développement de l'organisme et, par sa transformation, de réaliser de nouvelles fonctions [19].

La construction des images mentales peut être facilitée lorsqu'elle est réalisée dans un contexte approprié (mise en situation dans l'environnement) [53].

4.2. Voies nerveuses mises en jeu

L'I.M. se manifeste dans l'activation des mêmes circuits corticaux et neuronaux que ceux normalement impliqués dans l'exécution du mouvement [25] [26] (fig. 4). Mais l'intensité de ces activations est différente lors de simulation ou lors de l'exécution réelle du mouvement [27].

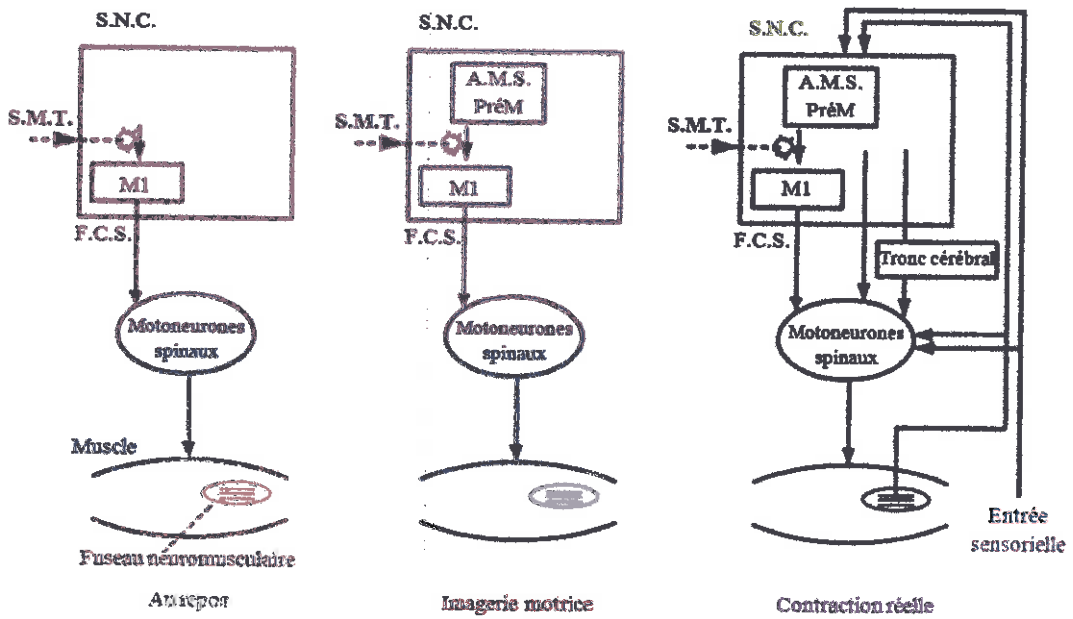

Figure 4 : représentation des circuits parallèles et hiérarchiques du système contrôle moteur au repos, lors de l'I.M. et lors de contraction musculaire [25]. S.N.C. : système nerveux central, S.M.T : stimulation magnétique transcrânienne, A.M.S. : aire motrice supplémentaire, PréM. : aire pré-motrice, M1 : cortex moteur primaire, F.C.S. : faisceau cortico-spinal.

Différentes techniques peuvent être utilisées pour analyser le système nerveux : l'électro-encéphalogramme, l'électro-myogramme, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, la stimulation magnétique transcrânienne, la tomographie par émission de positrons ou encore la tomographie d'émission mono-photonique.

La revue de littérature de Grangeon et al. en 2009 dresse un tableau qui synthétise les publications ayant mis en évidence une activation des aires motrices lors de l'I.M. (ANNEXE I). Les zones qui semblent être stimulées lors du mouvement imaginé sont : cortex préfrontal (fonctions exécutives), cortex prémoteur et aire motrice supplémentaire (coordination, planification et organisation du mouvement), cortex moteur primaire (M1) (commande l'exécution du mouvement), le lobe pariétal (supérieur et inférieur : perception de l'espace et attention), cortex cingulaire (fonctions cognitives et régulation des fonctions autonomes), cortex sensorimoteur (récepteur des messages sensoriels), cervelet (coordination, synchronisation et précision des gestes), noyaux gris centraux (contrôle de la motricité et du mouvement volontaire). Les noyaux gris centraux sont les seuls à ne pas être retrouvés activés lors de l'I.M. dans les études analysées [19].

Des études observent d'autres aires impliquées dans l'imagerie mentale en plus de celles déjà citées : le gyrus frontal inférieur, le gyrus temporal supérieur, le cortex sensitif primaire et secondaire, l'insula, le gyrus cingulaire antérieur, le cervelet ou encore les ganglions de la base. Ces régions correspondent aux régions impliquées directement ou indirectement dans la motricité volontaire [20]. Mais des résultats restent contradictoires quant à l'activation de ces aires, ceci pouvant être dû à la difficulté de les délimiter.

L'efficacité de l'I.M. est attribuée au traitement central de l'information induit par la représentation de l'acte moteur. Les manifestations périphériques enregistrées par l'électro-myogramme reflètent son efficacité [19].

L'I.M. permet l'activation au niveau moteur primaire des régions somatotopiques sensitives. Des études identifient des zones différentes activées lorsque le mouvement imaginé implique la main, le pied ou la langue [28].

L'imagerie interne active plus fortement les aires motrices et sensitives primaires et l'imagerie externe active les aires occipitales (visuelles) [20].

4.3. Moyens d'évaluation

Pour évaluer la capacité individuelle à l'I.M., on utilise des questionnaires comme outils de mesure. Ils permettent de définir les stratégies utilisées par le sujet pour s'imaginer la tâche (plutôt visuelle ou kinesthésique) et de connaître leur performance (bon imageur/mauvais imageur)

Divers questionnaires sont validés et utilisés en recherche et en pratique, les plus communs étant : M.I.Q. (Movement Imagery Questionnaire), V.M.I.Q. (Vividness of Motor Imagery Questionnaire) et K.V.I.Q. (The Kinesthesic and Visual Imagery Questionnaire). Ils sont appliqués sur des patients présentant différentes pathologies comme des A.V.C., des membres amputés, des membres immobilisés, etc.

M.I.Q. : établi par Hall et Pongrac en 1983, d'autres versions revisitées plus courtes ont également été développées (M.I.Q.-R. et M.I.Q.-R.S.). Il est demandé au sujet de faire le mouvement activement avant chaque item puis de se le représenter. Il évalue la facilité des sujets à faire de l'imagerie mentale, en utilisant une échelle de Likert à 7 points, pour répondre à des items qui impliquent soit une imagerie visuelle soit une imagerie kinesthésique [17].

V.M.I.Q. : développé par Isaac en 1986. Il évalue la clarté de la tâche imaginée. Sur le même principe que le M.I.Q., les questions se basent sur une imagerie visuelle et kinesthésique (48 questions, réponse par une échelle de 5 points) [17].

K.V.I.Q. : conçu par Malouine en 2007, il est un outil de mesure applicable sur des personnes saines mais également sur des patients ayant des déficits physiques ou mentaux (besoin d'être guidés dans la cotation de l'imagerie, par exemple lors d'A.V.C.). Il évalue la clarté de l'image et l'intensité des perceptions kinesthésiques [17].

Ces questionnaires sont limités par la présence de caractères subjectifs liés à l'estimation personnelle sur la qualité du processus d'imagerie ressentie, de même que par une demande de complexité motrice insuffisante si on l'utilise sur des sujets sportifs [27].

D'autres outils de mesure tels que le M.I.S.T. (The Movement Imagery Specific Test), qui cible des sujets sportifs pratiquant un sport de combat [27], ou le S.I.Q. (Sport Imagery Questionnaire) sont envisageables. Il faut choisir l'évaluation en fonction des capacités des patients et de l'objectif de la rééducation.

Les autres moyens pour évaluer l'I.M. sont des mesures psychophysiologiques en mesurant la conductance de la peau, la fréquence respiratoire et le rythme cardiaque tandis que les participants sont engagés dans l'imagination de la tâche [29].

La durée de l'exécution de la tâche mentale est sous-estimée que ce soit en imagerie interne ou externe. Le mouvement imaginé dans la modalité kinesthésique a une durée proche de celle du mouvement réel, alors que la modalité visuelle en perspective externe a une durée plus courte [53] [22]. L'I.M. suit le modèle de la loi de Fitts qui observe une modification du temps nécessaire à imaginer une séquence motrice lors d'une évolution de la complexité du mouvement ou de la charge à effectuer.

Les mesures physiologiques et les mesures chronométriques sont des moyens objectifs d'évaluer la capacité à l'I.M..

4.4. Population cible

L'I.M. peut s'appliquer sur tous types de pathologies entraînant une diminution de mobilité : dans le cas de pathologies ostéo-articulaires en réduisant le stress exercé sur les structures passives (évite le surentraînement), dans le cas d'A.V.C. en gardant les activations neuronales, dans le cas de tétra- ou paraplégie, dans le cas de déconditionnement physique qui entraîne un décubitus prolongé, dans le cas de douleur fantôme ou de syndrome douloureux régional complexe. Ce sont surtout les capacités individuelles à effectuer l'imagerie qui vont conditionner son application.

L'efficacité de l'imagerie dépend des caractéristiques individuelles (sportivité, sédentarité, etc.), de la complexité de la tâche à effectuer et de l'environnement dans lequel elle est réalisée (les mises en situation facilitent l'I.M.) [53].

Les problèmes neurologiques ou orthopédiques sont pour la majorité retrouvés sur des sujets âgés (60 ans ou plus). Or une étude montre que la capacité d'imagerie diminue avec l'âge (15% d'un groupe ayant 64 ans et plus prouvent être bons voir excellents imageurs, contre 31% pour un groupe plus jeune). Les sujets âgés semblent être meilleurs en imagerie visuelle qu'en imagerie kinesthésique, laissant penser qu'une relation est possible entre le niveau de la capacité physique et la capacité à l'I.M. [23]. Une autre étude n'observe pas de lien entre l'âge et la capacité à imaginer (mais le groupe âgé était composé de personnes ayant 40 ans ou plus) [20].

Les processus neurocognitifs impliqués lors de l'I.M. démontrent être fonctionnels sur des enfants de 7 ans. Mais ils semblent être moins précis, notamment lors de tâches extrapersonnelles (tendance à percevoir que les objets sont à portée de main, alors qu'en réalité ils sont hors de portée) [30].

L'amputation d'un membre n'empêche pas l'I.M., mais elle la rend plus difficile et moins claire [18].

La représentation mentale est fortement modulée par la pratique de l'imagerie. Les patients qui ont initialement des difficultés à générer des représentations mentales de mouvements peuvent améliorer leur capacité d'I.M. avec des entraînements répétés, ce qui permet d'intégrer dans cette technique des populations de très bons imageurs tels que les sportifs, mais aussi des imageurs pauvres [18].

4.5. Effet de l'imagerie mentale

L'I.M. permet une récupération et une amélioration de la fonctionnalité motrice. Elle permet également de modifier ou de renforcer le schéma moteur [19]. Un entraînement avec de nombreuses répétitions diminue le temps d'exécution du mouvement lorsqu'il est réalisé

physiquement et permet l'acquisition de nouvelles séquences motrices ainsi que leur maintien [31].

Les athlètes blessés déclarent que l'I.M. améliore leur motivation et leur investissement dans les programmes de rééducation. Ils l'utilisent comme motivation pour établir des objectifs de réadaptation (image de guérison, attitude positive) dans le but de renforcer leur force mentale et pour les aider à maintenir la concentration [21] [32]. Sur un groupe de sportifs blessés qui utilisent l'I.M., un temps de guérison plus court et une diminution de l'anxiété sont constatés [32]. L'I.M. leur donne un contrôle sur la douleur attendue : soit ils imaginent une dispersion de cette douleur, soit ils la bloquent en utilisant des images pour se distraire [33]. Cependant, l'étude de Christakou et Zervas de 2007, faite sur des athlètes ayant une entorse de cheville de grade II, ne montre pas d'effet significatif de l'I.M. sur la douleur, l'œdème et sur les amplitudes articulaires [34].

L'I.M. entraîne une réduction de la douleur (sur l'Échelle Visuelle Analogique de 100 mm, le groupe d'I.M. baisse de 23.4 mm, le groupe contrôle de 10.5 mm) et de l'invalidité chez des patients avec un syndrome douloureux régional complexe ou avec des douleurs du membre fantôme. Mais le mécanisme mis en jeu pour permettre cette réduction de douleur n'est pas encore connu [35]. De manière contradictoire, une étude faite sur des sujets ayant eu une reconstruction du ligament croisé antérieur ne montre pas de diminution de la douleur avec la pratique d'I.M. [21].

Dans plusieurs publications, une augmentation de la production de force est constatée [32]. Yue et Cole montrent qu'après l'utilisation de l'I.M. pendant 4 semaines, le gain en force isométrique du muscle abducteur du cinquième doigt est de 22% (le groupe contrôle étant à 3.7%) [36]. Des résultats comparables sont trouvés sur les muscles fléchisseurs plantaires avec une augmentation de la force de 20%. Cette augmentation est plus importante que pour le groupe qui s'entraînait à une intensité physique basse, ce qui suggère que le résultat observé ne peut provenir d'une contraction parasite lors de l'imagerie mentale (Zijdewind et al., 2003) [37]. Des gains de force sont également trouvés au niveau du membre controlatéral [36].

Les réactions végétatives sont des témoins de l'I.M. et leur activation proviendrait de la représentation centrale du mouvement qui activerait les effecteurs végétatifs internes et cutanés [19]. L'étude de Decety et al. de 1991 observe une activation physiologique cardiorespiratoire déclenchée par la représentation motrice de la marche. Le taux d'augmentation de la fréquence cardiaque (F.C.) pendant les sessions de déambulation par I.M. est d'environ 1,4 battements par minute par km/h (par rapport à un taux d'augmentation de 7,5 battements par minute par km/h pendant une séance de marche réelle). Le groupe contrôle ne présente pas d'augmentation de la F.C. [38]. La ventilation pulmonaire et la F.C. augmentent proportionnellement à la vitesse de marche imaginée [38].

La revue de littérature de Grangeon et al. synthétise les résultats de plusieurs études sur les performances motrices par l'I.M. regroupant force musculaire, vitesse du mouvement, régulation posturale, apprentissage ou amélioration d'une habilité motrice (ANNEXE II). Elles ont des résultats en contradiction [19].

5. RÉSULTATS DES DIFFÉRENTES ÉTUDES

5.1. Force

L'étude de Newsom et al. de 2003 montre qu'après 10 jours d'immobilisation du poignet, dans le groupe avec protocole d'I.M. (G.I.M.) avec un entraînement de 15 minutes par jour, il n'y a pas de changement significatif entre la force musculaire de flexion-extension de poignet et de préhension entre les valeurs mesurées en pré-immobilisation et en post-immobilisation. En comparaison, dans le groupe contrôle (G.C.), il y a une perte significative de la force de flexion et d'extension, mais rien de significatif pour la force de préhension (tab. I). Ils en concluent que l'I.M. peut être utile pour prévenir une perte de force des fléchisseurs et extenseurs du poignet due à un court moment d'immobilisation des muscles. Pas de conclusion faite sur l'utilisation de l'I.M. pour la force de préhension même s'il est observé une perte de 4,83 kg en moyenne pour le G.C. contre 0,56 kg pour le G.I.M.. Cela est peut être dû à l'immobilisation utilisée qui permet de mettre le pouce en opposition avec le 3e doigt et ainsi autoriser quelques actes de préhensions [3].

Tableau I : Valeurs de la force de préhension, de flexion de poignet et d'extension de poignet en pré-immobilisation et post-immobilisation [3].
G.C. : groupe contrôle immobilisé ; G.I.M. : groupe avec protocole d'imagerie mentale.

		Force (kg)	
	Groupe	Pré-immobilisation	Post-immobilisation
Préhension	G.C.	29.6 ± 7.8	24.6 ± 8.3
	G.I.M.	37.4 ± 5.2	36.9 ± 8.0
Flexion de poignet	G.C.	12.6 ± 3.2	10.0 ± 2.3
	G.I.M.	15.6 ± 2.5	15.4 ± 1.8
Extension de poignet	G.C.	13.3 ± 2.1	10.0 ± 2.0
	G.I.M.	17.1 ± 3.1	15.7 ± 1.8

5.2. Amplitude articulaire

L'étude de Frenkel et al. de 2013 est faite sur deux groupes de sujets (un G.C. et un G.I.M.) ayant l'avant-bras immobilisé pendant 3 semaines (pour simuler le traitement d'une fracture du radius). Le but est de déterminer si l'I.M. permet un maintien des amplitudes articulaires.

Un protocole d'entraînement est mis en place pour le G.I.M., avec au minimum 15 minutes d'I.M. par jour, et une séance plus longue par semaine (30 minutes) supervisée par un masseur-kinésithérapeute. Au début, il n'y a pas de différence significative entre G.C. et G.I.M.. Les amplitudes articulaires diminuent dans les deux groupes à la suite de ces 3 semaines. Cependant, les pertes sont plus faibles dans le G.I.M. comparé au G.C. mais elles sont seulement significatives en ce qui concerne les amplitudes d'extension et d'inclinaison ulnaire (tab. II).

Leur étude indique que l'amplitude articulaire de l'articulation du poignet peut être positivement influencée par l'I.M. [39].

Tableau II : Mesures goniométriques des amplitudes articulaire du poignet en pré-immobilisation et en post-immobilisation [39].

	Groupe contrôle (n=9)		**Groupe imagerie mentale (n=9)**	
Amplitudes articulaires du poignet	Pré-	Post-	Pré-	Post-
Extension dorsale	73.89	65.11	75.00	73.67
Flexion palmaire	64.67	54.56	68.33	63.44
Inclinaison radiale	28.89	21.78	28.89	25.44
Inclinaison ulnaire	40.78	28.78	38.89	35.89

5.3. Temps de réponse

L'étude de Meugnot et al. de 2014 compare quatre groupes : un G.C. non immobilisé, et trois groupes immobilisés (dont un sans entrainement (G.S.I.M.), un avec un entraînement d'I.M. visuelle (G.I.M.V.) et un avec un entraînement d'I.M. kinesthésique (G.I.M.K.)). L'immobilisation se situe au niveau de l'avant-bras gauche et dure 24 heures. Le but est de recenser le temps de réponse mis par les sujets pour déterminer si l'image qui apparaît au niveau d'un écran d'ordinateur est une image représentant une main droite ou une main gauche [40].

Le protocole d'entraînement est de 15 minutes pour le G.I.M.K. et le G.I.M.V.. Il n'y a aucune différence entre les quatre groupes pour les réponses correspondant à la main droite. En ce qui concerne les réponses pour la main gauche, ils ne constatent aucune différence significative entre le G.C. et le G.I.M.K., mais il y a une différence significative entre le G.C. et le G.I.M.K. comparé au G.S.I.M. (fig. 5). Ils en concluent que le ralentissement du système sensori-moteur induit par 24 heures d'immobilisation peut être limité par une imagerie kinesthésique, tandis qu'aucun effet bénéfique n'est apparu avec l'imagerie visuelle.

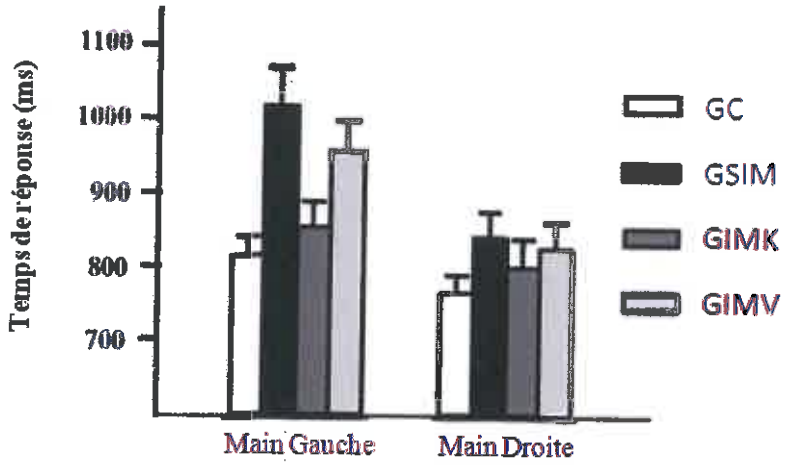

Figure 5 : Temps de réponse pour les quatre groupes en fonction de la main (gauche/droite) [40].

5.4. Stimulation du système nerveux

R. Fujisawa et al. ont cherché à observer l'effet de l'I.M. sur l'excitabilité spinale et sur l'excitabilité des motoneurones dans des études faites en 2008 et en 2010 respectivement.

Pour cela, ils utilisent les mêmes principes pour les deux études : des séries de cas, avec une expérience 1 qui mesure l'excitabilité lors d'un exercice de relaxation et une expérience 2 qui mesure l'excitabilité lors d'I.M., pendant 3 heures, en ayant la main gauche immobilisée. La relaxation et l'I.M. sont précédées par une phase de mesure à l'état de base, et sont suivies par une phase de mesure après des exercices (fig. 6).

Ils observent que la relaxation faite lors des 3 heures d'immobilisation diminue les potentiels moteurs évoqués et les F-waves. L'I.M. limite cette diminution en restaurant des F-waves à 94% et les potentiels moteurs évoqués à 77% [41]. Ils en concluent que l'I.M. lors d'immobilisation prévient efficacement la suppression des motoneurones au niveau spinal et maintient l'excitabilité spinale [41] [42].

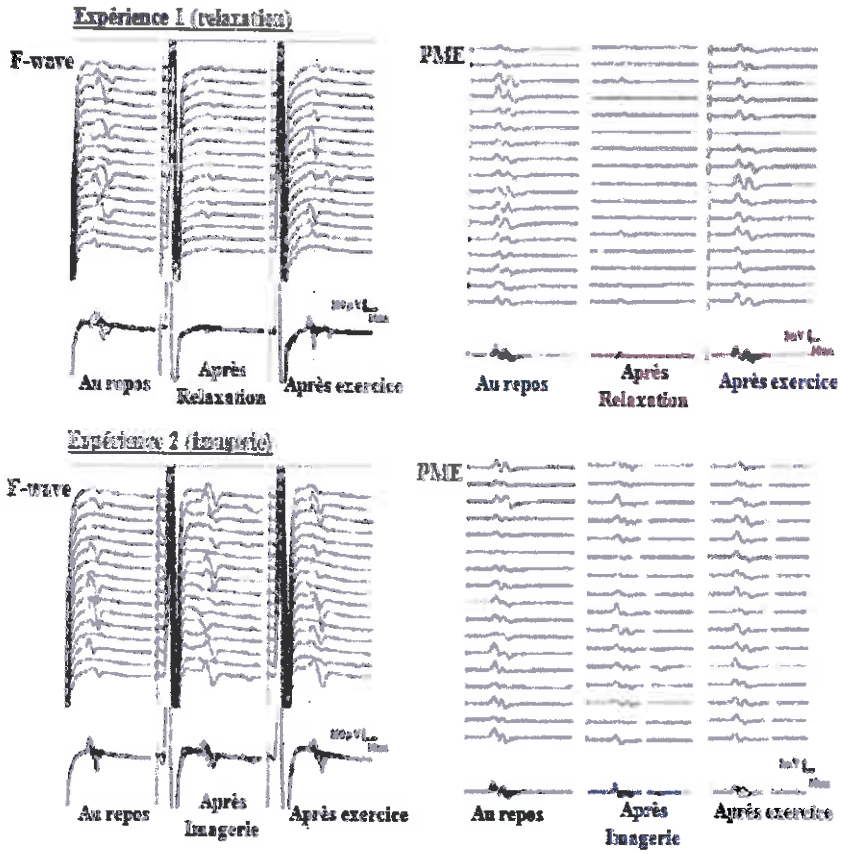

Figure 6 : Changement des F-waves et des potentiels moteur évoqués (PME) selon les expériences 1 et 2 [41].

L'étude de Bassolino et al. de 2014 a pour but d'observer l'évolution de l'activation de l'aire motrice des muscles intrinsèques de la main droite (spécifiquement le premier interosseux dorsal) par stimulation magnétique transcrânienne, après 10 heures d'immobilisation de la main droite. Ils observent, après un entraînement utilisant l'I.M., une baisse de la représentation cortico-motrice de la main et une diminution de l'excitabilité corticale (différence significative du volume d'aire corticale activé entre les valeurs en pré-immobilisation et en post-immobilisation) [43]. Cependant, aucune comparaison n'est faite avec un groupe contrôle, donc nous pouvons en déduire que l'I.M. ne permet pas de pallier totalement la diminution de l'excitabilité du système cortical. Mais aucune conclusion ne peut être faite quant à sa possible efficacité pour la limiter.

5.5. Études sur des sujets pathologiques

Deux études sont faites sur des sujets pathologiques, l'une après une chirurgie réparatrice des tendons fléchisseurs des doigts (le superficiel et/ou le profond), une autre après une fracture distale du radius ostéosynthésée par plaque (tab. III).

Tableau III : Comparaison des caractéristiques de deux études faites sur des sujets pathologiques.

	ÉTUDES	
Caractéristiques	**Effect of motor imagery on hand function during immobilization after flexor tendon repair.** Stenekes et al. [44]	**Mental practice in orthopaedic rehabilitation : where, what and how ? A case report.** Schott et al. [45]
Année	2009	2013
Nombre de participants	25 sujets	1 sujet
Âge des participants	entre 18 et 65 ans	73 ans
Temps d'immobilisation	6 semaines d'immobilisation	non renseigné, mais mouvement actif autorisé à la 6ème semaine postopératoire
Pathologie	tendons fléchisseurs des doigts	fracture distale du radius
Lieu d'immobilisation	main différente, en fonction de l'atteinte des tendons	main gauche (non-dominante)
Moyen d'immobilisation	attelle Kleinert	non renseigné
Type d'imagerie	imagerie kinesthésique, mouvement de flexion/extension du doigt	imagerie kinesthésique et visuelle
Questionnaire	V.M.I.Q.	version allemande du Controllability of Imagery Test
Temps d'entraînement	8 sessions d'I.M./jour 1 session = 10 mouvements maintenus 3 secondes	pendant 3 semaines : 5 séances (50 min)/semaine, puis 3 séances/semaine + entraînement seul à domicile
Type d'étude	essai contrôlé randomisé	cas clinique
Niveaux de preuve	2	5

L'étude de Stenekes et al. faite en 2009 est réalisée sur 25 sujets divisés en deux groupes : un G.C. et un G.I.M.. Le traitement postopératoire consiste en 6 semaines

d'immobilisation relative (les 4 premières semaines, seule la flexion passive des doigts est autorisée, suivie par 2 semaines d'exercices de placé-tenu) [44]. Le G.I.M. doit reproduire mentalement par imagerie kinesthésique des mouvements de flexion des doigts associés à une flexion de poignet, puis imaginer une ouverture des doigts avec une extension de poignet. L'étude est faite sur 12 semaines.

Le temps de préparation est considéré comme un indicateur du processus de la commande centrale. Après les 12 semaines, le temps de préparation est significativement plus court pour le G.I.M. comparé au G.C.. Aucune différence significative n'est observée dans le domaine fonctionnel (évalué par le M.H.Q. (Michigan Hand Outcome Questionnaire) et par une échelle visuelle analogique). Rien de significatif en ce qui concerne les amplitudes articulaires, la force musculaire. Dans cette étude, l'I.M. améliore significativement les mécanismes centraux des fonctions de la main, à savoir le temps de préparation du mouvement, tandis que d'autres modalités de fonctionnement de la main ne semblent pas être modifiées.

Il peut y avoir une sous-estimation : les résultats peuvent être influencés par le fait que le G.I.M. a un plus grand nombre de tendons opérés (moyenne de 2,3 tendons lésés) comparé au G.C. (1,5 tendons en moyenne), de plus la compliance au protocole d'entraînement d'I.M. n'est pas égale entre les sujets.

Par comparaison, l'étude de Schott et al. de 2013 est faite sur une seule personne de 73 ans [45]. Elle dure 12 semaines. Le protocole d'entraînement est de 5 séances par semaine pour les semaines 1 à 3, et de 3 séances par semaine pour les semaines 4 à 6. Une séance dure 50 minutes et est composée d'un premier temps de relaxation (pour favoriser la concentration), puis d'une phase d'observation et d'exécution d'un mouvement du côté non pathologique. Ensuite le patient applique une séquence de 3 actions : il faut d'abord imaginer le mouvement, puis le caractériser verbalement, puis recommencer l'I.M..

L'I.M. est à la fois kinesthésique et visuelle. Il y a trois répétitions de cette séquence du côté sain puis cinq répétitions de cette séquence du côté pathologique. Pour les semaines 4 à 6, il est demandé un entraînement à domicile en plus des séances faites avec le masseur-

kinésithérapeute (en moyenne les séances à domicile durent 20 minutes). Le travail actif commence au début de la 6ème semaine.

Des progrès sont observés par rapport au stade initial dans tous les secteurs évalués : au niveau des amplitudes articulaires, surtout en flexion palmaire (>500%), en inclinaison radiale (170%), en extension dorsale (64%) et en inclinaison ulnaire (15%). Fonctionnellement, le D.A.S.H. (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) est amélioré de 72% et la douleur diminue. La contraction maximale volontaire, mesurée par la force de préhension, augmente de 280% (tab. IV). Ils en concluent que l'I.M. est bénéfique pour prévenir les pertes de fonctions motrices et qu'elle est un moyen peu coûteux, d'application simple et sans danger en postopératoire (pas de stress au niveau des structures opérées). Cependant, il faut être prudent quant aux conclusions possibles, car l'étude est appliquée à un seul sujet, et les valeurs obtenues à 12 semaines sont peut-être identiques à celles obtenues pour un sujet n'ayant pas pratiqué d'I.M..

Tableau IV : Valeurs des résultats primaires et secondaires du membre lésé. C.M.V. : contraction maximale volontaire ; les résultats entre parenthèses sont ceux du côté sain [45].

	Semaine 0	Semaine 3	Semaine 6	Semaine 12
DASH	64	32	27	18
Extension dorsale	34°	33°	50°	56° (59°)
Flexion palmaire	0°	48°	66°	66° (80°)
Inclinaison ulnaire	33°	27°	36°	38° (46°)
Inclinaison radiale	11°	30°	31°	30° (32°)
C.M.V. (en Newton)	59,61	162,06	231,88	227,41 (267,58)

Ces deux études ont des résultats qui semblent contradictoires. Cette différence peut être due au protocole d'I.M. qui n'est pas identique (temps des séances, imagerie kinesthésique et visuelle pour l'étude de Schott et al. [45]). Les échelles pour mesurer la fonctionnalité et la douleur ne sont pas communes. Les mesures sur les amplitudes articulaires ne sont pas faites sur les mêmes articulations (poignet/doigts). Les temps d'immobilisation stricte ne sont pas bien spécifiés, et peuvent engendrer des résultats différents selon l'utilisation possible des membres pathologiques.

L'utilisation de l'I.M. sur des sujets pathologiques peut être bénéfique, mais son efficacité est difficile à mettre en évidence et peut varier selon les protocoles d'entraînement.

L'étude de Schott et al. de 2014 étudie l'intérêt de l'I.M. sur des sujets de 60 ans ou plus, après une fracture ostéoporotique du poignet [46]. Les résultats sont à paraître prochainement, et permettront une meilleure connaissance de l'efficacité ou non de l'I.M..

6. DISCUSSION

Cette étude a pour but de synthétiser les résultats des travaux de recherche menés sur l'utilisation de l'I.M. lors d'une immobilisation, et de permettre de montrer la présence ou l'absence d'intérêt à son application lors de la prise en charge de patients immobilisés en rééducation.

De nombreuses études se sont développées depuis les trente dernières années sur l'utilisation de l'I.M.. Cependant, elles se focalisent surtout sur le domaine sportif ou neurologique, ce qui explique le nombre restreint d'études retrouvées lors de son emploi en traumatologie.

Globalement les études retenues pour notre recherche montrent dans la majorité des cas une amélioration fonctionnelle. Mais les conditions de réalisation d'imagerie et d'immobilisation ne sont pas similaires (ANNEXE III) et peuvent influencer les résultats.

La technique d'immobilisation est importante à définir car il est prouvé (Tardieu 1972) que les muscles immobilisés en position raccourcie ont une perte d'extensibilité [47]. Or dans les études retenues, les moyens d'immobilisation ainsi que les positions dans lesquelles elles sont appliquées sont différents ou ne sont pas renseignés, ce qui peut influencer les résultats obtenus. De plus, le temps d'immobilisation est très variable (de 3 heures à 6 semaines), ce qui limite les comparaisons entre les études (ANNEXE III).

Les études sont réalisées sur un faible échantillon de sujets (de 1 à 13 personnes par groupe expérimental), ce qui peut entraîner des biais influençant les résultats et aboutir à des

statistiques non réellement représentatives. De plus, l'utilisation d'échelle pour mesurer la capacité des sujets à effectuer des gestes imaginés n'est pas systématique dans toutes les études. Les protocoles utilisés sont très hétérogènes, avec une utilisation de l'I.M. kinesthésique qui est parfois associée à de l'I.M. visuelle. Le temps des séances, la quantité de séries à répéter et le nombre de mouvements imaginés ne sont pas appliqués de la même manière dans les différentes études, ce qui peut limiter une nouvelle fois les comparaisons (ANNEXE III).

Seulement deux études sont menées sur des sujets pathologiques. Elles ont néanmoins des résultats complètement contradictoires. En effet, une étude montre une amélioration de la force, de l'amplitude articulaire, une diminution de la douleur et une amélioration fonctionnelle [45], alors que la deuxième étude ne trouve aucun changement dans ces paramètres. Seule une amélioration est retrouvée au niveau du temps de préparation au mouvement qui est diminué après I.M. [44].

Il n'y a pas de lien entre la capacité à imaginer, le sexe et l'âge des sujets [20]. Cependant, la facilité à effectuer les mouvements imaginés d'un point de vue interne semble moins évidente avec l'augmentation de l'âge. Il peut donc y avoir un lien entre la baisse d'activité physique et la facilité à imaginer [23]. Mais l'entraînement répété améliore la capacité d'imaginer [18], l'I.M. peut donc être appliquée chez des personnes de tous âges.

En rééducation, il est nécessaire pour le masseur-kinésithérapeute d'avoir un moyen d'évaluer la capacité d'I.M. du patient et ce, avant de mettre en place un protocole d'entraînement. Le M.I.Q. et le V.M.I.Q. sont difficilement applicables car il est demandé d'effectuer physiquement la tâche avant de l'imaginer. Le K.V.I.Q. semble le plus adapté car il est applicable sur des personnes ayant des déficiences physiques. En revanche, il peut ne pas être assez précis pour mesurer cette capacité si on est en présence de très bon imageurs tels que des patients sportifs. Dans ce cas, un questionnaire spécifique au sport pratiqué doit être utilisé (comme le M.I.S.T. pour le sport de combat [27] ou le S.I.Q.). Il faut donc choisir l'évaluation en fonction des capacités des patients et de l'objectif de la rééducation. Ces questionnaires restent tout de même très subjectifs. Un autre moyen pour le masseur-

kinésithérapeute d'évaluer l'I.M. est de mesurer les paramètres cardio-respiratoires qui évoluent en fonction de la tâche demandée [29].

Notre étude se voulait la plus exhaustive possible sur l'utilisation de l'I.M. lors de l'immobilisation. Or les recherches se concentrent exclusivement au niveau du membre supérieur, il est donc difficile de donner une généralité sur l'effet de l'imagerie tant que d'autres études ne seront pas faites sur d'autres parties du corps. En effet, l'I.M. est-elle aussi facilement applicable sur un membre supérieur que sur un membre inférieur ? Lors de fracture, le temps de consolidation est plus long pour le membre inférieur. L'I.M. serait-elle alors plus indiquée ?

Nous pouvons nous demander quel protocole d'entraînement pourrait être intéressant à mettre en place lors d'immobilisation.

Tout d'abord, il doit être adapté à la capacité d'imagerie du patient : si le sujet est mauvais imageur, l'entraînement doit se concentrer sur des tâches simples.

Il faut faire évoluer la difficulté de la tâche en fonction de l'évolution du patient. Pour cela on peut se baser sur le modèle de classification des habilités motrices fait par Gentile. Schott et al. s'appuient sur cette classification en l'adaptant pour qu'elle s'applique à des tâches au niveau du membre supérieur [45] (ANNEXE IV).

Il semble préférable d'utiliser un point de vue interne lors de l'imagination, car le corps est perçu comme un générateur de force alors qu'on est d'avantage observateur de l'action avec l'imagerie externe. Utiliser à la fois l'I.M. kinesthésique et l'I.M. visuelle semble une meilleure solution, car l'une active les aires motrices et sensitives primaires et l'autre active les aires occipitales. Elles peuvent donc être complémentaires.

Avant de faire une série d'imagerie, nous pouvons exécuter un mouvement du côté controlatéral en demandant de se concentrer sur le ressenti perçu. On peut y associer une description verbale de ce ressenti, pour bien attirer l'attention et la concentration du sujet à l'exercice.

Aucune étude n'indique le nombre idéal de répétitions à exercer, mais c'est surtout le fait de bien ressentir le mouvement qui est recherché plutôt que la répétition. Un travail au domicile est possible [45]. Le temps de l'entraînement peut être relativement court (un

protocole quotidien de 3 séries de 5 minutes sur 10 jours montre un effet limitant sur la perte de force due à l'immobilisation) [3].

L'implication du sujet est plus importante si ce sont des tâches qu'il pratique dans la vie courante. La mise en situation dans l'environnement peut faciliter la construction des images mentales [53]. Sur ce concept, une étude utilise le jeu «Kinect» lors d'exercices d'imagerie [48].

7. CONCLUSION

L'I.M. est une technique utilisée par les kinésithérapeutes en rééducation (A.V.C., etc.) ou par les athlètes dans leur pratique sportive, mais elle est très peu utilisée en phase précoce lors d'immobilisation suite à un traumatisme. En effet, notre recherche n'a pas permis d'affirmer avec certitude l'efficacité de cette technique dans ce domaine.

Dans le cadre de la rééducation, il est difficile de conclure à une efficacité puisque le nombre d'études est très faible et leurs résultats sont parfois en contradiction. En effet, des études montrent une limitation des pertes en force musculaire et en amplitude articulaire, une limitation du temps de réponse, une préservation de l'excitabilité du système nerveux et une diminution de la douleur. Mais une étude faite sur sujets pathologiques n'observe qu'une diminution du temps de préparation du mouvement, tandis que les autres modalités ne semblent pas être modifiées.

L'imagerie mentale est accessible à tout individu (peu importe son sexe, son âge ou sa mobilité) mais à des niveaux de capacités variables (bon imageur/mauvais imageur). Elle a prouvé son efficacité dans d'autres domaines et a vraisemblablement sa place comme technique complémentaire au traitement habituel en rééducation, au cours des premières étapes du processus de réhabilitation (pré- et post-chirurgie) ou quand des mobilisations passives et actives sont encore limitées par la blessure [21].

Le faible coût, le temps d'application qui peut être relativement court et la possibilité de l'utiliser seul à domicile, font de cet outil une technique intéressante pour la rééducation.

L'utilisation de l'I.M. lors de l'immobilisation nécessite encore de nouvelles recherches dans le cadre de la rééducation pour pouvoir mettre en évidence un certain bénéfice. Les prochaines études devront tester l'efficacité de l'I.M. sur des sujets pathologiques ayant une immobilisation à un autre niveau corporel que le membre supérieur, pour permettre de conclure plus largement sur son efficacité.

Une étude faite sur des sujets de 60 ans ou plus, après une fracture ostéoporotique du poignet, et dont les résultats sont à paraître prochainement pourra nous donner d'avantage d'informations sur la technique d'I.M. [46].

BIBLIOGRAPHIE

[1]. SEKI K, TANIGUCHI Y, NARUSAWA M. Effects of joint immobilization on firing rate modulation of human motor units. J Physiol. 2001;530(Pt 3):507-19.

[2]. OHMORI F, HAMAOKA T, SHIROISHI K, OSADA T, MURASE N, KUROSAWA Y, ICHIMURA S, HOMMA T, ESAKI K, KIME R, KATSUMURA T. Low-volume strength and endurance training prevent the decrease in exercise hyperemia and induced by non-dominant forearm immobilization. Eur J Appl Physiol. 2010 Nov;110(4):845-851.

[3]. NEWSOM J, KNIGHT P, BALNAVE R. Use of Mental Imagery to Limit Strength Loss After Immobilization. Sport Rehabil. 2003;12;249-258.

[4]. H.A.S. : Haute Autorité de santé : Évaluation des orthèses du membre supérieur. http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2010-03/synthese_rapport_ortheses_membre_superieur_janvier_2010.pdf
(page consultée le 17/11/2014)

[5]. SANTOS-JUNIOR FFU, NONATO DTT, CAVALCANTE FSA, SOARES PM, CECCATTO VM. Consequences of immobilization and disuse : a short review. Intern J of Basic and Applied Sci. 2013;297-302.

[6]. HORTOBÁGYI T, DEMPSEY L, FRASER D, ZHENG D, HAMILTON G, LAMBERT J, DOHM L. Changes in muscle strength, muscle fibre size and myofibrillar gene expression after immobilization and retraining in humans. J Physiol. 2000;524(Pt 1):293-304.

[7]. SEKI K, TANIGUCHI Y, NARUSAWA M. Alterations in contractile properties of human skeletal muscle induced by joint immobilization. J Physiol. 2001;530(Pt 3):521-532.

[8]. KAROLCZAK APB, DIEFENTHAELER F, GEREMIA JM, VAZ MA. Two-weeks of elbow immobilization affects torque production but does not change muscle activation. Revista Brasileira de Fisioterapia , São Carlos, v.13, n.5, p.412-21, set./out.2009.

[9]. BOGDANIS GC. Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. Front Physiol. 2012;3:142.

[10]. KANUS P, JOZA L, JARVINEN TL, KVIST M, VIENO T, JARVINEN TA, NATRI A, JARVINEN M. Free mobilization and low- to high-intensity exercise in immobilization-induced muscle atrophy. J Appl Physiol (1985). 1998 Apr;84(4):1418-24

[11]. WEIBULL A, FLONDELL M, ROSÉN B, BJÖRKMAN A. Cerebral and clinical effects of short-term hand immobilization. Eur J Neurosci. 2011;33(4):699-704.

[12]. LUNDBYE-JENSEN J, NIELSEN JB. Central nervous adaptations following 1 wk of wrist and hand immobilization. J Appl Physiol (1985). 2008;105(1):139-151.

[13]. CLARK BC, TAYLOR JL, HOFFMAN RL, DEARTH DJ, THOMAS JS. Cast immobilization increases long-interval intracortical inhibition. Muscle Nerve. 2010;42(3):363-372.

[14]. LISSEK S, WILIMZIG C, STUDE P, PLEGER B, KALISCH T, MAIER C, PETERS SA, NICOLAS V, TEGENTHOFF M, DINSE HR. Immobilization impairs tactile perception and shrinks somatosensory cortical maps. Curr Biol. 2009;19(10):837-42.

[15]. FACCHINI S, ROMANI M, TINAZZI M, AGLIOTI SM. Time-related changes of excitability of the human motor system contingent upon immobilization of the ring and little fingers. Clin Neurophysiol. 2002;113(3):367-375.

[16]. GRANA EA, CHIOU-TAN F, JAWEED MM. Endplate dysfunction in healthy muscle following a period of disuse. Muscle Nerve. 1996;19(8):989-93.

[17]. DICKSTEIN R, DEUTSCH JE. Motor imagery in physical therapist practice. Phys Ther. 2007;87(7):942-953.

[18]. MALOUIN F, RICHARDS CL. Mental practice for relearning locomotor skills. Phys Ther. 2010;90(2):240-251.

[19]. GRANGEON M, GUILLOT A, COLLET C. Effets de l'imagerie motrice dans la reeducation de lesions du système nerveux central et des atteintes musculo-articulaires. Science & Motricité n°67. 2009/2.

[20]. LOISON B, MOUSSADDAQ AS, CORMIER J, RICHARD I, FERRAPIE AL, RAMOND A, DINOMAIS M. Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). Ann Phys Rehabil Med. 2013 Apr;56(3);157-73.

[21]. LEBON F, GUILLOT A, COLLET C. Increased muscle activation following moor imagery during the rehabilitation of the anterior cruciate ligament. Appl Psychophysiol Biofeedback. 2012;37(1):45-51.

[22]. FLUSBERG SJ, BORODITSKY L. Are things that hard to physically move also hard to imagine moving ? Psychon Bull Rev. 2011;18(1):158-64.

[23]. MULDER T, HOCHSTENBACH JB, VAN HEUVELEN MJ, DEN OTTER AR. Motor imagery: the relation between age and imagery capacity. Hum Mov Sci. 2007;26(2):203-211.

[24]. GUILLOT A, LEBON F, ROUFFET D, CHAMPELY S, DOYON J, COLLET C. Muscular responses during motor imagery as a function of muscle contraction types. International Journal of Psychophysiology. 2007 Oct;66(1):18-27.

[25]. KANEKO F, MURAKAMI T, ONARI K, KURUMADANI H, KAWAGUCHI K. Decreased cortical excitability during motor imagery after disuse of an upper limb in humans. Clin Neurophysiol. 2003;114(12):2397-2403.

[26]. DECETY J. Do imagined and executed actions share the same neural substrate? Cogn Brain Res. 1996;3(2):87-93.

[27]. MOREAU D, MANSY-DANNAY A, CLERC J, GUERRIEN A. Présentation d'un outil original mesurant la qualité des représentations motrices en sports de combat : le test spécifique d'imagerie du mouvement (MIST). Science & Sport. 2012;27.

[28]. EHRSSON HH, GEYER S, NAITO E. Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations. J Neurophysiol. 2003 Nov;90(5):3304-16.

[29]. MADAN CR, SINGHAL A. Introducing TAMI : an objective test of ability in movement imagery. Journal of Motor Behavior. 2013;45(2):153-66.

[30]. GABBARD C, CAÇOLA P. Examining intention in stimulated actions: are children and young adults different ? Conscious Cogn. 2014;29:171-177.

[31]. ALLAMI N, PAULIGNAN Y, BROVELLI A, BOUSSAOUD D. Visuo-motor learning with combination of different rates of motor imagery and physical practice. Experimental Brain Research. 2008 Jan;184(1):105-13.

[32]. CHRISTAKOU A, ZERVAS Y, LAVALLE D. The adjunctive role of imagery on the functional rehabilitation of grade II ankle sprain. Human Movement Sci. 2007;26(1):141-54.

[33]. DRIEDIGER M, HALL C, CALLOW N. Imagery use by injured athletes: a qualitative analysis. J Sports Sci. 2006;24(3):261-271.

[34]. CHRISTAKOU A, ZERVAS Y. The effectiveness of imagery on pain, edema, and range of motion in athletes with a grade II ankle sprain. Physical Therapy in Sport. (2007) 130–140.

[35]. MOSELEY GL. Graded motor imagery for pathologic pain: a randomized controlled trial. Neurology. 2006;67(12):2129-2134.

[36]. REISER M, BUSCH D, MUNZERT J. Strenght gains by motor imagery with different ratios of physical to mental practice. Frontiers in Psychology. 2011 Aug 19;2:194.

[37]. ZIJDEWIND I, TOERING ST, BESSEM B, VAN DER LANN O, DIERCKS RL. Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. Muscle Nerve. 2003;28(2):168-173.

[38]. DECETY J, JEANNEROD M, GERMAIN M, PASTENE J. Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. Behavioural Brain Research. 1991 31;42(1):1-5.

[39]. FRENKEL MO, HERZIG DS, GEBHARD F, MAYER J, BECKER C, EINSIEDEL T. Mental practice maintains range of motion despite forearm immobilization: a pilot study in healthy persons. J Rehabil Med. 2014;46(3):225-232.

[40]. MEUGNOT A, AGBANGLA NF, ALMECIJA Y, TOUSSAINT L. Motor imagery practice may compensate for the slowdown of sensorimotor processes induced by short-term upper-limb immobilization. Psychol Res. 2015;79(3):489-499.

[41]. FUJISAWA R, KIMURA J, TANIGUCHI S, ICHIKAWA H, HARA M, SHIMIZU H, IIDA H, YAMADA T, TANI T. Effect of volitional relaxation and motor imagery on F wave and MEP: do these tasks affect excitability of the spinal or cortical motor neurons? Clin Neurophysiol. 2011;122(7):1405-1410.

[42]. TANIGUCHI S, KIMURA J, YAMADA T, ICHIKAWA H, HARA M, FUJISAWA R, SHIMIZUF H, TANI T. Effect of motion imagery to counter rest-induced suppression of F-wave as a measure of anterior horn cell excitability. Clin Neurophysiol. 2008;119(6):1346-1352.

[43]. BASSOLINO M, CAMPANELLA M, BOVE M, POZZO T, FADIGA L. Training the motor cortex by observing the actions of others during immobilization. Cereb Cortex. 2014;24(12):3268-76.

[44]. STENEKES MW, GEERTZEN, JH, NICOLAI JP, DE JONG BM, MULDER T. Effects of motor imagery on hand function during immobilization after flexor tendon repair. Arch Phys Med Rehabil. 2009:90(4):553-559.

[45]. SCHOTT N, OTTILIE FM, KORBUS H, KAREN LF. Mental practice in orthopedic rehabilitation: where, what, and how? A case report. Movement Sport Sci, 2013;82(4):93-103.

[46]. SCHOTT N, KORBUS H. Preventing functional loss during immobilization after osteoporotic wrist fractures in elderly patients: a randomized clinical trial. BMC Musculoskelet Disord. 2014;30;15;287.

[47]. TABARY JC, TABARU C, TARDIEU C, TARDIEU G, GOLDSPINK G. Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts. J Physiol. 1972 Jul;224(1):231-44.

[48]. WRIESSNEGGER SC, STERYL D, KOSCHUTNIG K, MÜLLER-PUTZ GR. Short time sports exercise boosts motor imagery patterns : implications of mental practice in rehabilitation programs. Front Hum Neurosci. 2014 Jun 30;8:469.

AUTRES RÉFÉRENCES

[49]. ÖZALP, Taçkin, LAVABRE, Alain, PIETRI, Philippe. *Immobilisation par appareillage platré*. Octobre 2000. http://devsante.org/base-documentaire/actes-techniques/immobilisation-par-appareillage-platre (page consultée le 15/11/2014)

[50]. *Dictionnaire de Français Larousse* [en ligne]
Adresse URL : http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais

[51]. MONTI, Anne. *Utilisation de l'ATP par la fibre musculaire*. 2013. http://tp-svt.pagesperso-orange.fr/atp1.htm (page consultée le 17/04/2015)

[52]. EDGOLDBE. *H-reflex and F-wave*. 6 Novembre 2013.
https://emgreview.wordpress.com/2013/11/06/h-reflex-and-f-wave/
(page consultée le 17/04/2015)

[53]. COLLET C. Symposium «Imagerie motrice et performance». Congrès de l'Association des Chercheurs en Activités physiques et Sportive. Paris 2005.

ANNEXES

ANNEXE I :

Synthèse des publications ayant mis en évidence une activation des aires motrices lors de l'imagerie mentale. D'après l'étude de Grangeon et al. [19].

ANNEXE II :

Synthèse des résultats de plusieurs études sur les performances motrices par l'imagerie mentale. D'après l'étude de Grangeon et al. [19].

ANNEXE III :

Tableau récapitulatif des études portant sur l'imagerie mentale lors de l'immobilisation.

ANNEXE IV :

Exemple d'entraînement d'imagerie mentale après fracture du radius basé sur le modèle de classification des habilités motrices fait par Gentile. Traduit à partir de l'étude de Schott et al. de 2013 [45].

ANNEXE I

Synthèse des publications ayant mis en évidence une activation des aires motrices lors de l'imagerie mentale. D'après l'étude de Grangeon et al. [19].

Méthode	travaux	tâche	régions corticales activées										
			Cp	PM	AMS	Cg	SM	M1	S1	Ps	Pi	Ce	NG
MEG	Lang *et al.* (1996)	Mvts des doigts						E+I					
	Schnitzler *et al.* (1997)	Mvts des doigts						E+I					
TEMP	Ingvar et Philipson (1977)	Mvt de main	I	E+I				E		E	E+I		
	Roland *et al.* (1980)	Opposition de doigts	E	E	E+I		E	E	E				
	Gelmers *et al.* (1981)	Opposition de doigts	I		E+I		E			E+I			
	Decety *et al.* (1988)	Écriture	E+I	E+I	E+I		E					E+I	
EEG	Naito et Matsumura (1994)	Mvts de doigts			E+I								
	Beitseiner *et al.* (1995)	Mvts de joystick					E+I						
	Cunnington *et al.* (1996)	Taper sur un clavier			E+I								
	Green *et al.* (1998)	Mvts de doigts		I	I			E					
IRMf	Rao *et al.* (1993)	Mvts de doigts		E+I	E+I			E	E				
	Sanes *et al.* (1994)	Dessiner un carré		E+I	E+I	E+I		E	E	E+I			
	Tyszka *et al.* (1994)	Opposition de doigts		E+I	E+I								
	Leonardo *et al.* (1995)	Opposition de doigts		E+I			E+I			E+I			
	Sabbah *et al.* (1995)	Mvts de doigts			E		E+I						
	Roth *et al.* (1996)	Opposition de doigts		E+I	E+I			E+I	E				
	Porro *et al.* (1996)	Opposition de doigts		E				E+I	E				
	Luft *et al.* (1998)	Opposition de doigts		E+I				E+I	E+I			E+I	E
	Lotze *et al.* (1999)	Mvt de main		E+I	E+I	E+I		E+I	E			E+I	
TEP	Stephan *et al.* (1995)	Mvts de joystick		E+I	E+I	E+I	E			E+I	E+I	E	
	Jueptner *et al.* (1997)	Mvts de joystick										E+I	
	Seitz *et al.* (1997)	Écriture		E	E	I		E	E	E+I	E+I	E	
	Deiber *et al.* (1998)	Mvts de doigts dirigés	I	E	E+I	E+I					E+I	E	
		Mvts de doigts libres	I	E+I	E+I	E+I		E			E+I	E	
	Naito *et al.* (2002)	Mvts du poignet			E+I	E+I		E+I				E+I	

MEG : magnéto-encéphalographie ; TEMP : tomographie d'émission mono-photonique ; TEP : tomographie par émission de positrons ; IRMf : l'imagerie par résonnance magnétique fonctionnelle ; EEG : l'électro-encéphalographie ; Mvts : mouvements ; E : exécution réelle ; I : Imagerie motrice ; Cp : cortex préfrontal ; PM : cortex prémoteur ; AMS : aire motrice supplémentaire ; Cg : Cortex cingulaire ; SM : cortex sensorimoteur ; MI : cortex moteur primaire ; SI : cortex sensorimoteur primaire ; Ps : cortex pariétal supérieur ; PI : cortex pariétal inférieur ; CE : cervelet ; NG : noyaux gris centraux.

ANNEXE II

Synthèse des résultats de plusieurs études sur les performances motrices par l'imagerie mentale. D'après l'étude de Grangeon et al. [19].

Paramètre étudié après entraînement par IM	Auteurs	Tâches	Résultats
Force musculaire	Cornwall *et al.* (1991)	Flexion/extension de la jambe (force isométrique du quadriceps)	+
	Newson *et al.* (2003)	Flexion/extension du poignet (force isométrique)	–
	Ranganathan, Kuykendall, Siemionow & Yue (2002)	Abduction du petit doigt, flexion de l'avant-bras sur le bras	+
	Zijdewind, Toering, Bessem, Van der Laan & Diercks (2003)	Flexion plantaire de la cheville	+
	Ranganathan & Yue (2004)	Abduction du petit doigt, flexion de l'avant-bras sur le bras	+
	Herber, Dean & Gandevia (1998)	Flexion de l'avant-bras sur le bras	–
	Yue & Cole (1992)	Extension de l'abducteur du petit doigt	+
Vitesse du mouvement	Blair, Hall, & Leyshon (1993).	Tir au penalty en football	+
	Gentili, Papaxanthis & Pozzo (2006)	Pointage d'une cible dans le plan frontal	+
Régulation posturale	Linden *et al.* (1999)	Régulation posturale de la marche chez les personnes âgées	–
	Funsler *et al.* (1985)	Maintien de l'équilibre sur une jambe	+
	Ryan et Simon (1982)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+
	Hamel & Lajoie (2005)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+
	Guillot *et al.* (2006)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+
	Rodrigues *et al.* (2003)	Régulations posturales lors du maintien de la station debout sur stabilomètre	+

Paramètre étudié après entraînement par IM	Auteurs	Tâches	Résultats
Apprentissage ou amélioration d'une habileté motrice	Lejeune *et al.* (1994)	Coup droit en tennis de table	+
	Yaguez *et al.* (1998).	Réalisation de deux tâches graphiques.	+
	Grove *et al.* (2001)	Technique en golf	+
	Roure *et al.* (1998)	Réception sur passeur fixe en volley	+
	Rodgers *et al.* (1991)	Exécution de figures en patinage artistique	–
	Mumford & Hall (1985)	Exécution de figures en patinage artistique	–
	Calmels & Fournier (2001)	Effet d'un entraînement mental sur les performances en gymnastique	–
	Pascual-Leone *et al.* (1995).	Mouvement des Cinq doigts au piano	+

Signes utilisés : + : amélioration apportée par l'IM ; - : aucun effet observé après un travail par IM.

ANNEXE III

Tableau récapitulatif des études portant sur l'imagerie mentale lors de l'immobilisation.

	Newsom et al. [3]	**Frenkel et al. [39]**	**Meugnot et al. [40]**	**Taniguchi et al. [42]**
Année	2003	2013	2014	2008
Type d'étude	essai contrôlé randomisé	essai contrôlé randomisé	essai contrôlé non randomisé	série de cas
Niveau de preuve	2	2	3	5
Âge des sujets	18-30 ans	20-30 ans	18-26 ans	26-44 ans
Composition des groupes	GC ; GIM	GC ; GIM	GS ; GC ; GIMK ; GIMV	exp1 : relaxation exp2 : I.M.
Durée d'immobilisation	10 j.	3 sem.	24 h.	3 h.
Lieu d'immobilisation	avant bras (non-dominant)	poignet (non-dominant)	main gauche (non-dominante)	main gauche
Moyen d'immobilisation	plâtre qui va des têtes M.C. à juste en dessous du coude	plâtre circulaire au niveau de l'avant bras	attelle rigide (model DONJOY) + écharpe	enveloppé par un bandage élastique
Questionnaire d'imagerie mentale	Bett's Questionnaire Upon Mental Imagery	non fait	VMIQ	non fait
Type d'imagerie	I.M.K.	I.M.K. + I.M.V.	I.M.K. / I.M.V.	I.M.K.
Temps d'entraînement	3S x 5min/j.	sem 0 : 60 min, sem 1-3 : 3S(30min)/sem + 15min/j	3S x 5min	1mvt/s. pendant 3h.
Résultats	force + (préhension, flexion, extension)	amplitudes articulaires : flexion/inclinaison radiale – extension/inclinaison ulnaire +	temps de réponse +	stimulation du système nerveux +

	Fujisawa et al. [41]	Bassolino et al. [43]	Stenekes et al. [44]	Schott et al. [45]
Année	2011	2013	2009	2013
Type d'étude	série de cas	essai contrôlé non randomisé	essai contrôlé randomisé	cas clinique
Niveaux de preuve	5	3	2	5
Âge des sujets	29-44 ans	moyenne 24 ans	18-65 ans	73 ans
Composition des groupes	exp1 : relaxation exp2 : I.M.	GDN ; GVA ; GIM	GC ; GIM	1 femme
Durée d'immobilisation	3 h.	10 h.	6 sem.	non renseigné
Lieu d'immobilisation	main gauche	avant bras + main (dominante)	main en fonction de l'atteinte des tendons	main gauche (non-dominante)
Moyen d'immobilisation	enveloppé par un bandage élastique	bandage souple, coude à 90° de flexion	attelle Kleinert	non renseigné
Questionnaire d'imagerie mentale	non fait	version italienne du MIQ-R	V.M.I.Q.	version allemande du Controllability of Imagery Test
Type d'imagerie	I.M.K.	I.M.K.	I.M.K	I.M.K. + I.M.V.
Temps d'entraînement	1mvt/s. pendant 3h.	1S/h. pendant 10 h.	8 S/j. 1Se = 10mvt maintenus 3s.	pendant 3sem. : 5S(50min)/sem. puis 3S/sem. + entraînement seul à domicile
Résultats	stimulation du système nerveux +	stimulation du système nerveux -	temps de réponse + force - amplitudes articulaires - douleur - fonctionnel -	force + amplitudes articulaires + douleur + fonctionnel +

GC : groupe contrôle ; GIM : groupe avec imagerie mentale ; GIMK : groupe expérimentale avec I.M.K. ; GIMV : groupe expérimentale avec I.M.V. ; GS : groupe sain ; GDN : groupe avec vidéo documentaire sur la nature ; GVA : groupe avec vidéo d'actions prises d'un point de vue interne (1ère personne) ; I.M.K. : Imagerie mentale kinesthésique ; I.M.V. : Imagerie mentale visuelle ; sem : semaine ; j. : jours ; h. : heure ; min : minute ; s. : secondes ; mvt : mouvement ; exp : expérience ; S : série ; signe + : amélioration apportée par l'I.M. ; signe - : aucun effet observé après un travail d'I.M.

ANNEXE IV

Exemple d'entraînement d'imagerie mentale après fracture du radius basé sur le modèle de classification des habilités motrices fait par Gentile. Traduit à partir de l'étude de Schott et al. de 2013 [45].

	Corps stable Pas de manipulation d'objet	**Corps stable Manipulation d'objet**	**Corps en mouvement Pas de manipulation d'objet**	**Corps en mouvement Pas de manipulation d'objet**
Environnement stationnaire **Variabilité inter-essai absente**	**1a.** assis sur une chaise dans un endroit calme	**1b.** soulevant un verre d'eau alors qu'il était assis sur une chaise dans un endroit calme	**1c.** marchant sur un même itinéraire depuis la table jusqu'à l'évier	**1d.** marchant sur un même itinéraire depuis la table jusqu'à l'évier en portant une tasse
Environnement mobile **Variabilité inter-essai présente**	**2a.** assis sur différentes surfaces dans un endroit calme	**2b.** soulevant un verre d'eau dans différentes tasses/verres assis sur une chaise dans un endroit calme	**2c.** marchant sur différents itinéraires depuis la table jusqu'à l'évier	**2d.** marchant sur différents itinéraires depuis la table jusqu'à l'évier en soulevant un verre d'eau
Environnement stationnaire **Variabilité inter-essai absente**	**3a.** marchant sur un tapis roulant à une vitesse constante	**3b.** marchant sur un tapis roulant à une vitesse constante en soulevant un verre d'eau	**3c.** debout sur un escalateur se déplaçant à une vitesse constante	**3d.** debout sur un escalateur se déplaçant à une vitesse constante en soulevant un verre d'eau
Environnement mobile **Variabilité inter-essai présente**	**4a.** marchant sur un tapis roulant à des vitesses différentes	**4b.** marchant sur un tapis roulant à des vitesses différentes en soulevant un verre d'eau	**4c.** marchant dans une clinique mouvementée	**4d.** marchant dans une clinique mouvementée en soulevant un verre d'eau