



Faculté de médecine de Grenoble

**Imagerie motrice en rééducation de la main:
Étude sur l'association de la stimulation vibratoire
transcutanée à la stimulation visuelle**

Mémoire présenté par

FAUCONNIER Jean-Baptiste
Ergothérapeute D.E., Hyères

Pour l'obtention du

**Diplôme Inter-Universitaire Européen
de Rééducation et d'Appareillage en Chirurgie de la Main**

2021-2023

Membres du Jury

Dr FORLI Alexandra
Dr GAY André
M. GERLAC Denis
Mme PERRET Alexandra

Liste des abréviations

IM : imagerie motrice

IMV : imagerie motrice visuelle

IMK : imagerie motrice kinesthésique

SVI : stimulation visuelle intensive

SVT : stimulation vibratoire transcutanée

TM : thérapie miroir

Aucun conflit d'intérêt en relation avec la réalisation de cette étude

SOMMAIRE

Introduction	3
1. Revue de littérature	4
1.1. Imagerie motrice	4
1.1.1. Définition de l'imagerie motrice	4
1.1.2. Intérêt neuro-fonctionnel de l'imagerie motrice.....	5
1.1.3. Evaluation de la capacité d'imagerie motrice.....	8
1.2. Stimulation visuelle intensive	8
1.2.1. Présentation du dispositif d'imagerie visuelle intensive	8
1.2.2. Efficacité de la stimulation visuelle intensive	10
1.3. Stimulation vibratoire transcutanée	11
1.3.1. Présentation du dispositif de stimulation vibratoire	11
1.3.2. Efficacité de la stimulation vibratoire transcutanée.....	12
2. Protocole	15
2.1. Population étudiée.....	15
2.2. Méthode	16
2.3. Résultats	21
3. Discussion	26
3.1. Efficacité de la pratique en imagerie motrice.....	26
3.2. Similarité entre pratique réelle et pratique en imagerie motrice	28
3.3. Limites de l'imagerie motrice	29
Conclusion	31
Bibliographie	33

INTRODUCTION

L'imagerie motrice est un processus cognitif impliquant la simulation mentale de l'exécution d'un mouvement sans exécution motrice physique apparente. L'application pratique la plus répandue de l'imagerie motrice est appelée « pratique d'imagerie motrice » ou « pratique mentale » et résulte donc en la répétition toujours imagée (dite cérébrale) d'une représentation de mouvements précis sans exécution.

Elle est utilisée comme outils dans l'amélioration de la performance, l'acquisition de compétences, la rééducation sportive ou clinique. L'imagerie motrice constitue une thématique importante de recherches cliniques avec un intérêt grandissant ces dernières décennies, notamment concernant la stimulation de la plasticité cérébrale.

L'imagerie motrice utilise les mêmes réseaux neuronaux qui sont alors activés pendant l'exécution effective du mouvement, incluant le cortex moteur primaire, l'aire pré-motrice, l'aire motrice supplémentaire et le cortex pariétal. Ces régions s'appellent collectivement le système de neurones miroirs qui s'activent à la fois lorsque nous effectuons, lorsque nous nous imaginons ou lorsque nous observons une même action. Ce système neuronal joue un rôle crucial dans l'imagerie motrice, puisqu'il permet aux individus de simuler mentalement l'exécution du mouvement en utilisant le même mécanisme neuronal que dans l'exécution effective du mouvement. Dans ce domaine, en considérant les afférences motrice et visuelle, on considère que l'observation d'un mouvement s'apparente presque à son exécution et, en suivant cette logique, ressentir un mouvement s'apparente presque à le faire.

Cette étude a pour objectif de s'intéresser aux modalités principalement visuelle et kinesthésique de l'imagerie motrice, notamment les éventuels bénéfices à les combiner en rééducation dans le cadre d'un protocole appliqué à des patients présentant une lésion traumatique de la main.

1. REVUE DE LITTERATURE

1.1. Imagerie motrice

Afin de passer outre les limitations de l'intégration sensorielle uni-modale, le système nerveux central peut combiner et intégrer différents signaux et afférences sensoriels pour obtenir un percept plus marquant (entité cognitive, constituée d'un ensemble d'informations sélectionnées et structurées en fonction de l'expérience antérieure, et qui sont mobilisées dans une perception particulière – définition du Larousse). L'intégration sensorielle désigne en neurophysiologie le processus par lequel le système nerveux transforme les sensations en perceptions, c'est-à-dire organise les informations sensorielles provenant du corps et de l'environnement afin de savoir les utiliser efficacement pour agir (mouvement, comportement, pensée).

Les afférences visuelles représentent une composante majeure du traitement avec la thérapie miroir (ou stimulation visuelle) (Ramachandran et Altschuler, 2009) [1]. Les neurones miroir (connus pour s'activer lorsqu'un sujet réalise une tâche motrice ou observe simplement une tierce personne effectuée une action) (Di Pellegrino, 1992) [2] ont un rôle clé dans l'illusion motrice et la TM. Ces neurones sont le siège d'un mécanisme neurophysiologique grâce auquel les signaux visuels sont interprétés comme des signaux proprioceptifs ou tactiles et créent ainsi une représentation mentale. Il ne faut cependant pas oublier que d'autres modalités non visuelles peuvent contribuer à l'illusion motrice.

1.1.1. Définition de l'imagerie motrice

L'IM consiste à s'imaginer en train d'effectuer une action sans qu'aucune exécution motrice ne soit réelle ou visible. Cet état cognitif dynamique implique la représentation cérébrale d'une action ainsi que ses caractéristiques temporelles, spatiales, proprioceptives et kinesthésiques (Puyjarinet, 2015) [3]. Couplée à la pratique réelle, l'IM permet d'acquérir un meilleur schéma moteur d'un mouvement que l'on souhaite.

Il existe différentes modalités d'IM. Notre corps et notre environnement vont alimenter les différentes afférences sensorielles qui peuvent servir de base afin de construire des images mentales. Elles peuvent être classées en différentes modalités : les images visuelles, proprioceptives/kinesthésiques, auditives, tactiles, gustatives, olfactives et plurimodales. Lors de

la mise en place d'un programme d'imagerie motrice avec le patient, il est primordial de préciser au préalable les consignes concernant quelles modalités d'imagerie vont être sollicitées (Hall, Buckolz et Fishburne, 1992) [4]. Dans la plupart des études en imagerie, les modalités d'imagerie généralement utilisées sont visuelle et kinesthésique.

L'imagerie motrice kinesthésique (IMK) (ou proprioceptive) va consister à évoquer mentalement les sensations (contractions, relâchement, étirement...) générées durant la réalisation des actions. C'est une représentation proprioceptive sensorimotrice. Elle constitue la capacité à imaginer la réalisation d'un mouvement en ayant l'impression d'une contraction musculaire et d'une sensation d'un mouvement normalement réalisé.

L'imagerie motrice visuelle (IMV) (ou visuo-motrice) consiste à imaginer un mouvement ou à l'observer. C'est une technique de visualisation d'un mouvement. Elle constitue la capacité à s'imaginer réaliser ce mouvement. Elle présente deux perspectives. D'un part, l'IMV externe : s'imaginer voir à la troisième personne, c'est-à-dire du point de vue d'un observateur, réaliser une action donnée. D'autre part, l'IMV interne : s'imaginer se voir à la première personne, c'est-à-dire du point de vue subjectif, réaliser une action donnée.

1.1.2. Intérêt neuro-fonctionnel de l'imagerie motrice

L'activation du cortex interviendrait 7 à 10 secondes avant la perception de l'intention du mouvement par le sujet (Jackson, 2003 ; Lotze, 2006) [5] [6]. Avec un traitement cognitif du geste et une représentation cognitive du geste, l'IM agit comme une condition préparatoire, un mécanisme d'amorce de la future réponse motrice.

L'IM repose sur les mêmes mécanismes que la programmation motrice. La différence est que, pendant la simulation mentale du mouvement, la commande motrice est inhibée au niveau cortical et sub-cortical. Les mêmes structures neuronales participent pendant la simulation et l'exécution réelle du mouvement. Il s'agit d'un état dynamique et transitoire pendant lequel sont activées les représentations internes, liées à la programmation, à l'exécution et au contrôle du mouvement. L'imagerie seule fait circuler un potentiel d'action subliminal dans les muscles concernés : d'où une réactivation des programmes moteurs.

Les techniques de neuro-imagerie montrent que les mouvements réels et imaginés partagent des

circuits neuronaux communs (Hardwick, 2018) [7]. De ce fait, la pratique d'IM participe directement à la stimulation des voies centrales dédiées au contrôle moteur et présente un intérêt neuro-fonctionnel important. Récemment, une étude (Oda, 2021) [8] a démontré les effets bénéfiques de l'IM sur les phénomènes d'inhibitions motrices (inhabilité volontaire de contraction d'origine spinale, musculaire et corticale) après des lésions musculo-squelettiques, notamment par une réduction de la douleur.

La plasticité cérébrale est stimulée par l'IM car cette dernière active les réseaux neuronaux en charge de la planification et la programmation du mouvement. De cette manière, les programmes moteurs stockés dans la mémoire procédurale vont demeurer en éveil (Jackson, 2003) [9]. Suite à une lésion, les réorganisations de la cartographie corticale suggèrent que l'imagerie motrice agit sur l'organisation et la plasticité cérébrale, présentant un rôle incontournable dans la rééducation fonctionnelle (Grangeon, 2009) [10].

Des recherches récentes suggèrent que l'imagerie motrice implique l'activation de plusieurs zones sensorimotrices, elles-mêmes impliquées dans l'exécution du mouvement, notamment le cortex pré-moteur dorsal et le cortex somato-sensoriel primaire (Oldrati, 2021) [11]. Cependant, il n'a pas encore été précisé si leur implication est spécifique soit à l'imagerie kinesthésique ou visuelle ou s'ils contribuent bel est bien à une activation motrice pour ces deux modalités.

De nombreuses études en neuro-imagerie qui ont observé les corrélations neurologiques d'une simulation mentale de l'action et ont démontré l'activation d'un réseau étendu de régions corticales et sous-corticales reconnues comme étant aussi impliquées dans l'exécution du mouvement. On ne compte ainsi pas uniquement les aires motrices frontales, tel que le cortex pré-moteur, reconnu comme étant impliqué dans l'exécution du mouvement, sa planification et sa préparation, mais aussi les aires sensorimotrices pariétales, tel que le cortex somato-sensoriel primaire, qui intègre probablement les aspects kinesthésiques des représentations motrices. Ainsi, les aires sensorimotrices pariétales sont du moins en hypothèse considérées comme génératrices d'efférence sensorielles lors de l'imagerie motrice et ce même en l'absence d'exécution du mouvement. Une théorie estime que les aires, siège des mécanismes d'imagerie motrice font partie d'un réseau complexe pour l'anticipation et la prévision des composantes sensibles du mouvement, avec comme objectif d'optimiser les performances motrices en fonction du contexte. Ainsi, les représentations motrices mentales et leurs composantes de perceptions du mouvement dériveraient

d'une prévision interne de l'état moteur du mouvement correspondant fondé sur la copie d'une efférence sensitive.

Considérant la concordance entre les aires recrutées pendant l'imagerie motrice et l'exécution réelle du mouvement, un intérêt croissant a été porté à la réalisation d'exercices d'IM dans le cadre de la rééducation pour les patients souffrant d'une diminution significative de leur performance occupationnelle, tout comme pour les athlètes professionnels et les musiciens. Dans ces mises en pratique, il est apparu évident que l'IM peut être effectuée par le biais de différentes composantes ; les deux principales étant les aspects kinesthésique et visuel.

Même si l'expérience sensoriel au cours de l'IM est souvent multimodale, la compréhension des modalités sensorielles exerçant une meilleure facilitation du système moteur peut permettre de fournir des instructions plus efficaces dans le cadre de la rééducation ou de l'entraînement afin d'optimiser les résultats fonctionnels. Bien que le niveau de preuve soit suffisant pour considérer que l'IMK et l'IMV puissent activer plusieurs aires cérébrales communes, des aires spécifiques ont aussi été identifiées. En particulier, depuis le développement des études en neuro-imagerie comparant l'IMK et l'IMV, l'IMK implique une plus grande sollicitation des aires motrices antérieures, tandis que l'IMV stimule de manière constante les aires sensorielles postérieures. Des études récentes ont cependant des résultats mitigés. Ces études ont montré l'activation du cortex prémoteur soit au cours de l'IMK et de l'IMV ou uniquement de l'IMV sans IMK, alors que des méta-analyses montrent un chevauchement substantiel entre ces deux modalités avec un recrutement plus étendu des circuits sensorimoteurs fronto-pariétaux dans le cas de l'IMK. Par ailleurs, des études suggèrent que la connectivité pourrait caractériser le rôle fonctionnel des activations cérébrales afin de mieux distinguer les modalités d'imagerie plutôt que l'activation locale et sélective. Les co-stimulations cérébrales lors de réalisation de tâches, peuvent en effet être le signe d'influences excitatrices ou inhibitrices sur des aires communes. Par exemple, il a été montré que le schéma de connectivité fonctionnelle pariétale motrice est similaire pendant l'exécution du mouvement et l'IM. Il passe d'un effet facilitateur durant la réalisation du mouvement à un effet inhibiteur pendant l'IM, corroborant la suppression de l'efférence motrice pendant l'imagerie motrice. En résumé, bien que les aires pré-motrices et sensorimotrices puissent être activées pendant l'IMK et l'IMV, leur contribution facilitatrice ou inhibitrice à l'activation motrice peuvent différer dans ces deux modalités d'IM.

Il apparaît donc nécessaire de continuer à explorer les protocoles fondés sur l'IMK dans le cadre de la rééducation afin de faciliter la récupération motrice. En effet, l'influence plus importante du cortex pré-moteur et du cortex somato-sensoriel primaire dans l'IMK que dans l'IMV peut expliquer les meilleurs résultats attribués aux programmes de rééducation pour améliorer la fonctionnalité motrice se focalisant davantage sur la stratégie kinesthésique que visuelle.

1.1.3. Evaluation de la capacité d'imagerie motrice

En tant que processus interne, il est difficile d'évaluer la réalisation de l'IM. Néanmoins, des évaluations existent pour mesurer la capacité des sujets à produire une image mentale :

- Le Timed Dependant Motor Imagery (TDMI) (Malouin, 2007) [11] fondé sur la chronométrie mentale selon laquelle la durée du mouvement imaginé et la même que celle du mouvement exécuté et qu'un mouvement complexe prend plus de temps qu'un mouvement simple. Le test consiste à imaginer un mouvement de steppage pendant 15 secondes, puis 25 secondes et enfin 45 secondes. Le sujet qui présente une progression du nombre de répétitions présente donc une capacité à réaliser l'IM sans préciser la clarté de l'image interne.
- le Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) (Malouin, 2007) [11] comprend l'évaluation de 10 mouvements (plus simples et passation plus courte que dans le Motor Imagery Questionnaire) sur une échelle de 5 points selon les deux modalités d'IM.

Les deux modalités visuelle et kinesthésique étant les plus couramment utilisées et les plus étudiées, il est donc possible de les stimuler par divers moyens et techniques de leurs neuro-sensoriels pour construire des images combinant plusieurs modalités sensorielles, chacune pouvant avoir un impact sur la performance motrice.

1.2. Stimulation visuelle intensive

1.2.1. Présentation du dispositif de stimulation visuelle intensive

L'IVS3 (Intensive Visual Simulation) créé en 2017 par Dessintey, est un dispositif inédit générateur d'illusions visuelles. L'action de l'IVS3 se fonde sur la TM dont l'efficacité a été

scientifiquement démontrée dès la fin des années 90. De nombreuses études s'intéressent à la TM, mais il n'existe pas de données probantes concernant cette technique. Elle fait cependant partie des techniques ou moyens de rééducation post-AVC recommandés par la Haute Autorité de Santé, même s'il n'existe pas de protocole standardisé et validé. Les cliniciens s'accordent sur le fait qu'il faut proposer aux cours des séances des exercices variés et gradués, à une fréquence régulière.

Le dispositif IVS3 est équipé d'un logiciel, d'une caméra et d'un système d'écrans synchronisés. Il remplace l'image du membre lésé par l'image créée à partir du membre valide. Ainsi, lors du travail de rééducation, le patient, a l'impression que son membre lésé peut bouger comme s'il était sain, ce qui permet une reconstruction de ses circuits sensorimoteurs ; l'illusion générée stimule sa plasticité cérébrale. La rééducation du patient est donc réellement personnalisée, intensive et diversifiée avec 400 exercices spécifiquement conçus et la possibilité de créer ses propres séquences adaptées.

Cet outil se compose de différents éléments : un ordinateur PC équipé d'un logiciel spécifique, un écran de 27 pouces pour la personne (qui va lui permettre de visualiser son membre en mouvement), un écran tactile de pilotage pour le thérapeute de 15.6 pouces (qui va lui permettre d'effectuer les réglages nécessaires : répétition, vitesse du mouvement, nombre de boucles, ordre de passage...), une caméra (qui va permettre de filmer le mouvement réalisé par la personne avec son membre sain pour ensuite le retransmettre à l'écran), un miroir (qui va permettre de transposer l'image du côté sain vers le côté lésé), un système de support de l'écran du thérapeute avec un bras fixé sur une colonne motorisée (qui va permettre de déplacer l'écran de droite à gauche), une table ergonomique motorisée par deux colonnes (qui va permettre de régler la hauteur de la table et la hauteur de l'écran).

Le réapprentissage moteur est favorisé par un feedback visuel positif immédiat. En effet, pour les patients présentant une lésion, il existe souvent une incohérence entre la commande du mouvement, son exécution et le retour visuel et kinesthésique qui peut alors être déficitaire ou entretenir un feedback négatif. De nombreux patients perdent avec le temps, la mémoire des actes moteurs résultant en des troubles du schéma corporel. Ayant perdu la capacité de représentation mentale du mouvement, ils ne peuvent plus le réaliser de manière efficace et précise en plus des contraintes biomécaniques dues à la lésion initiale. L'IVS3 va générer des modèles d'action pour stimuler la planification et la commande centrale du mouvement. Ces représentations motrices et sensorielles

vont faciliter le réapprentissage du geste et la récupération motrice tout en favorisant la cohérence entre l'intention motrice et la perception immédiate et positive du mouvement.

Grâce à cet outil, la personne peut doubler son temps de rééducation puisqu'elle va pouvoir être autonome lors des sessions. L'intérêt de l'utilisation de cette technologie va être de répéter mentalement, sans fatigue, un grand nombre de simulations de mouvement.

1.2.2. Efficacité de la stimulation visuelle intensive

Plusieurs études ont analysé l'efficacité du dispositif IVS3 dans l'amélioration des capacités d'imagerie motrice et de la performance cognitive. Dans une étude de 2017 (Vourvopoulos) [13], les auteurs ont conclu que les patients victimes d'un accident vasculaire cérébral qui utilisent le dispositif IVS3 pendant 4 semaines présentent une amélioration significative de la précision d'imagerie motrice comparé au groupe témoin. Le groupe testé montre aussi une activation plus étendue des aires corticales impliquées dans la planification et l'exécution motrice, comme mesurée par l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf).

Une autre étude de 2019 (Boudrias) [14] analyse les effets du dispositif IVS3 sur l'imagerie motrice et la capacité de marche chez des sujets atteints de la maladie de Parkinson. Les auteurs démontrent que le groupe testé avec le dispositif IVS3 présente des améliorations significatives quant à la précision d'imagerie motrice et la vitesse de marche comparé au groupe témoin.

Enfin, une étude de 2018 (Guillot) [15] examine les effets du dispositif IVS3 sur la capacité d'imagerie motrice des sujets sains. Les auteurs ont conclu que le groupe cible présentait une amélioration importante dans la précision et la vitesse d'imagerie motrice par rapport au groupe témoin, et que ces bénéfices ont perduré au moins 6 mois après l'entraînement. Le dispositif IVS3 de Dessintey est une technologie novatrice et prometteuse pour l'entraînement à l'imagerie motrice.

Ces études suggèrent que le dispositif IVS3 peut être efficace dans l'amélioration des capacités d'imagerie motrice et de la performance cognitive d'une population variée. D'autres études seront cependant nécessaires pour appréhender complètement les bénéfices potentiels et les possibles limitations sur le processus d'imagerie motrice et de performance cognitive. De plus, la durée

optimale et la fréquence des sessions utilisant l'IVS3, tout comme la population cible idéale et les préalables à son utilisation n'ont pas encore été complètement établis.

N'en demeure que le dispositif IVS3 de Dessintey est un outil prometteur pour l'entraînement à l'imagerie motrice et la rééducation cognitive en conjonction avec d'autres techniques de rééducation.

La stimulation visuelle intensive constitue donc un leurre neuro-sensoriel efficace.

1.3. Stimulation vibratoire transcutanée

1.3.1. Présentation du dispositif de stimulation vibratoire

Dans le cadre de la thérapie sensorimotrice, le dispositif de Vibramoov utilise des Stimulations Proprioceptives Fonctionnelles (FPS) permettant d'activer le système nerveux avec des informations sensorielles identiques à celles du mouvement naturel. L'objectif est de créer une illusion sensori-motrice : le patient, même paralysé, ressent les mouvements du corps alors même que ses membres sont immobiles. Ces stimulations sont appliquées au niveau de la jonction musculo-tendineuse avec des capteurs. Les FPS stimulent mécaniquement les fuseaux neuromusculaires en imitant les signaux sensoriels des mouvements naturels. Cette stimulation neurosensorielle active des zones sensori-motrices spécifiques et permet aux patients de ressentir des mouvements naturels. Les systèmes sensoriel et moteur étant inter-dépendants, le système nerveux central réagit en initiant une réponse motrice correspondant à la sensation perçue.

Stimuler les tendons des muscles avec une vibration de 100Hz excite les fuseaux neuromusculaires afférents. Le cortex reçoit et procède au traitement de ces stimuli créant ainsi une sensation de mouvement lent chez le sujet comme si le segment, sur lequel est appliqué la vibration, bougé réellement (illusion kinesthésique) alors qu'il n'y a aucun mouvement réel, intention motrice ou sensation d'effort.

La coordination de la motricité et des informations neuro-sensorielles est un enjeu central pour tout programme de rééducation de la mobilité des membres supérieurs. Vibramoov permet une stimulation afin d'entretenir la mémoire du mouvement et d'accélérer la récupération motrice.

1.3.2. Efficacité de la stimulation vibratoire transcutanée

Les SVT sont transmises par contact cutané avec un vibreur mobile ou fixe. En fonction de différents paramètres ajustables comme la fréquence, l'amplitude et les modalités d'application, elles vont générer des sensations illusoires de mouvement (Roll, 2009) [16].

Les SVT doivent être appliquées perpendiculairement au tendon pour générer une sensation de mouvement et stimuler les fuseaux neuromusculaires, et les récepteurs cutanés superficiels et profonds, ce qui provoque des micro-étirements. Le sujet devra avoir les yeux fermés. Lorsque le mouvement est exécuté en réel, le muscle agoniste (orientant le mouvement) se contracte avec en contrepartie un relâchement du muscle antagoniste afin de faciliter le geste. L'application des vibrations va entraîner un relâchement du muscle vibré et induire une illusion de mouvement dans la direction de l'étirement du muscle (Wierzbicka, 1998) [17].

Pour obtenir une réponse optimale, la fréquence doit se situer entre 70 et 100 Hz et l'amplitude entre 0.2 et 0.5mm. Comme dans la stimulation visuelle intensive, ici ce sont les mêmes aires corticales qui vont être stimulées. Le stimulus vibratoire correspondant au feedback proprioceptif lors l'exécution réel du mouvement va être perçu par le cortex alors que le segment cible reste immobile. La stimulation vibratoire transcutanée constitue donc un leurre neurosensoriel efficace

Des études récentes (Imai, 2017) [18] montrent que l'application perpendiculaire de vibrations à une fréquence d'environ 80 Hz et de faible amplitude au niveau d'un tendon musculaire est susceptible d'induire des sensations illusoires de mouvement en l'absence de déplacement réel du membre ou même des illusions posturales.

L'illusion kinesthésique produite par la stimulation vibratoire du tendon résulte d'une information sensorielle proprioceptive ascendante. Lorsqu'une vibration d'une fréquence suffisante est appliquée sur le tendon d'un membre d'un patient, celui perçoit une illusion kinesthésique selon laquelle le muscle est étiré alors que le segment concerné reste immobile. Cette sensation résulte du fait que la vibration du tendon stimule le fuseau musculaire d'une façon similaire à celle lorsque le muscle est étiré.

Les études des effets des vibrations tendineuses par le biais de l'IRMf permettent de révéler le réseau cortical activé lorsqu'est induite une illusion de mouvement. On retrouve les aires pariétales

bilatérales, le cortex moteur et le cortex pré-moteur, l'aire motrice supplémentaire (Schéma 1). A l'instar de l'IMV, ce réseau cortical est proche de celui activé lors d'une activité motrice volontaire ou d'un mouvement imaginé.

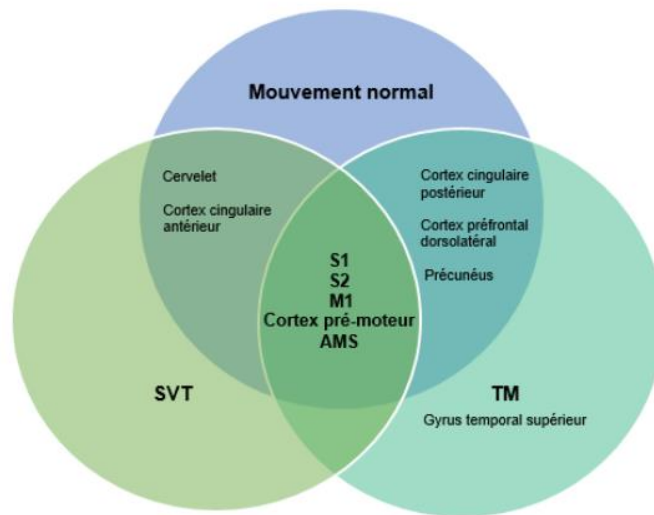


Schéma 1 illustrant les différentes zones corticales activées lors d'un mouvement réel, de la SVT et de la TM – illustration Julie LARRE, Mémoire 2016 [19]

Les lésions et immobilisation limitent les afférences sensorielles résultant du mouvement qui stimulent normalement le système nerveux central. Cette désafférentation proprioceptive est délétère aussi bien au niveau cérébral (mal-adaptation corticale ou de la plasticité cérébrale) que périphérique (ankylose articulaire). Une étude (Roll, 2012) [20] a comparé les aires corticales activées avant et après immobilisation chez deux groupes de sujets : un groupe immobilisé avec une orthèse thermoformée comprenant des vibrateurs et un groupe avec une orthèse thermoformée sans vibrateur. Il en ressort que les sensations illusoire de mouvements induites par la SVT préviennent la perturbation corticale causée par l'immobilisation.

La SVT peut induire deux types de réponses motrices soit dans le muscle vibré (réflexe tonique vibratoire) soit, pour ce qui touche au sujet de cette étude, dans les muscles antagonistes (réflexe vibratoire antagoniste). Lorsque le sujet est détendu, sans feedback visuel direct sur le segment vibré et que se produit une sensation illusoire de mouvement, le réflexe vibratoire antagoniste est objectivé. Dès que le sujet maintient les yeux ouverts, l'activité motrice se situe au niveau du muscle vibré, le réflexe tonique vibratoire devient prépondérant et l'illusion motrice disparaît.

La stimulation cérébrale non invasive et les vibrations neuromusculaires sont des approches thérapeutiques neuro-modulatrices prometteuses. D'autres études contrôlées et randomisées sont nécessaires pour corroborer leur efficacité en tant que techniques distinctes et combinées (Lucente, 2020) [21].

Les deux modalités visuelle et kinesthésique étant les plus couramment utilisées, quelle serait l'impact sur la capacité d'imagerie motrice des sujets à combiner ces deux modalités sensorielles ?

2. PROTOCOLE

L'axe prioritaire de ce protocole concerne la capacité d'imagerie motrice du sujet et de tester la réceptivité avec une approche combinant stimulation visuelle concomitante à la stimulation kinesthésique d'un segment cible.

2.1. Population étudiée

Pour faciliter l'accès à la patientèle et la collecte des données, les sujets choisis provenaient de l'établissement de Soins de Suite et de Réadaptation, Hôpital Léon Bérard (Hyères, Var). L'étude porte sur 12 patients présentant une lésion traumatique à la main/poignet. Un sujet a été exclu de l'étude car il reportait un inconfort et une douleur minimale au cours des vibrations suite à une fracture de base de métacarpien qui datait de 1,5 mois.

Les critères d'inclusion comprenaient :

- une population adultes de 18 ans et plus, femmes et hommes ;
- la présence d'une lésion traumatique (à la main/poignet droit ou gauche indépendamment de latéralité avec un déficit des mouvements du poignet

Les critères d'exclusions comprenaient :

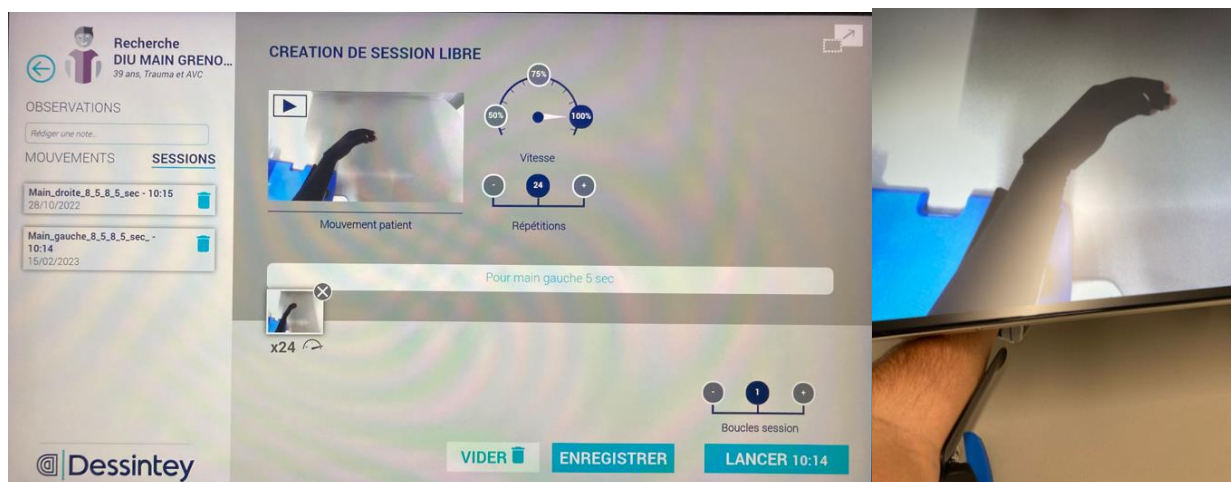
- l'impotence fonctionnelle complète de la main/poignet ;
- la présence de lésions nécessitant des soins infirmiers (pansements, plaies, sutures etc) ;
- la présence de matériel d'ostéosynthèse (broches, plaques et vis, fixateur etc) ou d'orthèse à port stricte ;
- des complications douloureuses de type Syndrome Douloureux Régional Complexe, des douleurs neuropathiques invalidantes ou des troubles sensitifs sévères de type allodynie mécanique.
- les déficits à la main/poignet résultant d'une atteinte neurologique centrale (spasticité, etc) ;

- les troubles cognitifs altérant la compréhension des consignes ;

2.2. Méthode

Matériel

Concernant la modalité visuelle : pour la stimulation visuelle, une session pour la main gauche et une pour la main droite ont été préalablement enregistrées, en suivant la séquence 8 sec-5 sec-8 sec-5 sec (Photo 1). La vidéo affiche une image de poignet en flexion et débute par un mouvement d'extension de poignet pendant 8 secondes, suivi de 5 secondes d'immobilité en position d'extension, puis 8 secondes de mouvement de flexion du poignet, et 5 secondes d'immobilité en flexion pour clore. Un cycle dure donc 26 secondes et une session est composée de 24 répétitions sans transition afin d'obtenir une session complète de 10 min environ. La main avait été filmée avec un gant et un manchon noirs afin de pouvoir utiliser la vidéo sans distinction morphologique ou esthétique par le plus grand nombre (Photo 2). Le membre testé repose en position intermédiaire (sur le bord ulnaire) sur un socle, le poignet décalé du bord pour éviter tout contact ou gêne, notamment lors de la vibration des capteurs.



Photos 1 et 2

L'outil IVS va rendre son utilisation plus simple grâce au pré-enregistrement des mouvements qui permettent de visualiser un mouvement identique à chaque fois, au réglage des paramètres tels que la répétition, la vitesse d'exécution du mouvement ainsi que le nombre de boucles à visualiser. De plus, l'attention est portée sur l'écran face à soi ce qui est plus confortable. Cet écran cache le

membre supérieur lésé et, le membre sain n'est pas visible, ce qui permet de renforcer l'illusion.

Concernant la modalité kinesthésique : pour la stimulation vibratoire, les vibrations (fréquence de 80 à 100 Hz) sont délivrées par deux vibreurs sautés sur la face dorsale et palmaire du poignet (Photo 4), activés en alternance grâce à l'interface programmable (Photo 3), avec une fréquence, durée d'activation des vibreurs et le nombre de répétitions afin de se synchroniser avec la stimulation visuelle et que l'immersion soit totale. Les deux vibreurs vibrent en alterné en respectant le cycle de l'image, c'est-à-dire 8 secondes pour le vibreur palmaire (pour induire une illusion d'extension comme à l'écran), 5 secondes de pause, puis 8 secondes d'activation pour le vibreur dorsal (pour induire l'illusion de flexion), et enfin 5 secondes pause pour continuer un nouveau cycle de 24 répétitions (session complète de 10 min environ).



Photos 3 et 4

Le dispositif Vibramoov va faciliter la création d'un programme adapté ou le paramétrage identique pour chaque sujet aura été sauvegardé (vibrations en mode alterné, fréquence de vibration, durée des vibrations, temps de pause et durée totale de la séance). Les vibreurs portatifs sont facilement fixés sur le poignet grâce à une sangle ergonomique.

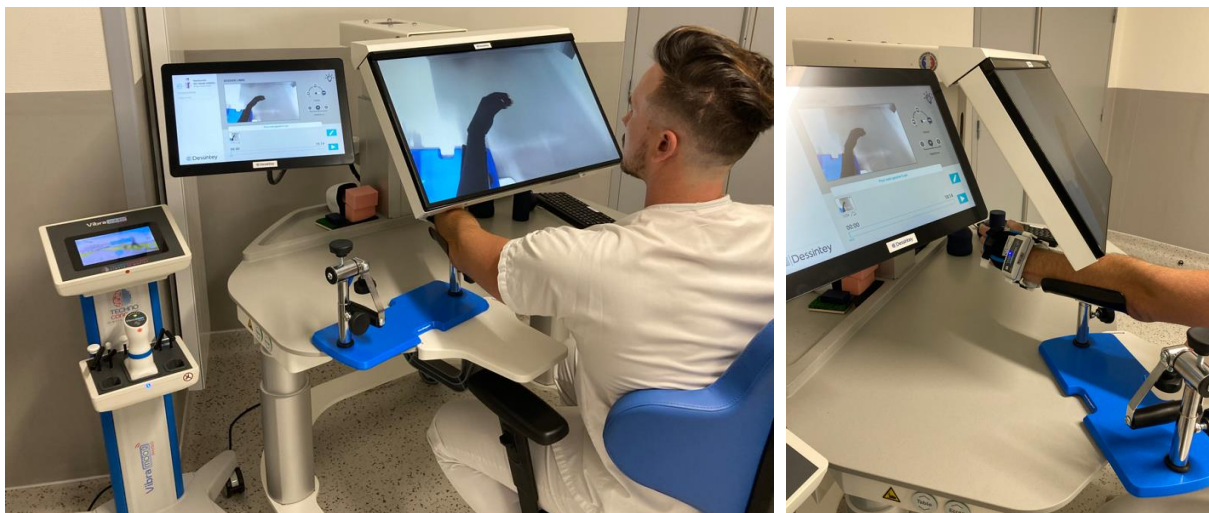
Installation du sujet

Le sujet est installé confortablement dans un environnement calme et concentré sur les sensations. Une installation spécifique de la personne face à l'écran va être recommandée pour permettre de

créer l'illusion de mouvement du membre lésé. L'avant-bras reposant sur le socle sur la table ergonomique. La personne doit ensuite être positionnée proche de l'écran de manière qu'elle n'aperçoive « son membre » lésé qu'à l'écran (Photos 5 et 6). Un réglage en hauteur et en latéralité de l'écran est réalisé en fonction de chaque personne.

Puisque l'on traite de manière alternée un couple de muscles antagonistes, il faudra que la tension des deux muscles soit à peu près équivalente. On recherchera donc une position médiane de l'articulation. Associé à l'image cela augmenta considérablement la sensation d'illusion du mouvement et du réflexe vibratoire antagoniste associé.

Des études ont estimé que 5 à 15 secondes de vibrations était la durée optimale pour le tendon (dans notre étude, la durée est de 8 secondes). Au-delà l'efficacité à induire une sensation illusoire de mouvement n'est pas améliorée. De plus, (Roll, 2009 ; Albert 2006) [20] [22] la durée totale d'une séance de vibrations est d'environ 20 minutes (10 min dans le cadre de notre protocole) au cours de laquelle chaque temps de vibration sera séparé d'un temps de repos de 5 à 10 secondes (5 secondes dans notre protocole).



Photos 5 et 6

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

- la séance est réalisée dans un lieu calme pour une meilleure concentration avec les yeux ouverts fixés sur l'écran. En général, le patient doit garder les yeux fermés. En effet, les vibrations agissent

sur la sensibilité profonde (sens du positionnement articulaire). Dans notre protocole, le sujet garde les yeux ouverts en observant l'image sur l'écran, son avant-bras équipé des vibrateurs alternatifs étant occulté par ce même-écran. Le patient est assis sur une chaise avec accoudoirs. Le thérapeute est présent sans intervenir pour veiller au bon déroulement;

- les réglages spécifiques des vibrations : la fréquence entre 70 et 120 Hz (100Hz dans notre protocole), les amplitudes des vibrations entre 0,2 et 0,4 mms. Le traitement se fait de manière alternée entre deux groupes tendineux (fléchisseurs et extenseurs du poignet) avec des séquences de stimulation continue n'excédant pas 8 secondes par groupe. La séance stimulation dure 10 minutes et est effectuée une seule fois par sujet. Plus les vibrations sont synchrones avec l'image, plus l'illusion de mouvement est intense. La présence du thérapeute est nécessaire pour réajuster la synchronisation sans impacter le traitement.

Paramètres à évaluer

Une fois l'installation réalisée ou le test effectué, l'évaluation va permettre de recueillir différentes données concernant la personne. Les différents paramètres cliniques sont mesurés par un seul et même rééducateur immédiatement avant et après le traitement et comprennent l'évaluation :

- de la douleur avec une échelle numérique simple (ENS) (cotation de 0 à 10) (tableau1),

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Tableau 1

- de la chronométrie mentale avec le nombre de mouvement imaginé en flexion/extension du poignet du côté ipsi-latéral à la lésion et chronométré à 15 secondes, puis 25 secondes et enfin 45 secondes (tableau 2),

Temps	15 secondes	25 secondes	45 secondes
Mouvement imaginé			
Nombre de répétitions mentales :			
Flexion/extension du poignet			

Tableau 2

- de la capacité à se représenter mentalement un mouvement avec une échelle d'imagerie

visuelle (de 1 : pas d'image à 5 : image aussi claire qu'un film) et une échelle d'imagerie kinesthésique (de 1 : pas de sensation à 5 : sensation aussi intense qu'en faisant l'action) (tableau 3),

5	4	3	2	1
Image aussi claire qu'un film	Image claire	Image modérément claire	Image floue	Pas d'image

5	4	3	2	1
Sensation aussi intense qu'en faisant l'action	Sensation intense	Sensation modérément intense	Image vague	Pas de sensation

Tableau 3

- des amplitudes articulaires mesurant (en degrés passif et actif) la flexion/extension du poignet,
- des impressions subjectives des sujets et les observations, suscitées par le traitement.

La douleur permet de s'interroger sur l'état du patient pour pouvoir être dans les conditions optimales pour recevoir le traitement et de s'assurer que le traitement ne majore pas cette douleur si elle est présente initialement.

La chronométrie mentale permet de vérifier les caractéristiques temporelles des mouvements simulés. Selon le principe d'isochronie (séquence rythmique ayant la même durée), la durée d'exécution d'un mouvement physique devrait être identique au même mouvement imaginé par le patient. Malouin et al. ont proposé pour évaluer la capacité à produire une image motrice, le Time Dependant Motor Imagery (TDMI) (Malaouin, 2008) [23]. Le test rapide consiste à imaginer (initialement un mouvement de steppage du pied pendant 15s, 25s et 45s) un mouvement de flexion/extension du poignet dans le cadre de cette étude. Le test est validé s'il y a une progression croissante dans le nombre de mouvements cibles imaginés. Le sujet est assis avec un dossier, yeux fermés, imagerie motrice en perspective interne, sans mouvements physiques et il doit annoncer à chaque arrêt du chronomètre le nombre de flexion/extension (compte pour un) effectué. Au préalable, les sujets ont la liberté d'exécuter le mouvement avec le membre controlatéral pour

intégrer la consigne et avant de se mettre en perspective interne et subjective pour le côté lésé évalué. Cependant le mouvement n'est pas exécuté physiquement lorsqu'il est imaginé pendant la phase chronométrée.

Les échelles d'imagerie visuelle et kinesthésique sont inspirées directement du Questionnaire d'Imagerie Visuelle et Kinesthésique (KVIQ). Il existe une version longue (20 items) et une version courte (10 items), ici un seul item est utilisé et adapté pour le cadre de l'étude. Le questionnaire a été validé en commençant par l'échelle visuelle suivie de l'échelle kinesthésique (Malouin et al. 2007) [12]. Il permet de coter la clarté visuelle de la représentation mentale et l'intensité de la sensation de mouvement de cette même image. A l'issue, chaque échelle est présentée au sujet testé en utilisant les descripteurs (plutôt que les chiffres) pour coter.

La mesure des amplitudes articulaires permettait d'évaluer de potentiels gains. Cependant ces mesures n'ont pas été incluses car des doutes ont été émis quant à :

- la fiabilité intra-examineur (capacité à obtenir un résultat identique à l'utilisation successive d'un même outils),
- la précision (concordance entre une valeur mesurée et la valeur réelle) avec un goniomètre manuel universel (règle rapporteur), même s'il existe une étude à ce sujet concluant à la bonne fiabilité du goniomètre universel (pour l'épaule) (Kim, 2016) [23].
- l'existence de gains articulaires stricto-sensu mesurables suite à une seule et unique session sans intervention d'une mobilisation passive même si les bénéfices immédiats peuvent être ressentis par le sujet.

Le recueil des témoignages des sujets permet de comprendre le feedback et les ressentis suite à l'essai du protocole et instaure un temps de parole et d'échanges.

2.3. Résultats

Le nombre de participants (n=12) a permis d'obtenir les résultats suivants compte tenu des différents paramètres.

Douleur (tableau 4)

Sujets (12)	ENS sur 10 Avant traitement	ENS sur 10 Après traitement	Evolution
S1	0	0	Stable
S2	3	3	Stable
S3	0	0	Stable
S4	0	0	Stable
S5	6	6	Stable
S6	3	3	Stable
S7	0	0	Stable
S8	0	0	Stable
S9	6	6	Stable
S10	2	2	Stable
S11	0	0	Stable
S12	0	0	Stable
Moyenne	1.7	1.7	

Tableau 4

Sur l'ensemble des 12 sujets ayant participé à l'étude, 7 ne présentaient aucune douleur avant le traitement contre 5 qui présentaient une douleur (évaluée de 2 à 6 sur 10). Une fois les évaluations faites et le traitement appliqué, l'ensemble des sujets ne présentait pas d'évolution sur ce critère et était stable. L'application combinée des SVT et de la SVI en une seule et unique fois ne semble pas majorer le phénomène algique, ni le diminuer (tableau 4). Des études antérieures et la pratique clinique confirment l'aspect non douloureux voir antalgique (avec des applications répétées) des SVT ou de la SVI.

Chronométrie mentale (tableau 5)

Sujets (12)	Nombre de répétitions mentales Avant traitement			Nombre de répétitions mentales Après traitement			Evolution
	15s	25s	45s	15s	25s	45s	
S1	5.5	9	17	7	10	18	+
S2	7	13	22	4.5	7.5	12	-
S3	9	13	23	9	15	25	+
S4	4	8.5	16.5	3	5.5	11	-
S5	5	8	23	7	18	32	+
S6	5.5	5.5	8.5	3.5	5	9	-
S7	9	15	27	10	15	29	+
S8	10	14	27	6	12	23	-
S9	2	4	5	2	4.5	7	+
S10	5	7	16	6	9	20	+
S11	6	10	16.5	7	11.5	22	+
S12	7	12	23	6	10	19	-
<i>Moyenne</i>	<i>6.25</i>	<i>9.9</i>	<i>18.7</i>	<i>5.9</i>	<i>10.3</i>	<i>18.9</i>	<i>7(+); 5(-)</i>

Tableau 5

Concernant la chronométrie mentale, le TDMI est validé s'il y a une progression croissante dans le nombre de mouvements cibles imaginés. L'ensemble des 12 sujets ont présenté une progression à chaque marqueur de temps (15s, 25s et 45s) aussi bien de manière individuelle que de manière globale (moyenne) (tableau 5). Le nombre de répétitions mentales était ainsi croissant aussi bien avant qu'après le traitement, validant de facto ce paramètre pour chaque individu. Cependant deux tendances émergent ici :

- au niveau interpersonnel : il semble exister une importante différence de rapidité selon les personnes testées. En effet, certains sujets sont environ 3 fois plus rapide pour exécuter le mouvement cible en perspective interne ;
- au niveau intra-personnel : 7 sujets ont augmenté le nombre de répétitions mentales effectuées après le traitement tandis que 5, tout en affichant une progression croissante, en ont diminué le nombre. Les sujets ont été questionnés à ce sujet lors du recueil de leurs ressentis et leurs observations sont présentées plus bas.

Capacité à l'imagerie visuelle et kinesthésique (tableau 6)

<i>Imagerie visuelle</i>	Image aussi claire qu'un film	Image claire	Image modérément claire	Image floue	Pas d'image
Réponses avant traitement (12)	0	4	4	3	1
Réponses après traitement (12)	6	3	1	1	1

<i>Imagerie kinesthésique</i>	Sensation aussi intense qu'en faisant l'action	Sensation intense	Sensation modérément intense	Sensation vague	Pas de sensation
Réponses avant traitement (12)	1	3	6	2	0
Réponses après traitement (12)	2	6	3	1	0

Tableau 6

Globalement la capacité d'imagerie visuelle des sujets (et sans doute leur réceptivité à la modalité visuelle) est améliorée après l'application du traitement. De même, la capacité d'imagerie kinesthésique chez des sujets est améliorée après l'application du traitement. L'ensemble des cotations a progressé d'un à deux points pour les deux modalités dans le sens d'une amélioration de la clarté de l'image et de la sensation de mouvement du poignet (tableau 6). Cela suggère une bonne réceptivité aux SVT et SVI combinées. Néanmoins, 2 sujets ont reporté une sensation de mouvement et une image plus diffuses après le traitement dû à des facteurs personnels et à l'exécution du protocole expérimental que nous précisons dessous.

Ressenti subjectif

Diverses observations et impressions ont été recueillies auprès des sujets à la fin du test et des évaluations.

Considérant le versant kinesthésique : des sujets ont reportés une sensation de main qui bouge « j'ai l'impression que ma main bouge », « j'ai la sensation que je fais le mouvement », « c'est ma main » « bizarre car sensation de mouvement présente même si le poignet ne bouge pas », et de réussir à atteindre les mêmes amplitudes que sur l'écran. Quelques sujets semblaient ressentir majoritairement l'un des deux mouvements de flexion ou extension (peut être causé par la position des vibreurs ou par l'origine du déficit initial) tandis que pour la plupart des sujets, la sensation était identique. Un sujet a précisé mieux ressentir la sensation de mouvement en fermant les yeux plutôt que de suivre le mouvement pré-enregistré à l'écran et synchronisé avec la vibration des capteurs (prépondérance pour la modalité kinesthésique). Sur une session de 10 minutes de stimulation combinée : un patient a ressenti la vibration jusque dans le bras, un autre mentionné une sensation d'engourdissement de son poignet, deux autres ont fait état des picotements au bout des doigts (qui peuvent parasiter l'image et le mouvement en perspective interne).

Considérant la chronométrie mentale après le traitement, certains justifient le rythme de répétitions moins important par le fait qu'ils se soient davantage focaliser sur la représentation visuelle interne (prépondérance pour la modalité visuelle). Par conséquent, l'image interne aura tendance à être plus claire, la sensation de mouvement inversement moins intense et le rythme plus lent. A l'inverse, certains sont plus concentré sur le mouvement et le ressenti des muscles avec une amplitude totale. L'image sera moins claire après 10 min mais le mouvement mieux réalisé en perspective interne (prépondérance pour la modalité kinesthésique). D'autres expliquent que la cadence est accélérée au fur et à mesure des répétitions et qu'ils suivent un rythme des yeux ou du bruit d'un métronome imaginaire (imagerie motrice auditive dans laquelle un son est associé à une tâche avec un rythme permettant d'améliorer la performance) afin d'effectuer les mouvements répétés. Une fois les stimulations combinées effectuées, « image et sensation sont moins brouillées », ce qui permet d'augmenter le nombre de répétition en perspective interne. Une patiente a rapporté qu'au cours du TDMI après traitement, au lieu de l'image interne, elle percevait des sons et de la lumière (« des sons en points colorés ») qui défilaient.

Considérant le dispositif, deux patients ont relevé l'importance d'une synchronisation parfaite entre la vibration alternée des capteurs et les mouvements à l'écran afin de faciliter l'immersion et l'adhésion au traitement en évitant un risque de parasitage et de déconcentration. Ainsi, lorsque la synchronisation est précise, la sensation de mouvement en est d'autant plus efficace.

Au final, les sujets ont tous adhéré au protocole (sauf temporairement en cas de désynchronisation minime de moins d'une seconde). La sensation d'exécuter le mouvement apparaît plus intense ou différente qu'avec la stimulation visuelle uniquement pendant laquelle la sensation de mouvement peut être moindre voire inexistante chez les patients lésés. Ce protocole combinant la stimulation vibratoire avec la stimulation visuelle permet un véritable phénomène d'amplification de l'imagerie motrice, avec une intensité plus importante de ces deux modalités constituant un leurre efficace à première vue.

3. DISCUSSION

Le nombre de participants (n=12) est insuffisant pour en extrapoler des données et résultats probants. Les résultats sont donc majoritairement qualitatifs.

L'IM est un processus interne et plusieurs facteurs peuvent directement influencer l'efficacité la pratique en imagerie motrice.

3.1. Efficacité de la pratique en imagerie motrice

Modalités d'imagerie

Selon Hardy (1997) [24], il est primordial d'être vigilant dans l'interprétation des résultats dans le cadre d'études visant les différentes perspectives et modalités d'imagerie. Dans un premier temps, afin de pouvoir comparer objectivement les résultats issus de différents travaux de recherche, il est indispensable d'avoir une définition commune des divers modalités d'imagerie.

Dans un second temps, plusieurs auteurs ont proposé que la pratique en imagerie est influencée par certaines modalités et perspectives en imagerie, dont l'efficacité semble être conditionnée par la nature de la tâche utilisée (Hardy & Callow, 1999 ; Hall, Mack, Paivio & Hausenblas, 1998) [25] [26]. L'imagerie serait plus bénéfique sur l'acquisition et la performance d'une habileté motrice. Par exemple, il peut apparaître complexe d'associer imagerie visuelle externe notamment et imagerie kinesthésique (Collins & Hale, 1997) [27] dans des protocoles cliniques.

On distingue les habiletés morpho-cinétiques qui visent la production d'une forme gestuelle et n'a pas de but spatialement défini (dribble au basket, danse), des habiletés topo-cinétiques visent l'atteinte d'un but spatialement repéré (tir, etc). L'acquisition des habiletés morpho-cinétiques peut être facilitée par l'observation d'un modèle donc par l'imagerie visuelle externe, tandis que l'imagerie visuelle interne permet au pratiquant de répéter la localisation spatiale, les conditions environnementales et le moment où les mouvements doivent être réalisés dans le cadre d'habiletés motrices plus ouvertes.

Cela dépend aussi si les habiletés sont simples ou complexes. L'habileté est la "capacité [...] à élaborer et à réaliser une réponse efficace et économique pour atteindre un objectif précis" (Durand, 1987) [28]. Alors que l'apprentissage renvoie à une problématique d'acquisition, le contrôle moteur concerne les problèmes de production, c'est-à-dire à la manière dont sont produits les mouvements nécessaires à la résolution d'un problème moteur actuel posé par l'environnement.

D'après Hardy (1997) [24], l'IMK devrait permettre au pratiquant de faire correspondre la durée et les sensations des mouvements avec les images visuelles utilisées. L'IMK serait aussi seulement efficace une fois que le pratiquant a acquis un certain degré d'expertise. Cela pourrait dépendre aussi de la tâche motrice à exécuter. Dans le contexte rééducatif, l'apprentissage des mouvements analytiques ou en lien avec les activités de la vie quotidienne semble réalisable, d'où l'intérêt d'une stimulation intensive avec un protocole combinant SVT et IVS.

Capacité d'imagerie

Il existe de fortes différences interindividuelles en imagerie qui résulteraient de l'interaction entre l'expérience et les variabilités génétiques (Hall, 1992) [4]. D'où la difficulté de mesurer la capacité d'imagerie du mouvement qui représente la facilité ou difficulté à réaliser l'imagerie mentale. Des questionnaires subjectifs (interrogeant le sujet sur sa faculté à former des images mentales) ont été créés pour évaluer cette capacité comme le « Vividness of Movement Imagery Questionnaire » de 1986, le « revised Movement Imagery Questionnaire » de 1997 ou encore le Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire de 2007. Quoiqu'il en soit, il sera toujours crucial d'évaluer autant que possible la capacité d'imagerie avec les évaluations disponibles puisqu'elle est indispensable pour mesurer les effets d'une pratique en imagerie, sur la performance ou l'apprentissage d'une habileté

motrice spécifique.

Autres déterminants

D'autres facteurs peuvent influencer la pratique en imagerie motrice peu importe la ou les modalités choisies : la durée des sessions et le contexte dans lequel est effectué l'imagerie motrice.

Les résultats semblent contradictoires sur le faible nombre d'études s'intéressant à la durée des séances d'imagerie motrice. Certains auteurs estiment que des sessions de 1 à 5 minutes permettraient d'obtenir des performances supérieures aux sessions de 5 à 7 minutes (Etnier & Landers, 1996) [29]. D'autres considèrent que le potentiel du programme d'IM est optimal avec des sessions de 20 minutes pour avoir un nombre de répétitions mentales suffisantes (Feltz & Landers, 1983) [30]. En revanche les sessions de plus de 20 minutes semblent inadaptées en raison de la fatigabilité, du déficit à maintenir une attention soutenue et à conserver une vivacité suffisante des images pendant cette longue durée (Driskell, 1994) [31].

Les études s'intéressant aux effets du contexte écologique dans lequel l'IM est réalisée sont peu nombreuses. D'après une expérience menée (Guillot, Collet et Dittmar, 2005) [32], le contexte environnemental et ses paramètres spécifiques pouvaient aider les sujets à construire une représentation mentale des séquences motrices. Les résultats montrent que les sessions d'imagerie réalisées dans un contexte le plus proche possible de la pratique réelle sont plus efficaces que les sessions d'imageries réalisées dans un environnement neutre.

3.2. Similarité entre pratique réelle et pratique en imagerie motrice

Les diverses études récentes s'accordent sur le fait que l'IM et l'exécution réelle du mouvement partageraient des mécanismes sous-jacents similaires comme la planification et la programmation ou le contrôle de l'action. Même si une sous-estimation ou surestimation des durées d'imagerie motrice ont été mise en évidence (Guillot & Collet, 2005) [33], ce delta temporel entre imagerie motrice et exécution du mouvement est conditionné dans certains cas par le type de tâche et les contraintes environnementales que requièrent certains types de mouvements.

Les recherches portant sur les techniques en neuro-imagerie comme la tomographie par émission

de positions et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ont confirmé depuis les dernières décennies qu'exécuter effectivement un mouvement et avoir recours à l'imagerie motrice pour réaliser ce même mouvement faisaient appel à des aires cérébrales communes. De même, il existe une spécialisation des aires cérébrales en fonction des modalités d'imagerie motrice (kinesthésique ou visuelle) utilisées (Imai, 2017) [18].

Une étude a mesuré l'activité cérébrale en utilisant l'IRMf lorsque les sujets réalisés un programme d'imagerie motrice par la thérapie miroir en même temps qu'ils recevaient des stimulations vibratoires transcutanées (Ernst, 2004) [34]. L'hypothèse est que la combinaison de l'imagerie motrice visuelle et kinesthésique pourrait amplifier le résultat en rééducation. Les lobes pariétaux de la plupart des sujets montraient une plus grande activité. Ainsi, la stimulation visuelle intensive synchronisée avec les stimulations vibratoires pourraient permettre une illusion visuelle et/ou kinesthésique plus importante.

3.3. Limites de l'imagerie motrice

Malgré ses nombreux bénéfices, l'IM possèdent plusieurs limites qui doivent être considérées. L'une des contraintes principales est la difficulté à mesurer objectivement et à évaluer la qualité de la représentation mentale. Contrairement aux mouvements physiques, qui peuvent être objectivement mesurés en utilisant des techniques de capture du mouvement, l'imagerie motrice est un processus interne qui dépend d'auto-évaluations subjectives, compliquant la mesure de la précision et de l'efficacité de la stimulation mentale.

Une autre limite, est la variabilité de l'efficacité de l'IM parmi les individus et les contextes. Certains sujets peuvent trouver l'IM plus efficace que d'autres, et son efficacité peut varier en fonction du contexte et de la tâche spécifique à imaginer. Par ailleurs, l'IM peut ne pas être pertinente pour tout type d'actions motrices ou pour tous les individus, et des études supplémentaires sont nécessaires afin de déterminer les conditions spécifiques suivant lesquelles l'imagerie motrice a le plus de potentiel.

Une autre limitation peut être de maintenir une motivation soutenue, une implication constante et une confiance grandissante au cours de l'utilisation de ces outils cognitifs. La pratique en imagerie mentale sous-entend un processus solitaire et interne. La difficulté à générer des images claires ou à ressentir des sensations intenses peut limiter l'adhésion du patient sur le long terme. L'utilisation

combinée des SVT et de l'IVS pourrait stimuler davantage les sujets, accroissant leur observance au processus. Associer au préalable l'imagerie émotionnelle, c'est-à-dire l'état émotionnel et affectif positif (apaisement, sérénité, positivité) lié à une tâche motrice réelle, imaginée ou ressentie pourrait être une voie à explorer pour augmenter la motivation et l'implication au cours de la rééducation suite à une lésion traumatique du membre supérieur.

La difficulté principale lorsqu'on utilise la représentation mentale par le biais de l'IM est de déterminer la capacité du sujet à générer une représentation des mouvements. Il peut être difficile de générer des images précises et réalistes. Se représenter des images détaillées et vives requiert un effort mental et une concentration soutenus, pouvant ainsi impacter la création d'images internes précises. L'utilisation combinée de l'IVS avec les SVT semble pallier à cet éventuel écueil. La question est encore plus cruciale après un AVC, puisque les résultats des études de chronométrie indiquent que, contrairement aux patients avec une lésion au cortex moteur, les patients avec des lésions dans les régions supérieures des aires pariétales peuvent présenter une capacité à l'imagerie diminuée (Sirigu, 1995, 1996) [35] [36]. Des études montrant un ralentissement du processus d'imagerie après un AVC suggèrent que les caractéristiques temporelles de l'imagerie motrice pourraient être modifiées (Malouin, 2004 ; Sabate, 2004) [37] [38]. Il en découle que certains patients ne soient pas en mesure de s'investir dans un programme d'imagerie motrice et ne puissent tirer aucun bénéfice de la pratique mentale (Sharma, 2006) [39]. Il est donc indispensable d'évaluer la capacité d'imagerie motrice (Jackson, 2001) [9] avant la mise en place d'un programme de pratique en imagerie.

CONCLUSION

L'IM est un outils cognitif puissant qui peut être utilisé dans l'amélioration de la performance et de la fonction motrice. Dans le contexte de la thérapie sensorimotrice, la pratique en imagerie est indéniablement influencée par les diverses modalités. Bien que l'expérience sensorielle au cours de l'imagerie motrice soit très souvent multimodale, l'identification des afférences impliquant une meilleure facilitation du système moteur pourrait permettre de créer des programmes d'imagerie motrice plus personnalisés en fonction du profil de chaque patient (étant donné qu'à l'heure actuelle, il n'existe pas encore de protocole avéré) afin d'optimiser les résultats fonctionnels du processus d'intervention en rééducation.

Pour le praticien, l'intérêt réside dans la possibilité de déterminer la ou les modalité(s) d'imagerie préférée(s) du patient (modalité visuelle, kinesthésique ou autres) et d'orienter la pratique en IM en tenant compte des préférences individuelles, de la réceptivité propre à chacun et du contexte écologique afin d'en maximiser les effets. Les afférences sensorielles étant plurimodales, il est ainsi possible, comme l'objet du protocole ci-dessus, de mettre en œuvre une « bi-thérapie » ou « co-thérapie » combinant plusieurs modalités d'imagerie motrice dans le but d'amplifier le résultat en rééducation. L'association de l'IMK et IMV peut amplifier les effets ressentis par le sujet tant elles semblent complémentaires. De plus, l'efficacité du programme d'IM sera dépendante de la capacité d'imagerie du patient, et des outils permettant d'évaluer cette capacité au préalable, et par conséquent du choix pertinent des patients les plus aptes à bénéficier pleinement du programme..

Sur cette base, la stimulation vibratoire tendineuse sélective, induisant des sensations de mouvement et des activités musculaires involontaires associée à la stimulation visuelle intensive synchrone, nous a semblé constituer un moyen efficace de rééducation visant à la réactivation des boucles sensori-motrices. Cette technique permet de lutter contre une véritable « déafférentation fonctionnelle » susceptible de désorganiser les systèmes sensori-moteurs d'un point de vue fonctionnel. De plus, ses aspects indolores (IVS et SVT) favorisent l'adhésion du patient, une fois les explications fournies sur l'intérêt de la démarche. Le rôle et la présence du rééducateur demeurent centraux pour éduquer le patient.

D'autres modalité pourrait contribuer à l'illusion motrice et au renforcement des capacités notamment les aspects auditifs, émotionnels ou tactiles pour n'en citer que quelques-uns. Par

exemple, des études sont cours ou ont été réalisées concernant la réalité virtuelle combinée à la SVT.

Un élément fondamental à considérer dans l'acquisition motrice par la pratique en IM est la difficulté à transférer et appliquer dans les situations écologiques, les habiletés acquises par le biais de l'IM. La pratique mentale est un processus interne qui n'implique pas de mouvements physiques ou d'interactions avec l'environnement. Il peut être alors complexe d'appliquer les capacités mentales au monde tangible. L'interaction avec les variables des activités du quotidien comme (le poids, les textures, la combinaison de gestes pour exécuter une tâche motrice) peut être plus contraignante et moins évidente.

Dans un soucis d'amélioration constante des pratiques, la réflexion et l'application de ce protocole, a permis une réflexion interne au plateau technique spécialisé en ergothérapie de l'Hôpital Léon Bérard (Hyères, Var). L'objectif est d'évaluer en amont la capacité d'imagerie des patients afin de déterminer 1) la ou les modalités (combinées) susceptibles d'optimiser leurs boucles sensorimotrices, et 2) créer un programme adapté au et spécifique à leur acquisition motrice au moment le plus opportun.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ramachandran VS, Altschuler EL. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function. *Brain*. 2009 Jun 8; 132(7):1693–710.
- [2] Di Pellegrino G, Fadiga L, Fogassi L, Gallese V, Rizzolatti G. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*. 1992 Oct 1; 91(1):176–80. PMID: 1
- [3] Puyjarinet F., Intérêt de l'imagerie motrice dans la rééducation de la dysgraphie chez l'enfant – Les entretiens de la psychomotricité, 2015.
- [4] Hall, C. R., Buckolz, E., & Fishburne, G. J. Imagery and the Acquisition of Motor Skills. *Canadian Journal of Sport Science*, 1992 ; 17, 1, 19-27
- [5] Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, Richards CL, Doyon J. Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *Neuroimage* 2003;20:1171–80. [https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00369-0](https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00369-0).
- [6] Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *J Physiol Paris* 2006; 99:386–95. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2006.03.012>.
- [7] Hardwick, R. M., Caspers, S., Eickhoff, S. B. & Swinnen, S. P. Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 94, 31–44, 2018.
- [8] Oda, S. et al. Promising Effect of Visually-Assisted Motor Imagery Against Arthrogenic Muscle Inhibition – A Human Experimental Pain Study. *J Pain Res* 14, 2021 ; 285–295.
- [9] Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, et al. Potential role of mental practice using motor imagery in neurological rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82:1133–1141.
- [10] Grangeon M, Guillot A, Collet C. Effets de l'imagerie motrice dans la rééducation de lésions du système nerveux central et des atteintes musculo-articulaires. *Sci Mot*, 2009;67:9–38. <https://doi.org/10.3917/sm.067.0009>.
- [11] Oldrati V, Finisguerra A, Avenanti A, Aglioti S, Urgesi C. Differential Influence of the Dorsal Premotor and Primary Somatosensory Cortex on Corticospinal Excitability during Kinesthetic and

Visual Motor Imagery: A Low-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Study, *Brain Sciences*, 2021 ; 11(9) : 1196.

[12] Malouin F, Richards CL, Jackson PL, Lafleur MF, Durand A, Doyon J. The kinesthetic and visual imagery questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: A reliability and construct validity study. *J Neurol Phys Ther* 2007; 31:20–9. <https://doi.org/10.1097/01.NPT.0000260567.24122.64>.

[13] Vourvopoulos, A., Bermúdez et Badia, S. Motor priming in virtual reality can augment motor-imagery training efficacy in restorative brain-computer interaction: A within-subject analysis. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2017 ; 14(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0278-4>

[14] Boudrias, M. H., Gonçalves, C. S., Penny, W. D., Park, C. H., Rossiter, H. E., Talelli, P., & Ward, N. S. A virtual reality tool for upper limb rehabilitation in Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2019 ; 16(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0563-3>

[15] Guillot, A., & Collet, C. The use of virtual reality to enhance motor imagery and its potential application in neurological rehabilitation. *Journal of Motor Behavior*, 2018 ; 50(6), 569-584. <https://doi.org/10.1080/00222895.2018.1461079>

[16] Roll JP, Albert F, Thyron C, Ribot-Ciscar E, Bergenheim M, Mattei B. Inducing any virtual two-dimensional movement in humans by applying muscle tendon vibration. *J Neurophysiol*. 2009; 101:816-823

[17] Wierzbicka MM, Gilhodes JC, et Roll JP, « Vibration-induced postural posteffects », *J. Neurophysiol.*, vol. 79, no 1, p. 143-150, janv. 1998 ; doi: 10.1152/jn.1998.79.1.143.

[18] Imai R, Osumib M, Ishigakia T, Kodamad T , Shimadae S, Moriokaa S. Effects of illusory kinesthesia by tendon vibratory stimulation on the postoperative neural activities of distal radius fracture patients, 2017, *Neurorport*, 28(17):1144-1149

[19] Larre J, Intérêt de l'association des vibrations transcutanées et de la thérapie miroir dans la prise en charge d'un syndrome d'exclusion segmentaire d'origine post-traumatique, *Mémoire pour*

l'obtention du Diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute, 2016

[20] Roll R, Kavounoudias A, Albert F, Legré R, Gay A, Fabre B, Roll JP. : Illusory movements prevent cortical disruption caused by immobilization. *NeuroImage*. 2012; 62:510-519.

[21] Lucente G, Valls-Sole J, Murillo N, Rothwell J, Coll J, Davalos A, Kumru H. Noninvasive Brain Stimulation and Noninvasive Peripheral Stimulation for Neglect Syndrome Following Acquired Brain Injury.2020. *Neuromodulation*, 23(3):312-323

[22] Albert F, Bergenheim M, Ribot-Ciscar E, Roll JP. The Ia afferent feedback of a given movement evokes the illusion of the same movement when returned to the subject via muscle tendon vibration. *Exp Brain Res*. 2006;172:163-174.

[23] Malouin F, Richards CL, Durand A, Doyon J. Reliability of Mental Chronometry for Assessing Motor Imagery Ability After Stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2008; 89:311–9.

[24] Kim, SG. & Kim, SG. Test-retest reliability of an active range of motion test for shoulder and hip joints by unskilled examiners using a manual goniometer. *Journal of Physical Therapy Science*, 2016 ; 28 (3), pp. 722-4.

[25] Hardy, L. The Coleman Roberts Griffith address: Three myths about applied consultancy during motor imagery. *Journal of Physiological and Anthropological Applications to Human Science*, 1997 ; 19, 255-261.

[26] Hardy, L., & Callow, N. Efficacy of external and internal visual imagery perspectives for the enhancement of performance on tasks in which form is important. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 1999 ; 21, 95-112.

[27] Hall, C. R, Mack, D., Paivio, A., & Hausenblas, H. Imagery use by athletes: Development of the sport imagery questionnaire. *International Journal of Sport Psychology*, 1998 ; 29, 73-89

[28] Durand, M. 1987. Apprentissage moteur : Quelques idées neuves. *Revue EPS*, 274, 61-66

[29] Etnier, J. L., & Landers, D. M. The Influence of Procedural Variables on the Efficacy of Mental Practice. *The Sport Psychologist*, 1996 ; 10, 48-57.

[30] Feltz, D. L., & Landers, D. M. The effects of mental practice on motor skill learning and

performance : A meta-analysis. *Journal of Sports Psychology*, 1983 ; 5, 25-57

[31] Driskell, J, E., Cooper, C., & Moran, A. Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology*, 1994 ; 79, 481-492.

[32] Guillot, A., Collet, C., & Dittmar, A. Influence of environmental context on motor imagery quality. *Biology of Sport*. 2005.

[33] Guillot, A., Collet, C. Duration of mentally simulated movement: a review. *Journal of Motor Behaviour*, 2005 ; 37(1), 10-20.

[34] Ernst MO, Bühlhoff HH. Merging the senses into a robust percept. *Trends in cognitive sciences*. 2004 April 8 (4):162–169

[35] Sirigu A, Cohen L, Duhamel JR, et al. Congruent unilateral impairments for real and imagined hand movements. *Neuroreport*. 1995; 6:997–1001.

[36] Sirigu A, Duhamel JR, Cohen L, et al. The mental representation of hand movements after parietal cortex damage. *Science*. 1996; 273:1564–1568.

[37] Malouin F, Richards CL, Desrosiers J, et al. Bilateral slowing of mentally simulated actions after stroke. *Neuroreport*. 2004; 7:1349–1353.

[38] Sabate M, Gonzalez B, Rodriguez M. Brain lateralization of motor imagery: motor planning asymmetry as a cause of movement lateralization. *Neuropsychologia*. 2004; 42:1041–1049.

[39] Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? *Stroke*. 2006; 37:1941–1952.