

Faculté des Sciences du Sport
Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage
CNRS – UMR 7295

Thèse
Pour obtenir le grade de :
Docteur de l'Université de Poitiers
(Diplôme National - Arrêté du 25 mai 2016)

Spécialité : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Application clinique de l'imagerie motrice en rééducation

Soutenue publiquement le 24 novembre 2017 par
Thomas RULLEAU
Sous la direction de Mme Lucette **Toussaint**

Membres du jury:

M. Cédric Albinet (MCF-HDR, Institut National Universitaire Champollion, Albi, France)	Rapporteur
Mme France Mourey (PU, Université de Bourgogne, France)	Rapporteur
M. Cédric Bouquet (PU, Université de Poitiers, France)	Examineur
Mme Annabelle Couillandre (MCF Université Paris-Ouest-Nanterre - directrice IFMK, Orléans, France)	Examineur
M. Aymeric Guillot (PU, Université de Lyon 1, France)	Examineur
Mme Lucette Toussaint (PU, Université de Poitiers, France)	Directeur

*« Vingt fois sur le métier remettez votre ouvrage,
Polissez-le sans cesse, et le repolissez,
Ajoutez quelquefois, et souvent effacez. »*

Boileau

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais remercier France Mourey et Cédric Albinet d'avoir évalué ce manuscrit. Je voudrais remercier aussi Aymeric Guillot et Cédric Bouquet pour m'avoir permis de faire un bilan précieux sur les acquis et les points à améliorer au cours de ce travail. Je voudrais aussi remercier France Mourey et Annabelle Couillandre pour avoir ouvert la voie de l'université aux kinésithérapeutes, nous montrant qu'il était possible d'y croire et d'y accéder.

Je voulais donc remercier tout le jury d'avoir participé à différentes étapes de ma formation de jeune chercheur, et d'avoir bien voulu être présent pour la sanctionner.

Je tiens ensuite à remercier les différentes équipes avec lesquelles j'ai eu la chance de travailler durant ces années en ayant 3 exercices différents... Merci donc à l'équipe de médecine gériatrique et AVC de Challans d'avoir facilité la mise en place de nos recherches. Merci à Aline Paillat, Charlotte Gracineau et Corinne Tripoteau de m'avoir accueilli dans leur cabinet et de s'être adaptées aux exigences de ma thèse pendant ce nouveau passage en libéral. Merci à l'unité de recherche clinique et l'équipe de rééducation du CHD pour leur accueil, en particulier à Sylvie Gillaizeau de m'accueillir dans son bureau, et les collègues de la prom' de m'accueillir à leur étage. Merci aux patients et sujets de nos différentes expériences d'avoir accepté nos exigences, sans eux, rien n'aurait été possible.

Un remerciement tout particulier à François Etcheverrigaray pour nos discussions qui ont nourri ma réflexion sur la recherche clinique, à Catherine Chapeleau et Sylvie Verbrugghe pour avoir réussi à organiser un poste me permettant de poursuivre certains des travaux présentés dans ce manuscrit, et à Sylvie Verbrugghe et Jérôme Dimet pour avoir permis mon recrutement.

Je voudrais remercier aussi mes consœurs et confrères qui ont soutenu mon travail, François-Régis Sarhan, Jacques Vaillant, Laure Combourieu et tous les autres pour nos échanges et conseils dans la gestion de ce projet, madame la Présidente du Conseil de l'Ordre Pascale Mathieu pour son choix d'investir dans le développement de la recherche

en rééducation et la remise d'un prix reboustant, Yannick Mullié et Romain Guitton, mes « co-doctorants » de si loin, nos cher(e)s twittos de la #TeamKiné @le_coKon, @Leya_MK, @KinéMeuh, @NoWorriesSo, @vince75116, @Digisplit, @ylefaou et tous les autres pour nos échanges et vos soutiens.

Je voulais aussi remercier les membres de l'équipe ATCO, et en particulier Yannick Blandin, Christel Bidet et Nounagnon Agbangla, qui, m'ont permis de progresser dans ma démarche de discussion écrite et de ma présentation orale même si nos échanges étaient moins fréquents que je ne l'aurais souhaité du fait de mon éloignement.

Je tiens à faire des remerciements tout particuliers à Lucette Toussaint. Merci Luce pour ta patience, ta pédagogie, ta passion communicatrice de la recherche, merci de m'avoir accepté en thèse et de m'avoir appris tant de choses, pour l'accompagnement, l'analyse des points d'amélioration, les discussions sur les impacts théoriques et cliniques de nos travaux. Merci d'avoir accepté des rendez-vous à Noël, le week-end ou le soir en s'adaptant à mes contraintes professionnelles. Merci pour tout !

Pour finir, je voulais remercier ma famille, en particulier ma sœur pour ses conseils sur le fonctionnement universitaire, mes parents et belle-maman pour avoir facilité mes déplacements en répondant présents chaque fois que nous avons eu besoin d'eux.

Enfin, je voulais dédier ce travail à mon petit ange Gabrièle qui mérite que je sois plus présent, à mon petit ours Arthur qui nous a rejoints au milieu de cette aventure doctorale, et surtout à mon amour, Hélène qui a toujours été là dans les moments difficiles, sans qui rien n'aurait été possible et qui mériterait un diplôme de la charge mentale. Merci à vous d'être là tous les trois !

Table des matières

Remerciements.....	i
Préambule.....	1
Le contexte actuel de la rééducation	1
Définition	1
D'une pratique basée sur l'expérience à une pratique basée sur l'efficacité.....	1
Le contexte de ce travail	6
 Cadre théorique.....	 8
Chapitre 1 : L'imagerie motrice : aspect fondamental	9
1. Bases sémantique et historique.....	9
2. Bases neurophysiologiques de l'imagerie motrice	11
3. La matérialité des images motrices.....	15
4. Imagerie motrice, pratique mentale et apprentissage moteur	18
5. Imagerie motrice et représentation sensorimotrice	20
6. Imagerie motrice et vieillissement.....	24
Chapitre 2 : L'imagerie motrice : aspect clinique.....	30
1. Evaluation clinique	30
2. Traitement : les modèles d'application.....	33
3. Traitement : apport de la littérature	36
Chapitre 3 : Objectifs de ce travail.....	45
➤ L'imagerie motrice, quelles évolutions dans le temps ?	45
➤ La rotation mentale peut-elle être utile dans l'évaluation clinique d'un programme de rééducation ?	46

Partie expérimentale	47
Chapitre 4 : L'imagerie motrice, quelles évolutions dans le temps ?.....	48
1. Influence du rythme circadien sur les caractéristiques temporelles de l'imagerie motrice explicite chez des patients âgés hospitalisés - Expérience 1	48
2. Effet du moment de la journée sur la pratique en imagerie motrice et la précision du sens de la position chez les sujets jeunes et âgés - Expérience 2	56
3. Influence du moment de la journée sur les capacités d'imagerie motrice implicite - Expérience 3	77
Chapitre 5 : Quelle est l'utilité de la rotation mentale dans l'évaluation clinique d'un programme de rééducation ?	88
1. Effets du massage sur le fonctionnement central du système sensorimoteur chez des sujets âgés hospitalisés - Expériences 4 et 5	89
2. La tâche de rotation mentale de stimuli corporels: un outil pour le praticien ? - Expériences 6 et 7.....	115
Discussion générale	143
Chapitre 6 : bilan de cette thèse.....	144
Une finalité clinique d'amélioration des pratiques.....	144
Axe 1 : A quel moment devons-nous utiliser l'imagerie motrice en rééducation ?.....	145
Axe 2 : Pouvons-nous utiliser la rotation mentale dans l'évaluation clinique ?	148
Limites et points forts.....	152
Perspective de recherches.....	153
Conclusion générale	157
Bibliographie	158
Annexe	179
Annexe 1	179
Annexe 2	184

Préambule

Ce préambule est divisé en deux parties. La première vise à contextualiser la rééducation pour mieux appréhender le cadre global de la réalisation de cette thèse. L'objectif de la seconde est d'explicitier les raisons qui nous ont amenés à nous poser certaines questions dont les réponses donnent lieu à la réalisation de ce manuscrit de thèse.

Le contexte actuel de la rééducation

L'objectif de cette première partie est de retracer de manière non exhaustive les éléments permettant de comprendre ce qu'est actuellement la rééducation, en particulier la kinésithérapie, et comment ce travail s'inscrit dans ce contexte. Nous définirons, puis retracerons succinctement l'évolution récente de la rééducation. Cette évolution amène une transition des rééducateurs d'une pratique basée uniquement sur l'expérience à une pratique aussi basée sur les preuves scientifiques. Elle nécessite donc une formation à et par la recherche, puis, pour une part des rééducateurs, pour la recherche.

Définition

La rééducation est un domaine de savoirs qui recouvre le champ du handicap, c'est-à-dire le devenir biologique, humain et social de l'Homme blessé (Wirocius, 1999). D'après cet auteur, le champ de la rééducation est issu de diverses racines. La première regroupe les pratiques physiques, c'est-à-dire les sports et éducation physique, la médecine manuelle et la thérapie par agents physiques, l'hydrothérapie, etc. La seconde est la réadaptation consistant à prendre en compte l'homme handicapé dans ses dimensions de réadaptation médicale et sociale (Wirocius, 1999).

D'une pratique basée sur l'expérience à une pratique basée sur l'efficience

La rééducation a donc pour objectif de prendre en charge l'Homme blessé. Ce rapport de confiance réciproque entre un patient et un thérapeute nécessite d'être honoré par la meilleure prise en charge possible. De plus, le système de soins français fait contribuer largement la société à la prise en charge des soins de

rééducation, il est donc nécessaire d'optimiser cette contribution. Nous allons voir les différentes évolutions en cours et à venir des professionnels de santé.

Voltaire définissait « l'art de la médecine » comme consistant « à distraire le malade pendant que la nature le guérit ». Les pratiques semblent avoir peu évolué pendant des années. Par exemple, pour des symptômes d'une maladie non chronique commune, certains thérapeutes sont tentés de baser leur pratique clinique sur leur seule expérience personnelle (Hartman, 2009). Encore aujourd'hui, nous pouvons voir certains praticiens préférer suivre leur ressenti sans chercher à tester ou pouvoir tester leurs hypothèses (Pinsault & Monvoisin, 2014, 2015). Diverses raisons sont évoquées, comme une difficulté à accéder aux laboratoires de recherche ou un manque d'intérêt de ces cliniciens pour l'évaluation (Pinsault & Monvoisin, 2015). En outre, pour un thérapeute manuel, la pratique basée sur le ressenti a le double avantage d'être moins chronophage et de sembler conférer une sorte de don (Pinsault & Monvoisin, 2015). .

A contrario, d'autres cliniciens s'intéressent aux diverses raisons pouvant expliquer qu'un traitement inefficace puisse sembler utile (Hartman, 2009). En effet, la difficulté du clinicien pour évaluer l'utilité de son traitement est de faire face à trois autres phénomènes, une amélioration des symptômes sans relation avec le traitement, une impression d'amélioration des symptômes et une amélioration de la perception des symptômes (Hartman, 2009). L'amélioration des symptômes peut être sans relation avec le traitement (Hartman, 2009). Tel est le cas lorsqu'on s'intéresse à l'histoire naturelle de la maladie, la régression à la moyenne¹, l'effet placebo, les influences concomitantes à la prise en charge, l'effet *post hoc ergo propter hoc*². L'impression d'une amélioration des symptômes, malgré son absence peut consister en un biais de confirmation (Hartman, 2009). Elle est liée à une dissonance cognitive, à une envie d'amélioration, à l'attente d'une amélioration ou encore à une prophétie auto-réalisatrice (Hartman, 2009). Enfin, il existe d'autres facteurs périphériques comme la perception des symptômes (Hartman, 2009). Par exemple, le fait d'être pris en charge par une équipe de soin réduit l'anxiété et améliore la perception des symptômes. Il existe donc une amélioration

¹ Les consultations interviennent quand les symptômes sont au plus haut, avec une tendance naturelle à redescendre.

² « à la suite de cela, donc à cause de cela »

indépendante de tout support thérapeutique. Pour justifier leur utilité, il semblait donc nécessaire pour les thérapeutes de transiter vers une pratique basée sur les preuves.

Les débuts de l'Evidence-Based Medicine (ou médecine basée sur les preuves, EBM) datent du milieu du 19^{ème} siècle (Sackett, Rosenberg, Gray, Haynes, & Richardson, 2007) même si le terme n'apparaît clairement qu'au début des années 90 (Metzdorff, 2013). L'EBM est « *l'utilisation consciente, explicite et judicieuse des meilleures preuves dans la prise de décision pour la prise en charge d'un patient* » (Sackett et al., 2007). Si des critiques s'élèvent pour dénoncer « une dangereuse innovation visant à supprimer la liberté clinique », l'EBM continue à évoluer et à s'adapter. Elle se définit actuellement comme l'association de l'utilisation de l'expertise clinique individuelle ET des meilleures preuves externes existantes (Sackett et al., 2007).

En complément de l'EBM, l'Evidence-Based Practice (pratique fondée sur des preuves, EBP) est apparue. Cette démarche de décision concertée, illustrée dans la Figure 1, utilise « *les meilleures données actuelles de la recherche, l'expertise du clinicien et les choix individuels des patients afin d'améliorer leur qualité et quantité de vie* » (Regnaux, Guay, & Marsal, 2009). Elle se propose d'examiner de façon « globale, critique et compréhensive l'information » (Regnaux et al., 2009).

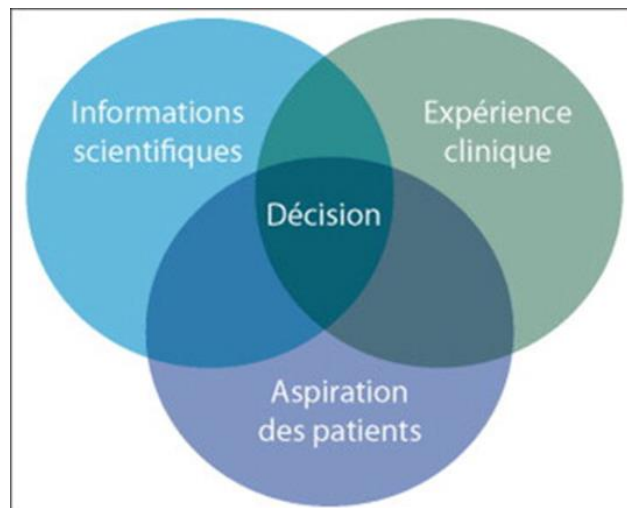


Figure 1 : les différentes composantes de l'Evidence-Based Practice [Reproduit de Regnaux, J.-P., Guay, V., & Marsal, C. (2009). Evidence based practice ou la pratique basée sur les preuves en rééducation. *Kinésithérapie, la Revue*, 9(94), 55-61. Copyright 2009, Elsevier]

Pour aider et orienter les praticiens dans la lecture des documents scientifiques et des recommandations de pratiques cliniques, la Haute Autorité de Santé a produit un document illustré par le Tableau 1. Ce tableau permet de classer le Grade des recommandations avec une correspondance vers le niveau de preuve.

Tableau 1 : Grade des recommandations de pratiques cliniques [tiré de Haute Autorité de Santé (2013). Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux].

Grade des recommandations	Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature
A Preuve scientifique établie	Niveau 1 <ul style="list-style-type: none"> • essais comparatifs randomisés de forte puissance ; • méta-analyse d'essais comparatifs randomisés ; • analyse de décision fondée sur des études bien menées.
B Présomption scientifique	Niveau 2 <ul style="list-style-type: none"> • essais comparatifs randomisés de faible puissance ; • études comparatives non randomisées bien menées ; • études de cohortes.
C Faible niveau de preuve scientifique	Niveau 3 <ul style="list-style-type: none"> • études cas-témoins.
	Niveau 4 <ul style="list-style-type: none"> • études comparatives comportant des biais importants ; • études rétrospectives ; • séries de cas ; • études épidémiologiques descriptives (transversale, longitudinale).

En complément de ces éléments pour orienter la pratique vers une meilleure efficacité, les rééducateurs doivent garder à l'esprit la nouvelle transition actuellement en cours qui est l'évaluation économique des interventions (Brusco, Taylor, Watts, & Shields, 2014). Elle rajoute à la notion d'efficacité celle d'efficacité. En effet, la demande d'économie dans les dépenses publiques amène à une rationalisation des soins. Par exemple, pour prodiguer un massage à un patient dans le but d'une amélioration sensorimotrice, il ne sera pas seulement intéressant de s'assurer d'un effet, mais de savoir quelle modalité de massage sera la plus intéressante. De même dans le cadre de la pratique, si l'heure a une influence sur les capacités cognitives en général, cette heure modifie-t-elle les capacités d'imagerie motrice et influence-t-elle l'efficacité d'une prise en charge via une pratique en imagerie motrice ? Tel est le type de questions qui nous intéressera plus particulièrement dans ce travail.

Ces éléments montrent donc l'importance de l'évolution actuelle des études des rééducateurs. La Grande Conférence Santé a confirmé cette nécessaire transition vers l'université de la formation des paramédicaux avec la décision de création d'un corps d'enseignants-chercheurs paramédicaux (Valls, Grande conférence de la santé, 2016). Nous pouvons espérer que l'apport universitaire d'une formation à et par la recherche aux rééducateurs conduira à une prise en charge plus efficace et plus efficiente.

Le contexte de ce travail

« Eternel étudiant »... cette remarque souvent associée de manière péjorative au statut pas toujours compris de doctorant s'applique parfaitement concernant mon parcours. Après avoir effectué plusieurs formations continues universitaires suite au Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute, j'ai souhaité continuer à me former à l'Université.

La décision de reprendre des études universitaires en master visait à acquérir les outils nécessaires à l'ingénierie (analyse critique de la littérature, anglais scientifique, biostatistique) qui me semblaient nécessaires à la pratique clinique du kinésithérapeute.

Durant cette année, une étudiante me parle d'Imagerie Motrice... Devant mes yeux écarquillés, elle développe un discours vantant et entremêlant les qualités de l'imagerie motrice et de l'intervenante venue les initier en master 1. Après un premier contact courriel, je pus discuter avec Lucette Toussaint de projets possibles pour mon mémoire de master sur une pratique clinique de l'imagerie motrice. Nous décidâmes d'un projet enthousiasmant et je m'y investis pleinement...

Malgré des écrits plutôt réussis, quelle claque, en fin de première année du master 2... ... « Si tu nous présentes ces résultats à l'oral, tu auras 5 et tu seras recalé » furent les mots de Luce. Ça me montrait bien le fossé qui séparait ce que j'avais retenu de l'IFMK à l'époque, de ce que je pouvais espérer apprendre à l'Université. L'utilité de cette démarche doctorale s'inscrivait dans cet objectif de compléter la formation de clinicien par une formation à, par et pour la recherche, et quel meilleur duo que Luce/imagerie motrice aurait pu m'accompagner dans cette démarche. L'imagerie motrice pour ses perspectives cognitives qui me passionnaient et son faible coût associé, Luce pour sa patience, sa passion communicative pour la recherche, ses compétences didactiques.

Ce travail, effectué sous l'expertise d'une chercheuse, devait me permettre d'acquérir les bases de recherche d'un « jeune » chercheur visant à conserver une activité clinique. Nous avons donc développé deux axes à orientation clinique dans ce travail doctoral. Le premier axe concerne l'étude de certains paramètres comme l'influence du moment de la journée sur l'imagerie motrice ainsi que les

conséquences cliniques potentielles que nous pouvons en tirer sur une pratique en imagerie motrice. Le deuxième axe vise à utiliser l'imagerie motrice pour évaluer les effets sur le système sensorimoteur de différentes modalités d'application d'une technique de kinésithérapie.

Suivant l'exemple de la médecine, la rééducation en France est en pleine transition, d'une pratique basée sur la seule expérience à une pratique basée sur les preuves.

Le travail de recherche à orientation clinique présenté dans ce manuscrit s'inscrit dans cette évolution avec un apprentissage à, par et pour la recherche. Deux axes sont définis: 1) la recherche d'une meilleure efficacité clinique dans la pratique de l'imagerie motrice explicite, 2) l'utilisation de tests d'imagerie motrice implicite (tests de latéralité) pour évaluer les bénéfices de techniques de rééducation spécifiques sur le fonctionnement du système sensorimoteur.

Cadre théorique

Chapitre 1 : L'imagerie motrice : aspect fondamental

1. Bases sémantique et historique

L'image mentale se définit comme « *une représentation figurative d'une chose, d'un acte ou d'une abstraction, dans l'esprit d'un individu. Cette organisation spatiale des connaissances en mémoire permet de projeter mentalement un référentiel, exact ou non, qui structure et guide les processus cognitifs et les adaptations psychomotrices.* » (Michel Dufour & Gedda, 2007). L'image mentale est basée sur la mémorisation, elle est en évolution constante grâce aux apports sensitifs et sensoriels. Au sens large, l'imagerie mentale regroupe donc tous les processus d'imagerie.

L'imagerie motrice (motor imagery) n'est qu'un cas particulier de l'imagerie mentale. Elle consiste à « *imaginer une action sans l'exécuter physiquement* » (Malouin & Richards, 2010). L'imagerie motrice concerne donc plus précisément la représentation mentale d'un geste. La pratique en imagerie motrice (mental practice or motor imagery practice) est la « répétition d'actes moteurs imaginés avec l'intention d'améliorer leur exécution physique » (Malouin & Richards, 2010).

Cette pratique est possible en utilisant la modalité visuelle (s'imaginer voir l'action) ou kinesthésique (s'imaginer ressentir l'action). Il est possible d'utiliser la perspective interne (à la première personne; se voir faire ou ressentir l'action) ou externe (à la troisième personne; voir autrui faire l'action) (Dickstein & Deutsch, 2007; Malouin & Richards, 2010). Il convient également de faire la différence entre imagerie motrice implicite et explicite. Dans l'imagerie motrice explicite, l'opérateur ou le thérapeute propose d'imaginer un mouvement contrôlé consciemment a contrario de l'imagerie motrice implicite, dans laquelle les processus cognitifs du mouvement sont automatiquement activés (Markland, Hall, Duncan, & Simatovic, 2015; Roberts, Callow, Hardy, Markland, & Bringer, 2008), sans consigne explicite à ce sujet. On verra par la suite que les procédures d'imagerie explicite et implicite peuvent être utilisées principalement à des fins différentes, la première pour améliorer sa performance motrice, la seconde comme outil d'évaluation des processus sensorimoteurs.

L'historique de la recherche sur l'imagerie motrice est rapporté par Guillot et Collet (2013). Ils retracent les évolutions conceptuelles (réactivation d'impression d'anciens mouvements, modèles internes) et les applications qui en découlent (apprentissage

moteur, rééducation motrice). Plus spécifique d'une finalité clinique, nous nous intéresserons succinctement dans le paragraphe suivant aux bases neurophysiologiques actuellement admises puis particulièrement aux applications pratiques dans le domaine de la rééducation.

2. Bases neurophysiologiques de l'imagerie motrice

La compréhension de la neurophysiologie de l'apprentissage moteur est essentielle pour comprendre l'intérêt de l'imagerie motrice. La commande motrice s'élabore dans des structures cérébrales très spécifiques sur les plans anatomique et fonctionnel. Ces structures cérébrales sont interconnectées formant des « *ensembles neuronaux hiérarchisés et dynamiques* » (Chéron, 2011). Dans le cortex sensorimoteur, la plasticité cérébrale est dépendante de la visualisation, de l'imitation et de la répétition de l'action pour l'apprentissage que ce soit par les voies de la potentialisation à long terme ou par la réorganisation du réseau (Chéron, 2011). La répétition mentale de l'action est basée sur la théorie de la simulation que nous allons maintenant développer.

Jeannerod (2001) est à l'origine de la théorie de la simulation. D'après cette théorie, l'action commence par une phase invisible appelée phase d'anticipation. Dans celle-ci sont inclus le but de l'action, la signification de cette action et les conséquences de cette action sur l'organisme et le monde extérieur. L'exécution est la phase visible de cette action. L'anticipation et l'exécution se situent le long d'un continuum, les deux phases étant systématiquement et successivement présentes lors de la réalisation concrète d'une action. La théorie de la simulation postule que la phase d'anticipation (invisible) comporte tous les mécanismes d'une action faite, mais non exécutée (visible). De ce point vient la prédiction qu'il existe un principe de similarité structurelle, l'action simulée et l'action exécutée utilisant des structures neuronales similaires (Jeannerod, 2001), en d'autres termes « imaginer faire, c'est déjà faire ». Grâce à ces similarités, la pratique mentale peut améliorer la performance réelle, d'une part en exerçant les aires spécifiques du mouvement et d'autre part en construisant des associations parmi les processus engagés (Kosslyn, Giorgio, & Barsan, 2010). L'imagerie motrice améliorerait l'efficacité du recrutement de l'engramme³ du mouvement (Guillot, Louis, & Collet, 2010). En outre, l'imagerie motrice a une action de facilitation corticospinale. En effet, elle module l'excitabilité corticospinale de manière spécifique en fonction du muscle, de sa contribution spatiale et temporelle au mouvement (Stinear, 2010).

Les mécanismes de la simulation motrice et les bénéfices de la pratique en imagerie motrice sont attribuables aux modèles internes (Lebon, Gueugneau, & Papaxanthis, 2013). La théorie des modèles internes suggère que le système nerveux central prédit les

³ Trace biologique du mouvement dans le cerveau

états futurs du système sensorimoteur et les contrôle par l'utilisation de représentations simplifiées. Le cerveau modélise donc les interactions sensorielle et motrice, et leur interaction avec le monde physique (Lebon et al., 2013). Ces modèles sont intériorisés par le cerveau et implémentés au sein de circuits neuronaux spécifiques (Lebon et al., 2013). Les auteurs décrivent 2 types de modèles internes : le modèle interne inverse (ou contrôleur) et le modèle interne direct (ou prédictif).

Le modèle interne inverse (

Figure 2) calcule la commande musculaire adéquate à partir des conséquences sensorielles attendues ainsi que de la vitesse et de la position du segment corporel impliqué dans l'action.

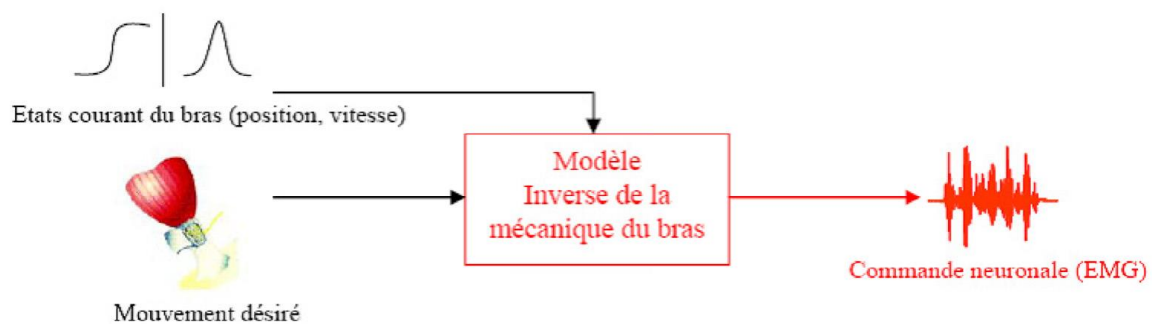


Figure 2 : Schéma de commande du modèle interne inverse (ou contrôleur). Pour produire le mouvement désiré, la commande musculaire est calculée à partir des profils de position et de vitesse [Reproduit de Lebon, Gueugneau et Papaxanthis (2013). Modèles internes et imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences*, (82), 51-61, Copyright 2013].

A contrario, le modèle interne direct (Figure 3) calcule les conséquences sensorielles attendues à partir de la commande neuronale, de la position et de la vitesse du segment corporel.

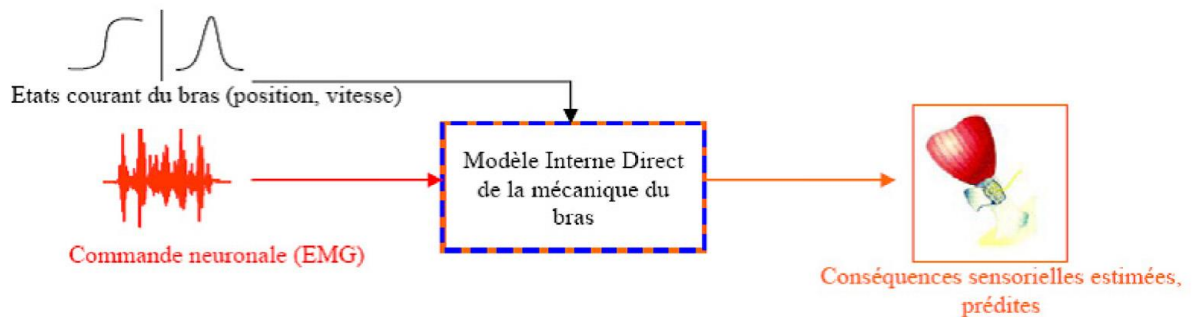


Figure 3 : Schéma de commande du modèle interne direct (ou prédictif). A partir des positions et vitesses ainsi que de la commande neuronale envoyée aux muscles, le modèle prédictif interne calcule les conséquences sensorielles estimées ou prédites [Reproduit de Lebon, Gueugneau et Papaxanthis (2013). Modèles internes et imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences*, (82), 51-61, Copyright 2013].

Comme nous l'avons vu, l'imagerie motrice consiste à s'imaginer une action sans l'exécuter physiquement (Malouin & Richards, 2010). L'imagerie motrice utiliserait les mêmes mécanismes de modèles internes que la production physique sans les retours sensoriels habituellement produits par le mouvement. Lors d'un mouvement, le modèle interne inverse (contrôleur) génère les commandes motrices calculées. Le modèle interne direct (prédictif) va anticiper l'état futur et les conséquences sensorimotrices attendues (Figure 4).

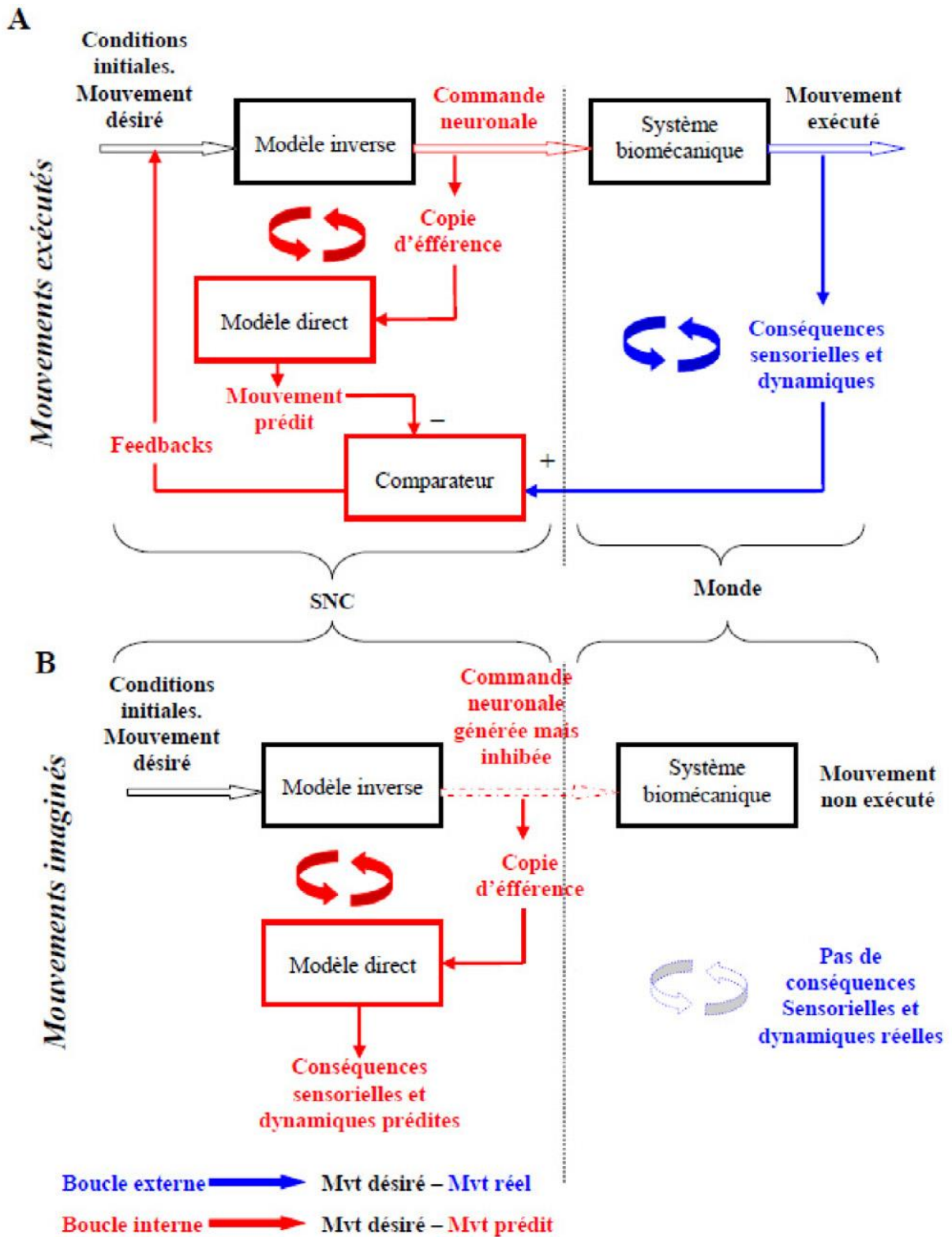


Figure 4 : Modèle de fonctionnement utilisant les modèles internes appliqué à l'imagerie motrice [Reproduit de Lebon, Gueugneau et Papaxanthis (2013). Modèles internes et imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences*, (82), 51-61, Copyright 2013].

3. La matérialité des images motrices

Certains travaux se sont attachés à démontrer l'existence de similarités structurelle et fonctionnelle entre imagerie motrice et exécution motrice, permettant d'objectiver la matérialité (e.g, l'existence) de l'imagerie motrice.

L'activation de structures neuronales communes à l'imagerie motrice et à l'exécution motrice (Jeannerod, 2001) a été mise en évidence au moyen d'enregistrements reposant sur des techniques d'exploration cérébrale comme la Tomographie par Emission de Positons (TEP), l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf), l'Electroencéphalogramme (EEG) (Guillot et al., 2010; Lotze & Zentgraf, 2010). Ces données ont permis de visualiser la similarité structurelle entre l'imagerie motrice et l'exécution motrice dans l'activation des structures corticales et sous-corticales. La similarité entre les structures activées n'aboutit cependant pas à une parfaite similitude. En effet, il existe des discussions sur l'activation du cortex moteur primaire lors d'une procédure d'imagerie motrice (Lotze & Zentgraf, 2010). Il est possible que ces différences observées soient dues aux contraintes des outils d'enregistrement (Dietrich, 2008; Lotze & Zentgraf, 2010), à l'expertise du sujet ou aux consignes d'imagerie (Lotze & Zentgraf, 2010; Milton, Small, & Solodkin, 2008). Cependant, Dietrich (2008) insiste sur les résultats de l'analyse factuelle des données de l'exploration cérébrale, la similarité entre l'imagerie motrice et l'exécution motrice n'ayant été montrée que sur des articulations distales et sur des mouvements simples (analytiques). L'auteur insiste donc sur l'importance de ne pas présenter la similarité imagerie motrice/exécution motrice de mouvements plus globaux et/ou plus complexes comme étant des faits vérifiés, mais supposés (Dietrich, 2008).

D'autres travaux montrent les analogies fonctionnelles entre les deux types de pratique (physique et imaginée). Le premier aspect de la similarité fonctionnelle est objectivable par les enregistrements de certains paramètres de l'activité du système nerveux autonome, proches en imagerie motrice et en exécution motrice (Collet & Guillot, 2010; Guillot et al., 2010). Guillot et ses collaborateurs (2010) rapportent une forte corrélation de l'enregistrement d'activités électrodermale, thermo-vasculaire et cardio-respiratoire entre exécution motrice et imagerie motrice. Les deux pratiques entraînent donc des réactions similaires du système nerveux autonome. Ces résultats suggèrent que le système nerveux autonome serait activé par la simulation motrice pour préparer l'organisme aux besoins énergétiques auxquels il aurait à subvenir (Collet & Guillot,

2010; Guillot et al., 2010). Cette activation est proportionnelle à l'effort mental (Decety, Jeannerod, Germain, & Pastene, 1991) et dépendante de la qualité des images motrices (Papadelis, Kourtidou-Papadeli, Bamidis, & Albani, 2007).

Les études en chronométrie mentale sont également une preuve de la similarité fonctionnelle entre simulation et exécution des mouvements. La chronométrie mentale repose sur l'évaluation de la durée de l'action simulée mentalement et celle de l'action physiquement exécutée. Elle permet de définir un indice d'isochronie, qui illustre la congruence temporelle entre imagerie motrice et exécution motrice. En proposant une tâche de marche physiquement exécutée et mentalement simulée sur différentes distances et largeurs de parcours, Decety et Jeannerod (1995) ont montré que les performances étaient conformes à la loi de Fitts⁴, suggérant que les actions simulées répondent à des règles motrices centrales communes à celles requises lors de l'exécution réelle des actions. De nombreuses autres expériences dans différents domaines montrent la même concordance entre le temps de simulation et d'exécution d'une action (Decety & Michel, 1989; Personnier, Paizis, Ballay, & Papaxanthis, 2008; Skoura, Papaxanthis, Vinter, & Pozzo, 2005; Zapparoli et al., 2013). Les processus impliqués dans l'imagerie motrice explicite et l'exécution motrice utiliseraient donc le même système de représentation des actions (Decety & Jeannerod, 1995).

L'importance de la congruence temporelle est soulignée dans un article cherchant à comprendre les caractéristiques temporelles de l'imagerie motrice explicite (Guillot, Hoyek, Louis, & Collet, 2012). Le manque d'isochronie parfois observé entre les pratiques imaginée et réelle montre que le processus de prédiction de la durée du mouvement peut être basé sur un jugement inadéquat, par exemple lié au vieillissement (Personnier, Ballay, & Papaxanthis, 2010; Personnier et al., 2008; Saimpont, Malouin, Tousignant, & Jackson, 2013; Skoura et al., 2005) ou la pathologie des participants (Beauchet et al., 2010; Malouin, Richards, Durand, & Doyon, 2008b). Cette congruence/incongruence temporelle pourrait donc refléter la capacité de prédiction des actions (Guillot et al., 2012). Guillot et ses collaborateurs (2012) mettent en avant différents facteurs qui influencent la durée du mouvement imaginé. La durée réelle du mouvement entraîne soit une surestimation de la durée des mouvements imaginés lorsqu'ils se situent au-dessous de quelques secondes, soit une sous-estimation lorsque

⁴ La loi de Fitts prédit le temps requis pour aller rapidement d'une position de départ à une zone finale de destination, en fonction de la distance à la cible et de la taille de la cible.

la durée de ces mouvements se situe au-dessus de quelques dizaines de secondes. De plus, la complexité et la perception de la complexité de la tâche entraînent une surestimation de la durée d'une tâche perçue comme complexe. Enfin, comme nous le verrons plus loin dans ce manuscrit, l'imagerie visuelle (vs. kinesthésique), l'expertise du sujet et le moment de la journée (l'après-midi chez le sujet jeune pour des tâches simples) améliorent l'isochronie (Guillot et al., 2012).

4. Imagerie motrice, pratique mentale et apprentissage moteur

Afin d'améliorer l'exécution motrice, l'intérêt d'une pratique en imagerie motrice est posée par la similarité entre imagerie motrice et exécution motrice. Elle consiste à répéter mentalement plusieurs fois une action dans le but d'en améliorer l'exécution (Malouin & Richards, 2010). La pratique en imagerie motrice activant les aires cérébrales dévolues au mouvement a-t-elle un impact positif sur l'exécution motrice ?

De nombreux travaux étudient l'intérêt de l'imagerie motrice afin d'améliorer le mouvement réel. En évaluant en laboratoires les effets d'une pratique en imagerie motrice, certains auteurs ont montré la possibilité d'acquisition d'une nouvelle tâche motrice fine (Pascual-Leone et al., 1995), d'amélioration de la force musculaire (Ranganathan, Siemionow, Liu, Sahgal, & Yue, 2004; Yue & Cole, 1992) ou du sens de la position (Toussaint, Robin, & Blandin, 2010). En parallèle, l'utilisation de la pratique en imagerie motrice a été développée dans le sport. Des résultats positifs ont été observés dans différentes disciplines comme la réception d'un service ou une passe au volley-ball (Roure et al., 1998, 1999), un service au tennis (Robin et al., 2007), l'amélioration de figures au patinage (Mumford & Hall, 1985) ou encore en gymnastique (White & Hardy, 1995).

Une pratique mentale réalisée de façon isolée permet l'amélioration de la performance motrice (Gentili, Han, Schweighofer, & Papaxanthis, 2010). Cependant, la combinaison des pratiques mentale et physique maximise les résultats, comme observé lors de l'apprentissage d'une tâche de manipulation fine d'un objet (Allami, Paulignan, Brovelli, & Boussaoud, 2008). Dans une expérience visant à orienter l'attention des participants sur une modalité sensorielle spécifique, Toussaint et Blandin (2010) ont montré l'importance de la disponibilité de ces informations sensorielles (visuelle, kinesthésique ou visuo-kinesthésique) lors de la pratique physique pour optimiser l'apprentissage en pratique mentale. Ces résultats placent l'imagerie motrice comme une réactivation de la représentation sensorimotrice préexistante justifiant de l'intérêt de la pratique combinée. Nous intéressant plus particulièrement puisque dans le cadre de ce travail à finalité clinique, l'intérêt d'une pratique combinée a aussi été évalué dans le cadre de la rééducation. En 2004 dans une étude pilote, Crosbie et ses collaborateurs ont montré le bénéfice d'une association de la pratique mentale aux soins habituels dans la rééducation des membres supérieurs des patients hémiplegiques après un accident vasculaire cérébral (AVC) (Crosbie, McDonough, Gilmore, & Wiggam, 2004). La

même année, dans un report de cas clinique chez un patient hémiparésique, Jackson, Doyon, Richards et Malouin, (2004) ont rapporté l'intérêt d'une pratique combinée sur l'amélioration de la motricité des membres inférieurs. Cherchant à évaluer un protocole avec peu de répétitions physiques et beaucoup de répétitions imaginées, la même équipe a évalué l'apport de cette pratique combinée chez des patients suite à un AVC (Malouin, Richards, Durand, & Doyon, 2009). Leur étude a permis de conclure à l'amélioration significative de la capacité à s'asseoir et se lever chez ces patients au bout de 4 semaines. Les études arrivent donc à la conclusion d'un intérêt supérieur dans la combinaison de la pratique physique et imaginée.

Enfin, pour certains auteurs, la pratique en imagerie ne semble fonctionner que si l'habileté motrice a déjà été effectuée en pratique physique au préalable. En effet, en testant l'apprentissage d'une tâche d'abduction de l'hallux chez des sujets jeunes sains, seuls les sujets ayant eu une pratique physique préalable, ou associant pratique physique et mentale, ont vu leur performance s'améliorer (Mulder, Zijlstra, Zijlstra, & Hochstenbach, 2004). Néanmoins, ce point est sujet à controverses puisque chez les jeunes adultes sains, d'autres auteurs montrent qu'une tâche de prise manuelle ou de reproduction de position peut être améliorée sans être acquise préalablement (Allami et al., 2008; Toussaint & Blandin, 2010). Cependant, il semble exister un consensus sur le fait que les tâches familières auront de meilleurs résultats (Dickstein & Deutsch, 2007).

Il convient de rappeler que certains travaux ne montrent pas d'effet de l'ajout d'une pratique mentale à une pratique physique (Hamel & Lajoie, 2005; Linden, Uhley, Smith, & Bush, 1989; Surburg, 1976). Cette absence d'effet amène à s'interroger sur les raisons de ce manque de résultats. Plusieurs auteurs questionnent les capacités de la population cible à produire une image motrice (Malouin, Jackson, & Richards, 2013; Malouin & Richards, 2013; Saimpont et al., 2013; Toussaint & Blandin, 2010), les bonnes pratiques d'imagerie motrice nécessaires à l'amélioration de la performance motrice (Goginsky & Collins, 1996; Guillot & Collet, 2008; Holmes & Collins, 2001; Schuster et al., 2011; Toussaint & Blandin, 2010, 2013). De même, il existe de nombreux travaux sur l'utilisation clinique de l'imagerie motrice (Dijkerman, Ietswaart, & Johnston, 2010; Malouin et al., 2013; Malouin & Richards, 2013; Malouin, Richards, Jackson, & Doyon, 2010). Nous reviendrons sur ces points dans le chapitre 2 abordant les aspects cliniques de l'imagerie motrice.

5. Imagerie motrice et représentation sensorimotrice

5.1. La tâche de rotation mentale de stimuli non-corporels

La tâche de rotation mentale de stimuli non-corporels consiste à présenter des images d'objets ou alphanumériques (e.g. : un « R » ou un « 2 ») ou leur image miroir, en faisant varier l'angulation comme illustré par exemple sur la Figure 5. Les auteurs ont montré que le temps de réponse augmente avec l'importance de l'angulation, suggérant que les participants effectuent la rotation mentale des images afin de juger de leur orientation (cf figure 5). La relation linéaire entre le temps de réponse et l'angle de présentation témoigne d'un accomplissement de la tâche avec une stratégie en imagerie visuelle (Cooper & Shepard, 1973; Corballis, 1988; Just & Carpenter, 1985; Marmor, 1977; Jordan & Huntsman, 1990). Par exemple, une rotation de 60° prend autant de temps quelle que soit la position des stimuli, comme l'atteste la répartition linéaire des temps de réponse entre 0° et 60° ou 60° et 120°.

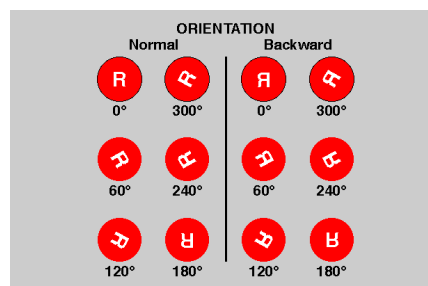


Figure 5 : Stimuli non-corporels [Reproduit de Cooper et Shepard (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. Tiré de Visual information processing (p. xiv, 555). Oxford, England: Academic, Copyright 1973].

5.2. La tâche de rotation mentale de stimuli corporels

La tâche de rotation mentale de stimuli corporels (Hoyek, Collet, & Guillot, 2010; Parsons, 1987, 1994; Parsons & Fox, 1998; Saimpont, Pozzo, & Papaxanthis, 2009) consiste à présenter des images de segments corporels (e.g. : une main ou un pied) dans différentes positions comme illustré par exemple sur la Figure 6.

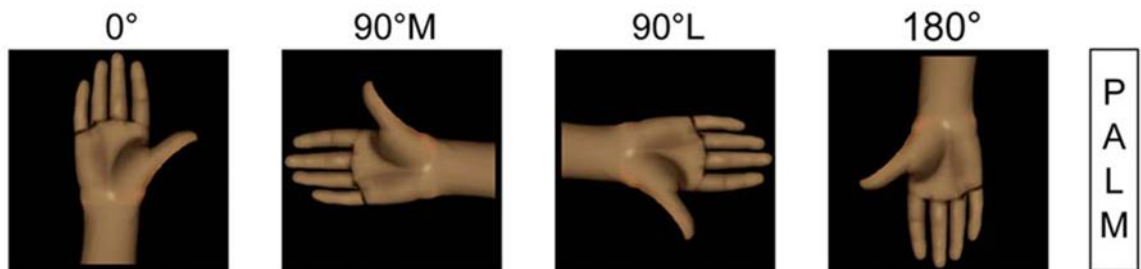


Figure 6 : illustrations de mains [Reproduit de Saimpont, Pozzo, & Papaxanthis. (2009). Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PloS One*, Copyright 2009].

Le sujet doit déterminer la latéralité (gauche ou droite) des segments corporels présentés un à un à l'écran. Il est mesuré le temps de réponse et le nombre de bonnes réponses (Hoyek et al., 2010). Nous avons décrit une congruence temporelle entre exécution motrice et imagerie motrice explicite (page 15). De la même façon, il existe une congruence temporelle dans cette tâche d'Imagerie Motrice Implicite qu'est la Rotation Mentale de stimuli corporels. En effet, Parsons et Fox (1998) évaluent le temps de réponse d'une tâche de rotation mentale de stimuli corporels comme dépendant des contraintes biomécaniques qui pèsent sur la production d'un mouvement réel. Prenant en compte les contraintes biomécaniques associées aux différentes images possibles de mains, la stratégie en imagerie motrice va se traduire par une variation exponentielle des temps de réponse qui augmentent plus fortement lorsque les images des mains correspondent à des positions biomécaniquement inconfortables. Cette évolution exponentielle montre que le temps nécessaire à la rotation mentale de stimuli corporels est le reflet des contraintes biomécaniques qui pèsent sur la production d'un mouvement réel (Parsons & Fox, 1998). A contrario sur des enfants atteints d'un désordre du développement de la coordination (Wilson et al., 2004) et des sujets après l'immobilisation d'un bras (Toussaint & Meugnot, 2013), les auteurs ont observé une

linéarisation de la courbe de réponse qui devient comparable à celle obtenue lors de la Rotation Mentale de stimuli non-corporels. Cette modification du Profil de la Courbe des temps de réponse dans une tâche de rotation mentale de stimuli corporels chez ces sujets comparée des groupes contrôles (i.e. : sans déficit du système sensorimoteur) témoigne d'un recours à une stratégie d'imagerie différente (Toussaint & Meugnot, 2013; Wilson et al., 2004).

En plus de cette modification de l'évolution des temps de réponses en fonction de l'angle de présentation des images (fonction exponentielle vs. linéaire), trois autres indices peuvent attester du recours à une stratégie en imagerie motrice dans une tâche de rotation mentale de stimuli corporels. Ces indices permettent d'évaluer la présence d'une implication du système sensorimoteur, l'effet Medial Over Lateral (ou effet MOLA), l'effet de Latéralité et l'effet de Complexité Motrice.

L'effet Medial Over Lateral (ou MOLA) se caractérise par une différence entre les résultats des temps de réponse des rotations médiales (se rapproche de l'axe médian du corps) et latérales (s'éloigne de l'axe médian du corps) des mains en vue palmaire. Il correspond à la mise en évidence des contraintes biomécaniques empêchant d'atteindre physiquement la position requise qui impactent la rotation mentale (voir ter Horst, van Lier, & Steenbergen, 2010). Comme il est plus difficile de produire physiquement une rotation latérale de main qu'une rotation médiale cela se traduit par un temps plus court pour reconnaître une main en vue médiale versus latérale (Gentilucci, Benuzzi, Bertolani, Elena Daprati, & Gangitano, 2000; Saimpont et al., 2009).

L'effet de Latéralité se manifeste chez des sujets droitiers. Il est illustré par des réponses plus rapides dans la reconnaissance des stimuli de la main dominante. Il reflète la moindre expertise sensorimotrice à effectuer des actions sur la main non dominante (Bagesteiro & Sainburg, 2002; Sainburg, 2002) qui se répercute dans la tâche de rotation mentale (Gentilucci et al., 2000; Gentilucci, Daprati, & Gangitano, 1998; Meugnot, Agbangla, Almecija, & Toussaint, 2015; Saimpont et al., 2009).

L'effet de Complexité Motrice est évalué sur un second type d'images proposé. Ces images, illustrées

Figure 7, montrent une main avec une boule à prendre de différentes tailles (Gentilucci et al., 2000). Les auteurs ont évalué le temps nécessaire à une prise de boule de 3 tailles

différentes lors d'un mouvement réel ainsi que la reconnaissance de la latéralité sur des images de mains (gauche et droite). Le temps de réponse varie en fonction de la difficulté de la prise dans le mouvement réel. Cette difficulté se répercute donc sur la durée du mouvement implicitement imaginé. L'allongement du temps de réaction en fonction de la difficulté physique réelle de la tâche illustrée montre que la contrainte physique influe sur la reconnaissance de latéralité. A notre connaissance, aucune étude n'a évalué un test similaire pour les membres inférieurs, de même aucune étude ne s'est intéressée aux effets de l'âge sur ce type de tâche.

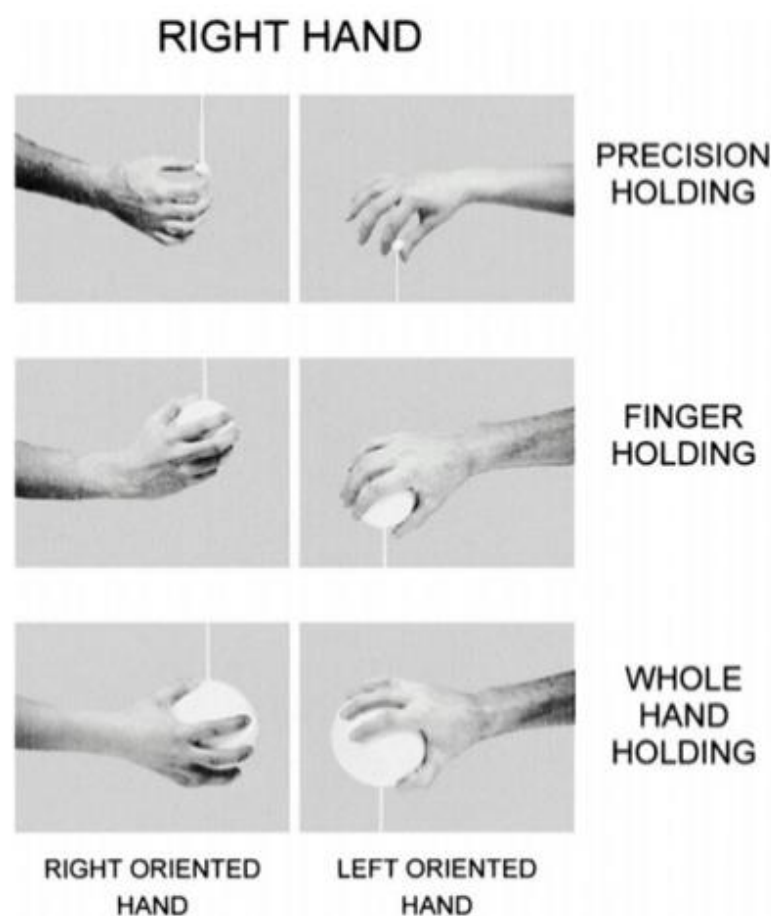


Figure 7: images de stimuli corporels de main avec prise de boules de différentes tailles [Reproduit de Gentilucci, Benuzzi, Bertolani, Daprati et Gangitano (2000). Recognising a hand by grasp. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 9(2), 125-135, Copyright 2000].

6. Imagerie motrice et vieillissement

Suite à ces précisions sur l'imagerie motrice explicite et implicite, l'orientation des expériences comportementales s'intéressant principalement au cas de l'imagerie motrice chez le sujet senior nécessite de s'interroger sur la préservation des capacités d'imagerie motrice avec l'avancée en âge. L'imagerie motrice est liée à la sensorimotricité, nous retracerons donc brièvement les effets de l'âge sur la sensorimotricité, puis les modifications de l'activité cérébrale. Ensuite, nous reviendrons sur les évolutions comportementales qui sont retrouvées dans l'imagerie explicite et enfin terminerons en développant le cas de la rotation mentale.

6.1. Effet de l'âge sur la sensorimotricité

Le vieillissement s'accompagne de changements physiologiques et de modifications sensitives et motrices. Dans un rapport de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (2014), les auteurs retiennent 65 ans et plus comme critère d'âge pour qualifier « une personne âgée » et rapportent des déficits tant sensoriels que moteurs. Ils décrivent des déficits visuels, vestibulaires et somesthésiques pour les systèmes sensoriels, mais aussi musculo-squelettiques pour le système effecteur (INSERM, 2014). En prenant le cas de l'équilibre, processus multisensoriel, ils illustrent l'arrivée progressive des déficits accompagnant le vieillissement (Tableau 2).

Tableau 2: Contributions sensorielles et motrices au maintien de l'équilibre [Reproduit de Inserm (2014). Activité physique et prévention des chutes chez les personnes âgées, chapitre 7 : Effets de l'âge sur les mécanismes de l'équilibre, Copyright 2014].

Systèmes sensoriels	Capteurs	Participation au maintien de l'équilibre	Altération
Visuel	Rétine	Acuité visuelle	↓
	Muscles oculomoteurs	Sensibilité aux contrastes	↓
		Perception de la profondeur	↓
		Perception des objets dans l'environnement	↓
		Perception du mouvement dans l'environnement	↓
Vestibulaire	Oreille interne	Orientation de la tête	Oui
		Perception du mouvement de la tête	↓
		Stabilisation de la tête et du corps	↓
		Stabilisation des images sur la rétine	↓
Somesthésique (proprioception et toucher)	Muscles	Orientation des segments corporels entre eux	Oui
	Tendons	Perception de la position des articulations	↓
	Articulations	Perception du mouvement du corps	↓
	Peau	Perception du contact avec le sol	↓
		Sensibilité tactile	↓
Systèmes effecteurs	Effecteurs	Participation au maintien de l'équilibre	
Système musculo-squelettique	Commandes motrices Muscles Os	Temps de réaction	↑
		Force musculaire	↓
		Vitesse de contraction des muscles	↓
		Synergies musculaires (activation d'un groupe de muscles)	Oui
		Densité osseuse (conséquences sur la gravité des chutes)	↓
		Résistance mécanique	↓

↓ : Diminué ; ↑ : Augmenté

6.2. Imagerie motrice, pratique mentale et apprentissage moteur

Les évolutions au niveau cérébral

Comme le rapporte Saimpont et al. (2013), des changements existent dans l'activité neuronale à la base de la simulation mentale du mouvement. D'abord chez les sujets âgés, le recrutement des aires cérébrales dévolues à l'exécution motrice comme à l'imagerie motrice prédominent dans les cortex pré-moteur et pariétal (Nedelko et al., 2010; Zwergal et al., 2012). Cependant, il existe une plus grande activité cérébrale chez les sujets âgés (Nedelko et al., 2010; Zwergal et al., 2012). Dans l'exécution motrice, cette augmentation de l'activité permet de maintenir la performance avec l'âge (Reuter-Lorenz & Park, 2010; Seidler et al., 2010). Cette augmentation de l'activité s'accompagne d'une perte de sélectivité du cortex moteur chez les seniors (Léonard & Tremblay, 2007) comme chez les patients parkinsoniens (Tremblay, Léonard, &

Tremblay, 2008). En effet, pour une même activité motrice, les zones cérébrales des seniors sont sélectionnés moins précisément et conduisent à l'activation de muscles non impliqués dans l'action chez les jeunes. Ce résultat est retrouvé dans l'observation d'action, dans l'action imaginée et réellement exécutée (Léonard & Tremblay, 2007).

Les évolutions comportementales

Plusieurs études évaluent la qualité de l'imagerie motrice explicite en fonction de l'âge par chronométrie mentale ou à l'aide de questionnaire.

Certains auteurs ont montré une détérioration de l'isochronie entre imagerie et exécution motrice chez la personne âgée saine. Une augmentation en fonction de l'âge du temps d'exécution motrice et une conservation du temps de l'imagerie motrice sont retrouvées par certains auteurs avec comme conséquence une diminution de l'isochronie sur des tâches de marche ou d'écriture (Personnier, Ballay, et al., 2010; Personnier et al., 2008; Skoura et al., 2005). En revanche, Caçola, Roberson et Gabbard (2013) observent une préservation de la congruence temporelle entre l'exécution et l'imagerie motrice d'une tâche de mouvements séquentiels des doigts chez une population de sujets seniors mais très actifs. Une précision importante est apportée par Schott et Munzert (2007) : la dégradation de l'isochronie interviendrait dans la 7^{ème} décennie (Schott & Munzert, 2007). Enfin, alors que le sujet droitier jeune imagine et exécute un mouvement plus rapidement avec sa main droite, cet effet de latéralité n'apparaît chez les seniors que pour les mouvements exécutés (Paizis, Skoura, Personnier, & Papaxanthis, 2014).

Chez le sujet âgé, la qualité de l'imagerie motrice a aussi été évaluée à l'aide de questionnaires. Sur une échelle de Likert, les sujets doivent autoévaluer la qualité d'une image mentale. Malouin, Richards et Durand (2010) ont testé grâce au *Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire* (KVIQ) la qualité de l'imagerie motrice kinesthésique et visuelle chez 3 groupes d'âges différents (26.0 ± 5.0 , 53.6 ± 5.4 et 67.6 ± 4.6 ans). Les scores obtenus indiquent une équivalence dans la netteté mais que la qualité change d'une préférence visuelle vers une préférence kinesthésique. Ils expliquent cette évolution par une diminution des capacités de la mémoire de travail kinesthésique et visuo-spatiale. En complément, avec l'utilisation du *Movement Imagery Questionnaire* (MIQ), Mulder et ses collaborateurs (2007) ne mettaient pas en évidence de déclin général des capacités d'imagerie motrice, mais une transition d'une perspective interne

vers une perspective externe et une plausible relation avec le niveau d'activité physique. Dans une revue, Saimpont et ses collaborateurs (2013) concluent à la possibilité pour les personnes âgées de produire de l'IM aussi vive que les jeunes. Ils mettent cependant en évidence une détérioration de la vivacité de l'IM en modalité visuelle et perspective à la première personne probablement à partir de 65 ans.

Au final, ces éléments nous montrent que les sujets âgés sont capables de produire une image motrice, mais que la qualité globale change, tant sur les caractéristiques temporelles, avec une perte d'isochronie, que sur les préférences de modalités, avec une préférence visuelle versus kinesthésique. Mulder et ses collaborateurs (2007) repris par Saimpont et ses collaborateurs (2013) expliquent cette dégradation par une diminution de l'activité physique pouvant endormir progressivement le système sensorimoteur.

L'apprentissage par imagerie chez le sujet senior sain

Peu d'évaluations concernent cette population spécifique (seniors sains). A notre connaissance, seules 5 études ont été publiées à ce jour. D'abord, Surburg (1976) compare 7 groupes de sujets seniors pratiquant physiquement et/ou mentalement une tâche motrice. Dans un objectif d'amélioration de la coordination, il montre qu'un programme combiné de pratique physique et imaginée est équivalent à un programme de pratique physique seule mais supérieur au résultat obtenu par le groupe contrôle sans pratique. Jarus et Ratzon (2000) comparent 3 groupes d'âges différents (enfant/adulte/senior) dans l'apprentissage d'une tâche de coordination bimanuelle grâce à la pratique en imagerie motrice combinée à une pratique physique seule. Ils concluent à un intérêt de la pratique combinée chez les seniors et les enfants. Les 3 autres études concernent l'apprentissage de l'équilibre et ont des résultats contradictoires. En évaluant l'équilibre statique sur plateforme de force, Fansler et al. (1985) évaluent positivement l'intérêt d'un programme de rééducation par pratique de l'équilibre en imagerie motrice seule chez des femmes seniors. Ensuite, par une évaluation clinique sur des sujets seniors (femmes et hommes), Linden et ses collaborateurs (1989) évaluent une pratique en imagerie motrice seule comme programme de rééducation de l'équilibre dynamique. Ils ne mettent pas en évidence d'effet positif. Enfin, Hamel et Lajoie (2005) montrent un effet positif d'une pratique en imagerie motrice seule sur l'équilibre statique.

Nous voyons donc des différences de sujets, d'objectifs (coordination, équilibre statique ou dynamique), de moyens d'évaluation des résultats (clinique ou matériel), de

programmes (combinée ou seule). De plus, comme le souligne Saimpont et ses collaborateurs (2013) seul Hamel et Lajoie (2005) évaluent les capacités d'imagerie des sujets. Or cette évaluation est essentielle pour connaître la validité externe de l'expérience (i.e. : possibilité de l'exporter à d'autres populations). Il est donc actuellement difficile de conclure avec certitude à l'intérêt de la pratique en imagerie motrice chez les seniors.

6.3. Imagerie motrice et représentation sensorimotrice

A notre connaissance, très peu de travaux ont étudié l'effet de l'âge sur la rotation mentale de stimuli corporels, autrement dit sur les capacités d'imagerie motrice implicite. En évaluant l'effet de l'âge sur la rotation mentale de main, Saimpont, Pozzo, et Papaxanthis (2009) comme, Devlin et Wilson (2010) ont montré que l'âge affecte la capacité à simuler implicitement les mouvements des membres supérieurs. Si les seniors ont des temps de réponses plus lents, ces derniers conservent-ils une stratégie en imagerie motrice dans la résolution des tâches de rotation mentale de stimuli corporels ? En effet, tout comme les déficits sensorimoteurs induits par la privation d'exercice peuvent conduire les sujets à abandonner une stratégie en imagerie motrice au profit d'une stratégie en imagerie visuelle (Toussaint & Meugnot, 2013), la question se pose quant aux conséquences des déficits sensorimotrices liés à l'avancée en âge.

Avec l'âge, Saimpont, Pozzo, et Papaxanthis (2009) retrouvent une augmentation de l'effet MOLA dans une tâche de rotation mentale de main et une majoration de l'effet de latéralité manuelle. Nous pouvons donc penser que pour résoudre cette tâche, les seniors préservent une stratégie en imagerie motrice. Pourtant, Devlin et Wilson (2010) mettent en évidence une résolution de la tâche utilisant une objectivation de la main⁵. Ce résultat indique le recours à une imagerie visuelle. Ces résultats contradictoires montrent la nécessité de poursuivre les travaux de recherche à ce sujet pour mieux comprendre les effets de l'âge sur les capacités d'imagerie motrice implicite.

⁵ La main est considérée comme un objet externe au corps

Basée sur la théorie de la simulation, l'imagerie motrice présente des similarités structurelles et fonctionnelles avec le mouvement réel. Si son utilisation explicite dans l'apprentissage moteur est établie en laboratoire tout comme dans différentes disciplines sportives, des précisions sont nécessaires pour une application clinique efficace. De même, il est établi en laboratoire que l'utilisation de l'imagerie motrice implicite dans la tâche de rotation mentale permet une évaluation de l'implication du système sensorimoteur selon plusieurs indices. Dans une finalité d'évaluation clinique, ces indices (effet MOLA, effet de la complexité motrice, Profil de la Courbe des temps de réaction en fonction de la rotation des images et effet de latéralité) nécessitent eux davantage d'investigation.

Enfin, le cadre spécifique de la prise en charge gériatrique amène à une réflexion particulière liée à l'évolution dans le temps des capacités d'imagerie motrice explicite comme implicite. Les modifications observées chez les seniors invitent à questionner leurs conséquences sur l'apprentissage ou la rééducation par imagerie motrice, ainsi que le recours aux tâches de rotations mentales comme outils d'évaluation des déficits sensorimoteurs liés à l'âge.

Chapitre 2 : L'imagerie motrice : aspect clinique

Nous allons maintenant développer un aspect clinique de la prise en charge en rééducation via l'imagerie motrice.

1. Evaluation clinique

1.1. La chronométrie mentale

En gardant à l'esprit qu'il est difficile d'évaluer avec précision les capacités d'imagerie motrice (Malouin, Richards, Jackson, et al., 2010), nous allons voir qu'il est possible d'utiliser la chronométrie mentale en pratique clinique. Un des premiers tests s'intéressant à cette application est le *Timed Dependant Motor Imagery* (TDMI). Ce test clinique rapide consiste à demander au patient de produire un mouvement imaginé simple pendant 15, 25 puis 45 secondes et de vérifier la concordance du nombre de mouvements imaginés en fonction de la durée. Il permet en moins de 5 minutes d'évaluer si le patient est capable de comprendre les instructions et de produire une image mentale motrice (Malouin et al., 2008b).

Un autre test consiste à calculer un indice d'isochronie entre la durée des actions imaginée et exécutée (Malouin et al., 2008b; Gueugneau, Mauvieux, & Papaxanthis, 2009):

$$\text{Indice d'isochronie} = |\text{durée de l'action imaginée} - \text{action exécutée}|$$

Cet indice d'isochronie investigate les caractéristiques temporelles de l'exécution et de l'imagerie motrice. Plus l'indice d'isochronie est faible, meilleure sera la qualité de l'image produite. L'isochronie parfaite, et donc la meilleure qualité, est atteinte quand l'indice est nul. Selon le même principe, d'autres auteurs proposent plutôt le calcul d'un ratio entre la durée de l'action imaginée et de l'action exécutée physiquement (Saimpont, Malouin, Tousignant, & Jackson, 2015). Dans ce cas, un ratio proche de « 1 » témoigne d'une bonne qualité des images du mouvement.

De même, Beauchet et ses collaborateurs (2010) ont évalué l'isochronie entre l'exécution et l'imagerie motrice du Timed Up and Go (TUG). Le TUG est un test clinique fonctionnel décrit comme prédictif de la chute (Haute Autorité de Santé, 2005; Pérennou et al., 2005) et de la perte d'autonomie (Mudge & Stott, 2007). Il consiste à

demander au sujet de se lever d'une chaise, marcher 3 mètres, faire demi-tour et revenir s'asseoir (Mourey, 2010; Pérennou et al., 2005), réellement et mentalement. En gériatrie, le temps du TUG imaginé (iTUG) est fortement corrélé à celui du TUG exécuté (Beauchet et al., 2010). Cette corrélation persiste après un accident vasculaire cérébral (Malouin, Richards, Jackson, et al., 2010). En outre, l'iTUG est préconisé en gériatrie pour détecter chez les personnes âgées des changements importants de la marche et de l'équilibre (Beauchet et al., 2010).

L'intérêt pratique dans l'évaluation de la qualité d'un mouvement imaginé ne doit pas faire oublier que la chronométrie mentale ne mesure que les caractéristiques temporelles (Dijkerman et al., 2010).

1.2. Les questionnaires

Plus longue (environ 20 minutes), une autre possibilité est d'évaluer au moyen de questionnaires la qualité d'une image mentale motrice (Butler et al., 2012; Isaac, Marks, & Russell, 1986; Malouin et al., 2007). Plusieurs questionnaires, le *Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire* (Malouin, 2012; Malouin, Richards, Durand, & Doyon, 2008a) tout comme le *Movement Imagery Questionnaire* (Butler et al., 2012) ou sa version revisitée (Loison et al., 2013), permettent une évaluation de la préférence de modalité (Visuelle ou Kinesthésique) du patient. Le *Vividness of Movement imagery Questionnaire* va permettre d'évaluer la préférence de perspective (à la 1^{ère} personne ou perspective interne, versus à la 3^{ème} personne ou perspective externe) du patient (de Vries, Tepper, Otten, & Mulder, 2011; Isaac et al., 1986). En pratique courante, certains tests à remplir par le sujet sont plus facilement utilisables (VMIQ). D'autres tests sont à remplir avec le thérapeute et leur longueur rendent leur utilisation plus difficile (KVIQ). De nouvelles versions révisées, revisitées et/ou raccourcies sont donc régulièrement proposées sans consensus sur celui à choisir (Butler et al., 2012; Malouin et al., 2007; Roberts et al., 2008).

1.3. Les autres tests

Comme nous allons évaluer l'utilité d'un test pour une utilisation clinique, il est nécessaire de rappeler qu'il existe d'autres évaluations qui pourront peut-être faire l'objet d'une utilisation clinique comme l'utilisation de la contrôlabilité de l'imagerie motrice (Saimpont et al., 2015), les évaluations paracliniques : Imagerie par Résonnance Magnétique fonctionnelle, électromyographie, électroencéphalographie (Ang et al., 2011; Fontana et al., 2012; Guillot & Collet, 2005a; Guillot et al., 2010), les mesures non invasives comme le mouvement des yeux ou les mesures du système nerveux autonome comme l'enregistrement de la variation de fréquence cardiaque ou respiratoires ou de l'activité électrodermale (Collet & Guillot, 2010; Collet, Rienzo, Hoyek, & Guillot, 2013; Guillot et al., 2010). Cependant, nous ne développerons pas plus ces possibilités car elles ne sont pas l'objet de ce travail.

2. Traitement : les modèles d'application

Comme suite à l'exposé des techniques d'évaluation, nous allons maintenant développer les conditions d'une bonne pratique clinique. Avant tout, il faut conserver en mémoire que la pratique en imagerie ne semble fonctionner que si l'habileté motrice a déjà été acquise en pratique physique par le patient (Dickstein & Deutsch, 2007; Mulder et al., 2004), même si ce point est actuellement toujours discuté chez les jeunes adultes sains (Allami et al., 2008; Toussaint & Blandin, 2010).

Pour la préparation des séances, principalement 3 modèles peuvent être suivis. Le premier modèle développé par Holmes et Collins en 2001 est proposé dans le champ du sport mais semble avoir un intérêt dans le champ de la rééducation. Un deuxième modèle a été développé la même année par Jackson, Lafleur, Malouin, Richards et Doyon (2001) avec une orientation en rééducation. Enfin, Guillot et Collet (2008) ont développé un modèle dans le but d'être adaptable tant aux conditions sportives qu'en rééducation. Ces 3 modèles sont détaillés dans les parties qui suivent.

Le modèle d'Holmes et Collins (2001) a été développé à partir des équivalences fonctionnelles entre la pratique physique et imaginée. Il reprend principalement sept points (Tableau 3).

Tableau 3 : le modèle PETTLEP, 7 points pour optimiser les séances d'imagerie motrice (inspiré de Holmes et Collins 2001)

Physical	Physique	Etre dans une position proche de celle utilisée en pratique physique pour stimuler les récepteurs périphériques
Environment	Environnement	Replacer dans l'environnement proche de celui de la pratique physique pour l'implication complète multi-sensorielle « comme si »
Task	Tâche	Intégrer les informations de la nature de la tâche (modalité, perspective...)
Timing	Temps	Respecter la durée est important pour le geste technique mais aussi par le sens qu'elle propose dans l'accomplissement de la tâche
Learning	Apprentissage	Faire évoluer les séances au cours de l'apprentissage pour conserver l'équivalence fonctionnelle au cours des changements
Emotion	Emotion	Implication émotionnelle pour rattacher la tâche à un sens
Perspective	Perspective	Transiter d'une perspective externe visuelle vers une perspective interne kinesthésique au cours des séances

Dans le cadre d'un travail en rééducation, la limite de ce modèle est qu'il a été développé à partir de données acquises dans le domaine du sport. Il est donc intéressant de rechercher l'existence complémentaire d'autres modèles apportant une vision plus clinique.

Dans un cadre clinique en rééducation, le modèle de Jackson et ses collaborateurs (2001) distingue 3 processus impliqués dans 3 types différents de pratiques, agissant de ce fait sur le résultat final (Tableau 4). Ces 3 processus sont les suivants: l'exécution physique, les processus non-conscients et les connaissances déclaratives. Si, d'après ce modèle, la pratique physique implique les 3 processus, la pratique mentale avec

imagerie motrice implique les processus non-conscients et ceux des connaissances déclaratives nécessaires à la mise en place de la séance (Jackson, Lafleur, Malouin, Richards, & Doyon, 2001). La pratique mentale non spécifique correspond à une activation de processus permettant de ressentir des sensations avec ou sans stimuli externe (i.e. : imagerie gustative, imagerie auditive...). Elle n'active donc que les connaissances déclaratives. Nous pouvons donc attendre des résultats plus faibles en Imagerie Motrice seule comparée à la Pratique Physique seule mais supérieure à ceux de la pratique mentale non spécifique.

Tableau 4 : Modèle représentant les différents processus impliqués dans les 3 types de pratique (d'après Jackson et ses collaborateurs, 2001)

	Exécution physique	Processus non-conscients	Connaissances déclaratives
Pratique physique	+	+	+
Pratique mentale avec imagerie motrice	-	+	+
Pratique mentale non-spécifique	-	-	+

Guillot et Collet (2008) constatent que ce modèle possède une orientation uniquement rééducative. Ils ont donc développé un modèle mixte, prenant en compte les aspects sportif et rééducatif. Nous intéressant plus spécifiquement à l'aspect rééducation, nous ne l'évoquerons que succinctement. L'objectif de ce dernier modèle est de pouvoir être utilisé pour diriger les séances d'imagerie dans toutes les composantes où la pratique en imagerie motrice pourrait être utilisée chez le sportif (i.e. : l'apprentissage moteur et la performance, la stratégie et la résolution de problème, la motivation, la confiance en soi et l'anxiété, et enfin la rééducation post-blessure). Nous voyons donc que ce modèle est volontairement plus adapté aux sportifs, entraîneurs et rééducateurs du domaine sportif dans toutes ces composantes qu'aux patients et rééducateurs dont les objectifs seront différents (Guillot & Collet, 2008). Les auteurs rappellent cependant les objectifs à long terme qui peuvent être fixés avec le patient et la continuité qui peut être proposée dans le cadre spécifique d'un patient sportif en rééducation avec un objectif d'activité physique ou sportive.

3. Traitement : apport de la littérature

En préambule, il est nécessaire de faire 3 rappels majeurs.

D'abord, à l'exception du champ spécifique de la douleur et dans le cadre d'imageries motrices explicite et implicite associées, la rééducation en imagerie motrice décrite dans la littérature est portée sur des consignes d'imagerie explicite. Une partie spécifique de l'apport de la littérature concernant l'imagerie motrice implicite sera présentée à la fin de ce chapitre. Sauf mention contraire, les notions développées ci-dessous concernent donc l'imagerie motrice explicite.

Ensuite, comme déjà expliqué dans le chapitre précédent, la pratique en imagerie motrice ne semble fonctionner que si l'habileté motrice a déjà été acquise en pratique physique par le patient (Dickstein & Deutsch, 2007; Mulder et al., 2004). Ce point de vue est sujet à controverses chez les jeunes adultes sains (Allami, Paulignan, Brovelli & Boussaoud, 2008; Toussaint & Blandin, 2010)

Enfin, dans leur revue critique de la littérature une équipe Québécoise rappelle que lors de l'apprentissage d'une tâche motrice l'absence de pratique (AP) donne moins de résultats qu'une pratique en imagerie motrice (IM) seule, qui donne moins de résultats qu'une pratique physique (PP) seule, qui donne elle-même moins de résultats que l'association d'une Pratique Physique et d'une Pratique Mentale en imagerie motrice (PP+PM ; Malouin et al., 2013)

Si, et nous y reviendrons, il existe une littérature de plus en plus dense sur les bonnes pratiques en imagerie motrice (Schuster et al., 2011), peu d'auteurs ont proposé des cadres d'application destinés aux praticiens. Dans ce travail, Braun et al. (2008) proposent 5 étapes :

1. Evaluer les capacités d'imagerie à suivre un programme d'imagerie motrice,
2. Expliquer la nature du traitement proposé,
3. Enseigner la technique d'imagerie,
4. Incorporer le traitement dans la prise en charge,
5. Développer une flexibilité dans la capacité à auto-générer son traitement

Nous pouvons voir la nécessité rappelée ici d'évaluer les capacités d'imagerie que nous avons déjà abordée précédemment. Le second point est particulièrement important pour remporter l'adhésion du patient à son traitement. L'explication de la nature du traitement tient son origine dans la particularité d'un traitement rééducatif « hands-

off⁶» et peut prendre une place importante en pratique clinique (e.g.: patient ou famille de patient décontenancé(e) par le fait de demander de regarder des vidéo/photographies ou de s’imaginer marcher, plutôt que de faire un massage ou une rééducation physique à la marche). Une autre proposition de cadre d’application a été proposée par Malouin et Richard (2013). Ce cadre propose une intégration progressive et une adaptation au cours du programme, nous y reviendrons dans ce chapitre (page 41).

⁶ Traitement sans les mains, par opposition au traitement avec les mains comme le massage, mobilisation ou manipulation, plus classique en rééducation, donc proche de l’image de ce qu’attend un patient

3.1. Les recommandations en pratique clinique

Nous verrons dans ce chapitre les apports de la littérature appliquée à la rééducation dans l'utilisation clinique et la programmation des séances d'imagerie motrice. Différents principes semblent nécessaires à respecter pour programmer des séances d'imagerie motrice. Le praticien va définir cette programmation en fonction de la littérature et suivre les recommandations de bonnes pratiques (Haute Autorité de Santé, 2013) en suivant le niveau de preuve exposé dans le préambule de ce manuscrit (Tableau 1 page 5). Nous allons voir ci-après les différents éléments que nous pouvons retenir en fonction du grade de recommandations, en partant des recommandations de pratique clinique puis du Grade A (preuve scientifique établie), au Grade B (présomption scientifique) et enfin le Grade C (faible niveau de preuve scientifique). L'objectif de ce paragraphe n'est pas d'être exhaustif mais de tenter de délimiter ce que nous pouvons attendre de l'imagerie motrice en pratique clinique et quels sont les principes à respecter pour la meilleure efficacité.

La recherche sur la librairie internationale des recommandations n'apporte aucun résultat au 24 avril 2016 (« International Guideline Library », 2016). La recherche manuelle sur le site de la Haute Autorité de Santé rapporte qu'il existe une recommandation d'utilisation de l'imagerie motrice dans la phase chronique de l'AVC (Grade B) et une absence de recommandation dans les autres phases (aiguë et subaiguë) en l'état actuel des connaissances (Haute autorité de santé, 2012). Les recommandations canadiennes concluent à un effet discutable et suggèrent que la pratique mentale peut améliorer l'activité de la vie quotidienne après un AVC (Canadian Partnership for Stroke Recovery, 2013). Ces recommandations mettent cependant l'accent sur la grande disparité des protocoles évalués, ceci pouvant expliquer les résultats variables de la littérature. Plusieurs méta-analyses ont aussi des résultats discordants sur un même sujet. Par exemple, toujours sur l'AVC et dans le cadre spécifique du membre supérieur, certains auteurs concluent à une inutilité de la pratique mentale (Machado et al., 2015), quand d'autres concluent à un intérêt certain (Pollock et al., 2014). Ces différences peuvent s'expliquer par la méthode intrinsèque des deux analyses respectives, ainsi que par le choix des études, et la grande variabilité des protocoles évalués. Aussi, dans le contexte spécifique de la prise en charge post-AVC, la progression des patients était décrite comme atteignant une phase de plateau à 6 mois. L'Imagerie Motrice fait partie

des thérapies cognitives qui ont permis la remise en cause de ce plateau en permettant de continuer à progresser (Page, Gater, & Bach-Y-Rita, 2004)

Plusieurs équipes ont proposé des revues de littérature dans un cadre de rééducation (Braun, Beurskens, Borm, Schack, & Wade, 2006; Dickstein & Deutsch, 2007; Dijkerman et al., 2010; Jackson et al., 2001; Malouin et al., 2013; Malouin & Richards, 2010, 2013; Zimmermann-Schlatter, Schuster, Puhan, Siekierka, & Steurer, 2008). Certains auteurs regrettent le manque de qualité de certaines études ne pouvant donc se permettre de conclure (Braun et al., 2006). Cependant, il existe une amélioration de la qualité des études avec par exemple une augmentation du nombre de sujets. Une transition de report de cas (Page, Levine, Sisto, & Johnston, 2001a), d'études de faisabilité (Braun et al., 2010; Page, Levine, Sisto, & Johnston, 2001b) ou suivi de cohorte (Crosbie et al., 2004; Page, Szaflarski, Eliassen, Pan, & Cramer, 2009; Yoo, Park, & Chung, 2001) vers des études contrôlées de plus grande envergure donnent au praticien des éléments plus robustes pour baser sa pratique (Bovend'Eerd, Dawes, Sackley, Izadi, & Wade, 2010; Liu et al., 2009; Moseley, 2006; Riccio, Iolascon, Barillari, Gimigliano, & Gimigliano, 2010). Nous pouvons ainsi voir les auteurs récents de ces revues donner des lignes directrices adaptées à la rééducation neurologique, orthopédique ou gériatrique (Malouin et al., 2013; Malouin & Richards, 2013; Saimpont et al., 2013; Schuster et al., 2011).

3.2. Lignes directrices pour une adaptation clinique

Après cet apport des recommandations cliniques, certains éléments ont une influence sur la pratique clinique. En suivant le plan du modèle PETTLEP (Holmes & Collins, 2001), nous allons développer ces éléments.

Physique : il semble intéressant que la position soit spécifique de la tâche (Schuster et al., 2011). Ce choix permet de transmettre les informations proprioceptives et extéroceptives influençant l'imagerie motrice (Saimpont, Malouin, Tousignant, & Jackson, 2012; Saimpont et al., 2013).

Environnement : de même, il semble que l'environnement spécifique à la tâche apporte une plus-value (Schuster et al., 2011),

Tâche : il semble que choisir une tâche en se focalisant sur l'aspect moteur soit meilleur que de se focaliser sur la force ou l'aspect cognitif (Schuster et al., 2011),

Temps : cette notion revêt différents aspects. Malouin et ses collaborateurs (2008b, 2013) et Schuster et ses collaborateurs (2011) présentent deux approches complémentaires de cette notion. La première équipe développe la notion d'isochronie, mais les deux équipes s'intéressent aussi à l'organisation temporelle des séances. Les capacités d'isochronie du patient semblent avoir un effet bénéfique sur l'efficacité d'une pratique mentale (Malouin et al., 2013). Nous pouvons remarquer que le premier test (TDMI, cf. chapitre précédent, page 29) proposé pour vérifier la compréhension des consignes et la capacité à produire une image mentale est basé sur cette qualité temporelle de l'imagerie (Malouin et al., 2008b). A contrario, Schuster et ses collaborateurs (2011) développent l'aspect temporel dans l'organisation des séances. Ils évoquent l'intégration ou non de la séance de Pratique Mentale Motrice dans une séance de Pratique Physique (e.g. : alternance des PP et PM dans une même séance ou PP dans une séance et PM dans une autre). Schuster et ses collaborateurs (2011) conseillent des séances combinées où la pratique en imagerie suit une exécution motrice. Malouin et ses collaborateurs (2013) conseillent une alternance entre une exécution motrice et une pratique en imagerie pour permettre de « nourrir » le système sensorimoteur. Conformément à la théorie des modèles internes (page 10), ce type de délivrance apporte l'avantage de permettre au patient de redonner les conséquences sensorielles et dynamiques au comparateur lui permettant d'améliorer ses modèles internes (Lebon et al., 2013).

Apprentissage : Holmes et Collins (2001) proposaient une évolution du programme au cours des séances. Schuster et ses collaborateurs (2011) relatent un intérêt plus important pour la délivrance des séances sous forme verbale, en direct, supervisées mais non dirigées et sans nécessité de familiarisation. Ce dernier point (l'absence de familiarisation) n'est pas en accord avec le point de vue d'autres auteurs (Braun et al., 2008; Malouin et al., 2013; Malouin & Richards, 2013) mais peut s'expliquer par la spécificité de l'application en rééducation. Malouin et Richard (2013) proposent une introduction précoce de l'imagerie motrice seule pour familiariser le patient à partir de scripts audio, puis une pratique associant IM et PP pour permettre de redonner les conséquences sensorielles et dynamiques au comparateur et lui permettre d'améliorer ses modèles internes (Lebon et al., 2013) et enfin une autonomisation de la pratique mentale permettant d'augmenter le nombre de répétitions.

Emotion : afin d'impliquer émotionnellement le patient, Schuster et ses collaborateurs (2011) décrivent les séances individuelles comme plus efficaces et conseillent de maintenir les yeux fermés. Dans le cas spécifique du sujet âgé parkinsonien et d'une imagerie visuelle, le maintien des yeux ouverts permet de donner des indices visuels (Heremans et al., 2012). A l'inverse, une imagerie kinesthésique chez le sujet âgé post-AVC semble plus efficace avec les yeux fermés (Hovington & Brouwer, 2010).

Perspective : la perspective interne et la modalité kinesthésique rapportent une amélioration plus fréquente avec l'utilisation de la perspective externe et la modalité visuelle (Schuster et al., 2011). L'activation corticospinale est d'ailleurs décrite comme supérieure pendant une imagerie motrice explicite de nature kinesthésique (Stinear, 2010). Nous pouvons cependant mettre ce point en perspective avec certains travaux montrant une récupération post-AVC dissociée des modalités (kinesthésique vs. visuelle) d'une part et de la perspective (1^{ère} vs. 3^{ème} personne) d'autre part (de Vries et al., 2013, 2011).

D'autres éléments peuvent être ajoutés à ces 7 points clefs : le nombre de répétitions, la durée de la séance et la durée du programme. Cependant, les résultats à ce niveau sont variables d'un auteur à l'autre, sans possibilité de trouver un consensus. Le rôle du praticien semble donc d'adapter la séance à la fatigue cognitive et physique du patient (Malouin et al., 2013; Malouin & Richards, 2013; Schuster et al., 2011).

Au final, ces éléments permettent à Malouin et ses collaborateurs (2013) de proposer un nouveau cadre de travail associable à celui de Braun et ses collaborateurs (2008). Nous pouvons voir (Figure 8) qu'ils proposent 3 étapes dans la durée du programme d'imagerie motrice.

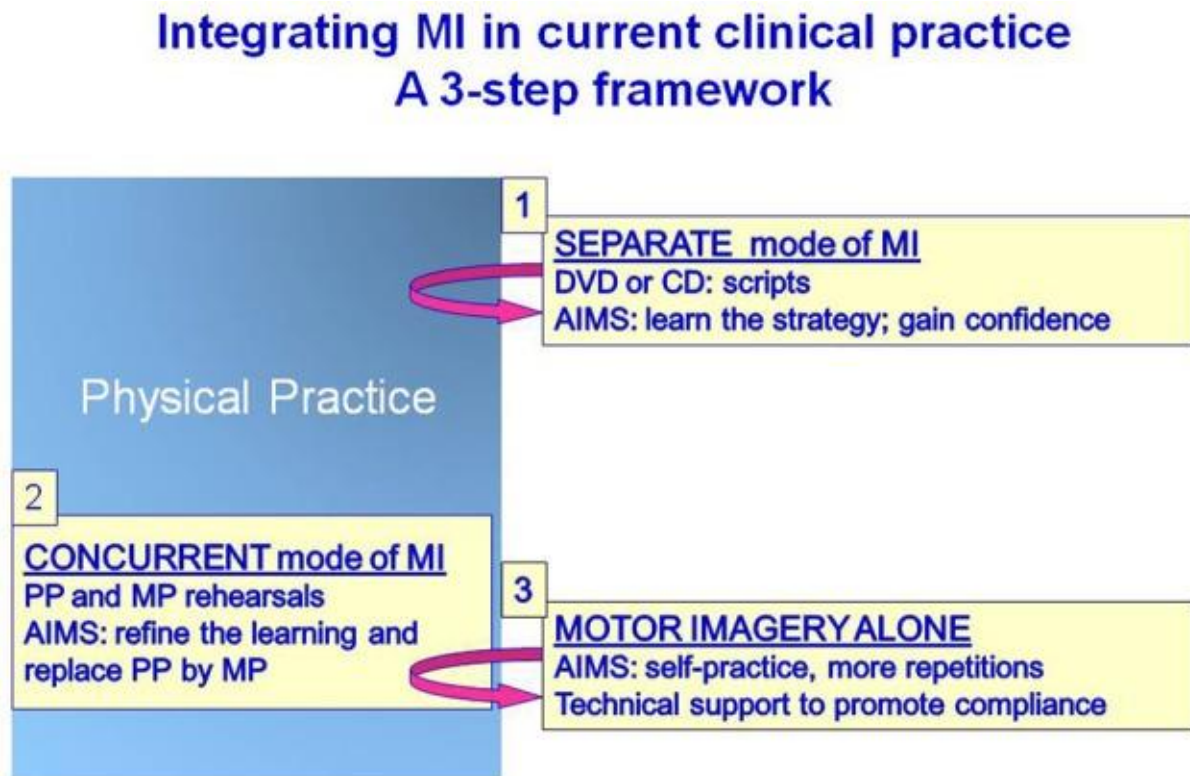


Figure 8: représentation d'un cadre pour intégrer l'Imagerie Motrice dans la pratique clinique [Reproduit de Malouin Jackson et Richard (2013) Towards the integration of mental practice in rehabilitation programs. A critical review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 576, Copyright 2013].

La première étape consiste à proposer des séances d'imagerie motrice sous forme d'enregistrements audio permettant une économie de ressource une fois ce programme enregistré. Ceci permet aussi de familiariser le patient tout en préservant sa fatigue physique et cognitive pour les séances de pratique physique dans les premiers temps de la rééducation. Après cette préparation, dans la deuxième étape, Malouin et ses collaborateurs (2013) proposent d'introduire progressivement des répétitions mentales en interaction directe avec le thérapeute et avec des petites répétitions au début. Dans la troisième étape, le patient sera invité à pratiquer seul en augmentant le nombre de répétitions.

3.3. Apport spécifique de la Rotation Mentale en rééducation

Comme nous l'avons vu (page 19), le test de latéralité est utilisé dans la littérature pour évaluer l'intégrité du système sensorimoteur (Moseley, 2004c; Toussaint & Meugnot, 2013). A notre connaissance, l'utilisation de la rotation mentale de stimuli corporels comme technique de rééducation n'a pas fait l'objet d'évaluation isolée spécifique. Moseley et son équipe propose en effet d'utiliser des stimuli corporels en demandant une reconnaissance de latéralité (i.e. : forme d'imagerie motrice implicite) pour stimuler implicitement les aires cérébrales (Moseley, 2004a, 2006). Un entraînement à la rotation mentale de stimuli corporels semble être uniquement utilisé associé à l'Imagerie Motrice Explicite et à l'utilisation de la Boîte Miroir dans le cadre de la douleur avec le recours à un protocole d'Imagerie Motrice Graduée (Bowering et al., 2013; Moseley, 2004a, 2006; Moseley, Butler, Beames, & Giles, 2012; O'Connell, Wand, McAuley, Marston, & Moseley, 2013). Le programme d'imagerie motrice graduée consiste à introduire les différents types d'imagerie en s'adaptant aux capacités du patient et à la création de douleur. Ce programme commence par la reconnaissance de latéralité puis l'imagerie motrice explicite et enfin l'utilisation de la boîte miroir pour finir sur le mouvement réellement exécuté (Figure 9).

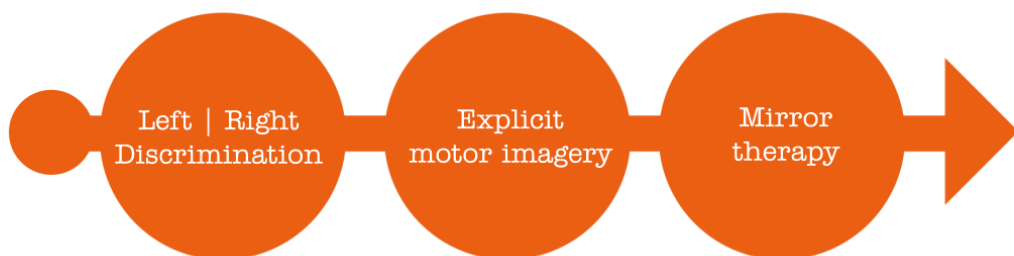


Figure 9 : les différents stades du programme d'Imagerie Motrice Graduée
 [Reproduit de Moseley, Butler, Beames et Giles. (2012). *The Graded Motor Imagery Handbook* (1st éd.). Noigroup Publications, Copyright 2013]

Dans une revue systématique et méta-analyse, Bowering et ses collaborateurs (2013) évaluent l'effet isolé de la Rotation Mentale dans le cadre d'un programme d'imagerie motrice graduée. Les deux études retenues ne montrent pas d'effet positif spécifique. Nous devons cependant mettre ces résultats en perspective avec le cas clinique décrit par Moseley (2004). En effet, s'il existe une amélioration de la sensation douloureuse chez des patients douloureux chroniques bénéficiant d'un programme d'imagerie

motrice graduée (Moseley, 2004a, 2006; O'Connell et al., 2013), l'utilisation de l'imagerie motrice explicite sans rotation mentale préalable semble pouvoir majorer et pérenniser les douleurs (Moseley, 2004b). L'utilisation de la rotation mentale seule semble donc nécessiter des investigations supplémentaires.

Nous pouvons donc comprendre les intérêts et les inconvénients de l'Imagerie Motrice dans le cadre de la rééducation. D'abord l'imagerie motrice est peu chère, ne nécessite pas de matériel spécifique, permet d'autonomiser le patient et de lui donner une liberté dans sa rééducation sans prise de risque. Par contre, la pratique en imagerie motrice nécessite une adhésion et une formation spécifique du patient comme du thérapeute. En outre, il est difficile de contrôler ce que le patient fait réellement.

Peu d'effets indésirables ont été retrouvés dans la littérature. Certains auteurs rapportent toutefois qu'une mauvaise utilisation de l'imagerie motrice graduée engendrerait une majoration et une pérennisation des douleurs ou des difficultés dans le processus d'acceptation d'un segment corporel amputé. Il semble aussi utile de finir par une PP lors d'une pratique en IM explicite afin de replacer le patient dans sa réalité physique et éviter une potentielle mise en danger.

L'imagerie motrice nécessite une évaluation clinique rigoureuse pour adapter le programme aux possibilités, qualité d'imagerie et préférences des patients. De même, le programme proposé doit suivre les recommandations de bonnes pratiques. Si l'imagerie motrice implicite ne semble pas efficace seule dans un programme de rééducation, il semble qu'il existe un intérêt clinique de la pratique en imagerie motrice explicite dans un objectif de rééducation d'une fonction motrice

Chapitre 3 : Objectifs de ce travail

Nous allons maintenant développer les différents questionnements qui ont amené à ce travail. L'objectif, essentiellement clinique, nous a amenés à nous poser des questions sur l'amélioration des pratiques.

➤ **L'imagerie motrice, quelles évolutions dans le temps ?**

A l'époque où ce travail de thèse a commencé, l'article de synthèse de référence (Malouin & Richards, 2010) conseillait de faire attention à l'heure d'évaluation car elle pouvait influencer la durée d'une tâche de marche imaginée. Après recherche de l'article princeps, nous avons constaté que les auteurs s'intéressaient à une population jeune et saine (Gueugneau et al., 2009). Les auteurs ont évalué la durée de deux tâches (écriture et marche) exécutées physiquement et mentalement. Ils constataient une modulation circadienne des durées d'exécution et de simulation, ainsi que de l'isochronie entre ces mouvements. Cette isochronie était meilleure de 14h à 20h. Ils concluaient sur l'importance de prendre ce paramètre dans la planification d'un programme de rééducation et conseillaient l'évaluation d'autres populations sur ce même sujet. L'impression lors de ma pratique auprès de seniors hospitalisés orientait vers une meilleure participation le matin. Cette impression a été confortée par la confirmation d'une évolution différente au cours de la journée des processus cognitifs entre les sujets jeunes et seniors (Schmidt, Collette, Cajochen, & Peigneux, 2007), étude qui ne rapportait cependant aucune information au sujet de l'imagerie motrice. Il nous a donc semblé important d'explorer l'effet du moment de la journée sur les capacités d'imagerie motrice explicite chez les seniors. Considérant l'importance des capacités d'imagerie sur l'apprentissage par simulation mentale, dans un second temps, les variations des capacités d'imagerie au cours de la journée observées dans la première étude nous ont conduits à interroger leur répercussion en termes d'efficacité des apprentissages moteurs via une pratique en imagerie motrice explicite (matin versus après-midi) réalisée auprès de sujets jeunes et seniors. Pour finir, et en transition avec la partie suivante, l'examen du moment de la journée sur les performances d'une tâche sollicitant les processus d'imagerie motrice implicite (e.g. rotation mentale de stimuli corporels) a alimenté une nouvelle étude. Ce travail original sur les effets du moment de la journée et de l'âge sur les processus d'imagerie motrice (explicite et implicite) et sur l'efficacité d'un apprentissage en pratique imaginée fait l'objet du chapitre 4 de la partie expérimentale.

➤ **La rotation mentale peut-elle être utile dans l'évaluation clinique d'un programme de rééducation ?**

La rotation mentale de stimuli corporels permet d'évaluer l'intégrité du système sensorimoteur (Ionta, Fourkas, Fiorio, & Aglioti, 2007; Moseley, 2004b, 2004c; Toussaint & Meugnot, 2013). Connue pour évaluer les effets de perturbations sensorimotrices (douleurs, immobilisation, troubles de la coordination ; Coslett, Medina, Klot, & Burkey, 2010; Meugnot et al., 2014; Toussaint & Meugnot, 2013; Wilson et al., 2004) sur le fonctionnement du système sensorimoteur, son utilisation nous semblait particulièrement attrayante pour évaluer l'impact des techniques de rééducation couramment utilisées par le kinésithérapeute. Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi d'évaluer les conséquences sensorimotrices du massage à partir d'une tâche d'imagerie motrice implicite, ce point particulier étant actuellement peu investigué (Rulleau, Rivette, & Toussaint, 2017). Les résultats de cette expérience nous ont amenés à réfléchir sur des modifications possibles à apporter au test de rotation mentale de stimuli corporels, notamment lorsque les stimuli impliquent les membres inférieurs (images de pieds), pour que ce test puisse rendre compte plus finement de l'évolution des processus sensorimoteurs, élément important lorsqu'on souhaite évaluer les effets d'une pratique de rééducation par exemple. Afin d'introduire un test nouveau en pratique clinique, il est nécessaire d'en étudier les propriétés (Piette, 2016). Notre travail a consisté, dans un premier temps, à évaluer les effets de l'âge sur un test de reconnaissance de latéralité des membres supérieurs au cours duquel était manipulée la précision des prises manuelles des stimuli corporels illustrés (effet de Complexité Motrice). Ensuite, nous avons étudié la faisabilité d'un test de latéralité sollicitant les membres inférieurs. A ce niveau également, l'effet de Complexité Motrice associé aux stimuli corporels à identifier et l'âge des participants ont été pris en compte. L'ensemble de ce travail fait l'objet du chapitre 5.

Partie expérimentale

Chapitre 4 : L'imagerie motrice, quelles évolutions dans le temps ?

La chronobiologie est l'étude des variations périodiques des phénomènes biologiques. Ces variations peuvent avoir lieu sur un jour, un mois, un an ou même sur toute la vie (Cugini, 1993).

1. Influence du rythme circadien sur les caractéristiques temporelles de

l'imagerie motrice explicite chez des patients âgés hospitalisés - Expérience 1

L'imagerie motrice explicite est une technique qui repose sur la simulation mentale du mouvement visant à activer des structures cérébrales identiques à celles activées lors d'un mouvement physique (Jeannerod, 2001). L'isochronie, qui caractérise la congruence temporelle entre mouvement exécuté et mouvement imaginé, permet d'évaluer les capacités d'imagerie motrice des individus. De bonnes capacités sont nécessaires pour optimiser une rééducation basée sur la simulation mentale des actions (Guillot et al., 2012; Malouin et al., 2013).

Chez les sujets jeunes sains, les capacités d'imagerie motrice évoluent au cours de la journée, la congruence temporelle entre les mouvements exécutés et imaginés étant plus forte l'après-midi (Gueugneau et al., 2009). L'avancée en âge est connue pour diminuer les capacités d'imagerie motrice (Saimpont et al., 2013), mais aussi pour affecter les capacités cognitives en général, dont les performances apparaissent alors comme étant meilleures le matin (Schmidt, Collette, Cajochen, & Peigneux, 2007). Or, à ce jour, aucune étude n'a examiné l'évolution au cours de la journée des capacités d'imagerie motrice des seniors, cette connaissance étant pourtant nécessaire à l'optimisation des programmes de réhabilitation basés sur la simulation mentale. L'objectif de cette étude est d'évaluer la rythmicité circadienne de la congruence temporelle entre mouvements exécutés et mouvements imaginés chez des patients âgés hospitalisés.



ORIGINAL RESEARCH

Influence of Circadian Rhythms on the Temporal Features of Motor Imagery for Older Adult Inpatients



Thomas Rulleau, MSc,^{a,b} Benoit Mauvieux, PhD,^c Lucette Toussaint, PhD^a

From the ^aResearch Center on Cognition and Learning, University of Poitiers, Poitiers; ^bHospital Loire-Vendée-Océan, Challans; and ^cLaboratory Mobilities: Attention, Orientation and Chronobiology, University of Caen, Caen, France.

Abstract

Objective: To examine the circadian modulation on motor imagery quality for older adult inpatients to determine the best time of day to use motor imagery in rehabilitation activities.

Design: Time series posttest only.

Setting: Inpatient rehabilitation center.

Participants: Participants included older adult inpatients (N=34) who were hospitalized for diverse geriatric or neurogeriatric reasons. They were able to sit without assistance, manipulate objects, and walk 10m in <30 seconds without technical help or with a walking stick.

Intervention: None.

Main Outcome Measures: The executed and imagined durations of writing and walking movements were recorded 7 times a day (9:15 AM–4:45 PM), at times compatible with the hours of rehabilitation activities. Motor imagery quality was evaluated by computing the isochrony index (ie, absolute difference between the average duration of executed and imagined actions) for each trial and each inpatient. The cosinor method was used to analyze the time series for circadian rhythmicity.

Results: Imagined movements duration and isochrony index exhibited circadian modulations, whereas no such rhythmic changes appeared for executed movements. Motor imagery quality was better late in the morning, at approximately 10:18 AM and 12:10 PM for writing and walking, respectively.

Conclusions: Cognitive and sensorimotor aspects of motor behaviors differed among the older adults. The temporal features of motor imagery showed a clear circadian variation. From a practical perspective, this study offers information on an effective schedule for motor imagery in rehabilitation activities with older adult inpatients.

Archives of Physical Medicine and Rehabilitation 2015;96:1229-34

© 2015 by the American Congress of Rehabilitation Medicine

Motor imagery practice is described by cognitive neuroscientists as the mental rehearsal of voluntary motor acts without any overt motor output.¹ Many experimental studies have shown its usefulness in motor learning and rehabilitation.²⁻⁴ The beneficial effect of motor imagery on motor performance can be explained by simulation theory, which posits that imagined and executed actions share common mechanisms⁵ and result in similar structural and functional effects. However, motor imagery interventions are not always successful for patients or healthy subjects.^{6,7} The efficiency of motor imagery may vary depending on several factors, including motor imagery quality, motor imagery modality, sex, and age.⁸ In the present experiment, we specifically examined

circadian modulation on motor imagery quality in a geriatric hospitalized population to determine the best time of day to use motor imagery in rehabilitation activities.

In motor learning and rehabilitation programs, motor imagery practice relies on the subjects' ability to generate motor images.⁹⁻¹⁴ Motor imagery questionnaires¹⁵⁻¹⁷ and mental chronometry¹⁸⁻²⁰ have been used to assess motor imagery ability. Motor imagery questionnaires provide information about the vividness of motor imagery, whereas mental chronometry provides information about the temporal coupling between executed and simulated actions (ie, isochrony principle). Some experiments have shown that the temporal congruence between overt and covert actions can vary throughout the day for young healthy participants. Gueugneau et al²¹ were the first to question the possible circadian modulation of imagined actions that

Disclosures: none.

engaged different parts of the body (eg, upper and lower limbs). For both writing and walking tasks (8m), those authors reported similar rhythmic changes within a period of 24 hours for the duration of executed and simulated actions and for the isochrony principle. They observed that the ability to form accurate motor images is higher in the afternoon (2:00 PM–8:00 PM) than in the morning (8:00 AM–11:00 AM) or evening (11:00 PM). The influence of both task constraints (duration, complexity) and circadian modulations on isochrony between overt and covert actions has been examined for simple (8m), complex (7m slalom with 25kg), short (2m), and long (40m) walking tasks.²² For the complex, short, and long walking tasks, no influence of circadian modulation was detected. By contrast, circadian modulation influences isochrony between the executed and simulated actions for the simple walking task; participants' imagery quality was higher between 2:00 PM and 8:00 PM, as observed for writing and walking.²¹ These data suggested that circadian modulation on motor imagery is not systematic but task-related; however, this aspect has not always been reported. Task difficulty did not actually modify circadian modulation for arm pointing movements,²³ with higher temporal equivalence between executed and imagined arm movements in the afternoon. Overall, these studies emphasized that motor imagery quality was not constant throughout the day; however, questions remain regarding the importance of task difficulty in these circadian modulations. This time-of-day effect on motor action simulation should be considered when scheduling motor imagery practice during motor learning or rehabilitation sessions. However, if task constraints prevail over that of circadian modulation in some circumstances, this means that the daily schedule of motor imagery practice may not be generalizable. The fluctuations in motor imagery quality throughout the day for older hospitalized adults remain an important and unresolved issue in rehabilitation science. This question is all the more important because a task that is simple for young adults may be more complicated for older adults.

The effect of age on circadian rhythms has been highlighted in the literature for a wide range of cognitive tasks measuring memory, attentional capacities, and executive functioning.²⁴ Many studies assessing cognitive aging have shown that performance of the older adults deteriorates throughout the day, whereas it improves for younger adults.^{25,26} The general pattern that emerges is that time-of-day modulation in cognitive abilities revealed higher accuracy in the early afternoon and lower accuracy in the morning for young adults. By contrast, time-of-day accuracy in older adults tends to be in the morning. However, there is a more complex picture than a mere morning advantage regarding the cognitive abilities of older adults. There is some evidence that aging is associated with a reduction in the amplitude of circadian modulation on cognitive abilities^{27,28} and nonoptimal time of day.²⁶

To our knowledge, no study to date has investigated the effects of circadian modulation on motor imagery quality in a geriatric hospitalized population engaged in a daily program of rehabilitation activities. The use of motor imagery to help reduce the impact of age-related sensorimotor impairment is justified by behavioral and neuroimaging studies.²⁹ Psychophysiological data revealed that motor imagery quality is relatively preserved with aging for a wide range of movements, except for constrained movements (eg, fast and accurate arm displacements between

small targets).³⁰ Neuroimaging data confirmed engagement of the motor network during simulation of actions in older adults.²⁹ Although temporal congruence between executed and simulated actions has been shown to be equivalent in younger and older adults for unconstrained and usual movements,^{31,32} the importance of circadian modulation on motor imagery efficiency for older adult inpatients in rehabilitation programs remains to be examined. It may be that results reported for young adults are not applicable to older inpatients^{21–23} in light of the finding that cognitive abilities in older adults decline from morning to afternoon, whereas the reverse phenomenon appears true for younger adults. Therefore, the aim of the present study was to examine possible changes in motor imagery quality for older adult inpatients throughout the day to effectively schedule motor imagery practice in their rehabilitation activities.

Methods

Participants

Thirty-four right-handed older adult inpatients voluntarily participated (mean age, 80.2±6.7y; 16 men). They were hospitalized for diverse geriatric or neurogeriatric reasons (eg, cerebral ischemic accident, asthenia, general state alteration, fall, chronic obstructive pulmonary disease, depression, chondrocalcinosis, knee hemarthrosis). All inpatients were able to sit without assistance, manipulate objects, and walk 10m in <30 seconds without technical help or with a walking stick. Inpatients were excluded from participation if they had nonstabilized infections or clinical evaluations incompatible with the protocol (eg, uncorrected optical problems, severe dementia, psychiatric condition). All inpatients gave informed written consent for their participation in the study, and the protocol was approved by the ethics committee of the rehabilitation center where the experiment took place.

The Edinburgh Handedness Inventory³¹ was used to evaluate patients' laterality (mean, .90±.15). The short version of the Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire¹⁷ was used to ensure that all patients were able to simulate movements. The test measures the clarity of visual and kinesthetic images of movements from the first perspective with a 5-point scale (maximum score of 25 for each modality). Patients' scores indicated good visual (18.24±3.95) and kinesthetic (16.21±4.57) imagery abilities. Because all patients were hospitalized, the schedule allowed for similar diurnal activity and nocturnal rest. The experiment took place in a quiet room with a constant ambient temperature (22°C±1°C).

Tasks and materials

Participants performed 2 tasks: a writing task and a walking task.²¹ During the writing task the participants were seated in a comfortable chair in front of a table. They were asked to write or imagine writing the French words "simulation mentale" on a sheet of paper in a natural self-selected speed. In both cases the patients performed the task with their eyes open and the pen held above the paper. The only difference was that no writing movement was made when patients imagined writing. During the walking task the patients stood upright before walking at a natural self-selected speed along a straight path of 10m. For the imagined walking task the patients were allowed to sit to avoid becoming tired.

For both tasks, the duration of executed and imagined movements was recorded with an electronic stopwatch²¹ (Geonate

List of abbreviations:

ANOVA analysis of variance

ONstart 100[®]; temporal resolution, 1ms). The experimenter triggered the stopwatch and stopped it when the patient indicated verbally (saying stop) that he/she began and finished the executed or imagined action.

Experimental procedure

Each inpatient successively performed the writing and walking tasks 7 times a day, at times compatible with the hours of rehabilitation activities. Evaluation sessions (approximately 20min a session) took place every 1 hour and 15 minutes from 9:15 AM to 4:45 PM (9:15 AM, 10:30 AM, 11:45 AM, 1:00 PM, 2:15 PM, 3:30 PM, 4:45 PM). The sessions began 10 minutes before and ended 10 minutes after the reference hours.

During each session, each patient performed 4 executed and 4 imagined trials for the writing task and 3 executed and 3 imagined trials for the walking task. During the imagined trials, participants were encouraged to feel themselves performing the tasks (kinesthetic imagery).

On the day before the evaluation sessions, patients performed 2 executed and 2 imagined trials for each task.

Data analysis

For each patient, we first computed the average duration of executed and imagined actions for both writing and walking in each experimental session. We examined motor imagery quality by computing the isochrony index (ie, absolute difference between the average duration of executed and imagined actions) for each trial. An isochrony index value close to zero indicates good imagery ability. We performed analyses of variance (ANOVAs), for writing and walking separately, on the action duration with practice (executed vs imagined) and time of day (9:15 AM–4:45 PM) as the within-subjects factors. Similar analyses were carried out on the coefficients of variation (ie, SD divided by the average duration and multiplied by 100), that represent the temporal variability of executed and imagined movements. We also performed ANOVAs on the isochrony index with time of day (9:15 AM–4:45 PM) as the within-subject factor. The *t* tests were used to examine whether the isochrony index significantly differed from zero. We checked that all variables were normally distributed (using the Kolmogorov-Smirnov test) before performing the ANOVAs. For all of the ANOVAs, we carried out post hoc comparisons using the Duncan test. The alpha value was set at .05.

We also detected and quantified circadian rhythms for executed and imagined actions and for the isochrony index. We analyzed time series for circadian rhythmicity by the cosinor method (with a predefined period of 24h; similar procedures have been previously discussed^{21,22}). For a statistically validated rhythm ($P < .05$), we estimated the following parameters: the midline estimating statistic of rhythm (ie, rhythm-adjusted mean), acrophase (ie, time of the maximum level in the circadian modulation), batyphase (ie, time of the lowest point), and amplitude (ie, half the extent of the rhythmic change).

Results

For writing (fig 1A), the ANOVA performed on the action duration revealed only a main effect of practice ($F_{1,33} = 48.01$; $P = .0001$; partial $\eta^2 = .57$), with the duration of action lower for imagined writing (9.37 ± 4.81 s) than for executed writing (14.12 ± 4.33 s). For walking (fig 1B), the ANOVA revealed a main effect of time of day ($F_{6,198} = 4.19$; $P = .001$; partial $\eta^2 = .11$) and a significant

practice \times time of day interaction ($F_{6,198} = 2.29$; $P < .04$; partial $\eta^2 = .06$). Post hoc comparisons revealed that the action durations were not significantly different at 9:15 AM, 10:30 AM, 11:45 AM, 1:00 PM, and 2:15 PM (P values $> .81$) between the executed and imagined walking, whereas they were significantly lower at 3:30 PM and 4:45 PM for the imagined compared with the executed walking (P values $< .02$).

The ANOVAs performed on the coefficients of variation revealed a significant effect of practice for the writing task ($F_{1,33} = 16.55$; $P < .0001$, partial $\eta^2 = .33$) and walking task ($F_{1,33} = 27.45$; $P < .0001$; partial $\eta^2 = .45$). For both tasks, the coefficients of variation were higher for the imagined (writing: 11.56 ± 7.32 ; walking: 9.23 ± 7.83) than for the executed movement durations (writing: 7.69 ± 4.26 ; walking: 4.79 ± 2.67). No significant effect of time of day (P values $> .18$) and no practice \times time of day interaction (P values $> .37$) appeared for either task.

The ANOVAs performed on the isochrony index (fig 1C) revealed that imagery quality significantly changed as a function of time of day ($F_{6,198} = 2.9$; $P < .01$; partial $\eta^2 = 0.8$) for writing. Post hoc comparisons showed that the isochrony indexes were significantly lower at 10:30 AM and 11:45 AM than at the other times. For walking, no significant changes over the day appeared ($F_{6,198} = .95$; $P = .46$); however, the graphic representation of the isochrony index looks similar for both tasks.

Cosinor analyses (fig 2) revealed that circadian rhythms were detected only in the imagined durations and isochrony indexes for both the writing and walking tasks (population mean cosinor analysis, P values $< .01$). Table 1 illustrates the average values of the parameters of the circadian rhythms. The batyphase values confirmed that the ability to achieve motor imagery (ie, isochrony index) was greater in late morning than in the afternoon for both writing and walking.

Discussion

The aim of the present experiment was to examine the influence of circadian modulations on motor imagery quality for older adult inpatients. This specific point appears important to help physiotherapists and occupational therapists to determine the best time of day to schedule motor imagery in rehabilitation programs. Therefore, we specifically examined whether imagined and executed movement durations and the isochrony index varied throughout the day for both writing and walking tasks.

Effect of time of day on imagined and executed movements

Our results showed that imagined movements for older adult inpatients exhibited circadian modulations within a period of 24 hours for both writing and walking, whereas no such rhythmic changes appeared for executed movements (see cosinor analyses in the Results section of this paper). The lowest values for the imagined writing and walking durations appeared late in the morning, at approximately 10:00 AM and 12:00 M. These results differ on 2 points with studies reported in the literature with healthy young adults. First, the durations of both the executed and imagined movements were modulated by the circadian pattern; second, the shorter movement durations appeared in the afternoon (2:00 PM–8:00 PM). These results, which were typical of the performance of young adults, were recorded for writing and walking²¹ and pointing.²³ In these studies, movements exhibited similar rhythmic changes within a 24-hour period, whether they were imagined or executed. By contrast, the

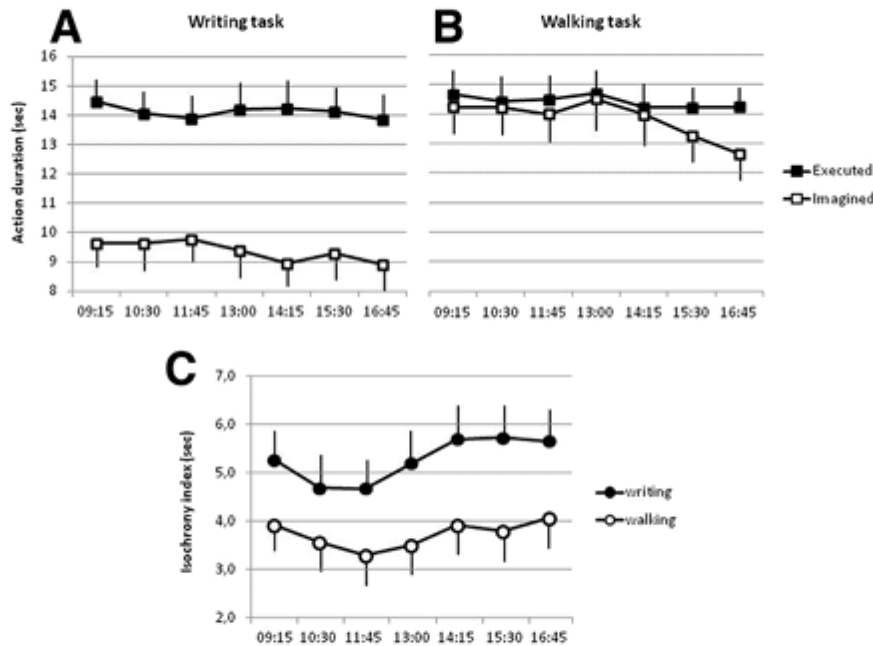


Fig 1 Action duration (s) for writing (A) and walking (B) as a function of time of day and practice (executed vs imagined). Isochrony index (s) for writing and walking (C) as a function of time of day and practice. Error bars indicate the SEM.

dissimilar effects of time of day on executed and imagined movements recorded in our experiment suggest that cognitive and sensorimotor aspects of motor behaviors are different for older adult inpatients. Indeed, the results suggest a relative independence of the cognitive (ie, imagined actions) and sensorimotor processes (ie, executed action) for our participants

because the daily variations were observed only for cognitive processes. The age-related dissociation between executed and imagined action has been previously reported in the literature with regard to the integration of the movement constraints.^{29,31} The authors suggested that a possible explanation could be that older adults rely more on online feedback mechanisms during

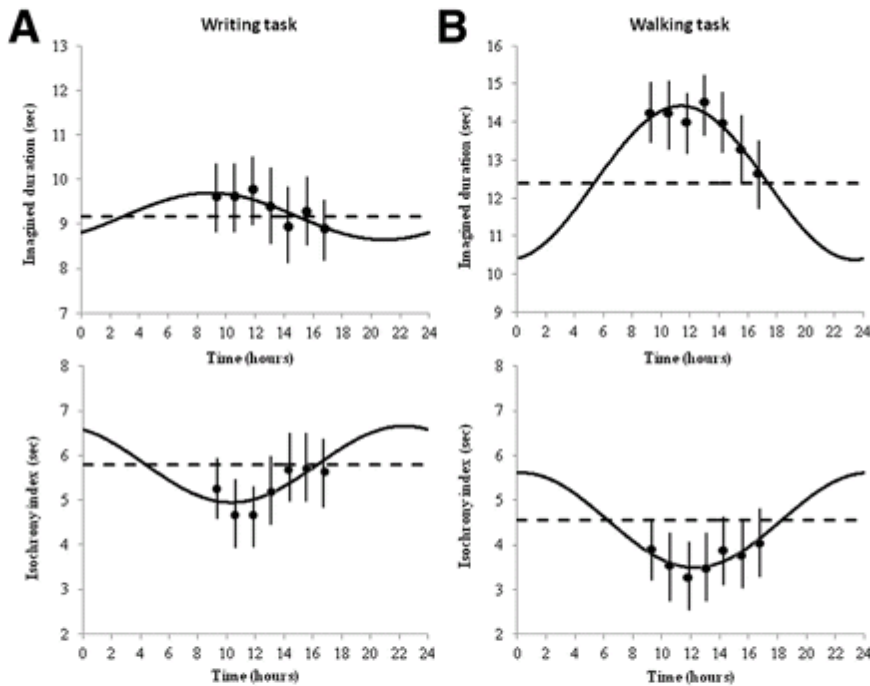


Fig 2 Average and SEM for imagined duration (s) and isochrony index (s) for writing (A) and walking (B) as a function of time of day. The best-fitted cosine curves are depicted. The dashed line shows the average value of the midline estimating statistic of rhythm for each variable.

Table 1 Characteristics of the circadian rhythms for the writing and walking tasks

Task	Measures	Mesor	Amplitude	Batypase*
Writing	Imagined duration	9.17	1.05	20:43
	Isochrony index	5.80	1.71	10:18
Walking	Imagined duration	12.40	4.04	23:24
	Isochrony index	4.55	2.12	12:10

Abbreviation: Mesor, midline estimating statistic of rhythm.

* Time of day.

movement execution (mechanisms absent during motor imagery) than younger adults.

The stability of the sensorimotor processes throughout the day suggested that the time of day is not a factor that must be rigorously taken into account in scheduling physical exercises with geriatric patients. Consistency of motor performance over the day might suggest that sensorimotor processes are more dependent on the task constraints than on the time of day. It might be possible that because of motor difficulties, physical activity becomes less flexible with advancing age and therefore is less sensitive to circadian modulations. Similar conclusions have been made for young participants²² when the effect of circadian rhythms was not systematic and disappeared as the complexity of the motor task increased. In summary, the present experiment might suggest that, for older adult inpatients, the constraints of the motor task have a stronger effect on the sensorimotor aspects of motor behaviors than circadian modulation, whereas the cognitive processes underlying imagined actions are continuously updated throughout the day, with the highest values late in the morning. However, the effect of the constraints of the task on circadian modulation for motor performance of older adults remains to be documented.

Effect of time of day on motor imagery quality

An interesting finding in the present experiment concerns the circadian modulations of motor imagery quality. The isochrony index was used to evaluate whether the motor predictions for the writing and walking tasks were accurate. For isochrony, a lower value indicates higher motor imagery quality (ie, good motor predictions, internal simulations). The isochrony index showed a clear diurnal variation for both writing and walking with batypase values at approximately 10:00 AM and 12:00 M (10:18 AM and 12:10 PM for writing and walking, respectively). Compared with the literature on healthy young adults, the results of the present experiment indicate that the cognitive processes implied in motor imagery differ between young adults and older adult inpatients. We showed that, for older adult inpatients, motor imagery quality was better late in the morning. These results are concordant with studies on cognitive ageing that have shown cognitive performance deteriorates throughout the day for older adults,²⁴⁻²⁶ whereas it improves for young adults. The similarities between the circadian modulation for healthy older adults' cognitive abilities and older adult inpatients' motor imagery quality may suggest that age more than diseases affects the circadian rhythms of motor imagery reported in the present experiment. This specific point requires that other studies be performed in the future.

From a practical perspective, the results of the present experiment suggest that when people are engaged in a daily program of

rehabilitation activities, the practitioner must propose a motor imagery practice late in the morning for older adults, whereas the afternoon is a more appropriate period for young adults. However, in the present experiment, the high average values of the isochrony indexes for writing (5.27s) and walking (3.71s) (see fig 1C) may suggest that motor images are not very accurate in older adults. The temporal correspondence discrepancy between executed and imagined movements in older adults has been previously reported, especially for actions with high spatiotemporal constraints,^{29,32-35} which indicate impairment at the level of action planning that increases with advancing age. However, the action-planning deficit in older adults is strongly related to task requirements,³⁶ and there are no age-related alterations in motor imagery for the most familiar actions. This finding may explain why, in our experiment, the temporal discrepancy between executed and imagined actions (see fig 1A,B) and the isochrony indexes (see fig 1C) had more influence on writing than on walking. It may be possible that for older adult inpatients, the necessity to preserve their autonomy makes walking an important daily activity (and therefore a familiar activity), which is not especially the case for writing.

Study limitations

The high values of the isochrony indexes in the present experiment lead to the question of the applicability of motor imagery for older adult inpatients. Although there are few studies on this issue, motor imagery practice was recently found to benefit older adults with hemiparesis in sit to stand and reaching to grasp³⁷ and walking,³⁸ that is, for tasks in everyday life. To our knowledge, no study has examined the benefit of motor imagery practice on less familiar tasks for older adults. We believe that the present study offers information for clinical guidelines, especially on the best time of day to schedule motor imagery. However, other experiments should be conducted in the future to quantify the gains caused by motor imagery practice in rehabilitation activities with older adult inpatients as a function of their imagery quality and the characteristics of the task. It may be possible that many factors can modulate the improvement of performance after motor imagery practice for older adult hospitalized patients. These factors should be precisely identified to allow therapists to successfully integrate motor imagery in their rehabilitation sessions.

Conclusions

The influence of circadian modulation on motor imagery quality is important to help physiotherapists and occupational therapists to determine the best time of day to schedule motor imagery in rehabilitation programs. The present experiment shows that for older adult inpatients, motor imagery was better late in the morning. This finding suggests that when older adult inpatients are engaged in a daily program of rehabilitation activities, the practitioner must propose a motor imagery practice at approximately 10:00 AM and 12:00 M, rather than in the afternoon.

Supplier

a. ONstart 100; Geonaute.

Keywords

Aged; Imagery; Inpatients; Rehabilitation

Corresponding author

Lucette Toussaint, PhD, CeRCA, CNRS/UMR 7295, 5 rue Théodore Lefebvre, 86000 Poitiers, France. E-mail address: lucette.toussaint@univ-poitiers.fr.

References

- Jeannerod M. Mental imagery in the motor context. *Neuropsychologia* 1995;33:1419-32.
- Gatti R, Tettamanti A, Gough PM, Riboldi E, Marinoni L, Buccino G. Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: a short review of literature and a kinematics study. *Neurosci Lett* 2013;540:37-42.
- Malouin F, Richards CL. Mental practice for relearning locomotor skills. *Phys Ther* 2010;90:240-51.
- Zimmermann-Schlatter A, Schuster C, Puhon MA, Siekierka E, Steurer J. Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *J Neuroeng Rehabil* 2008;5:1-8.
- Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 2001;14:S103-9.
- Bovend'Eerd TJ, Dawes H, Sackley C, Izadi H, Wade DT. An integrated motor imagery program to improve functional task performance in neurorehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91:939-46.
- Ietswaart M, Johnston M, Dijkerman HC, et al. Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy. *Brain* 2011;134:1373-86.
- Holmes P, Calmels C. A neuroscientific review of imagery and observation use in sport. *J Mot Behav* 2008;40:433-45.
- Guillot A, Collet C. Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Res Brain Res Rev* 2005;50:387-97.
- Guillot A, Collet C, Nguyen VA, Malouin F, Richards C, Doyon J. Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. *Neuroimage* 2008;41:1471-83.
- Jackson PL, Lafleur MF, Malouin F, Richards C, Doyon J. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:1133-41.
- Robin N, Dominique L, Toussaint L, Blandin Y, Guillot A, Le Herr M. Effects of motor imagery training on returning serve accuracy in tennis: the role of imagery ability. *J Sport Exerc Psychol* 2007;30:200-21.
- Toussaint L, Blandin Y. Behavioral evidence for motor imagery ability on position sense improvement following motor imagery practice. *Movement & Sport Sciences* 2013;82:63-8.
- Williams J, Pearce AJ, Loporto M, Morris T, Holmes PS. The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behav Brain Res* 2012;226:369-75.
- Hall C, Pongrac J. Movement imagery questionnaire. London: Univ of Western Ontario; 1983.
- Isaac AR, Marks D, Russel D. An instrument for assessing imagery of movement: the Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ). *Journal of Mental Imagery* 1986;10:23-30.
- 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.
- Decety J, Michel F. Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain Cogn* 1989;11:87-97.
- Guillot A, Collet C. Duration of mentally simulated movement: a review. *J Mot Behav* 2005;37:10-20.
- 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.
- Gueugneau N, Mauvieux B, Papaxanthis C. Circadian modulation of mentally simulated motor actions: implications for the potential use of motor imagery in rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair* 2009;23:237-45.
- Debarnot U, Sahraoui D, Champely S, Collet C, Guillot A. Selective influence of circadian modulation and task characteristics on motor imagery time. *Res Q Exerc Sport* 2012;83:442-50.
- Gueugneau N, Papaxanthis C. Time-of-day effects on the internal simulation of motor actions: psychophysical evidence from pointing movements with the dominant and non-dominant arm. *Chronobiol Int* 2010;27:620-39.
- Schmidt C, Collette F, Cajochen C, Peigneux P. A time to think: circadian rhythms in human cognition. *Cogn Neuropsychol* 2007;24:755-89.
- Intons-Peterson MJ, Rocchi P, West T, McLellan K, Hackney A. Age, testing at preferred or non preferred times (testing optimality), and false memory. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 1999;25:23-40.
- May CP, Hasher L, Foong N. Implicit memory, age, and time of day: paradoxical priming effects. *Psychol Sci* 2005;16:96-100.
- Münch M, Knoblauch V, Blatter K, et al. Age-related attenuation of the evening circadian arousal signal in humans. *Neurobiol Aging* 2005;26:1307-19.
- Sagaspe P, Taillard J, Amiéva H, et al. Influence of age, circadian and homeostatic processes on inhibitory motor control: a Go/Nogo task study. *PLoS One* 2012;7:e39410.
- Saimpont A, Malouin F, Tousignant B, Jackson P. Motor imagery and aging. *J Mot Behav* 2012;45:21-8.
- Personnier P, Ballay Y, Papaxanthis C. Mentally representing motor actions in normal aging: III. Electromyographic features of imagined arm movements. *Behav Brain Res* 2010;206:184-91.
- Schott N, Munzert J. Temporal accuracy of motor imagery in older woman. *Int J Sport Psychol* 2007;38:304-20.
- Skoura X, Papaxanthis C, Vinter A, Pozzo T. Mentally represented motor actions in normal aging. I. Age effects on the temporal features of overt and covert execution of actions. *Behav Brain Res* 2005;165:229-39.
- Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* 1971;9:97-113.
- Paizus C, Skoura X, Personnier P, Papaxanthis C. Motor asymmetry attenuation in older adults during imagined arm movements. *Front Aging Neurosci* 2014;6:49.
- Personnier P, Kubicki A, Laroche D, Papaxanthis C. Temporal features of imagined locomotion in normal aging. *Neurosci Lett* 2010;476:146-9.
- Kalincinski M, Raab M. Task requirements and their effects on imagined walking in elderly. *Aging Clin Exp Res* 2014;26:387-93.
- Guttman A, Burstin A, Brown R, Bril S, Dickstein R. Motor imagery practice for improving sit to stand and reaching to grasp in individuals with poststroke hemiparesis. *Top Stroke Rehabil* 2012;19:306-19.
- Dickstein R, Deutsch JE, Yoeli Y, et al. Effects of integrated motor imagery practice on gait of individuals with chronic stroke: a half-cross-over randomized study. *Arch Phys Med Rehabil* 2013;94:2119-25.

En résumé :

L'objectif de cette étude était d'évaluer la rythmicité circadienne de la congruence temporelle entre mouvements exécutés et mouvements imaginés chez des patients âgés hospitalisés.

La valeur de l'indice d'isochronie est relativement élevée (≈ 4 sec) et la durée des mouvements imaginés des patients âgés hospitalisés varie au cours de la journée. Comme le montrent les changements de l'indice d'isochronie, la qualité de l'imagerie motrice est meilleure en fin de matinée, respectivement vers 10h et 12h pour l'écriture et la marche.

Les aspects cognitifs et sensori-moteurs des comportements moteurs diffèrent chez les patients âgés hospitalisés par rapport aux résultats rapportés chez les sujets jeunes sains. La qualité d'imagerie motrice atteint son maximum en fin de matinée chez nos patients. D'un point de vue pratique, la présente étude fournit deux types d'information. Tout d'abord, elle indique la nécessité d'évaluer les capacités individuelles d'imagerie au moment opportun, pour ne pas écarter la possibilité d'une pratique en imagerie motrice chez des patients considérés à tort comme étant de mauvais imageurs. Ensuite, elle suggère l'intérêt d'une prise en charge des patients âgés en fin de matinée lorsque la rééducation implique des séances d'imagerie motrice.

2. Effet du moment de la journée sur la pratique en imagerie motrice et la précision du sens de la position chez les sujets jeunes et âgés - Expérience 2

La pratique en imagerie motrice améliore le mouvement réel en activant les aires cérébrales impliquées dans le mouvement exécuté (Malouin et al., 2013; Malouin & Richards, 2010, 2013). Elle n'est cependant pas toujours efficace et différents facteurs pourraient expliquer ces résultats contradictoires. L'âge et le moment de la pratique affectent la qualité de l'imagerie motrice et pourraient être des facteurs explicatifs (Debarnot, Sahraoui, Champely, Collet, & Guillot, 2012; Gueugneau et al., 2009; Rulleau, Mauvieux, & Toussaint, 2015; Saimpont et al., 2013). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet du moment de la journée et de l'âge sur un programme de pratique en imagerie motrice explicite visant à améliorer le sens de la position. Cette information pourrait permettre une optimisation de la pratique clinique pour planifier une prise en charge plus efficiente au meilleur moment de la journée.

**DOES THE IMPROVEMENT OF POSITION SENSE FOLLOWING
MOTOR IMAGERY PRACTICE
VARY AS A FUNCTION OF AGE AND TIME-OF-DAY?**

Submitted in *Experimental Aging Research* (07/2017)

Thomas Rulleau^{a,b}, Nicolas Robin^c, Amira Abou-Dest^a, David Chesnet^d, Lucette Toussaint^a

^a Université de Poitiers; Université François-Rabelais de Tours; Centre National de la Recherche Scientifique; Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage (CeRCA, UMR 7295), France.

^b Unité de Recherche Clinique, Centre Hospitalier Départemental de La Roche sur Yon, France.

^c Université des Antilles; Laboratoire "Adaptation au Climat Tropical, Exercice & Santé" (EA 3596); Faculté des Sciences du Sport de Pointe-à-Pitre, France.

^d Maison des Sciences de l'Homme et de la Société (MSHS, USR 3565), Poitiers, France.

keywords. geriatric, motor imagery, position sense, time-of-day

Background/ Study Context: The effectiveness of motor imagery practice is known to depend on age and on the ability to form motor images. In the same individual, motor imagery quality changes during the day, being better late in the morning for older adults and in the afternoon for younger adults. Does this mean that motor imagery practice should be done at specific time of the day depending of the age of participants to maximize motor learning ?

Methods: To examine whether the effect of motor imagery practice varies as a function of time-of-day and age, we used an arm configuration reproduction task and measured position sense accuracy before and after 135 kinesthetic motor imagery trials. Younger and older participants were randomly assigned to either a morning or an afternoon session.

Results: Data showed that the accuracy for reproducing arm configurations improved following imagery practice regardless of time-of-day for both younger and older adults. Moreover, we observed that the position sense was less accurate in the afternoon than in the morning in older participants (before and after motor imagery practice), while performance did not change during the day in younger participants.

Conclusions: These results may have practical implications in motor learning and functional rehabilitation programs. They highlight the effectiveness of motor imagery practice for movement accuracy in both younger and older adults regardless of time-of-day. By contrast, they reveal that the assessment of position sense requires that the time-of-day be taken into account when practitioners want to report on the older patients' progress without making any mistakes.

Motor imagery practice is known to improve motor performance in healthy individuals and in patients with sensorimotor impairments (see Dickstein & Deutsch, 2007, for a review). This beneficial effect can be explained by the simulation theory, which posits that overt and covert actions share common mechanisms (Jeannerod, 2001). However, the effectiveness of motor imagery on performance improvement may depend on specific factors. The role of imagery modality (visual versus kinesthetic imagery), which is mediated by various neural substrates (Guillot et al., 2009), has been shown in some experiments. For example, visual imagery was more suitable for the improvement of postural stability (Grangeon, Guillot, & Collet, 2011) and for learning open motor skills (White & Hardy, 1995), whereas kinesthetic imagery was more appropriate for learning open motor skills (White & Hardy, 1995) and tasks involving accurate hand performance (Kim & Chung, 1998). The impact of previous sensory-specific experience in the choice of a visual or kinesthetic imagery practice was emphasized by Toussaint and collaborators (Toussaint & Blandin, 2010; Toussaint, Robin, & Blandin, 2010). In a simple body configuration reproduction task, these authors showed that kinesthetic imagery practice led to optimal accuracy improvements when the task was performed only with kinesthetic information (i.e., with the eyes closed) before motor imagery practice. In contrast, when participants could see the movements they physically experienced during the task, visual imagery practice led to optimal movement accuracy.

The individual's imagery ability is another factor that can play a specific role in performance improvement following motor imagery. Imagery abilities can be assessed by means of self-report questionnaires (the Vividness of Movement Imagery Questionnaire or VMIQ; Isaac, Marks, & Russell, 1986; the Movement Imagery Questionnaire or MIQ; Hall & Pongrac, 1983; The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire or KVIQ; Malouin et al., 2007). Overall, performance improvement was

higher for participants reporting good imagery abilities in tasks such as balance (Ryan & Simons, 1982), movement sequences (Hall, Buckolz, & Fishburne, 1989; Guillot et al., 2009), and body configuration reproduction (Toussaint & Blandin, 2013), as well as in the domain of sports (Isaac, 1992; Robin, Dominique, Toussaint, Blandin, & Guillot, 2007) and in cognitive tasks (Robin, Coudevylle, Hue, Toussaint, & Sinnapah, in press). These behavioral findings are supported by neuroimaging studies that showed a strong relationship between motor imagery ability and neural activation during mental simulation of action (Fourkas, Bonavolontà, Avenanti, & Aglioti, 2008; Guillot et al., 2008; Williams, Pearce, Loporto, Morris, & Holmes, 2012).

Note however that imagery ability may vary with age. Studies using self-reported imagery questionnaires showed that the dominance of visual motor imagery over kinesthetic motor imagery observed in younger participants disappeared in the older participants (Malouin, Richards, & Durand, 2010). Moreover, the ability to form internal first-person imagery has been shown to decline with age, whereas age appeared to have no effect on external third-person imagery (Mulder, Hochstenbach, Van Heuvelen, & Den Otter, 2007; Saimpont, Malouin, Tousignant, & Jackson, 2012). Chronometric studies, which give information on motor imagery ability, highlighted the temporal congruence between overt and covert actions in younger and older adults for unconstrained movements (Personnier, Paizis, Ballay, & Papaxanthis, 2008; Skoura, Papaxanthis, Vinter, & Pozzo, 2005; Schott & Munzert, 2007). However, for movement constrained by speed and/or precision requirements (Personnier, Ballay, & Papaxanthis, 2010; Personnier, Kubicki, Laroche, & Papaxanthis, 2010; Schott, & Munzert, 2007; Skoura et al., 2005) or by the addition of weights on the effectors (Personnier et al., 2008), temporal congruence was altered with aging. Overall, these results showed that

the ability of older people to form motor imagery can be preserved, except when the constraints of the task are too large compared to usual daily movements.

Recently, some authors have also shown that motor imagery ability may vary as a function of the time-of-day and age of participants. Gueugneau, Mauvieux and Papaxanthis (2009) reported that the ability to form accurate motor images when engaging different body parts (i.e., upper and lower limb) is higher in the afternoon (between 2:00 PM and 8:00 PM) than in the morning or the evening for younger adults. However, the circadian modulation of motor imagery ability appears to be task-dependent (Debarnot, Sahraoui, Champely, Collet, & Guillot, 2012), with time-of-day modulations for simple tasks (walking on 2 meters) but not for complex ones (7 meter slalom with 25 kg, walking on 40 meters). Moreover, the time-of-day effect on motor action simulation varied as a function of age. Rulleau, Mauvieux and Toussaint (2015) showed that motor imagery quality for older adults was better late in the morning (between 10:00 AM and 12:00 AM). Their results were in agreement with other experiments on cognitive aging, which show that cognitive performance (i.e., memory, attention, executive functions) deteriorates throughout the day for older adults, whereas it improves for younger adults (Schmidt, Collette, Cajochen, & Peigneux, 2007).

As previously reported, motor imagery practice may vary as a function of various factors. However, to our knowledge, no study to date has investigated the effects of time-of-day on motor imagery practice in both younger and older individuals. The purpose of the present experiment is thus to examine whether improvements in arm configuration reproduction (i.e., the sense of position) following kinesthetic motor imagery practice may vary as a function of time-of day and age of the participants (younger versus older). It seems reasonable to assume that if circadian modulations of motor imagery play a role in motor imagery practice, then performance improvements

will be more effective when practice occurs in the morning for older participants and in the afternoon for younger participants.

METHOD

Participants

Forty-four younger (mean age 19.4 ± 2.0 years; 25 men) and thirty-two older (mean age 73.1 ± 4.6 years, 18 men) adults voluntarily came in our laboratory. All participants self-declared as right-handed, healthy and without history of past or present nervous or muscular disorders. The local ethics committee approved the study protocol. The experiment was noninvasive and was performed in accordance with the ethical standards established by the Declaration of Helsinki. All participants provided their written informed consent prior to their inclusion in the experiment. They were naive to the aim of the experiment before testing.

All participants completed the Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ, Isaac et al., 1986). The VMIQ was used to measure the vividness of images of movement from an external or third-person perspective (24 items; imagine watching somebody else performing the movements) and from an internal or first-person perspective (24 items; imagine oneself performing the movements). For both imagery perspectives, participants were instructed to rate the vividness of their image on a 5-point Likert-type scale (from 1 point for "perfectly clear and vivid" to 5 points for "no image at all"). Therefore, high scores represented low vividness of movement imagery, with the reverse being true for low scores. Mean VMIQ scores are illustrated in Table 1. ANOVAs on both external and internal imagery scores did not show any effect of age

(younger vs. older; $p > .43$) or session (morning vs. afternoon; $p > .82$) or age x session interaction ($p > .72$).

		VMIQ	
		External	Internal
Younger	Morning	44.7	48.9
	Afternoon	46.2	49.4
Older	Morning	50.3	46.9
	Afternoon	48.3	48.6

Apparatus and task

Participants were seated comfortably on a chair with their left arm on a table. We opted to use the non-dominant left arm to optimize learning and decrease the probability of a ceiling effect. A goniometer, equipped with a potentiometer (Sfernice, 5 k Ω 0127, resolution = $.07^\circ$) that was connected to a computer, was applied to the left arm of each participant so that the axis of rotation of the goniometer corresponded to the rotation axis of the joint of the left elbow. The values recorded when the hand and the elbow of the participants were on the table were used as the reference value (0°) and corresponded to the resting position for a specific experimental phase (see Figure 1a).

Each trial was divided into two successive phases: an encoding phase followed by a recall phase (see Toussaint et al., 2010; Toussaint & Blandin, 2010, 2013; for a similar procedure). During the encoding phase, participants were asked to actively flex their arm to reach one of the three angular positions chosen in the present experiment (15° , 30° or 45°). The experimenter manually stopped the participants' arm when the goniometer indicated that the target position was reached. This position was maintained for 2 seconds before the experimenter invited the participants to put their arm back into the resting position. In the recall phase, participants had to reproduce at their own pace and as accurately as possible the position previously encoded (see Figure 1b).

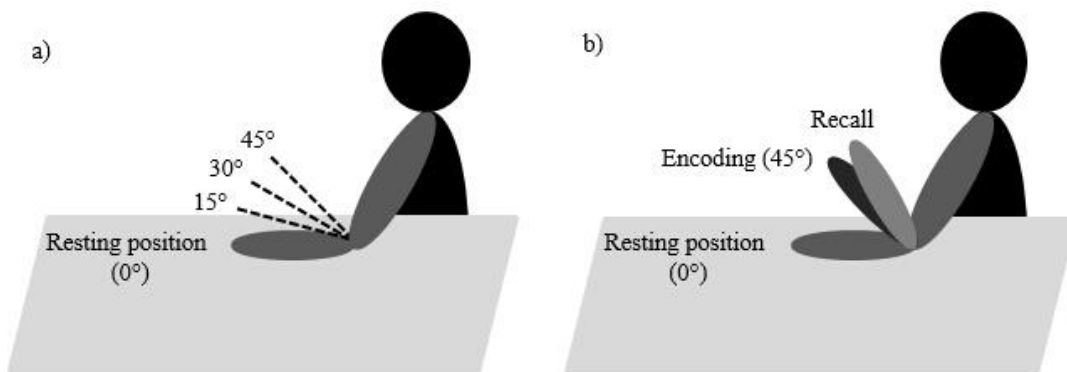


Figure 1. a) Illustration of the resting position (125°) and of the 3 positions (15° , 30° , 45°) used in the present experiment. b) Illustration of the successive encoding and recall position for a trial corresponding to the 45° position.

Experimental procedure

Both younger and older participants were randomly assigned to a morning or an afternoon practice session. The morning session started at 10:00 and ended at 12:00. The afternoon session started at 15:00 and ended at 17:00.

Whatever the session, the experimental protocol was divided into three phases. The first phase consisted of a pretest that evaluated the accuracy of arm position reproduction for each participant. During the pretest participants performed 15 trials while keeping their eyes closed (5 trials for each of 3 positions presented at random), without knowledge of results.

The second phase consisted of motor imagery practice that was similar for all the participants. They were asked to feel their way into the arm position given out loud by the experimenter as accurately as possible, while focusing on kinesthetic information (with the eyes closed). The positions used were identical to those used in the pretest. Each participant performed 135 motor imagery trials (45 random trials for each 3 positions). To optimize participants' ability to feel their way into these positions, a reminder of each position was physically carried out every 30 trials and just before motor imagery practice began. Thus, the experimenter helped the participant to place his/her arm in a given position by naming the value of the angle. The position was maintained for 2 seconds before the participant again placed his/her arm in the reference position. A total of five reminders (for each of the 3 positions) were given during motor imagery practice.

The third phase consisted of a new evaluation of the accuracy of arm position reproduction. As in the pretest, younger and older participants had to perform 15 trials with their eyes closed (5 random trials for each 3 position), without knowledge of results.

Data analysis

For each trial in the pretest and the posttest, we calculated the angular difference (in degrees) between the encoding and recall positions. Then, we computed the constant error (i.e., bias error) and variable error (i.e., variability within participants) of each participant. Because preliminary analyses showed similar results for both types of errors, we combined them into a single measure; the root mean square error (RMSE, in degrees). RMSE data were submitted to an ANOVA contrasting 2 Ages (younger vs. older) x 2 sessions (morning vs. afternoon) x 2 tests (pretest vs. posttest) x 3 positions (15°, 30°, 45°) with repeated measures on the last two factors. Main effects and interactions were broken down using the Newman-Keuls technique. Alpha was set at .05 for all analyses.

RESULTS

The ANOVA revealed a main effect for test, $F(1,72)=8.75$, $p<.004$, and position, $F(2,144)=32.96$, $p<.0001$, as well as significant test x position interaction, $F(2,144)=4.03$, $p<.02$, and age x session x position interaction, $F(2,144)=3.90$, $p<.02$. The breakdown of the test x position interaction revealed that RMSE decreased from the 15° to 45° position both in pretest ($ps<.001$) and posttest ($ps<.05$). RMSE decreased from pretest to posttest for the 15° and 30° positions ($ps<.001$), whereas no significant difference appeared for the 45° position ($p=.10$) (see Figure 2). No significant age x test interaction, $F(1,72)=2.48$, $p=.12$, age x test x session interaction, $F(1,72)=0.67$, $p=.42$, age x test x position, $F(2,144)=0.10$, $p=.90$, or age x test x session x position interaction, $F(2,144)=1.65$, $p=.20$, was observed in the present experiment.

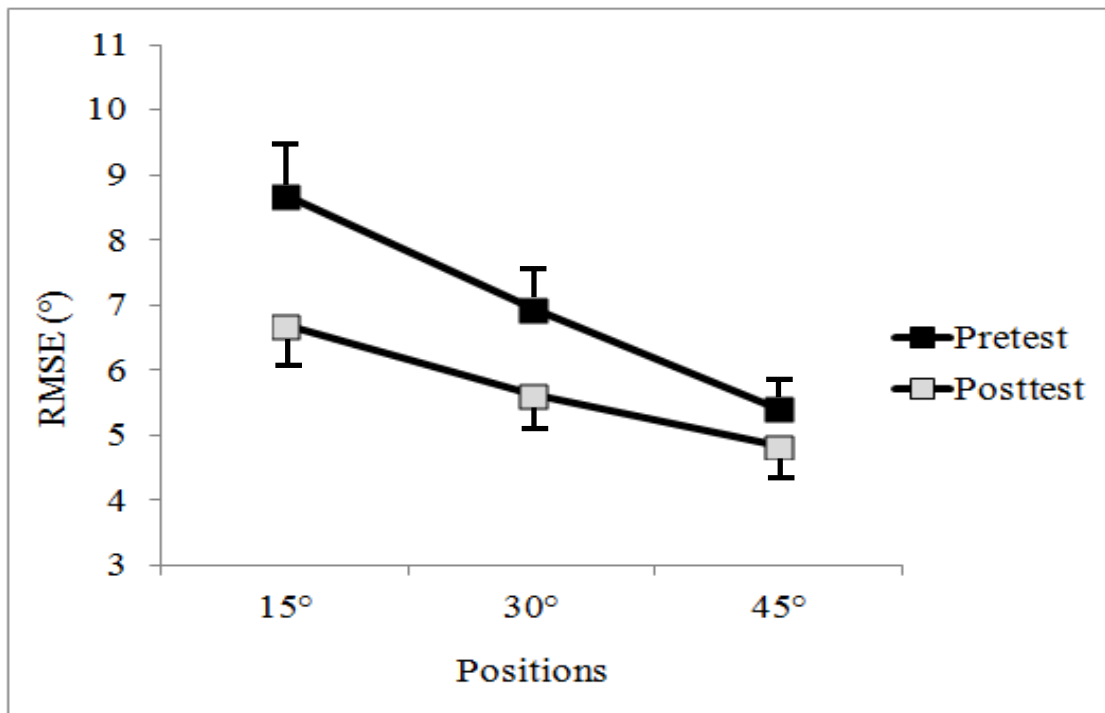


Figure 2. Root Mean Square Errors (RMSE, in degrees) as a function of position (15°, 30°, 45°) and test (pretest versus posttest).

The breakdown of the age x session x position interaction revealed that in the afternoon session, RMSE was higher for older participants than for younger participants when reproducing the 15° position ($p < .04$). However RMSE did not vary with age for the 30° and 45° positions ($ps > .65$) or in the morning session ($ps > .45$). Moreover, for the older participants, RMSE was higher in the afternoon session than in the morning session for the 15° position ($p < .05$) and was higher for the 15° position than for the 30° and 45° positions in the afternoon session ($ps > .001$) (see Figure 3).

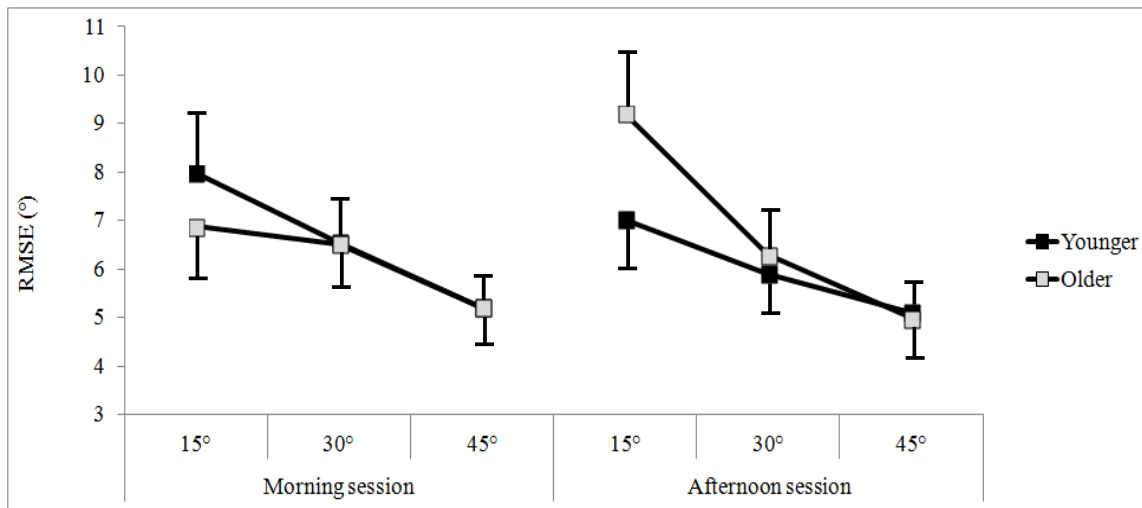


Figure 3. Root Mean Square Errors (RMSE, in degrees) as a function of position (15°, 30°, 45°), session (morning versus afternoon) and age (younger versus older).

DISCUSSION

The goal of the present experiment was to determine whether the effect of kinesthetic motor imagery practice on the improvement of movement accuracy may vary as a function of the time-of-day and the age of participants (younger versus older adults). Following the existing literature (which reported the importance of imagery quality on the effectiveness of motor imagery practice), we made the assumption that if circadian modulations of motor imagery play a determinant role in motor imagery practice, then performance improvements will be more effective during a morning session for older participants and during an afternoon session for younger participants. To reach our goal, we used an arm configuration reproduction task and measured the accuracy of recall positions (without vision) before (pretest) and after (posttest) 135 kinesthetic motor imagery trials performed by younger and older adults either in the morning or in the afternoon.

The results of the present study clearly show that accuracy in reproducing arm configurations improved following kinesthetic imagery practice in both younger and older participants. The enhancement of performance that occurred between the pretest and the posttest was higher for the 15° and 30° positions, whereas no improvement was observed for the 45° position (i.e. for the position requiring the largest arm movements). Note that the accuracy in reproducing the 45° position was greater than those in reproducing the other positions. This finding agrees with the point of view that position sense is more accurate when discharges from the joint receptors and the intramuscular receptors are increased (Gandevia & McCloskey, 1976; Gandevia, McCloskey, & Burke, 1992), facilitating the detection of kinesthetic signals. A ceiling effect may be the origin of the absence of difference between the pretest and the posttest for the largest movement (45°), whereas the inaccuracy observed for the 15° and 30° positions

allowed the younger and older participants to improve their arm configuration reproduction following kinesthetic imagery practice. Contrary to our expectation, these performance improvements did not vary as a function of age and time-of-day, regardless of position. In the present experiment, kinesthetic imagery practice appears to be a useful technique to improve the sense of position regardless of the age of the participants and the moment during which motor imagery practice occurs.

For what reasons did we not observe the expected interaction between the time-of-day of motor imagery practice and the age of participants? Several explanations can be put forward. First, the circadian modulation of motor imagery quality reported in various studies (Gueugneau et al., 2009; Rulleau et al., 2015) might not be sufficient to impact the effectiveness of motor imagery practice in both younger participants and older participants. Second, it might be that in the present experiment, motor imagery practice was not long/intensive enough to make differences appear according to the time-of-day at which practice occurred. Importantly, it may also be that investigating the influence of time-of-day on motor imagery practice may be an incomplete exercise without also examining participants' chronotypes, which reflect interindividual differences in circadian preference (i.e., morningness and eveningness). Some recent works have effectively shown that chronotype might act as a modulator of any time-of-day effects, for example, of the alerting component of attention (Matchock & Mordkoff, 2009) and vigilance (Lara, Madrid, & Correa, 2014). Moreover, although little evidence of any time-of-day by chronotype interaction has been reported in the literature, some studies have shown that differences in cognitive performance between younger and older adults can only appear when older adults are tested at their non-preferred time-of-day (see Schmidt et al., 2007, for a review). To date, no study demonstrates the combined role of these two factors on motor imagery. Therefore, further work is needed

to investigate the validity of various explanatory hypotheses mentioned above with regard to the effectiveness of motor imagery practice in younger and older healthy adults, as well as in patients with sensorimotor impairments.

Importantly, although it was not the core of this work, the present experiment emphasizes the effect of time-of-day on the accuracy of sense of position in the older participants, while no significant differences appeared in younger adults (see Kwon & Nam, 2014, for similar results in younger participants). For older participants, we effectively observed that for the 15° position (i.e. the position for which kinesthetic signals were weak because it required a low-amplitude movement), the older adults had difficulties accurately reproducing arm configurations when the experiment occurred during the afternoon session. This finding is in agreement with other studies showing that the cognitive performance of seniors was less effective during the afternoon than in the morning (Schmidt et al., 2007). Therefore, as for other cognitive processes, the ability to accurately reproduce body configurations (known as the position sense) can fluctuate during the day – especially in older adults. This finding might have considerable importance in rehabilitation, especially when the practitioner aims to assess the position sense of patients to quantify the outcomes of a rehabilitation program.

CONCLUSION

The present experiment clearly provides some fundamentals of motor learning and rehabilitation by showing that a brief session of a kinesthetic motor imagery practice can improve the position sense of younger and older adults. Even if other work is necessary to confirm this point, as suggested above, it is important to underline that although motor imagery ability may vary with time-of-day, motor imagery training may be performed throughout the day. By contrast, when the practitioner aims to assess the sense of position of his patients during a rehabilitation protocol, the time-of-day appears to be an important factor to take into account, especially for older patients. In that case, the assessment of position sense seems more appropriate if it occurs late in the morning rather than in the afternoon.

References

- Debarnot, U., Sahraoui, D., Champely, S., Collet, C., & Guillot, A. (2012). Selective influence of circadian modulation and task characteristics on motor imagery time. *Research quarterly for exercise and sport*, 83(3), 442–450.
- Dickstein, R., & Deutsch, J. E. (2007). Motor imagery in physical therapist practice. *Physical therapy*, 87(7), 941–953.
- Fourkas, A. D., Bonavolontà, V., Avenanti, A., & Aglioti, S. M. (2008). Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players. *Cerebral Cortex*, 18(10), 2382–2390.
- Gandevia, S. C., & McCloskey, D. I. (1976). Joint sense, muscle sense, and their combination as position sense, measured at the distal interphalangeal joint of the middle finger. *The Journal of Physiology*, 260(2), 387–407.
- Gandevia, S. C., McCloskey, D. I., & Burke, D. (1992). Kinaesthetic signals and muscle contraction. *Trends in neurosciences*, 15(2), 62–65.
- Grangeon, M., Guillot, A., & Collet, C. (2011). Postural control during visual and kinesthetic motor imagery. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 36(1), 47–56.
- Gueugneau, N., Mauvieux, B., & Papaxanthis, C. (2009). Circadian modulation of mentally simulated motor actions: implications for the potential use of motor imagery in rehabilitation. *Neurorehabilitation and neural repair*, 23(3), 237–245.
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2008). Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. *Neuroimage*, 41(4), 1471–1483.
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2009). Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: an fMRI study. *Human brain mapping*, 30(7), 2157–2172.
- Hall, C., Buckolz, E., & Fishburne, G. (1989). Searching for a relationship between imagery ability and memory of movements. *Journal of Human Movement Studies*, 17(2), 89–100.
- Hall, C., & Pongrac, J. (1983). *Movement Imagery Questionnaire* (University of Western Ontario). London, Ontario.
- Isaac, A. (1992). Mental practice—does it work in the field? *The Sport Psychologist*, 6(2), 192–198.
- Isaac, A., Marks, D. F., & Russell, D. G. (1986). An instrument for assessing imagery of movement: The Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ). *Journal of Mental Imagery*. Consulté à l'adresse <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1988-12630-001>
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103–S109.
- Kim, J. G., & Chung, S. T. (1998). Auditory, visual, and kinesthetic imagery on badminton service learning and performance. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 20, S67–S67.
- Kwon, Y. H., & Nam, K. S. (2014). Circadian fluctuations in three types of sensory modules in healthy subjects. *Neural regeneration research*, 9(4), 436.

- Lara, T., Madrid, J. A., & Correa, Á. (2014). The vigilance decrement in executive function is attenuated when individual chronotypes perform at their optimal time of day. *PloS one*, 9(2), e88820.
- Malouin, F., Richards, C. L., & Durand, A. (2010). Normal aging and motor imagery vividness: implications for mental practice training in rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 91(7), 1122–1127.
- Malouin, F., Richards, C. L., Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Durand, A., & Doyon, J. (2007). The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31(1), 20–29.
- Matchock, R. L., & Mordkoff, J. T. (2009). Chronotype and time-of-day influences on the alerting, orienting, and executive components of attention. *Experimental Brain Research*, 192(2), 189–198.
- Mulder, T. H., Hochstenbach, J. B. H., Van Heuvelen, M. J. G., & Den Otter, A. R. (2007). Motor imagery: the relation between age and imagery capacity. *Human Movement Science*, 26(2), 203–211.
- Personnier, P., Ballay, Y., & Papaxanthis, C. (2010). Mentally represented motor actions in normal aging: III. Electromyographic features of imagined arm movements. *Behavioural Brain Research*, 206(2), 184–191.
- Personnier, P., Kubicki, A., Laroche, D., & Papaxanthis, C. (2010). Temporal features of imagined locomotion in normal aging. *Neuroscience Letters*, 476(3), 146–149.
- Personnier, P., Paizis, C., Ballay, Y., & Papaxanthis, C. (2008). Mentally represented motor actions in normal aging: II. The influence of the gravito-inertial context on the duration of overt and covert arm movements. *Behavioural Brain Research*, 186(2), 273–283.
- Robin, N., Coudeville, G., R., Hue, O., Toussaint, L., & Sinnapah, S. (in press). Effects of tropical climate on mental rotation: The role of imagery ability. *American Journal of Psychology*.
- Robin, N., Dominique, L., Toussaint, L., Blandin, Y., Guillot, A., & Le Her, M. (2007). Effects of motor imagery training on service return accuracy in tennis: the role of imagery ability. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 5(2), 175–188.
- Rulleau, T., Mauvieux, B., & Toussaint, L. (2015). Influence of circadian rhythms on the temporal features of motor imagery for older adult inpatients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(7), 1229–1234. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.02.015>
- Ryan, E. D., & Simons, J. (1982). Efficacy of mental imagery in enhancing mental rehearsal of motor skills. *Journal of Sport Psychology*, 4(1), 41–51.
- Saimpont, A., Malouin, F., Tousignant, B., & Jackson, P. L. (2012). The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience*, 222, 49–57.
- Schmidt, C., Collette, F., Cajochen, C., & Peigneux, P. (2007). A time to think: circadian rhythms in human cognition. *Cognitive Neuropsychology*, 24(7), 755–789.
- Schott, N., & Munzert, J. (2007). Temporal accuracy of motor imagery in older women. *International Journal of Sport Psychology*, 38(3), 304–320.

Skoura, X., Papaxanthis, C., Vinter, A., & Pozzo, T. (2005). Mentally represented motor actions in normal aging: I. Age effects on the temporal features of overt and covert execution of actions. *Behavioural Brain Research*, 165(2), 229–239.

Toussaint, L., & Blandin, Y. (2010). On the role of imagery modalities on motor learning. *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 497–504.

Toussaint, L., & Blandin, Y. (2013). Behavioral evidence for motor imagery ability on position sense improvement following motor imagery practice. *Movement & Sport Sciences*, 82(4), 63–68.

Toussaint, L., Robin, N., & Blandin, Y. (2010). On the content of sensorimotor representations after actual and motor imagery practice. *Motor Control*, 14(2), 159–175.

White, A., & Hardy, L. (1995). Use of different imagery perspectives on the learning and performance of different motor skills. *British Journal of Psychology*, 86(2), 169–180.

Williams, J., Pearce, A. J., Loporto, M., Morris, T., & Holmes, P. S. (2012). The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behavioural Brain Research*, 226(2), 369–375.

En résumé :

L'indice d'isochronie entre la durée d'exécution motrice et imaginée est un facteur de qualité de l'imagerie motrice, elle varie au cours de la journée et de la vie. Une meilleure qualité d'imagerie motrice a un impact positif sur l'apprentissage par pratique imaginée.

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet du moment de la journée et de l'âge sur une pratique en imagerie motrice visant à améliorer le sens de la position.

Les résultats montrent un effet bénéfique de la pratique en imagerie motrice quels que soient l'âge ou le moment de la journée. Le patient et le praticien semblent donc pouvoir programmer la séance à tout moment de la journée.

Cependant, il existe un effet du moment de la journée sur l'évolution de la précision du sens de la position, notamment des sujets seniors dont la performance se dégrade l'après-midi. Le praticien semble donc devoir privilégier les évaluations du sens de la position le matin.

3. Influence du moment de la journée sur les capacités d'imagerie motrice implicite - Expérience 3

Certains processus cognitifs, comme l'attention ou la mémoire (Schmidt et al., 2007) peuvent être soumis à une modulation des performances au cours de la journée. Concernant plus spécifiquement l'imagerie motrice explicite, utilisée essentiellement dans le cadre des apprentissages moteurs ou de la rééducation, nous avons vu que plusieurs auteurs ont mis en évidence une modulation circadienne des caractéristiques temporelles de l'imagerie motrice explicite pour des tâches simples (Debarnot et al., 2012; Gueugneau et al., 2009; Gueugneau & Papaxanthis, 2010; Rulleau et al., 2015), avec une plus forte isochronie⁷ pour les sujets jeunes l'après-midi et les seniors en fin de matinée. Or, à ce jour, aucune donnée de la littérature ne permet de savoir si les capacités d'imagerie motrice implicite, permettant de rendre compte de l'intégrité du système sensorimoteur, varient au cours de la journée. Cette information est pourtant capitale pour le thérapeute désirant évaluer l'effet d'un programme de rééducation sur le fonctionnement central des processus sensorimoteurs.

L'évaluation la plus courante des capacités d'imagerie motrice implicite se fait grâce au test de rotation mentale de stimuli corporels. Il consiste à présenter des photographies (e.g. : une main ou un pied) ayant subi une rotation spatiale plus ou moins importante. Le patient doit identifier la latéralité des segments corporels le plus rapidement et le plus justement possible. Les données de la littérature montrent que la résolution d'une tâche de rotation mentale de stimuli corporels reflète la prise en compte des contraintes biomécaniques associées aux mouvements réels (Hoyek et al., 2010; Meugnot, Almecija, & Toussaint, 2014; Parsons & Fox, 1998; ter Horst et al., 2010; Toussaint & Meugnot, 2013). Lorsque les images correspondent à des segments corporels placés en position inconfortable (c'est-à-dire biomécaniquement contraignante), la reconnaissance de la latéralité du segment corporel présenté s'accompagne de temps de réponse plus longs que les temps de réponse des stimuli en position confortable. Cette augmentation des temps de réponse pour les stimuli correspondant aux positions les plus contraignantes marque le recours à une stratégie d'imagerie motrice du sujet qui implique son système sensorimoteur (Meugnot et al., 2014). Cette tâche permet donc d'évaluer l'intégrité du système sensorimoteur (Hoyek et al., 2010; Ionta et al., 2007; Meugnot et al., 2014). Du point de vue du praticien, la rotation mentale de stimuli

⁷ Calculé par la valeur absolue de la différence de durée entre une tâche exécutée et imaginée

corporels semble donc avoir un intérêt dans l'évaluation du système sensorimoteur et pourrait donc être utilisé dans un examen clinique.

De par l'importance de la locomotion chez les sujets seniors et dans notre objectif d'application clinique, notre objectif est d'examiner l'effet du moment sur la qualité des performances dans la tâche de rotation mentale de pied chez les personnes âgées. Compte tenu des données de la littérature, si le moment de la journée influence les capacités d'imagerie motrice implicite, alors les performances au test de rotation mentale de segments corporels devraient être meilleures le matin.

Méthode

Les participants

Trente-deux patients âgés, droitiers, hospitalisés, volontaires ont participé à cette expérience (âge=78.6±9.3ans; 17 hommes). Ils ont été hospitalisés pour diverses raisons gériatriques ou neurogériatriques (ex. accident ischémique transitoire, asthénie, altération de l'état général, chute ...). Tous les patients étaient capables de marcher dix mètres en moins de 30 secondes sans aide technique ou avec une canne simple. Les patients ont été exclus de cette étude s'ils avaient une infection non stabilisée ou une évaluation clinique incompatible avec le protocole (e. g. : problème optique non corrigé, démence sévère ou état psychiatrique). Tous les patients ont donné leur consentement écrit pour leur participation à l'étude, et le protocole a été approuvé par le comité éthique de l'hôpital (Centre Hospitalier de Challans, France) où l'expérience a eu lieu. Celle-ci s'est déroulée dans une pièce calme avec une température ambiante constante (20°C±1°C). Avant de débiter, les patients hospitalisés étaient naïfs quant aux objectifs de l'expérience.

Matériel et méthode

Tous les participants ont effectué une tâche de *rotation mentale de stimuli corporels*. Ensuite, et afin de contrôler la spécificité des effets recherchés sur les processus sensorimoteurs (moment de la journée), tous les participants ont effectué une tâche de *rotation mentale de stimuli non-corporels*. Pour les deux tâches, les patients étaient assis devant un écran d'ordinateur (~ 60 cm), les mains gauche et droite sur le clavier avec les deux index sur deux touches marquées (une touche située sur la gauche et l'autre sur la droite du clavier). Pour les deux tâches, un essai commençait avec l'apparition d'une croix de fixation affichée au centre de l'écran pendant 500 ms. Ensuite, une image (stimulus corporel ou non corporel) était présentée et restait visible jusqu'à ce que le patient donne la réponse requise, comme décrit dans la présentation des tâches ci-dessous. Après une phase de familiarisation, nous avons demandé aux participants d'identifier les images affichées au centre de l'écran d'ordinateur aussi rapidement et aussi précisément que possible.

Dans la tâche de rotation mentale de stimuli corporels (RMpieds), les stimuli consistaient en une image de pied droit ou de pied gauche (créée avec le logiciel Poser

6.0; Dimensions 20,7 x 12,7 cm), qui sont des images miroirs l'une de l'autre (Figure 10). Les patients devaient déterminer la latéralité des images de pied en appuyant sur la touche de gauche pour une image de pied gauche ou la touche de droite pour une image de pied droit.

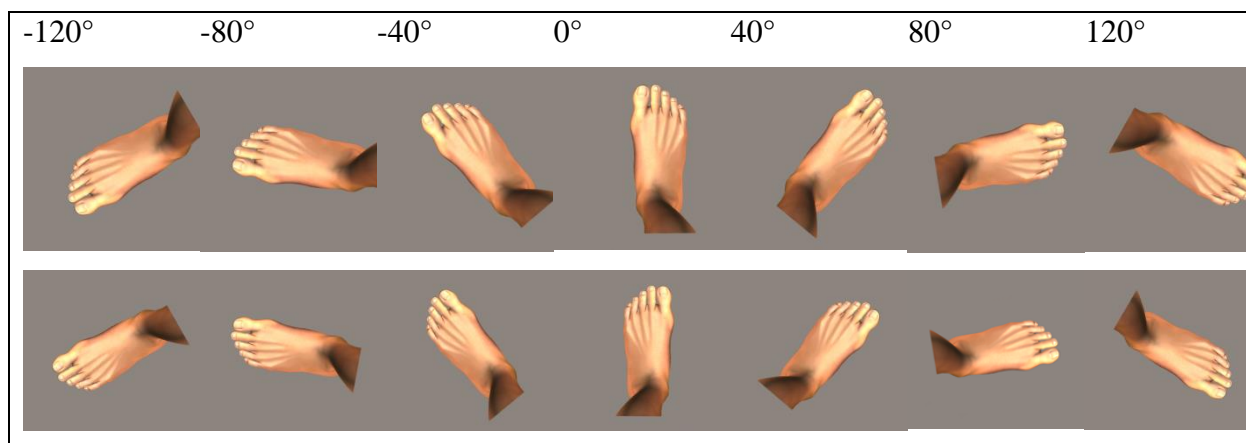


Figure 10: Images de pieds droit et gauche pour les stimuli corporels, présentées selon différents angles de rotation dans le plan frontal (0°, 40°, 80°, 120°)

Dans la tâche de rotation mentale de stimuli non corporels (RMdeux), les stimuli consistaient en une image du chiffre «2» ou son image miroir (20,7 x 12,7 cm, Figure 11). Les patients devaient indiquer si le stimulus présenté à l'écran correspondait à la forme canonique du chiffre 2 ou à son image miroir en appuyant sur la touche appropriée respectivement à droite ou à gauche.

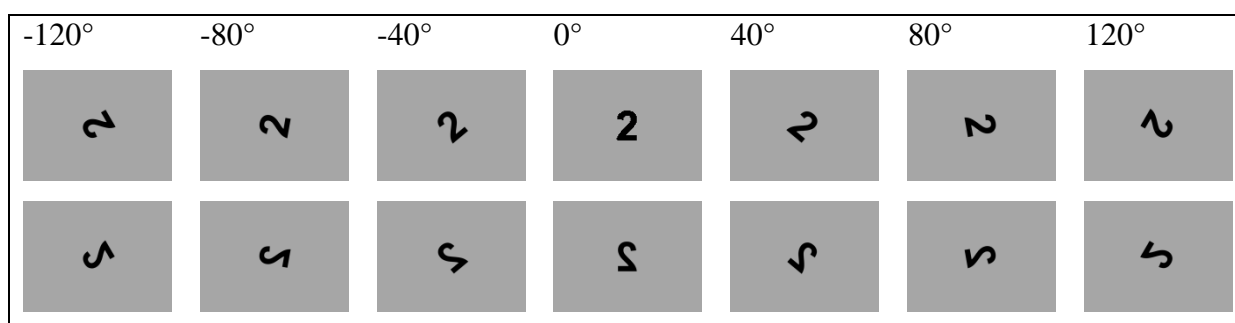


Figure 11 : Images du chiffre 2 et de son image miroir, présentes selon différents angles de rotations dans le plan frontal (0°, 40°, 80°, 120°)

Pour les deux tâches, les images ont été présentées dans des orientations différentes dans le plan frontal (0 °, 40 °, 80 ° et 120 ° dans le sens horaire et sens anti-horaire). Le progiciel 2.0 E-Prime (Psychologie Software Tools Inc., Pittsburgh, USA) a été utilisé pour présenter des images et enregistrer la vitesse et la précision des réponses.

Procédure

Les tâches *RMpieds* et *RMdeux* ont été réalisées sur deux sessions expérimentales ayant lieu sur deux jours consécutifs. Les participants ont été attribués au hasard soit au groupe AM-PM (*ante meridiem* - *post meridiem*), soit au groupe PM-AM (*post meridiem* - *ante meridiem*). Comme illustré dans le Tableau 5, le premier groupe (AM-PM) a réalisé les tâches de rotation mentale le premier jour le matin, entre 10h45 et 11h et le deuxième jour le lendemain après-midi entre 14h30 et 14h45. Le deuxième groupe (PM-AM) a participé à une première séance d'expérimentation le premier jour l'après-midi entre 14h30 et 14h45 et le deuxième jour le lendemain matin entre 10h45 et 11h.

Tableau 5 : illustration du déroulé temporel de l'expérience pour les 2 groupes de patients. Chaque jour à l'heure indiquée, les patients réalisent les tâches *RMpieds* puis *RMdeux*

	Jour 1	Jour 2
Groupe AM-PM	10h45-11h00	14h30-14h45
Groupe PM-AM	14h30-14h45	10h45-11h00

Pour tous les patients, les tâches de *RMpieds* et *RMdeux* ont été divisées en deux phases. La première phase a été conçue pour familiariser les patients hospitalisés avec la tâche. Seize essais dévoilés au hasard (2 stimuli \times 4 rotations \times 2 directions) ont été présentés aux participants. Aucune contrainte de temps n'a été imposée lors de la phase de familiarisation. Au cours de la deuxième phase, expérimentale, 5 blocs de 16 essais (i.e.: 80 essais par participant) ont été présentés de façon aléatoire.

L'utilisation de stimuli non corporels suivie de stimuli corporels peut amener une réalisation de la tâche par une stratégie en imagerie visuelle plutôt qu'une stratégie en imagerie motrice. Afin d'éviter cette modification de la stratégie de réalisation de la

tâche et de ne pas contaminer notre tâche principale, dans tous les essais, la tâche de *RMpieds* a été réalisée avant la tâche de *RMdeux* (Meugnot et al., 2014; Toussaint & Meugnot, 2013).

L'analyse des données

La précision et le temps de réponse ont été enregistrés. Seules les données des réponses correctes ont été utilisées pour analyser les temps de réponse. Pour les tâches de *RMpieds* et *RMdeux*, des ANOVAs ont été réalisées séparément sur la précision (%) et les temps de réponse (ms) avec le **groupe** (AM-PM vs PM-AM) comme facteur inter-sujets, la **session** (1^{ère} vs 2^{ème}) et la **rotation** (0 °, 40 °, 80 ° et 120 °) comme facteurs intra-sujets. Les comparaisons post hoc ont été effectuées au moyen d'un test de Newman-Keuls. Le seuil Alpha a été fixé à .05 pour toutes les analyses.

Résultats

La tâche de *RMpieds*

Exactitude des réponses

L'ANOVA sur le pourcentage de réponses correctes révèle uniquement un effet significatif de la rotation [$F(3,90)=20.86$, $p<.00001$, $\eta^2=.41$]. Les réponses correctes sont significativement moins fréquentes pour les images de pieds orientées à 120° ($M=84\%$, $SD=12\%$) comparées aux autres rotations ($M=93\%$, $SD=8\%$, $p<.001$) quelle que soit la session. Contrairement à nos attentes, aucun effet d'interaction groupe X session, ni aucun autre effet principal, de même qu'aucune interaction significative entre les différents facteurs n'ont été observés ($ps>.05$).

Temps de réponse

Comme illustré sur la Figure 12, L'ANOVA sur les temps de réponse révèle un effet significatif de la rotation [$F(3,90)=16.38$, $p<.00001$, $\eta^2=.35$], avec des temps de réponse qui augmentent avec l'angle des figures à partir de 80° ($p<.05$). Contrairement à nos attentes, aucun effet d'interaction groupe X session, ni aucun autre effet principal, de même qu'aucune interaction significative entre les différents facteurs n'ont été observés ($ps>.05$).

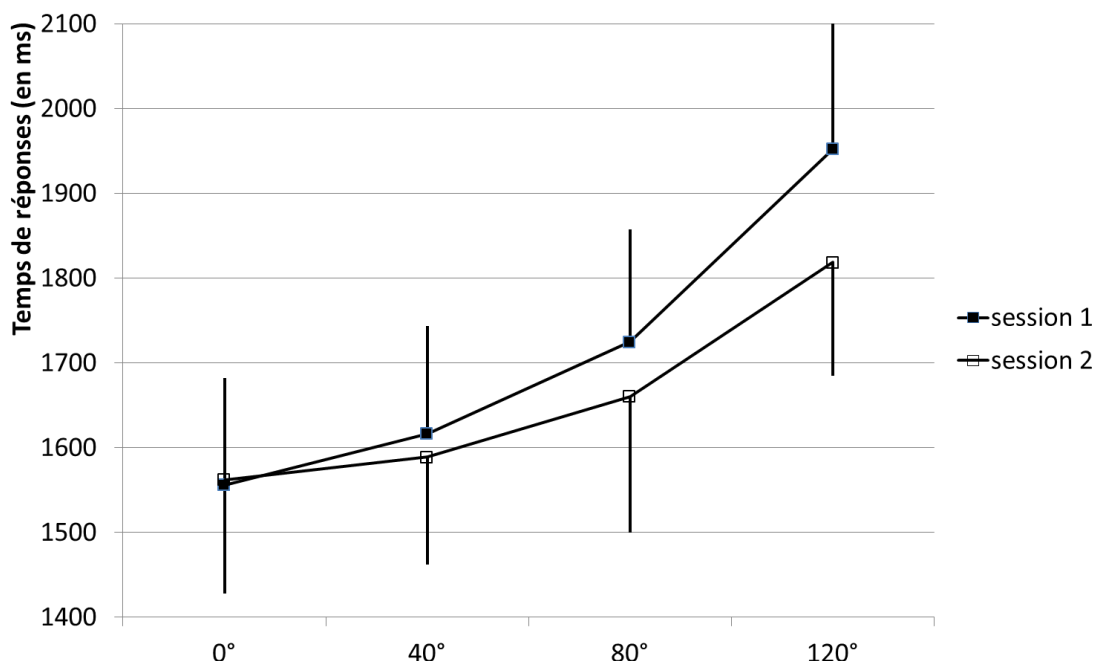


Figure 12 : Temps de réponse pour la tâche de RMpieds en fonction de la rotation

La tâche de *RMdeux*

Exactitude des réponses

L'ANOVA sur le pourcentage de réponses correctes n'a mis en évidence qu'un effet significatif de la rotation [$F(3,90)=11.98$, $p<.00001$, $\eta^2=.29$]. Les réponses correctes étaient significativement moins fréquentes pour 120° ($M=84\%$, $SD=16\%$) que toutes les autres rotations ($M=91\%$, $SD=14\%$, $p<.001$) quelle que soit la session. Aucun autre effet principal, de même qu'aucune interaction significative entre les différents facteurs n'ont été observés ($ps>.07$).

Temps de réponse

Les ANOVAs sur les temps de réponse ont montré uniquement un effet significatif de la rotation [$F(3,90)=6.76$, $p<.0004$, $\eta^2=.18$], avec des temps de réponse plus faibles à 120 ° comparé à 0°, 40° et 80° ($p<.01$). Aucun autre effet principal de même qu'aucune interaction significative entre les différents facteurs n'ont été observés ($ps>.05$).

Discussion

Afin de connaître la nécessité de programmer l'évaluation de l'état du système sensorimoteur, nous voulions connaître l'évolution des propriétés de la tâche d'imagerie motrice implicite au cours de la journée. L'objectif de cette expérience était d'examiner l'évolution des performances d'un test de rotation mentale de stimuli corporels en fonction du moment de la journée. Notre hypothèse était qu'il existe une meilleure capacité de rotation mentale de stimuli corporels le matin (sujets âgés). Par conséquent nous avons évalué les performances des sujets lors d'une *tâche de rotation mentale de stimuli corporels (RMpieds)*. De plus, afin de contrôler la spécificité des effets recherchés sur les processus sensorimoteurs, nous avons évalué les performances des sujets lors d'une *tâche de rotation mentale de stimuli non-corporels (RMdeux)*. Deux groupes de sujets effectuaient ces tâches le matin (entre 10h45 et 11h05) ou l'après-midi (entre 14h30 et 14h50) le premier jour, et inversement le second jour.

Les résultats, tant sur la *tâche de rotation mentale de stimuli corporels (RMpieds)* que sur la *tâche de rotation mentale de stimuli non-corporels (RMdeux)* révèlent uniquement un effet de la rotation. Contrairement à nos attentes, il n'a donc pas été possible de montrer un effet du moment de la journée sur aucune des deux tâches.

Une évaluation du système sensorimoteur possible à tout moment de la journée

De même qu'il existe une variation de différentes tâches cognitives au cours de la journée (Schmidt et al., 2007), il existe une variation des caractéristiques temporelles de l'Imagerie Motrice Explicite pour des tâches simples (écrire et marcher) au cours de la journée. De plus, les contraintes biomécaniques qui pèsent sur la production d'un mouvement réel modulent la durée d'un mouvement imaginé explicite et implicite, soulignant l'existence de similitudes entre ces deux types d'imagerie (Decety & Jeannerod, 1995; M. Jeannerod & Frak, 1999; Parsons & Fox, 1998).

Dans l'objectif d'une utilisation par le praticien pour évaluer l'intégrité du système sensorimoteur, nous nous demandons s'il existait une variation de l'imagerie motrice implicite en fonction du moment de la journée. Nous avons donc évalué l'effet du moment de la journée sur la rotation mentale de stimuli corporels et non corporels. Contrairement à nos attentes, il n'est pas retrouvé d'effet du moment de la journée sur l'imagerie motrice implicite. De même, il n'existe pas de variation sur la tâche en imagerie visuelle.

L'absence de variation pourrait être expliquée par l'influence des chronotypes de chaque sujet. En effet, et malgré une passation de l'expérience en service de médecine dans un centre hospitalier qui altère les préférences individuelles pour le fonctionnement du service, les sujets ont naturellement une tendance à être du matin, intermédiaire ou du soir (Horne & Ostberg, 1976; Taillard, 2009). Il pourrait donc y avoir des variations inter-individuelles (chronotype) lissant les variations (intra-individuelles) et expliquant cette absence de résultat sur le groupe. Ce paramètre devra être contrôlé dans une prochaine expérience afin de s'assurer de son influence sur les performances d'une tâche de rotation mentale de stimuli corporels au cours de la journée.

Une autre explication pourrait venir des processus impliqués. Si Decety et Jeannerod (1995), Jeannerod et Frak (1999) et Parsons et Fox (1998) rapportent des similitudes, plusieurs auteurs ont montré une dissociation conceptuelle, comportementale et clinique des processus impliqués dans ces imageries motrices explicite et implicite. La dissociation conceptuelle est présentée par Jeannerod et Frak (1999) entre l'imagerie motrice explicite, visible et consciente, quand l'imagerie motrice implicite est invisible et non consciente. Sur le plan comportemental chez des sujets sains, s'intéressant à la relation entre l'imagerie visuelle et motrice, McAvinue et Robertson (2007) ont proposé une évaluation des capacités par une batterie de tests sur l'imagerie mentale visuelle et motrice. Les rapports entre l'imagerie motrice implicite et explicite en particulier ont été évalués par un questionnaire (explicite, Motor Imagery Questionnaire revised), une tâche (explicite) d'évaluation de l'isochronie entre écriture imaginée et exécutée, une tâche (implicite) de rotation mentale de stimuli corporels et une tâche (implicite) de sélection de prises manuelles⁸. Leurs résultats montrent une absence de corrélation sur les résultats obtenus chez ces sujets sains entre imagerie motrice implicite et explicite (McAvinue & Robertson, 2007). Enfin, sur le plan clinique, une évaluation similaire a été effectuée sur l'imagerie motrice explicite et implicite chez des sujets sains et des sujets victime d'un Accident Vasculaire Cérébral avec une tâche (implicite) de rotation mentale de stimuli corporels et une tâche (explicite) de

⁸ Le sujet doit juger quel type de prise doit être utilisé pour prendre une série d'outils présentés sur ordinateur dans différentes positions.

concordance⁹ de mouvements imaginés. Les résultats montrent que ces deux types d'imagerie sont affectés différemment (de Vries et al., 2011, 2013). Ces trois dissociations, conceptuelle, comportementale et clinique, suggèrent donc une différence dans les processus impliqués dans les imageries explicite et implicite. Les processus impliqués dans l'imagerie motrice implicite ne seraient donc pas soumis à la même modulation au cours de la journée.

Il est donc possible que l'implication de processus différents entre imagerie implicite et explicite soit à l'origine de cette différence d'influence du moment de la journée entre les deux types d'imagerie, mais de nouvelles expérimentations doivent clarifier l'influence du chronotype (variation inter-individuelle) sur les variations du groupe.

Pour le thérapeute, la conséquence pratique de ces résultats est qu'il semble possible de planifier cette tâche de rotation mentale de stimuli corporels de pied chez des seniors hospitalisés à toute heure de la journée.

Conclusion

En attendant de nouvelles expériences pour clarifier l'influence du chronotype, les rééducateurs comme les chercheurs semblent pouvoir planifier l'évaluation du système sensorimoteur par imagerie motrice implicite pour des sujets âgés hospitalisés à tout moment de la journée.

⁹ Le sujet doit imaginer sur instruction une succession de 4 mouvements de 90° du membre supérieur. L'opérateur vérifie à la fin de la série si la position imaginée correspond à celle attendue en proposant 4 images.

En résumé :

Malgré leurs respectives proximités fonctionnelles avec le mouvement réel, les imageries motrices implicite et explicite ont des processus différents. Les caractéristiques temporelles de l'imagerie motrice explicite sont soumises à une modulation circadienne. La présente expérience visait donc à évaluer s'il existait des différences dans la réussite d'une tâche de rotation mentale de pied à 2 moments de la journée. Contrairement aux résultats impliquant des processus d'imagerie motrice implicite, nous n'avons pas été en mesure de trouver de variations en fonction du moment de la journée pour les processus d'imagerie motrice implicite. En attente de clarifier l'influence du chronotype, les rééducateurs comme les chercheurs semblent pouvoir planifier l'évaluation par rotation mentale de stimuli corporels à tout moment de la journée.

Chapitre 5 : Quelle est l'utilité de la rotation mentale dans l'évaluation clinique d'un programme de rééducation ?

Peu de tests existent dans la littérature pour évaluer les conséquences bénéfiques d'une techniques de rééducation sur le fonctionnement central des processus sensorimoteurs. Pour évaluer les effets bénéfiques du massage sur le système nerveux central, des tâches reposant sur l'évaluation du sens de la position ont été utilisées, mais elles révèlent des résultats contradictoires (Henriksen et al., 2004; Lund, Henriksen, Bartels, Danneskiold-Samsøe, & Bliddal, 2009). De plus, cette technique d'évaluation nécessite en clinique une méthodologie rigoureuse dans la prise de mesures, mais aussi une expérience clinique et une bonne connaissance d'anatomie palpatoire afin d'avoir une exactitude dans la prise de repère anatomique (Bruyneel, 2016; Han et al., 2016). Un autre test qui semble avoir un intérêt est le test de rotation mentale d'un segment corporel, comme certaines études le montrent sur la privation d'exercice et la douleur (Meugnot et al., 2014; Moseley, 2004c; Toussaint & Meugnot, 2013), ce test permettant d'évaluer l'efficacité des processus sensorimoteurs. Un ralentissement des processus sensorimoteurs a par exemple été mis en évidence par Toussaint et Meugnot (2013) à la suite de 48 heures d'immobilisation d'un segment corporel. Dans ce chapitre, nous avons choisi d'utiliser le test de rotation mentale de stimuli corporels pour évaluer les effets d'une technique de rééducation telle que le massage, notre but étant de comprendre les répercussions centrales de cette pratique.

1. Effets du massage sur le fonctionnement central du système sensorimoteur chez des sujets âgés hospitalisés - Expériences 4 et 5

Le massage consiste à mobiliser les tissus dans le but d'apporter des améliorations en matière de santé comme l'amélioration de l'équilibre du sujet âgé (Vaillant et al., 2008). Cette technique active les structures corticales impliquées dans la conscience de soi et le niveau d'éveil du patient (Sliz, Smith, Wiebking, Northoff, & Hayley, 2012). Comme rapporté dans une revue de la littérature (Rulleau et al., 2017), peu de données existent sur l'activation possible du système sensorimoteur à la suite d'un massage (Lund et al., 2009), malgré un modèle d'action reposant sur l'activation périphérique de récepteurs sensitifs (Vaillant et al., 2008). L'objectif de ce travail est de déterminer les effets du massage spécifiquement sur l'activation des processus sensorimoteurs, évalués au moyen d'une tâche de Rotation Mentale (RM) de stimuli corporels (voir pour procédure similaire Meugnot, Almecija, & Toussaint, 2014 et Hoyek, Collet, & Guillot, 2010 pour une revue). Deux expériences sont présentées pour rechercher l'effet du massage sur le système sensorimoteur (Expérience 4) et l'importance d'étendre les zones de massage (Expérience 5).

The effect of a single and brief massage session on the activation of sensorimotor processes in elderly inpatients

In revision in *Journal of Geriatric Physical Therapy* (08/2017).

Authors: Thomas Rulleau, MSc^{1,2} and Lucette Toussaint, PhD¹

¹Université de Poitiers; Université François-Rabelais de Tours; Centre National de la Recherche Scientifique; Centre de Recherches sur la Cognition et l'Apprentissage, France

² Unité de Recherche Clinique, Centre Hospitalier Départemental de La Roche sur Yon, France

Keywords: Massage, Sensorimotor representation, Older adult, Lower limb, Mental rotation

ABSTRACT

Background and Purpose: Understand how changes in afferent signal processing may be observed at the behavioral level to enhance changes that can favor behavioral benefits is essential for physical therapists whose objective is to actively improve the reorganization of motor function in patients suffering from sensorimotor system disturbance. Because aging disturbs the sensorimotor representation, as revealed by the slowdown in response times on mental rotation tasks with body parts, we chose to examine the effect of a single massage session on the mental rotation abilities of elderly inpatients.

Method: A total of 66 elderly inpatients (mean age=78 years) participated in 2 experiments. They were randomly assigned to the experimental (with massage) or control (without massage) groups. Massage was performed in the experimental groups by a physical therapist with 9 years of experience on both feet successively with 7.30 minutes spent on each foot (Experiment 1, massage group), the right foot for 10 minutes (Experiment 2, Foot massage group) or the right foot and knee for 10 minutes (Experiment 2, Foot-knee massage group). The control group (Experiment 1) did not undergo the massage procedure but talked with the therapist for a similar length of time. Body and non-body mental rotation tasks were used to assess the sensorimotor representation before (pretest), immediately after (posttest 1) and 24 hours after the massage (posttest 2).

Results: A single and brief massage session had a positive impact on the sensorimotor representation (i.e., on body mental rotation task), and the activation can last up to 24 hours depending on the extent of the massaged area (foot only vs. foot and knee), with better improvement in performance following a 10-minute massage on both the foot and the knee. Importantly, the activation of the sensorimotor representation concerned not

only the massaged leg but also the contralateral leg. No difference between groups appeared in the non-body mental rotation task which did not solicit the sensorimotor processes.

Discussion: The results of these 2 experiments confirmed that peripheral activation via a massage had a specific impact on the sensorimotor processes. Massage performed by an experienced physical therapist is an interesting technique which can help elderly inpatients cope with the slowdown of the signal processing related to advancing age. These findings highlighted the impact that massage therapies could have on geriatric care, in particular during programs for the prevention of falling or rehabilitation of autonomy.

INTRODUCTION

Plasticity is an old concept in neuroscience that led many researchers to take an interest in the structural as well as the functional reorganization of the central nervous system according to environmental demands and experiences. Pascual-Leone and collaborators¹ wrote in their review on the plasticity of the cortex of the human brain that *"The challenge we face is to learn enough about the mechanisms of plasticity and the mapping relations between brain activity and behavior to be able to guide it, suppressing changes that may lead to undesirable behaviors while accelerating or enhancing those that result in a behavioral benefit for the subject or patient."* One topic of interest related to plasticity is understanding how changes in afferent or efferent signal processing may be observed at the behavioral level to enhance changes that can favor behavioral benefits and suppress those that can induce undesirable behaviors for the subject or the patient. This knowledge is essential for physical therapists whose objective is to actively improve the reorganization of motor function in patients suffering from sensorimotor system disturbances.

In cognitive neuroscience, some studies that focused on the plasticity of the sensorimotor system mainly used 2 approaches that were based on either a stimulating or impoverished environment to assess the continuous and rapid changes in sensorimotor representations. Some researchers using brain mapping techniques have revealed a decrease in motor cortex excitability^{2,3} as well as a disruption in motor performance^{4,5} following 10-12 hours to 4 days of immobilization of the fingers or an arm. Recently, to examine the central and functional effects of non-use of a limb, some researchers based their reasoning on the simulation theory,⁶ which states that physical and simulated actions share the same sensorimotor representations and rely on similar mechanisms. The authors specifically examined whether internal sensorimotor representations are affected by the input/output restriction of signal processing following a short delay of upper-limb non-use (24 or 48 hours)⁷⁻⁹ by asking participants to solve mental rotation tasks using body or non-body stimuli that depended on motor and visual imagery strategies, respectively. The results showed that immobilized

participants took more time than controls (i.e., non-immobilized participants) to solve the body (hand) mental rotation task, whereas no differences were detected between the 2 groups when solving the non-body mental rotation task. Moreover, a short period of sensorimotor restriction did not lead to a general slowdown in the sensorimotor processes. If a 24-h period of hand immobilization affects the sensorimotor processes of the immobilized hand only,^{7,8} then a 48-h period of hand non-use impairs the effector-system corresponding to the restricted limb (i.e., the upper-limb system) without extending to another effector-system.¹⁰

Other researchers that have focused more on the effect of a stimulating environment on sensorimotor representations confirmed its central consequences. Neuroimaging studies have shown that enhancing sensory input by proprio-tactile stimulations (vibrations on muscles) modulates the excitability of the motor cortical projections to a specific limb and to the opposite limb^{11,12} and can reduce the decrease in motor cortex excitability due to limb non-use.^{2,13} From a behavioral point of view, the functional relevance of a stimulating environment has been demonstrated by experiments showing the effect of augmented sensory feedback on movement control in patients. For example, adding or enhancing proprioceptive information by muscle vibrations improved head and trunk movements in patients with torticollis,¹⁴ finger movements in pianists with musician's dystonia¹⁵ and gait control in Parkinson's disease patients following vibrations on lower limb muscles.¹⁶ Somatosensory stimulation can also be performed by physical therapists with a massage procedure. In particular, massage therapy is known to reduce pain and increase the range of motion in patients with knee arthritis pain (30 minutes/week for 4 weeks), improve active knee flexion after knee arthroplasty following one week of treatment¹⁷ (20 minutes/day), and improve physical fitness¹⁸ (strength, flexibility, agility, speed) in healthy soccer players (30 minutes every 3 days for 10 days). Sensory stimulation for 3 hours has been shown to enhance tactile acuity, haptic object exploration and fine motor control in the elderly.¹⁹ Moreover, some authors have shown that a 10-minute stimulating massage applied to the thigh muscles improves the knee joint position sense.²⁰ Furthermore, other authors reported that 20

minutes of a therapeutic manipulation (i.e., massage and articulation mobilization) allowed for compensation of the lack of balance in the elderly.^{20,21}

These functional changes that followed massage, although still poorly documented, revealed the impact of a massage procedure on the sensorimotor system and legitimized intervention with massage by therapists in rehabilitation programs. However, the origin of these functional changes is unknown, and an important issue for cognitive scientists is to clarify whether these functional changes resulted from peripheral or central effects. In this context, the aim of the present study was to examine the effect of a single massage session on mental rotation tasks using either body or non-body stimuli (Experiments 1 and 2), which was also performed in the study of the immobilization-induced effects on the sensorimotor representation.⁷⁻⁹ Because aging disturbs the sensorimotor representation, as revealed by the slowdown in response times on mental rotation tasks with body parts,^{23,24} we chose to examine the effect of a single massage session on the mental rotation abilities of elderly participants. In Experiment 1, a physical therapist performed a massage on both feet successively for 15 minutes. In Experiment 2, the therapist performed massage for 10 minutes on either the right foot or the right foot and the right knee. We expected that the massage-induced effects on sensorimotor processes would be manifested by better performance (i.e., a decrease in response times) when solving the body mental rotation task (with foot images). The importance of the extent of the massage area on the activation of the sensorimotor processes was specifically investigated in Experiment 2 by comparing the effects of massage on the foot only versus the foot and the knee. In Experiment 2, we also investigated the bilateral activation of the sensorimotor system following unilateral massage (i.e., massage on one side of the body). In both experiments, no positive impact of the massage was expected in the non-body mental rotation task (with number images), which did not spontaneously elicit the use of sensorimotor processes.²⁵

1.1. Experiment 1

METHOD

Participants. 32 right-handed inpatients voluntarily participated in the experiment (mean age 78.5 years, SD = 7.6 years). They were hospitalized for diverse geriatric or neurogeriatric reasons (asthenia, general state alteration, falls, chronic obstructive pulmonary disease, depression, etc.). All participants were able to walk 10 meters in less than 30 seconds. They had normal or corrected-to-normal vision and provided written informed consent for their participation prior to their inclusion in this study. Before testing, the participants were randomly divided into 2 groups: a control group (n=16, mean age 79 ± 7.5 years, 9 males) and a massage group (n=16, mean age 78 ± 8.5 years, 8 males). The study protocol was in accordance with the ethical standards of the local ethics committee of the hospital center where the experiment occurred. All participants were naïve to the purpose of the experiment. However, they received both written and verbal descriptions of the experimental procedure and signed consent forms indicating agreement to participate in the experiment.

Tasks and material. All participants performed 2 mental rotation tasks using either body or non-body stimuli. For both tasks, participants were seated in front of a computer screen (~60 cm) and instructed to place their left and right index fingers on 2 marked keys located on the left and the right sides of the keyboard, respectively. Participants were asked to identify the images displayed on the center of the computer screen as quickly and accurately as possible. *In the body mental rotation task*, the stimuli consisted of pictures of right or left feet (created with Poser 6.0 software; sized 20.7 x 12.7 cm; Figure 1A). The participants had to determine the laterality of the foot images and answer by pressing the left-marked key for a left foot image or the right-marked key for a right foot image. *In the non-body mental rotation task*, the stimuli consisted of the number “2” or its mirror image (20.7 x 12.7 cm; Figure 1B). Participants had to determine whether the number was presented in its canonical form or its mirror image by pressing the appropriate left or right key. For both tasks, the foot and number stimuli were presented in different orientations in the plane of the images (i.e., 0°, 40°, 80° and 120° in clockwise and counterclockwise directions). A trial began when a fixation cross was displayed in the center of the screen for 500 ms. Then, a stimulus was presented and remained visible until the participant provided his/her response. The E-Prime 2.0 software package (Psychology Software Tools Inc., Pittsburgh, USA) was used to present images and record the participants’ responses (accuracy and response times).

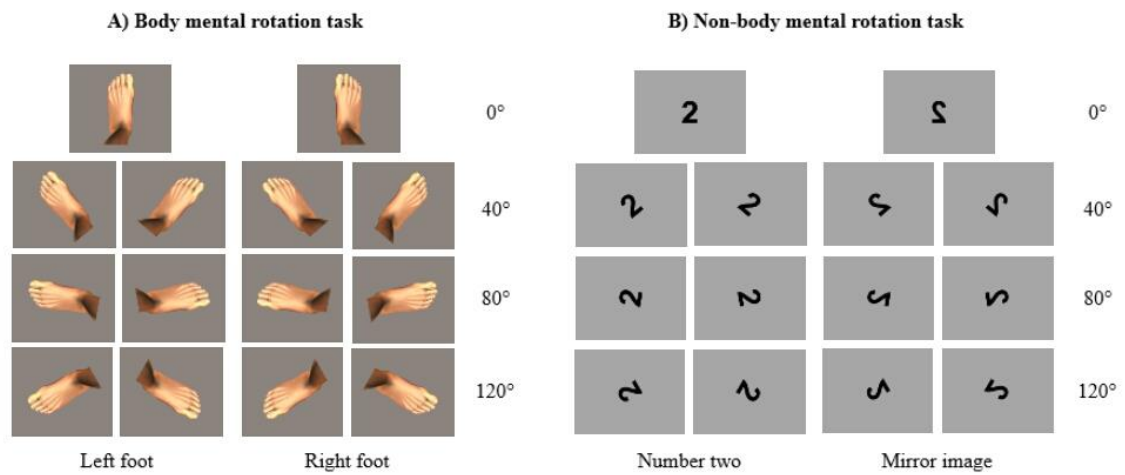


Figure 1 : Illustration of the stimuli used in Experiments 1 and 2 for the body mental rotation task (A) and the non-body mental rotation task (B).

Procedure. The participants were divided into 2 groups: a massage group and a control group. In the massage group, the intervention method was standardized. The massage technique consisted of effleurage and kneading and friction with moderate pressure applied under the foot (for a review¹⁷). The massage was performed by a physical therapist with 9 years of experience on both feet successively for 7.30 minutes for each foot. The control group did not undergo the massage procedure, but they talked with the therapist for a similar length of time.

The body and non-body mental rotation tasks were performed during three experimental sessions: before (pretest), immediately after (posttest 1) and 24 hours after the massage (posttest 2). For each session, each task was divided into 2 phases: the familiarization phase and the experimental phase. During the first familiarization phase, participants were shown 14 randomly presented trials (illustrated in Figure 1). During the second experimental phase, participants were shown 5 blocks of 14 trials (i.e., 70 trials per participants) presented in a random order. In the three experimental sessions, the body mental rotation task was performed before the non-body mental rotation task because the sensorimotor processes may be attenuated when a non-body mental rotation task is performed first.⁹

Data analysis. Accuracy and response times were recorded and analyzed. Only data from correct responses were used to analyze response times. Separate ANOVAs were performed for the body mental rotation task and the non-body mental rotation task on accuracy (%) and response times (ms) with group (control vs. massage) as a between-subjects factor and session (pretest, posttests 1 and 2) and rotation (0°, 40°, 80° and 120°) as within-subjects factors. Preliminary analyses revealed similar results for clockwise and counterclockwise directions for both body and non-body stimuli oriented to 40°, 80° and 120° angles, which lead us to average the data with the same rotation angles to increase reliability (for a similar procedure, see²⁶). Post hoc comparisons were carried out with Newman-Keuls test. Alpha was set at .05 for all analyses.

RESULTS

The body mental rotation task

ANOVA performed on the percentage of correct responses showed a mean effect of rotation only ($F_{3,90} = 27.09$, $p < .0001$, $\eta^2p = .47$). Post hoc comparison revealed that correct responses were more frequent for the 0° , 40° and 80° foot rotations ($M = 95\%$; $SD = 8\%$) than the 120° rotation ($M = 82\%$; $SD = 15\%$; $ps < .0002$), regardless of the group and the session.

ANOVA on the response times showed a mean effect of session ($F_{2,60} = 5.25$, $p < .008$, $\eta^2p = .15$) and rotation ($F_{3,90} = 51.66$, $p < .0001$, $\eta^2p = .63$), as well as a significant session x group interaction ($F_{2,60} = 3.59$, $p = .034$, $\eta^2p = .11$). Post hoc comparisons showed that response times decreased from the 40° to 120° foot rotations (40° : $M = 1352$ ms, $SD = 149$ ms; 80° : $M = 1489$ ms, $SD = 162$ ms; 120° : $M = 1740$ ms, $SD = 190$ ms; $ps < .006$), while no significant differences were for the 0° to 40° rotations (0° : $M = 1298$ ms, $SD = 131$ ms; $p < 0.27$). As illustrated in Figure 2 and confirmed by post hoc comparisons, response times decreased from the pretest to the posttests following the massage ($ps < .015$) without a distinction between posttests 1 and 2 ($p = 0.62$). No significant differences were observed between the pretest and posttests for the control group ($ps > 0.41$).

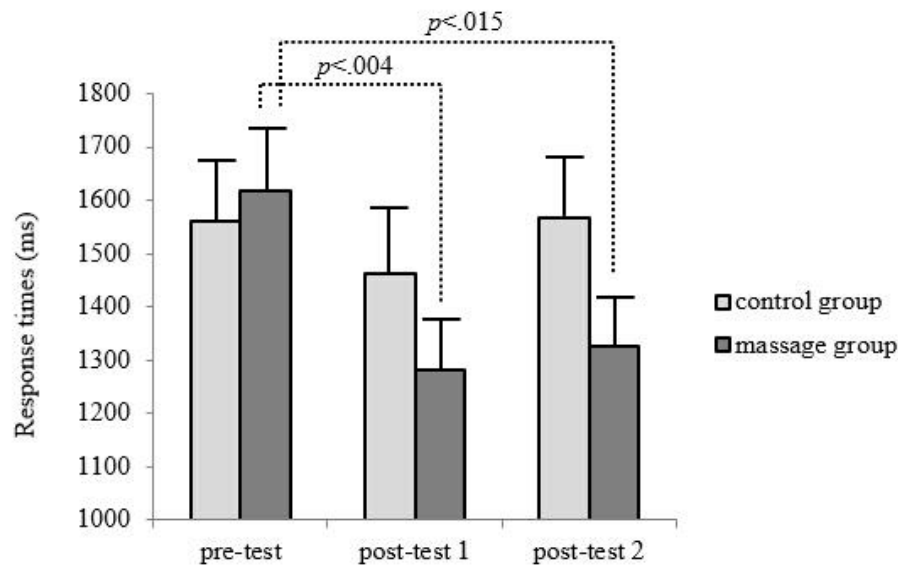


Figure 2 : Mean response times (ms) for the body mental rotation task as a function of group (control vs. massage) and session (pretest, posttest 1 and posttest 2). Error bars indicate the standard error of the mean.

The non-body mental rotation task

ANOVA performed on the *percentage of correct responses* showed only mean effects of rotation ($F_{3,90} = 15.11, p < .0001, \eta^2_p = .33$) and session ($F_{2,60} = 3.53, p < .035, \eta^2_p = .11$). Post hoc comparisons revealed that correct responses were more frequent for the 0° , 40° and 80° number rotations ($M = 93\%$; $SD = 11\%$) than the 120° rotation ($M = 86\%$; $SD = 14\%$; $ps < .0002$), regardless of the group and the experimental session. Correct responses were also less frequent in the pretest ($M = 90\%$; $SD = 14\%$) than in posttest 1 ($M = 92\%$; $SD = 12\%$) and posttest 2 ($M = 92\%$; $SD = 12\%$), without any differences between the posttests ($p > .69$).

ANOVA performed on the *response times* showed only mean effects of session ($F_{2,60} = 4.02, p < .023, \eta^2_p = .12$) and rotation ($F_{3,90} = 16.58, p < .0001, \eta^2_p = .36$). Post hoc comparisons showed that the reaction times increased with rotation of the stimuli (0° : $M = 1128$ ms, $SD = 143$ ms; 40° : $M = 1151$ ms, $SD = 138$ ms; 80° : $M = 1225$ ms, $SD = 148$ ms; 120° : $M = 1369$ ms, $SD = 160$ ms) and decreased from pretest ($M = 1326$ ms, $SD = 175$ ms) to posttest 1 ($M = 1148$ ms, $SD = 130$ ms) and posttest 2 ($M = 1181$ ms, $SD = 135$ ms) ($p < .022$), without any differences between posttests 1 and 2 ($p = 0.87$).

DISCUSSION

The aim of the first experiment was to investigate the influence of massage on the mental rotation of body stimuli as an indicator of the efficiency of the sensorimotor processes. We expected that enhancing sensory input by means of a massage procedure performed by a physical therapist would activate the sensorimotor processes in elderly participants. For this purpose, we evaluated participants at pretest (i.e., before massage), posttest 1 (i.e., immediately after massage) and posttest 2 (i.e., 24 hours later). A similar pretest/posttest procedure was used for the control participants who did not undergo the massage procedure. The main results of Experiment 1 showed that the response times in the body mental rotation task significantly decreased after 15 minutes of a foot massage, while no significant differences were detected in the non-body mental rotation task between the pretest and posttests. The changes in response times reported for the body mental rotation task cannot be explained by a trade-off with response accuracy, as the percentage of correct responses did not differ between the groups regardless of the session and the rotation angles of the foot images. Importantly, the improvement in response times following the massage was maintained in the posttest performed after a 24-hour delay (in posttest 2).

These findings revealed that visual imagery performance, which was evaluated with the non-body mental rotation task, did not show any effect related to the limb-massage procedure. In contrast, motor imagery performance, which evaluated with the body mental rotation task, was improved by a single and brief massage session (15 minutes) performed by a physical therapist with 9 years of experience. The performance improvement was not manifested by an increase in the success of the task (i.e., the percentage of correct responses) but by the activation of the sensorimotor processes required to solve the task. Therefore, unlike the immobilization procedure which showed the negative effect of an impoverished environment on the sensorimotor representation with the slowing of the sensorimotor processes induced by input/output restriction,^{8,9} the present experiment highlighted the positive effect of a stimulating environment. Enhancing sensory input by massage led to rapid updates to the sensorimotor representation that may be more effective or easier to access due to an increase in proprioceptive signals. Similar observations were previously reported specifically with a vibratory stimulation procedure that activates the sensorimotor-related area.^{27,28} The present experiment does not cast doubt on the peripheral effects of massage²⁹ (on muscle stiffness and peripheral blood flow) but shows, for the first

time in the literature, the cognitive (or central) effects of a massage procedure that activates the sensorimotor processes.

Importantly, the comparison between posttests 1 and 2 in the body mental rotation task revealed that the positive effect of massage on the sensorimotor processes was also found 24 hours after the intervention. These findings are interesting because they showed that a single and brief massage session performed by a physical therapist improved the functioning of the sensorimotor system and revealed that the massage is still effective one day later. However, the present experiment did not provide information on the importance of the extent of the massage area on the activation of sensorimotor processes or the duration of the massage-effect as a function of the extent of the massage area. These points were specifically investigated in the following experiment.

1.2. Experiment 2

The second experiment aimed to replicate the positive effects of massage on sensorimotor processes, which were shown in Experiment 1, and investigate the importance of the extent of the massage area on the activation of sensorimotor processes, as well as the possibility that these peripheral activations can activate not only the sensorimotor representation of the massaged limb but also of the opposite limb. It is particularly important at the theoretical level but also at the practical level to know whether contralateral activation of the sensorimotor system could be observed following the massage of a specific limb. For example, a positive massage-induced effect on the contralateral limb could aid in the rehabilitation of an immobilized limb that is still in a cast because of a fracture by regularly reactivating the sensorimotor processes of the non-used limb.

METHOD

Participants. 34 right-handed inpatients voluntarily participated in the experiment (mean age = 77 years, SD = 8.8 years). None of them participated in experiment 1. They were hospitalized for diverse geriatric or neurogeriatric reasons (asthenia, general state alteration, falls, chronic obstructive pulmonary disease, depression, etc.). All inpatients were able to walk 10 meters in less than 30 seconds. They had normal or corrected to normal vision and provided written informed consent prior to their participation and inclusion in the study. Before testing, participants were randomly divided into 2 groups: a foot massage group (n = 17, mean age = 75 years, SD = 9.2 years, 6 males) and a foot-knee massage group (n = 17, mean age = 79 years, SD = 8.1 years, 7 males). The study protocol was in accordance with the ethical standards of the local ethics committee of the hospital center where the experiment occurred. All participants were naïve to the purpose of the experiment. However, they received written and verbal descriptions of the experimental procedure and signed consent forms indicating agreement to participate in the experiment.

Tasks and material. Participants performed 2 mental rotation tasks using either body or non-body stimuli. Both tasks were similar to those used in Experiment 1.

Procedure. The participants were divided into 2 groups: a foot massage group and a foot-knee massage group. In the foot massage group, the massage was performed for 10

minutes on the right foot of each participant. In the foot-knee massage group, massage was successively performed for 5 minutes on the right foot and 5 minutes on the right knee of each participant. In both groups, the massage technique was similar to that used in Experiment 1 and consisted of effleurage and kneading and friction with application of moderate pressure. Massage was performed by the same physical therapist who took part in the first experiment.

Similar to Experiment 1, the body and non-body mental rotation tasks were performed during three experimental sessions: before (pretest), immediately after (posttest 1) and 24 hours after the massage (posttest 2). For each session, participants practiced 2 phases (the familiarization and the experimental phases), and the body mental rotation task was performed before the non-body mental rotation task.

Data analysis. Accuracy and response times were recorded and analyzed. Only data from correct responses were used to analyze response times. Separate ANOVAs were performed for the body and the non-body mental rotation tasks. For the body mental rotation task, ANOVAs were performed on accuracy (%) and response times (ms) with group (foot massage vs. foot-knee massage) as a between-subjects factor and session (pretest, posttest 1, posttest 2), foot (right vs. left) and rotation (0° , 40° , 80° and 120°) as within-subjects factors. For the non-body mental rotation task, ANOVAs were performed on accuracy (%) and response times (ms) with group (foot massage vs. foot-knee massage) as a between-subjects factor and session (pretest, posttest 1, posttest 2) and rotation (0° , 40° , 80° and 120°) as within-subjects factors. Post hoc comparisons were carried out with Newman-Keuls test. Alpha was set at .05 for all analyses.

RESULTS

The body mental rotation task

ANOVA on the percentage of correct responses showed only a main effect of rotation ($F_{3,96} = 35.78$, $p < .0001$, $\eta^2p = .53$). Post hoc comparisons revealed that correct responses were significantly more frequent for the 0° , 40° and 80° rotations ($M = 95\%$; $SD = 8\%$) than the 120° rotation ($M = 89\%$; $SD = 13\%$, $ps < .0001$), regardless of the group, the foot and the session.

ANOVA on the response times showed main effects of session ($F_{2,64} = 17.98$, $p < .0001$, $\eta^2p = .36$) and rotation ($F_{3,96} = 39.18$, $p < .0001$, $\eta^2p = .55$), as well as a group \times session interaction ($F_{2,64} = 3.24$, $p < .04$, $\eta^2p = .10$). As illustrated in Figure 3 and confirmed by post hoc comparisons, response times significantly decreased from pretest to posttest 1 for both groups ($ps < .01$) and from pretest to posttest 2 (i.e., after a 24-hour delay) in the foot-knee massage group only ($p < .001$). Note that in the experiment, no effect of the foot (right or massaged-foot vs. left or non-massaged foot) was detected.

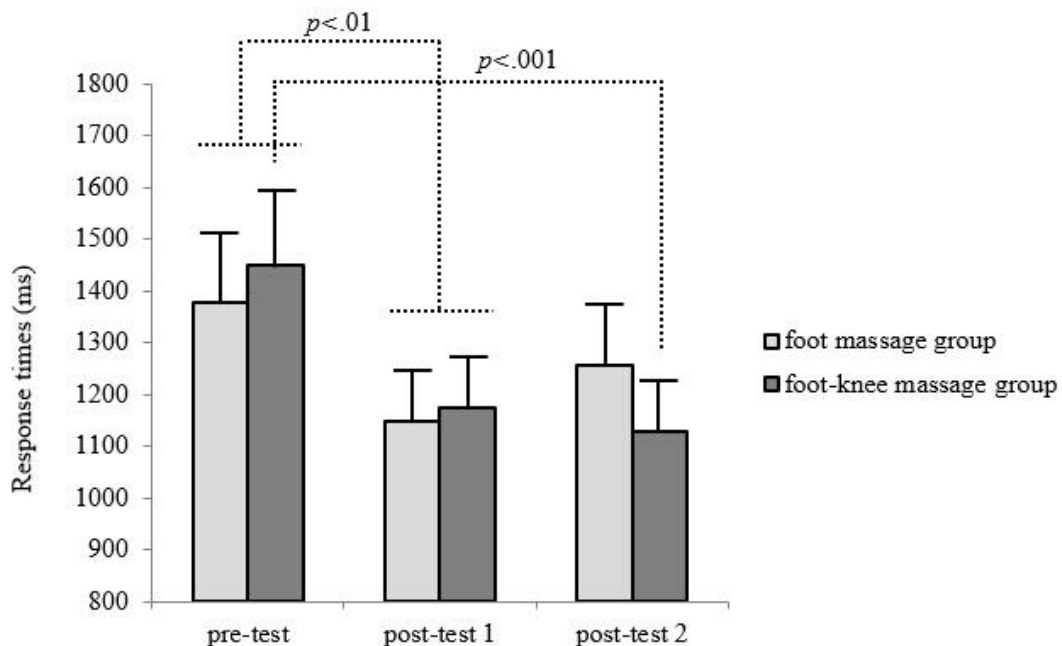


Figure 3 : Mean response times (ms) for the body mental rotation task as a function of group (foot massage vs. foot-knee massage) and session (pretest, posttest 1 and posttest 2). Error bars indicate the standard error of the mean.

To quantify how the massage improved the response times immediately after (in posttest 1) and 24 hours later (in posttest 2), we computed the Index of Performance Improvement ($IPI = [\text{response time in posttest} - \text{response time in pretest}] / \text{response time in pretest}$, expressed as a percentage) for each participant. A positive value indicated a performance improvement (i.e., a decrease in response time in the posttest), whereas a negative value indicated a performance deterioration (i.e., an increase in response time). IPI was analyzed by ANOVA with group (foot massage vs. foot-knee massage) as a between-subjects factor and posttest (posttest 1 vs. posttest 2) as a within-subjects factor. T-tests were used to examine whether the IPI significantly differed from zero.

The ANOVA revealed only a significant group \times posttest interaction ($F_{1,32} = 3.91, p < .05, \eta^2_p = .09$). Post hoc comparisons revealed that performance improvement from pretest to posttest 1 (i.e., immediately after the massage) was similar in both groups, whereas the performance improvement from pretest to posttest 2 (i.e., 24 hours after the massage) was better in the foot-knee massage group than the foot only massage group ($p < .02$; Figure 4). Moreover, in the foot massage group, the IPI was significantly smaller in posttest 2 than posttest 1 ($p < .05$). T-test analyses revealed that the IPI was significantly different from zero in posttest 1 for the foot massage group ($t_{17} = 5.30, p < .0001$) and the foot-knee massage group ($t_{17} = 5.11, p < .0001$), as well as in posttest 2 for the foot-knee massage group ($t_{17} = 5.70, p < .0001$), whereas the IPI did not differ from zero in the foot massage group ($t_{17} = 1.43, p = .17$).

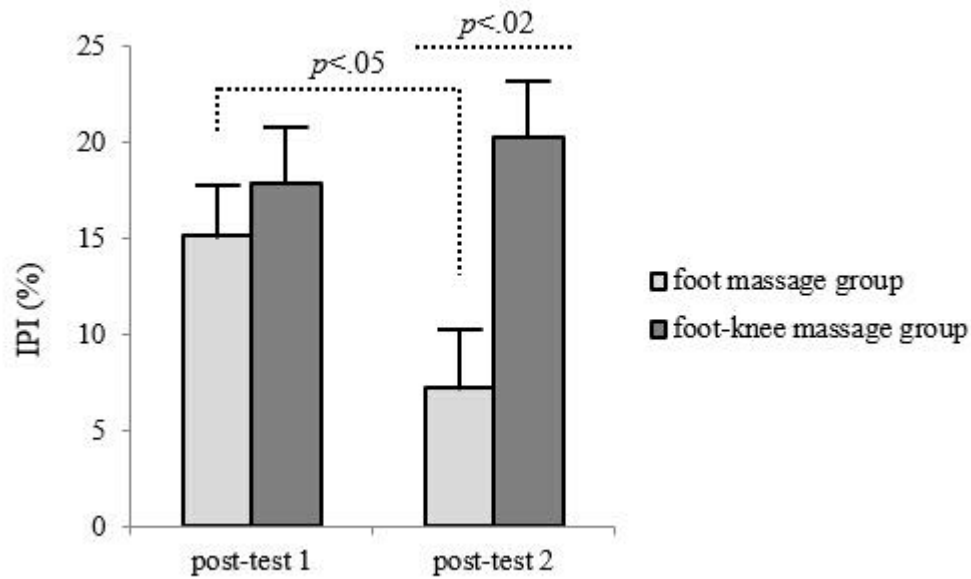


Figure 4 : Index of Performance Improvement (%) as a function of group (foot massage vs. foot-knee massage) and posttest (posttest 1 vs. posttest 2). Errors bars indicate the standard error of the mean.

The number mental rotation task

ANOVA on the percentage of correct responses showed only a main effect of rotation ($F_{3,96} = 19.01$, $p < .0001$, $\eta^2p = .37$). Post hoc comparisons revealed that correct responses were significantly more frequent for the 0° and 40° rotations ($M = 93\%$; $SD = 15\%$) than the 80° ($M = 89\%$; $SD = 18\%$, $p < .001$) and 120° rotations ($M = 82\%$; $SD = 23\%$, $p < .0001$), as well as the 80° compared to 120° rotation ($p < .001$).

ANOVA on the response times showed only a main effect of rotation ($F_{3,96} = 11.04$, $p < .0001$, $\eta^2p = .27$). Post hoc comparisons revealed that response times were significantly lower for the 0° and 40° rotations ($M = 1128\text{ms}$; $SD = 150\text{ ms}$) than the 80° ($M = 1263\text{ ms}$; $SD = 162\text{ ms}$, $p < .001$) and 120° rotations ($M = 1492\text{ms}$; $SD = 206\text{ ms}$, $p < .0001$), as well as for the 80° and 120° rotations ($p < .0001$), regardless of the group and the session.

DISCUSSION

The second experiment had 2 specific aims. First, it was carried out to examine whether the extent of the massage area (i.e., massage performed on the foot only or on the foot and the knee of the right leg) differentially impacted the reactivation of the sensorimotor processes. Second, it was carried out to examine whether contralateral activation might be observed following massage performed for 10 minutes on the right leg (i.e., activation of the sensorimotor representation of the left leg not massaged by the physical therapist). With the exception of the massage, the pre/posttest experimental procedure was similar to Experiment 1. The main results of Experiment 2 revealed that, for the body mental rotation task, response times similarly decreased from pretest to posttest 1 in both groups (the foot massage group and the foot-knee massage group), but differences between groups appeared in posttest 2, with better improvement in response times following a 10-minute massage on both the foot and the knee. Importantly, the positive effects of massage were detected for both the right foot (the massaged foot) and the left foot (the non-massaged foot) regardless of the posttest (i.e., immediately after the massage and 24 hours later). No difference between groups appeared in the non-body mental rotation task.

The results of Experiment 2 confirmed those of Experiment 1, in particular the positive effect of a single and brief (10 minutes) massage session performed by an experienced physical therapist on the activation of the sensorimotor processes. Moreover, when the massage-induced effects were evaluated immediately after the massage session, no difference appeared as a function of the extent of the massage area. The participants actually took less time to identify the laterality of foot images when the task was performed after the massage in both groups (foot massage and foot-knee massage). However, the present experiment showed that the extent of the massage area was important when the effects of massage were assessed 24 hours later. In that case, the activation of the sensorimotor processes lasted longer when the massage area was more extensive. Therefore, activating a larger body representation via a massage procedure on both the foot and the knee during a brief session is better than concentrating the massage on a specific area (the foot only) during the same period. This suggests the need to diversify the location of the massage to stimulate the sensorimotor system in a sustainable manner.

In Experiment 2, massage performed on the right leg alone activated not only the sensorimotor representation of the right leg but also that of the opposite leg. The results

showed that improvement in response times following the massage was similar regardless the laterality of the foot that needed to be identified. These findings revealed that, for a given effector system (the lower-limb in the present experiment), massage on one side of the body activated the sensorimotor representation of the opposite side. Similar results were previously observed following the restriction of input/output of signal processing via an immobilization procedure,^{9,10} which resulted in a slowdown of the sensorimotor processes for both the immobilized and the non-immobilized effectors. In the same vein, other studies have reported a positive transfer of a learned task to the contralateral side of the body.³⁰ In all cases, it may be that the interhemispheric exchange of sensorimotor information was made possible by the corpus callosum, which is considered a central structure in hemisphere interconnection processes.³¹ In the present experiment, we clearly showed that the central consequence of the enhancement of sensory input by unilateral massage was the induction of both ipsilateral and contralateral activation of the sensorimotor system, which supports the existence of an effector-independent sensorimotor representation.³⁰ For physical therapists, the bilateral activation reported in the present experiment is very interesting because it demonstrates the possibility of using massage on one side of the body alone in cases of contraindications, e.g., when a patient is wearing a cast due to a fracture or when a patient experiences pain with touch, to improve both sides of the body.

CONCLUSION

The present 2 experiments offer support for the hypothesis that a single and brief massage session performed by an experienced therapist has functional effects. Massage activates the sensorimotor receptors that favor the functioning of the related sensorimotor system. The positive impact of massage is not only immediate but lasts up to 24 hours later. Importantly, the activation of the sensorimotor representation may partially depend on the extent of the area and may concern not only the massaged leg but also the contralateral leg.

Overall, these findings confirmed that peripheral activation via a massage had a specific impact on the sensorimotor processes and can help patients cope with the slowdown of the signal processing related to advancing age.^{23,24} These findings highlighted the impact that massage therapies could have on geriatric care, in particular during programs for the prevention of falling or rehabilitation of autonomy. However, further studies should be carried out to examine whether the possibility of modulating the sensorimotor cortex activity by manipulating sensory inputs via massage is accompanied by improvements in motor function or produces specific improvements in rehabilitation (i.e., better motor performance for inpatients or quicker improvements).

REFERENCES

1. Pascual-Leone A, Amedi A, Fregni F, Merabet LB. The plastic human brain cortex. *Annu Rev Neurosci* 2005; 28, 377–401.
2. Avanzino L, Pelosin E, Abbruzzese G, Bassolino M, Pozzo T, Bove M. Shaping motor cortex plasticity through proprioception. *Cereb Cortex* 2013; 24, 2807-2814.
3. 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, 367-75.
4. Bassolino M, Bove M, Jacono M, Fadiga L, Pozzo T. Functional effect of short-term immobilization: kinematic changes and recovery on reaching-to-grasp. *Neurosci* 2012; 215, 127–134.
5. Huber R, Ghilardi MF, Massimini M, et al. Arm immobilization causes cortical plastic changes and locally decreases sleep slow wave activity. *Nat Neurosci* 2006; 9, 1169-1176.
6. Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 2001; 14, 429-439.
7. 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, 489-499.
8. Meugnot A, Almecija Y, Toussaint L. The embodied nature of motor imagery processes highlighted by short-term limb immobilization. *Exp Psychol* 2014; 61, 180-186.
9. Toussaint L, Meugnot A. Short-term limb immobilization affects cognitive motor processes. *J Exp Psychol Learn Mem Cog* 2013; 39, 623-632.
10. Meugnot A, Agbangla NF, Toussaint L. Selective impairment of sensorimotor representations following short-term upper-limb immobilisation. *Q J Exp Psychol*. Epub ahead of print 8 December 2015. DOI:10.1080/17470218.2015.1125376
11. Kossev A, Siggelkow S, Kapels HH, Dengler R, Rollnik JD. Crossed effects of muscle vibration on motor-evoked potentials. *Clin Neurophysiol* 2001; 112, 453-456.
12. Rosenkranz K, Rothwell JC. The effect of sensory input and attention on the sensorimotor organization of the hand area of the human motor cortex. *J Physiol* 2004; 561, 307-320.
13. Roll R, Kavounoudias A, Legre R, Gay A, Fabre B, Roll JP. Illusory movements prevent cortical disruption caused by immobilization. *Neuroimage* 2012; 62, 510-519

14. Karnath HO, Konczak J, Dichgans J. Effect of prolonged neck muscle vibration on lateral head tilt in severe spasmodic torticollis. *J Neurol, Neurosurg Psychiatry* 2000; 69, 658-660.
15. Rosenkranz K, Butler K, Williamon A, Rothwell JC. Regaining motor control in musician's dystonia by restoring sensorimotor organisation. *J Neurosci* 2009; 29, 14627-14636.
16. El-Tamawy MS, Darwish MH, Khallaf ME. Effects of augmented proprioceptive cues on the parameters of gait of individuals with Parkinson's disease. *Ann Indian Acad Neurol* 2012; 15, 267-272.
17. Field T, Diego M, Hernandez-Reif M. Massage therapy research. *Dev Rev* 2007; 27, 75-89.
18. Hongsuwan C, Eungpinichpong W, Chatchawan U, Yamauchi J. Effects of thai massage on physical fitness in soccer players. *J Phys Ther Sci* 2015; 27, 505-508.
19. Kalisch T, Tengenthoff M, Dinse HR. Improvement of sensorimotor functions in old age by passive sensory stimulation. *Clin Inter in Aging* 2008; 4, 673-690.
20. Vaillant J, Vuillerme N, Janvey A et al. Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. *Brain Res Bull* 2008; 75, 18-22.
21. Vaillant J, Rouland A, Martigne P, et al. Massage and mobilization of the feet and ankles in elderly adults: Effect on clinical balance performance. *Man Ther* 2009; 14, 661-664.
22. Henriksen M, Højrup A, Lund H, Christensen L, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. The effect of stimulating massage of thigh muscles on knee joint position sense. *Adv Physiother* 2004; 6, 29-36.
23. Saimpont A, Malouin F, Tousignant B, Jackson PL. Motor imagery and aging. *J Mot Behav* 2013; 45, 21-28.
24. Saimpont A, Pozzo T, Papaxanthis C. Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PlosOne* 2009; 8, e-6714.
25. Dalecki M, Hoffmann U, Bock O. Mental rotation of letters, body parts and complex scenes: Separate or common mechanisms ? *Hum Mov Sci* 2012; 31, 1151-1160.
26. Wilson J, Thomas, PR, Maruff P, Wilson PH. The link between motor impairment level and motor imagery ability in children with developmental coordination disorder. *Hum Mov Sci* 2008; 27, 270-285.

27. Naito E, Ehrsson HH. Kinesthetic illusion of wrist movement activates motor related areas. *Neuroreport* 2001; 12, 3805–3809.
28. Romaiguere P, Anton JL, Roth M, Casini L, Roll JP. Motor and parietal cortical areas both underlie kinaesthesia. *Cog Brain Res* 2003; 16, 74–82.
29. Liu SL, Qi W, Li H et al. Recent advances in massage therapy - a review. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 2015; 19, 3843-3849.
30. Vangheluwe S, Wenderoth N, Swinnen SP. Learning and transfer of an ipsilateral coordination task: Evidence for a dual-layer movement representation. *J Cog Neurosci* 2005; 17, 1460-1470.
31. Franz EA, Eliassen JC, Ivry RB, Gazzaniga MS. Dissociation of spatial and temporal coupling in the bimanual movements of callosotomy patients. *Psychol Sci* 1996; 7, 306–310.

En résumé :

Le modèle d'action du massage repose sur l'activation périphérique de récepteurs sensitifs. Pourtant, peu de données existent sur l'activation possible des structures centrales du système sensorimoteur à la suite d'un massage. L'objectif de ce travail était de déterminer les effets du massage sur l'activation des processus sensorimoteurs. Deux expériences ont donc été réalisées pour évaluer l'effet du massage sur le système sensorimoteur (Expérience 4) et l'importance d'étendre les zones de massage (Expérience 5).

Les résultats de l'Expérience 4 montrent que le massage active spécifiquement les processus sensorimoteurs et que cette activation persiste durant 24h. Les résultats de l'Expérience 5 confirment l'activation du système sensorimoteur à partir du massage comme rapporté précédemment (Expérience 4). Cependant, cette expérience montre que l'effet bénéfique du massage d'un seul pied n'est que temporaire, et que le massage d'une zone plus étendue permet l'activation du système sensorimoteur sur une période de 24h. Cette deuxième expérience illustre également le transfert d'un membre à l'autre des effets positifs du massage sur l'activation du système sensorimoteur, tel que suggéré par la similitude des performances lors de la reconnaissance des images de pieds droit et gauche.

L'activation des récepteurs sensitifs produite par le massage peut favoriser le fonctionnement du système sensorimoteur sur une période de 24h. Ce résultat souligne l'intérêt que pourrait avoir les thérapies par le massage dans la prise en charge gériatrique, notamment lors de programmes de prévention de la chute ou de rééducation de l'autonomie. De plus, l'activation bilatérale observée dans l'Expérience 5 met en évidence la possibilité de massages sur un seul côté du corps en cas de contre-indications (port d'orthèses, douleurs au toucher, etc.).

Au final, ces résultats suggèrent aussi l'intérêt d'un outil d'évaluation du système sensorimoteur lors d'une technique de rééducation.

2. La tâche de rotation mentale de stimuli corporels: un outil pour le praticien ? -

Expériences 6 et 7

La rééducation est un domaine de savoirs qui recouvre le champ du handicap, c'est-à-dire le devenir biologique, humain et social de l'Homme blessé (Wirocius, 1999). Plus spécifique, la finalité de la kinésithérapie est, littéralement, la rééducation du mouvement. Deux éléments sont donc importants. Le premier est l'apprentissage moteur (Chéron, 2011) et nous avons développé dans le chapitre 4 de ce manuscrit un critère d'optimisation de l'imagerie motrice dans cette finalité (moment de la journée). Le deuxième élément est la proprioception (Bruyneel, 2013, 2016). Cette dernière a elle-même deux versants évalués en pratique clinique courante (Bruyneel, 2016; Han, Waddington, Adams, Anson, & Liu, 2016; Krewer, Van de Winckel, Elangovan, Aman, & Konczak, 2016). La statesthésie et la kinesthésie correspondent respectivement au sens positionnel articulaire et au seuil de détection d'un mouvement (Bruyneel, 2016; Han et al., 2016). Bruyneel (2016) comme Han et ses collaborateurs (2016) décrivent la nécessité de suivre précisément les consignes des tests afin de permettre une meilleure comparaison entre deux mesures successives d'un même praticien (reproductibilité intra-opérateur) et surtout de deux praticiens différents (reproductibilité inter-opérateurs). En effet, l'évaluation de la reproductibilité intra-opérateur et inter-opérateurs montre la nécessité de respecter une méthodologie rigoureuse dans la prise de mesure, mais aussi la nécessité d'une expérience clinique et une bonne connaissance de l'anatomie palpatoire afin d'avoir une exactitude dans les repères anatomiques des prises de mesures (Bruyneel, 2016).

De plus, nous pouvons aussi rapporter que la statesthésie a des résultats variables d'une même équipe de recherche dans la détection des effets d'un massage avec une même routine technique mais sur des populations différentes (Henriksen et al., 2004; Lund et al., 2009) quand nos expériences précédentes (expériences 4 et 5) montraient une possibilité d'évaluer les effets du massage grâce à une tâche de rotation mentale. Il nous est alors apparu intéressant de poursuivre l'exploitation de ce travail et d'affiner cette tâche de rotation mentale de stimuli corporels afin d'évaluer sa pertinence dans l'évaluation centrale sensorimotrice en complément des outils périphériques déjà existants.

Introduction

Forme spécifique d'imagerie motrice implicite, la tâche de rotation mentale de stimuli corporels consiste à présenter des images de segments corporels dans différentes positions dont la latéralité doit être déterminée rapidement et précisément (Hoyek et al., 2010; Parsons, 1987; Parsons & Fox, 1998; Saimpont et al., 2009). Il existe une influence de la position du membre évalué lors du test sur la précision et le temps de réponse (Ionta et al., 2007). Ce résultat montre l'utilisation de la position en temps réel pour accomplir la tâche (Ionta et al., 2007). De même, si la représentation corticale est perturbée par la douleur (Moseley, 2004c) ou par la privation d'exercice (Toussaint & Meugnot, 2013), cela se manifeste aussi par une augmentation du temps de réponse. Ces résultats montrent tous l'influence de l'état du système sensorimoteur sur cette tâche et donc le potentiel de cette tâche dans l'évaluation clinique sensorimotrice. D'autres expériences confirment que la tâche de rotation mentale de stimuli corporels, qui est une tâche cognitive évaluant les processus centraux du traitement de l'information sensorimotrice, peut être affectée par des manipulations périphériques (immobilisation, massage des segments corporels, etc. Meugnot et Toussaint, 2014, Rulleau et Toussaint, in revision). Cette évaluation centrale, si elle était possible en pratique clinique, serait complémentaire de l'évaluation périphérique couramment utilisée.

La tâche de rotation mentale de stimuli corporels permet d'évaluer l'implication du système sensorimoteur selon plusieurs indices. L'effet Medial Over Lateral (ou MOLA), le profil de la courbe en fonction de l'angle de rotation des figures et l'effet de Latéralité (voir pour détail chapitre 1 §5). (1) L'effet MOLA est illustré par des temps de réponse plus importants sur les membres supérieurs en rotation latérale qu'en rotation médiale ; (2) le profil de la courbe s'illustre par une augmentation exponentielle des temps de réponse en fonction de l'angulation des stimuli présentés ; enfin (3) chez des sujets droitiers, l'effet de latéralité est illustré par des réponses plus rapides dans la reconnaissance des stimuli de la main dominante. Ces trois indices (MOLA, Profil de la Courbe et Latéralité) reflètent donc la prise en compte des contraintes biomécaniques liées au mouvement à effectuer (1) une rotation latérale vs. médiale (Gentilucci et al., 2000, 1998; Saimpont et al., 2009), (2) une rotation dans une amplitude plus inconfortable (Devlin & Wilson, 2010; Toussaint & Meugnot, 2013; Wilson et al., 2004) ou (3) des actions sur la main non dominante (Bagesteiro & Sainburg, 2002; Sainburg, 2002). Selon les auteurs, la présence de ces indices témoigne du recours à une

stratégie de résolution de la tâche de rotation mentale de stimuli corporels en imagerie motrice plutôt qu'une stratégie en imagerie visuelle (voir chapitre 1 §5 pour détails). Gentilucci et ses collaborateurs (2000) ont introduit un autre paramètre dans la tâche de rotation mentale. Ils ont proposé une tâche de reconnaissance de latéralité de stimuli corporels où ils mettent en jeu un effet de Complexité Motrice. A cette fin, ils présentent des images de mains tenant des boules de différentes tailles dans différentes conditions et effectuent plusieurs expériences. Lorsqu'ils manipulent la taille de la boule (expérience 1) avec des boules petite, moyenne et grande, faisant varier le type de prise (correspondant respectivement à des prises d'opposition bilatérale subterminale, pentadigitale et « à pleine paume »; Kapandji, 2002), le temps de reconnaissance de latéralité est plus court pour la condition boule de grande taille. A contrario, lorsqu'ils manipulent des indices de reconnaissance de la main en enlevant un doigt ou le pouce (expérience 2), le temps de reconnaissance de latéralité ne varie pas. Ces deux résultats montrent que le sujet ne reconnaît pas l'image « picturale » de la main en reproduisant la posture de la main et des doigts, mais reconnaît le programme moteur correspondant à la saisie lorsqu'il doit réaliser la tâche de reconnaissance de latéralité (Gentilucci et al., 2000). Les sujets utilisent donc une stratégie de reconnaissance en imagerie motrice impliquant leur système sensorimoteur et la programmation du geste correspondant à l'image. Cet effet de Complexité Motrice s'illustre donc par des temps de réponse plus longs pour identifier le programme moteur illustré par des images de mains tenant des boules de plus petites tailles (Gentilucci et al., 2000; Meugnot et al., 2015).

Un autre point qui mérite attention est l'effet de l'âge sur la rotation mentale de stimuli corporels. A notre connaissance, seules deux études se sont intéressées à l'effet de l'âge sur la tâche de rotation mentale de stimuli corporels. Si ces deux études concluent à une dégradation des temps de réponse en fonction de l'âge, elles semblent discordantes sur la stratégie de résolution de la tâche adoptée. D'abord, Saimpont, Pozzo, et Papaxanthis (2009) ont évalué l'effet de l'âge sur la rotation mentale de main. Il apparaît chez les seniors une majoration de l'effet MOLA et de l'effet de Latéralité. Le système sensorimoteur reste donc fortement impliqué suggérant la préservation d'une stratégie en imagerie motrice avec l'âge. D'un autre côté, Devlin et Wilson (2010) ont comparé chez des sujets jeunes et seniors la résolution d'une tâche de rotation mentale de main. Ils mettent en évidence une augmentation linéaire des temps de réponses avec la rotation dans les deux groupes. Selon ces auteurs, cette stratégie montrerait une

représentation du stimulus présenté comme étant un objet. Si nous transposons à notre question de la stratégie de résolution, cela marquerait le recours à une stratégie en imagerie visuelle. Les résultats de ces deux expériences sur des stimuli corporels de mains semblent donc contradictoires, suggérant soit la préservation d'une stratégie en imagerie motrice chez les seniors, soit le recours à une stratégie en imagerie visuelle, mais cela peut aussi être expliqué par la prise en compte d'indices différents (profil de la courbe par Devlin et Wilson versus effet de Latéralité et effet MOLA par Saimpont et ses collaborateurs). A la lumière de ces résultats, nous allons donc évaluer la préservation de ces différents indices avec l'âge, pour les membres supérieurs (Expérience 6) et inférieurs (Expérience 7).

2.1. Age et rotation mentale de stimuli corporels des membres supérieurs :

Expérience 6

Si nous voulons pouvoir utiliser cette tâche cognitive pour évaluer l'implication centrale du système sensorimoteur, il est nécessaire de s'assurer que la tâche est résolue grâce à une stratégie en imagerie motrice. La question qui nous préoccupe est donc de savoir si la dégradation du traitement des processus sensorimoteurs chez les sujets seniors s'accompagne d'une préservation d'une stratégie de résolution de la tâche en imagerie motrice, ou d'une modification au profit d'une stratégie en imagerie visuelle. Afin d'implémenter les données sur l'effet de l'âge, il nous est donc paru judicieux d'évaluer cette tâche de rotation mentale de stimuli corporels de type bille-boule. L'objectif de cette première expérience sera d'évaluer comment l'âge affecte un test de reconnaissance de latéralité des membres supérieurs (les mains) au cours duquel était manipulée la Complexité Motrice.

La mise en évidence des indices (effet de complexité motrice, effet MOLA, effet de latéralité ou profil de la courbe) devrait nous renseigner sur la préservation ou l'abandon d'une stratégie en imagerie motrice avec l'avancée en âge. Nous observerons donc soit une présence des indices marquant une préservation de l'implication des processus sensorimoteurs, soit une disparition des indices marquant une disparition de l'implication des processus sensorimoteurs.

Méthode

Participants

Quarante sujets droitiers volontaires ont participé à cette expérience. Ils ont été répartis en 2 groupes. Le groupe Jeune ($n=20$, âge moyen 19.3 ± 1.0 ans ; 13 hommes) est composé d'étudiants recrutés sur le campus de l'Université de Poitiers. Le groupe Senior (20 sujets évalués et 18 retenus, voir paragraphe analyse des données ; $n=18$, âge moyen 82.9 ± 6.5 ans ; 8 hommes) est composé de sujets âgés hospitalisés pour diverses raisons gériatriques ou neurogériatriques (ex. accident ischémique transitoire, asthénie, altération de l'état général, chute ...). Afin de s'assurer un niveau d'activité minimal, tous les sujets seniors étaient capables de marcher dix mètres en moins de 30 secondes sans aide technique ou avec une canne simple. Les sujets ont été exclus de la participation s'ils avaient une infection non stabilisée ou une évaluation clinique incompatible avec le protocole (e. g. problème optique non corrigé, démence sévère ou état psychiatrique). Tous les sujets ont donné leur consentement écrit pour leur participation à l'étude, et le protocole a été approuvé par le comité éthique de l'hôpital où l'expérience a eu lieu pour les seniors. Celle-ci s'est déroulée dans des pièces calmes avec une température ambiante constante ($20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$). Avant de débiter, les sujets étaient naïfs quant aux objectifs de l'expérience.

Tâche et procédure expérimentale

Tous les participants ont effectué une tâche de *rotation mentale de stimuli corporels*. Ils étaient assis devant un écran d'ordinateur (60 cm), les mains gauche et droite sur le clavier avec chacun des index posé sur une touche située sur la gauche (touche "s") et sur la droite du clavier (touche "l"). Présentés aléatoirement, les stimuli (créé avec le logiciel Poser 6.0; Dimensions 20,7x 12,7cm; Figure 13) correspondaient à une image de main droite ou de main gauche tenant une bille (2 cm de diamètre) ou une boule (14 cm de diamètre). Les mains étaient présentées selon une rotation médiale ou latérale (créé avec le logiciel Poser 6.0). Les sujets devaient déterminer la latéralité des images de main en appuyant sur la touche "s" du clavier pour une image de main gauche ou sur la touche "l" pour une image de main droite.

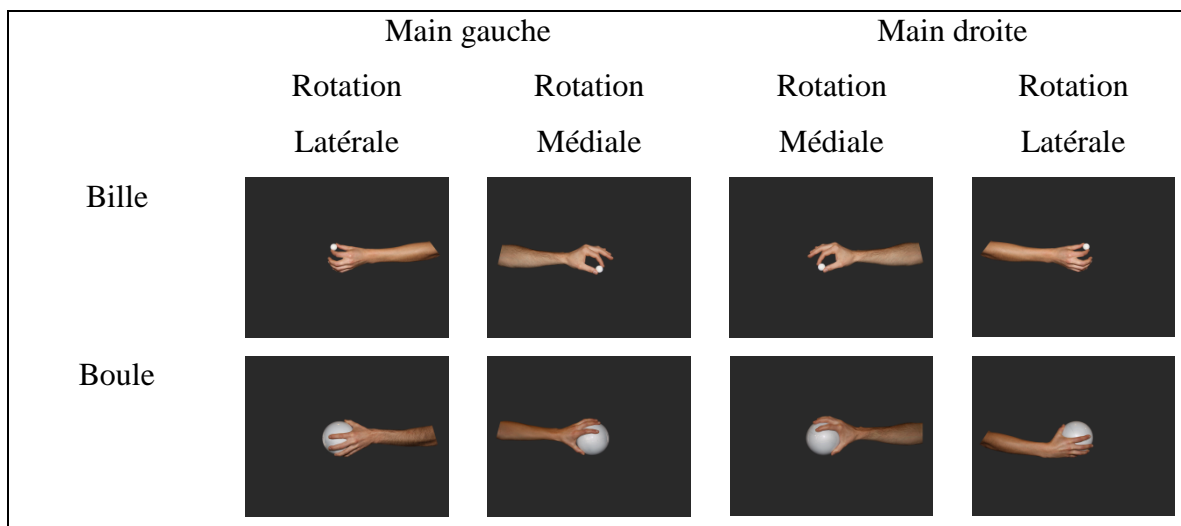


Figure 13 : Illustration des images utilisées dans cette expérience, image d'une main (droite ou gauche) tenant une sphère (bille ou boule) selon 2 rotations (médiale ou latérale)

Un essai commençait par l'affichage d'une croix de fixation au centre de l'écran pendant 500 ms. Ensuite, une image était présentée et restait visible jusqu'à ce qu'une réponse soit donnée par les participants.

Ils avaient comme consigne de répondre le plus rapidement possible tout en essayant de ne pas faire d'erreurs. Le progiciel 2.0 E-Prime (Psychologie Software Tools Inc., Pittsburgh, USA) a été utilisé pour présenter les images et enregistrer la vitesse et la précision des réponses.

Analyse des données

La précision et le temps de réponse ont été enregistrés. Seules les données des réponses correctes ont été utilisées pour analyser les temps de réponse. Deux sujets du groupe senior ont été exclus, ayant des temps de réponses supérieurs de plus de 2.5 écarts-types de ceux de leur groupe. Des ANOVAs ont été réalisées sur l'exactitude (%) et les temps de réponse (ms) avec **le groupe** (Senior vs Jeune) comme facteur inter-sujets et **la main** (droite vs gauche), **la rotation** (médiale vs latérale) et **la sphère** (bille vs boule) comme facteurs intra-sujets. Les comparaisons post hoc ont été effectuées au moyen d'un test de Newman-Keuls. Le seuil Alpha a été fixé à .05 pour toutes les analyses.

Résultats

Exactitude des réponses

L'ANOVA sur le pourcentage de réponses correctes a montré un effet principal du groupe [$F(1,36)=29.04, p<.00001, \eta^2=.44$], de la main [$F(1,36)=6.91, p<.013, \eta^2=.16$] et de la rotation [$F(1,36)=26.40, p<.00001, \eta^2=.42$]. Il existe une interaction entre la main et le groupe [$F(1,36)=5.744, p=.022, \eta^2=.13$], entre la rotation et le groupe [$F(1,36)=14.13, p<.0006, \eta^2=.29$] et entre la main, la rotation et le groupe [$F(1,36)=4.957, p<.032, \eta^2=.12$]. Comme illustré sur la Figure 14, l'interaction entre la main, la rotation et le groupe révèle un pourcentage moins élevé de reconnaissance de la main droite en rotation latérale chez les sujets seniors (69%) vs. toutes les autres conditions (92%, $ps<.005$), ainsi qu'une moins bonne précision pour la main droite en rotation latérale chez les sujets seniors (80%) vs toutes les autres conditions ($M=94\%$, $ps<.005$).

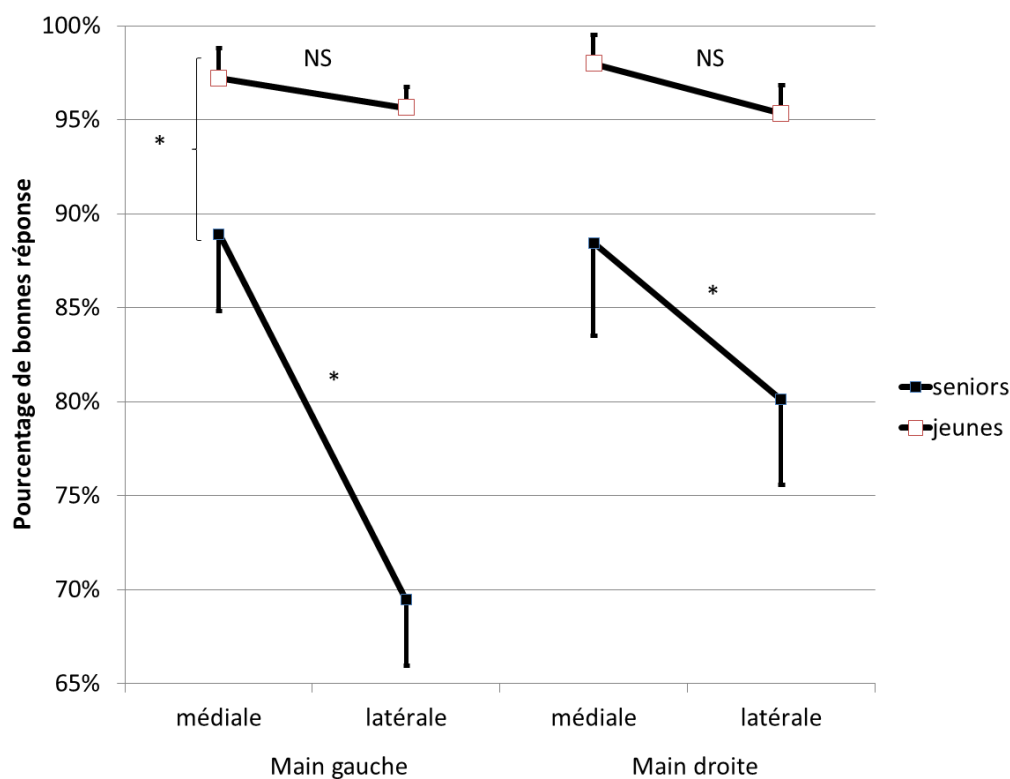


Figure 14 : pourcentage de réussite à la tâche RMmains en fonction du groupe (senior vs. jeune), de la main (gauche vs. droite) et de la rotation (médiale vs. latérale)

Temps de réponse

L'ANOVA sur les temps de réponses a montré un effet principal du groupe [$F(1,36)=28.94$, $p<.00001$, $\eta^2=.44$], de la main [$F(1,36)=5.26$, $p<.028$, $\eta^2=.13$], de la rotation [$F(1,36)=25.80$, $p<.00002$, $\eta^2=.42$] et de la sphère [$F(1,36)=20.07$, $p<.0001$, $\eta^2=.36$], ainsi que des interactions rotation x groupe [$F(1,36)=20.05$, $p<.0001$, $\eta^2=.36$], sphère x groupe [$F(1,36)=10.48$, $p<.003$, $\eta^2=.23$] et main x sphère x groupe [$F(1,36)=5.41$, $p<.025$, $\eta^2=.13$]. Comme illustré sur la Figure 15, l'interaction montre un temps de réponse plus court pour les jeunes indépendamment de la rotation ($p<0.0002$), et un temps de réponse plus court pour la rotation médiale (vs. latérale) chez le groupe senior ($p<0.0002$).

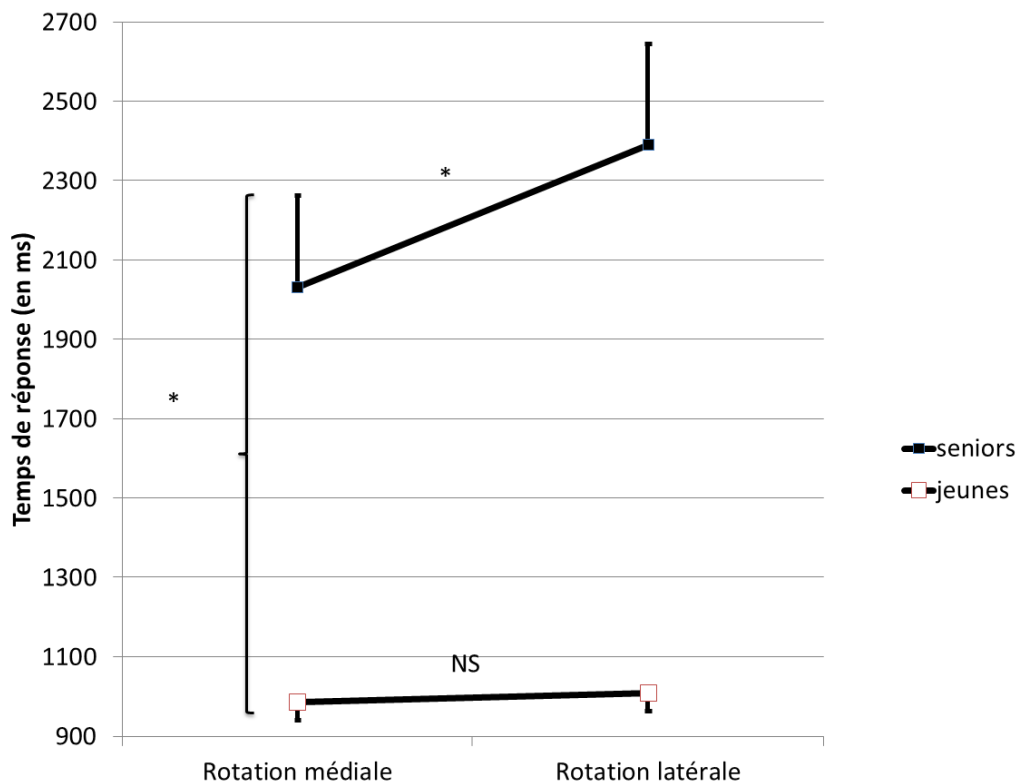


Figure 15 : temps de réponse en fonction du groupe (seniors vs. jeunes) et de la rotation (médiale vs. latérale).

Comme illustré sur la Figure 16, l'interaction main x sphère x groupe révèle un temps de réponse plus long chez les seniors que les jeunes. Cependant chez les seniors, le temps de réponse est plus long pour identifier la latéralité de la main gauche tenant une bille ($p<.001$) que la latéralité des mains droite tenant une bille et gauche tenant une boule (égaux entre eux $p=.92$). Enfin, le temps de réponse le plus court est pour la main droite tenant une boule ($p<.001$). Concernant le groupe jeune, la main droite tenant une boule a des temps de réponses plus courts ($p<.035$) que la main droite tenant une bille ou la main gauche quelle que soit la taille de la sphère (bille ou boule, $p>.3$).

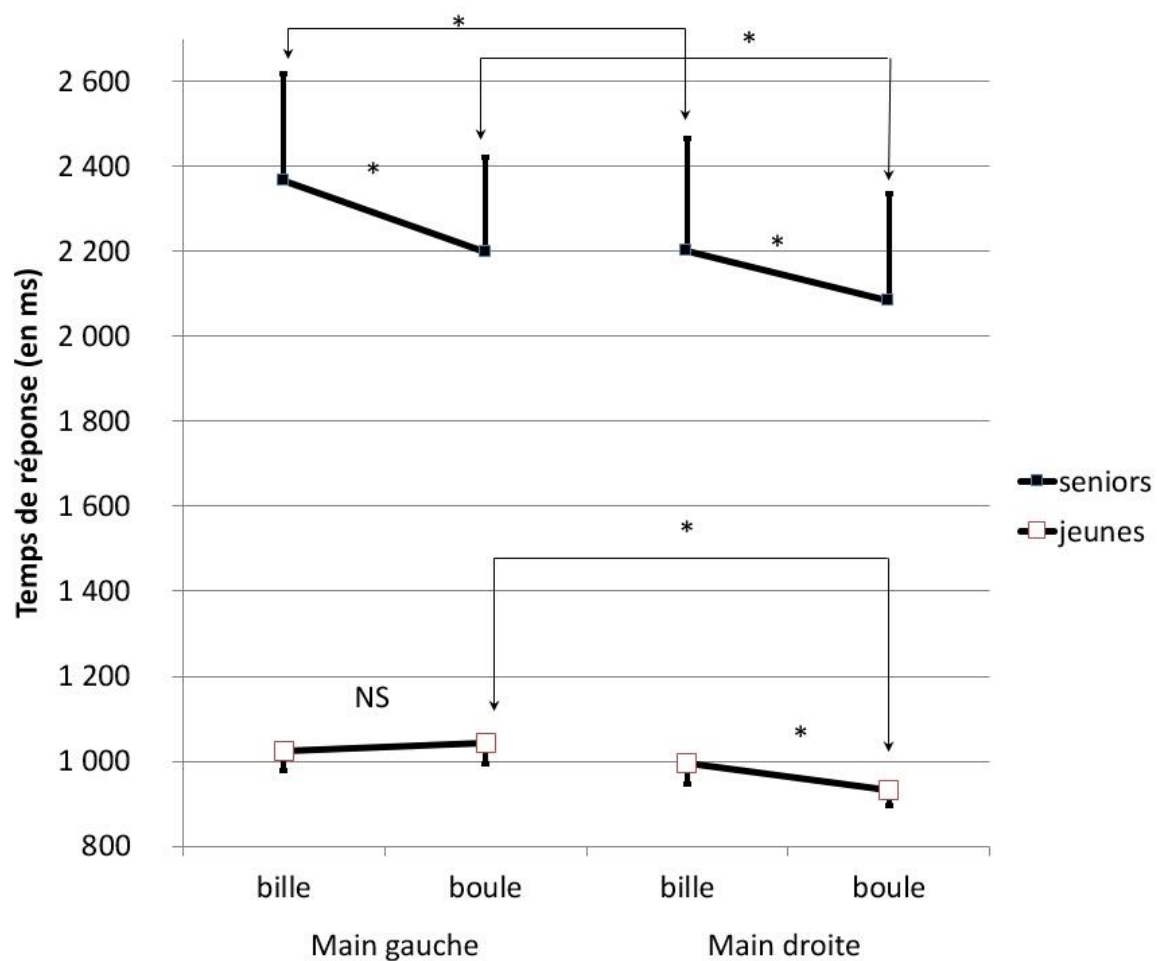


Figure 16 : temps de réponse en fonction du groupe, de la main et de la sphère.

Discussion

La présente étude investiguait l'effet de l'âge sur la stratégie de résolution d'une tâche de rotation mentale de stimuli corporels. Plusieurs auteurs avaient évalué une dégradation des performances liée à l'âge lors de l'accomplissement de tâches de rotation mentale de stimuli non-corporels (Dror & Kosslyn, 1994; Hertzog, Vernon, & Rypma, 1993). En complément, Saimpont et ses collaborateurs (2009) comme Devlin et Wilson (2010) avaient aussi mis en évidence une dégradation des performances dans des tâches de rotation mentale de stimuli corporels avec l'âge. Conformément à la littérature, notre expérience confirme la présence de cette dégradation des temps de réponse avec l'âge. Pour le praticien, connaître les propriétés spécifiques de cette tâche est important s'il veut pouvoir l'utiliser en pratique clinique courante. En conséquence, nous pouvons noter que cette dégradation attendue se retrouve aussi dans cette tâche. De plus, cette dégradation confirme l'intérêt de s'interroger sur la stratégie de résolution de la tâche.

Plus important, dans leurs expériences, si Devlin et Wilson (2010) et Saimpont et ses collaborateurs (2009) avaient des résultats concordants sur la dégradation liée à l'âge, les premiers semblaient mettre en évidence une stratégie de résolution de la tâche en imagerie visuelle (objectivation de la main), les seconds une stratégie en imagerie motrice (présence d'indices spécifiques). Leurs résultats semblaient contradictoires sur la stratégie de résolution de la tâche de rotation mentale. L'utilisation d'indices différents par les auteurs pourrait expliquer cette discordance (profil de la courbe par Devlin et Wilson versus effet de Latéralité et effet MOLA par Saimpont et ses collaborateurs). Nous avons donc voulu savoir si la dégradation des performances liée à l'âge s'accompagnait d'une modification de la stratégie, la résolution de la tâche évoluant d'une stratégie en imagerie motrice vers une stratégie en imagerie visuelle. Nos hypothèses étaient que, soit une présence des indices marquerait une préservation de l'implication des processus sensorimoteurs, soit une disparition des indices marquerait une disparition de l'implication des processus sensorimoteurs. Les résultats principaux montrent la présence de trois indices chez les jeunes comme les seniors (effet MOLA dans les deux populations, effet de latéralité s'accompagnant d'un effet de complexité motrice sur les deux mains chez le senior et sur la main droite uniquement chez le jeune).

De la préservation des indices à la mesure de l'implication sensorimotrice

Concernant l'effet de Complexité Motrice et l'effet de latéralité, plusieurs auteurs avaient retrouvé une asymétrie dans les performances de résolution d'une tâche de reconnaissance des deux mains chez le sujet jeune et droitier (Gentilucci et al., 2000; Ionta & Blanke, 2009; Meugnot et al., 2015; Parsons, 1987, 1994). L'effet de complexité motrice était associé à un effet de latéralité qui montrait la prise en compte de l'expertise du sujet. Comme nous l'attendions, cette expertise est retrouvée chez les sujets jeunes. De façon intéressante, cette mise en évidence de l'expertise de la main dominante persiste avec l'âge puisque les seniors ont aussi des temps de réponse plus longs pour la main gauche. Cependant, alors que l'effet de complexité motrice n'est présent que pour la main droite chez le sujet jeune, il est présent pour les deux mains chez le sujet senior. Malgré une prédominance droite toujours présente et une dégradation des performances avec l'âge, cela semble montrer que la stratégie en imagerie motrice est adoptée par les seniors quelle que soit la main (dominante versus non dominante), tandis que chez les jeunes, elle concernerait plus fortement la main dominante (Meugnot et al., 2015).

Dans notre expérience, le troisième indice, l'effet MOLA, apparaît avec l'âge. Cet effet était retrouvé par Saimpont et ses collaborateurs (2009). Au contraire, Devlin et Wilson (2010) moyennaient les résultats des rotations médiale et latérale pour n'interpréter que l'angle de rotation sans tenir compte de l'orientation. Il en résulte que cet effet, même s'il était présent, ne pouvaient apparaître ni chez les jeunes ni chez les seniors. Une expérience proche de celle de Devlin et Wilson (2010) s'intéressait uniquement à des sujets jeunes en distinguant les orientations médiales et latérales (Brady, Maguinness, & Ní Choisdealbha, 2011). Leur résultat montrait une différence entre les orientations médiales et latérales. Il semble que ce soit le choix de moyennner en fonction du degré de rotation, sans prendre en compte l'orientation qui est à l'origine de l'absence de mise en évidence de cet effet MOLA chez les sujets jeunes de Devlin et Wilson. Dans la continuité de ce raisonnement, l'absence d'indice (linéarisation de la courbe, absence d'effet MOLA) marquant une stratégie en imagerie motrice dans leur expérience pourrait aussi venir de ce choix de moyennner sans prendre en compte l'orientation médiale ou latérale. Notre expérience confirme celle de Saimpont et ses collaborateurs (2009) avec la présence d'un effet MOLA. Tous ces résultats semblent montrer la

présence d'indices attendus (effet de Latéralité, effet de Complexité Motrice, effet MOLA) et témoignant du recours à une stratégie en imagerie motrice dans la résolution de cette tâche de rotation mentale de stimuli corporels.

Il convient cependant de s'intéresser au sens de cet effet MOLA. Est-il réellement un indice de la présence d'une stratégie en imagerie motrice ou n'illustrerait-il pas l'existence d'un changement de perspective liée aux caractéristiques des stimuli présentés (représentation de soi versus représentation d'autrui) ?

Effet MOLA : contrainte motrice ou changement de perspective ?

Un autre point important concernant l'effet MOLA est que la tâche conjugue une position avec une variation de contrainte sur l'orientation (médiale versus latérale) et une variation de point de vue (égocentré versus allocentré). Les différences de performances pourraient donc être causées par ces différences de contraintes d'orientation et/ou ce changement de point de vue. La variation de point de vue peut engendrer des variations sur les aires cérébrales activées (Saxe, Jamal, & Powell, 2006) et sur les performances au test de reconnaissance de latéralité (Brady et al., 2011). Comme le montrent Brady et ses collaborateurs (2011), la variation de contraintes d'orientation peut coexister avec la variation de point de vue et entraîner des modifications des performances. Ces derniers auteurs montrent une dégradation des temps de réponses en rotation latérale par rapport à la rotation médiale, mais aussi une dégradation du nombre de bonnes réponses en vue allocentrique par rapport à l'égocentrique. Pour revenir à notre travail, si la variation était due à la contrainte d'orientation (médiale ou latérale), elle montrerait une stratégie en imagerie motrice. Au contraire, si la variation était due au point de vue, elle pourrait être causée autant par une stratégie en imagerie visuelle que motrice et ne permettrait pas de conclure.

Plusieurs éléments peuvent éclairer la part de chacune de ces deux possibilités. Comme le rapporte Jeannerod (2003), l'appropriation de l'effecteur comme appartenant au sujet effectuant l'expérience se fait si plusieurs critères sont présents. D'abord, si le mouvement visualisé est identifié comme celui du sujet. Même si, comme le montre l'effet de complexité motrice, la tâche demande la reconnaissance d'un programme moteur et non seulement d'une image picturale (Gentilucci et al., 2000), elle ne met pas en jeu de mouvement qui ne peut donc être identifié par le sujet comme le sien. Un

autre critère est l'appropriation de la main présentée comme celle du sujet. Pour cela, Jeannerod (2003) rapporte le port de gant pour éviter la reconnaissance de l'appartenance de la main sur des traits grossiers. Dans notre expérience, les stimuli présentés sont facilement identifiables comme n'appartenant pas aux sujets. Ces deux éléments montreraient donc que les mains peuvent être considérées par les sujets comme ne leur appartenant pas. Gentilucci et ses collaborateurs (2000) complètent ces données avec une analyse explicitant leur expérience. Ils rapportent qu'il est possible que, lorsqu'une action est mieux représentée par un système de référence égocentrique, elle se réfère au sujet de l'expérience. À l'inverse, lorsque l'action est mieux représentée au moyen d'un système de référence allocentrique, elle se réfère à d'autres personnes. Dans leur étude, comme dans la nôtre, il n'était pas demandé de déterminer l'appartenance de la main. Les sujets ont été amenés à s'imaginer "imiter" l'action d'une main étrangère pour reconnaître sa latéralité. À cette fin, ils ont traduit la main d'un cadre de référence allocentrique vers un cadre de référence égocentrique. Le dernier élément important est aussi donné par Gentilucci et ses collaborateurs (2000), qui montrent l'importance de la présence des avant-bras. Dans leur tâche de reconnaissance de latéralité, lorsque l'avant-bras a été enlevé, les performances ont été en partie dégradées. Les avant-bras étaient nécessaires pour superposer la main du sujet passant l'expérience sur la main d'autrui. Ils permettent d'éviter l'objectivation de la main et de contrôler le cadre de référence de la reconnaissance de latéralité. Ainsi, ce n'est pas seulement la représentation motrice d'une main, mais la représentation motrice d'un individu qui est reconnue. La stratégie de résolution de la tâche de latéralité implique donc bien une stratégie en imagerie motrice.

Au final, tous ces résultats montrent la présence d'indices attendus (effet de Latéralité, effet de Complexité Motrice, effet MOLA). La tâche de rotation mentale de stimuli corporels est bien résolue par une stratégie en imagerie motrice. De plus, pour reconnaître la latéralité du stimulus présenté, les sujets, jeunes comme seniors, ne se contentent pas de reconnaître l'image picturale, mais ils reconnaissent un programme moteur (effet de Complexité Motrice). Pour les membres supérieurs, cette expérience valide donc la possibilité d'utiliser cette tâche dans l'évaluation de l'intégrité du système sensorimoteur au cours d'une rééducation.

2.2. Age et rotation mentale de stimuli corporels des membres inférieurs :

Expérience 7

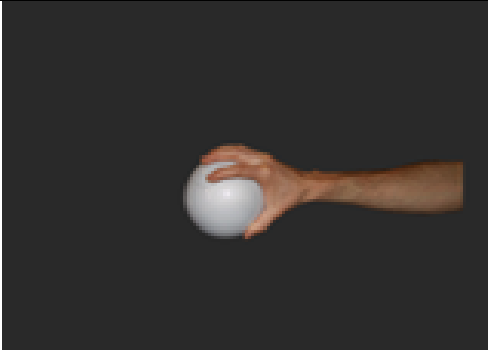

L'évaluation clinique peut concerner chacun des quatre membres, or il existe une organisation somatotopique des aires sensibles comme motrices au sein du Système Nerveux Central. Cette organisation fait que la tâche précédente (rotation mentale de main) ne peut nous renseigner sur l'intégrité du système sensorimoteur des membres inférieurs. Il est donc nécessaire de proposer une tâche de rotation mentale de stimuli corporels spécifiques sollicitant les représentations sensorimotrices des membres inférieurs.

Dans l'expérience précédente, l'effet de Complexité Motrice correspondait à la manipulation de la précision du geste sur la tâche illustrée. Selon Gentilucci et ses collaborateurs (1998, 2000), le temps de reconnaissance de latéralité augmente en fonction de la précision de la tâche illustrée. La reconnaissance de latéralité avec des images impliquant l'effet de complexité motrice semble donc respecter la loi de Fitts¹⁰, à savoir que de fortes contraintes en précision ralentissent l'exécution des mouvements (ou de leur simulation). Dans cette expérience, cet effet est recherché au niveau des membres inférieurs en manipulant la largeur de la sandale présentée.

Dans les tâches illustrées seront donc manipulés les indices recherchés. Outre la Complexité Motrice (sandales large vs. étroite), nous pouvons nous intéresser à l'application de l'effet Medial Over Lateral aux membres inférieurs. Cependant, si le point de vue habituel de sa main en position d'utilisation dans les activités de la vie quotidienne est en rotation médiale avec une pronosupination neutre de l'avant-bras (cf. Tableau 6), celle du pied est une vue de dessus à 15° d'ouverture (Kapandji, 2002; Kapandji & Judet, 2009).

¹⁰ La loi de Fitts prédit le temps requis pour aller rapidement d'une position de départ à une zone finale de destination, en fonction de la distance à la cible et de la taille de la cible

Tableau 6 : vue d'images de main et de pied en position d'utilisation dans les activités de la vie quotidienne

Image de main en position d'utilisation	Image de pied en position d'utilisation
	

La présence des indices (profil de la courbe, effet MOLA, effet de complexité motrice et effet de latéralité) devrait nous renseigner sur la préservation ou l'abandon d'une stratégie en imagerie motrice par les seniors. Suivant les résultats de l'expérience précédente, nous émettons l'hypothèse que les sujets seniors utilisent une stratégie en imagerie motrice pour résoudre les tâches de reconnaissance de latéralité des membres inférieurs.

Méthode

Les participants

Trente-neuf sujets droitiers volontaires ont participé à cette expérience, répartis en 2 groupes, Jeune et Senior. Le groupe Jeune ($n=20$, âge moyen 18 ± 1 ans; 15hommes) étudiants recrutés sur l'Université de Poitiers. Le groupe Senior (23 sujets évalués, 19 sujets retenus, voir paragraphe analyse des données ; $n=19$, âge moyen 82 ± 9 ans; 7 hommes) de sujets âgés hospitalisés pour diverses raisons gériatriques ou neurogériatriques (ex. accident ischémique transitoire, asthénie, altération de l'état général, chute ...). Afin de s'assurer d'un niveau d'activité minimal, tous les sujets étaient capables de marcher dix mètres en moins de 30 secondes sans aide technique ou avec une canne simple. Les sujets ont été exclus de la participation s'ils avaient une infection non stabilisée ou une évaluation clinique incompatible avec le protocole (e. g. problème optique non corrigé, démence sévère ou état psychiatrique). Tous les sujets ont donné leur consentement écrit pour leur participation à l'étude, et le protocole a été approuvé par le comité éthique de l'hôpital où l'expérience a eu lieu. Celle-ci s'est déroulée dans une pièce calme avec une température ambiante constante ($20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$). Avant de débiter, les sujets n'avaient pas connaissance des objectifs de l'expérience.

Tâche et procédure expérimentale

Tous les participants ont effectué une tâche de *rotation mentale de stimuli corporels (RMpieds)*. Pour cette tâche, les patients étaient assis devant un écran d'ordinateur (60 cm) sur lequel des stimuli étaient présentés aléatoirement. Les mains gauche et droite étaient posées sur le clavier avec chacun des deux index sur une touche (une touche située sur la gauche et l'autre sur la droite du clavier). Un essai commençait quand une croix était affichée au centre de l'écran pendant 500 ms. Ensuite, une image était présentée et restait visible jusqu'à ce que le patient donne sa réponse. Après une phase de familiarisation, nous avons demandé aux participants d'identifier les images affichées au centre de l'écran d'ordinateur aussi rapidement et aussi précisément que possible

Dans cette tâche de rotation mentale de stimuli corporels, les stimuli (Figure 17) consistaient en des images de pied droit ou de pied gauche, en cours d'enfilage de deux largeurs de sandales (créé avec le logiciel Poser 6.0; Dimensions 20,7x12,7 cm). La reconnaissance des pieds enfilant une sandale large correspondait à une tâche moins complexe (=condition boule), quand la même tâche avec une sandale fine correspondait à une tâche plus complexe (=condition bille).

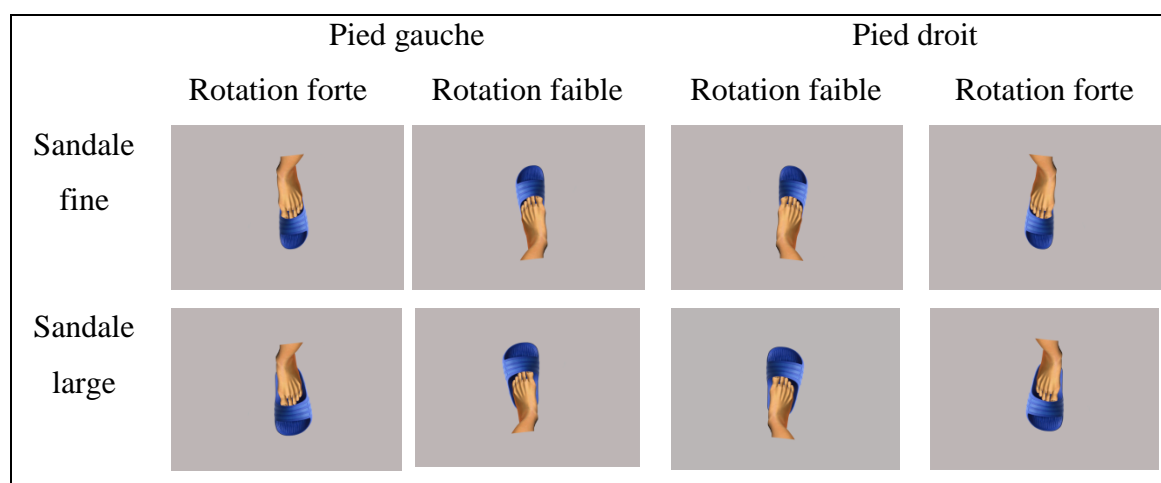


Figure 17 : images pour la rotation mentale de stimuli corporels du membre inférieur. Pied (droit ou gauche) entrant dans une sandale (fine ou large) selon 2 rotations (faible ou forte)

Les sujets devaient déterminer la latéralité des images de pieds en appuyant sur la touche gauche pour une image de pied gauche ou la touche droite pour une image de pied droit. Les images ont été présentées dans deux orientations différentes dans le plan frontal, à 15 ° correspondant à l'ouverture physiologique du pied pour une rotation faible et 195° (180°+15° d'ouverture physiologique du pied) sollicitant une rotation forte. Les images du pied gauche sont les images miroirs de celles du pied droit. Le progiciel 2.0 E-Prime (Psychologie Software Tools Inc., Pittsburgh, USA) a été utilisé pour présenter des images et enregistrer la vitesse et la précision des réponses.

Procédure

La tâche de *RMpieds* a été réalisée sur une session au cours d'une journée.

Analyse des données

La précision et le temps de réponse ont été enregistrés. Seules les données des réponses correctes ont été utilisées pour analyser les temps de réponse. Quatre sujets du groupe senior ont été exclus suite à des temps de réponses $>$ à 2.5 écarts-types de la moyenne du groupe. Des ANOVAs ont été réalisées sur l'exactitude (%) et les temps de réponse (ms) avec le **groupe** (Senior vs Jeune) comme facteur inter-sujets et **la rotation** (faible vs forte), **la latéralité** (gauche vs. droite) et **la largeur** (facile vs difficile) comme facteurs intra-sujets. Les comparaisons post hoc ont été effectuées au moyen d'un test de Newman-Keuls. Le seuil Alpha a été fixé à .05 pour toutes les analyses.

Résultats

Exactitude des réponses

Les ANOVAs sur le pourcentage de réponses correctes ont montré un effet principal du groupe [$F(1,37) = 14.01, p < .0007, \eta^2 = .27$], de la rotation [$F(1,37) = 9.79, p < .004, \eta^2 = .21$] et une interaction entre la rotation et le groupe [$F(1,37) = 9.79, p < .0034, \eta^2 = .21$]. Comme illustrée sur la Figure 18, le test post-hoc montre une diminution rotation faible versus forte pour les 2 groupes, avec une diminution plus importante en rotation forte chez les seniors (70%, $p < .0002$).

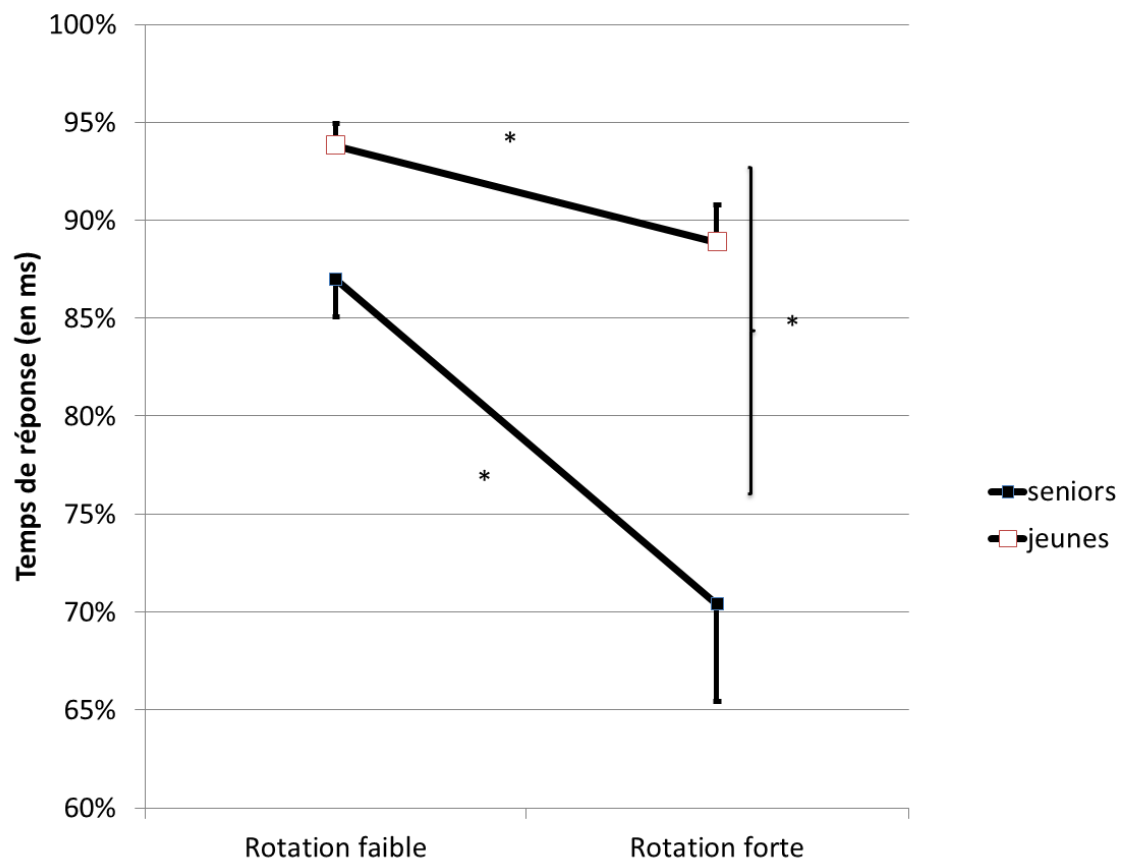


Figure 18 : exactitude des réponses en fonction de la rotation (faible vs. forte) et du groupe (seniors vs. jeunes)

Temps de réponse

L'ANOVA sur les temps de réponses correctes met en évidence un effet principal du groupe [$F(1,37)=79.56$, $p<.00001$, $\eta^2=.68$], de la rotation [$F(1,37)=73.77$, $p<.00001$, $\eta^2=.67$], une interaction entre la rotation et le groupe [$F(1,37)=14.43$, $p<.0006$, $\eta^2=.28$] et une interaction entre la largeur et le groupe [$F(1,37)=4.90$, $p=.033$, $\eta^2=.12$].

Comme illustrée sur la Figure 19, l'interaction entre la rotation et le groupe indique des temps de réponse plus court chez les jeunes que les seniors ($p<.002$), avec une dégradation des temps de réponse de la rotation faible à forte plus importante pour le groupe senior que jeune ($p<.002$).

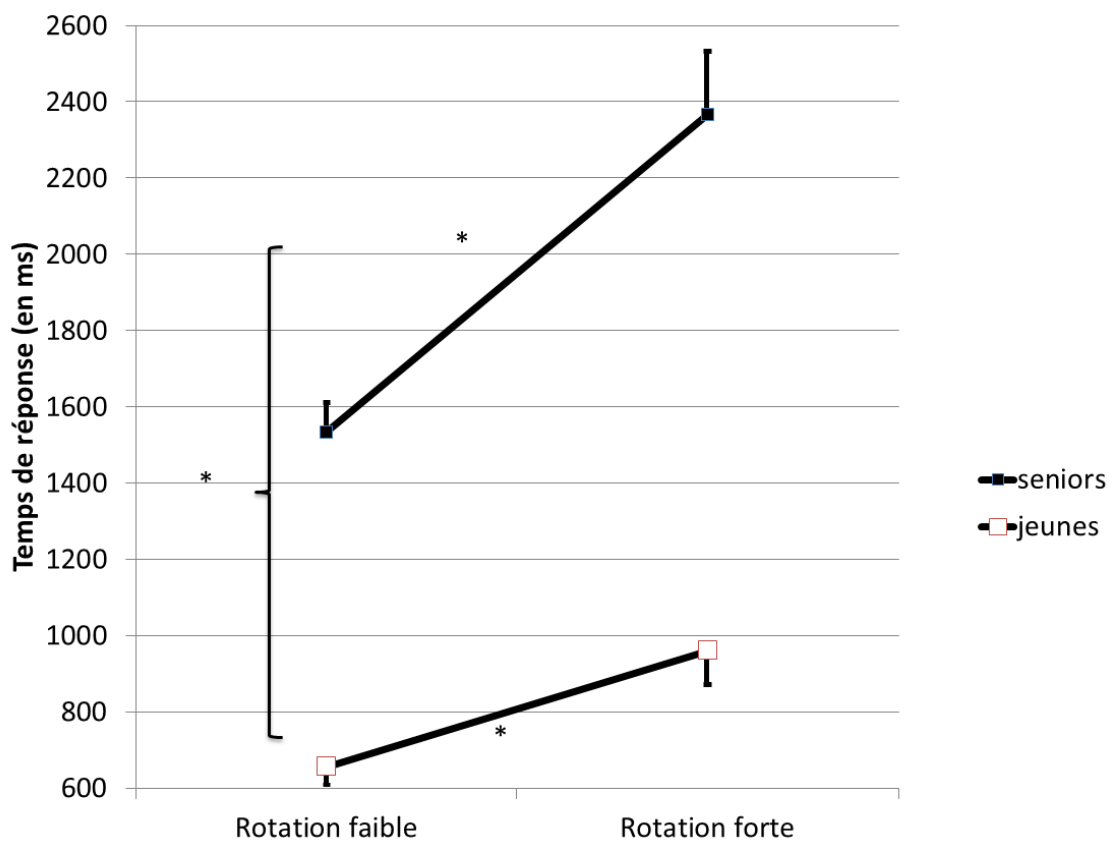


Figure 19 : temps de réponse en fonction de la rotation et du groupe.

Comme illustrée sur la Figure 20, il existe un effet principal du groupe avec des temps de réponse plus longs pour les sujets âgés que les sujets jeunes ($p < .001$). De plus, les résultats montrent des temps de réponse plus longs pour les sujets âgés avec sandales étroites que larges ($p < .03$). Il n'y a pas de différence significative entre les deux largeurs pour les sujets jeunes ($p = .41$).

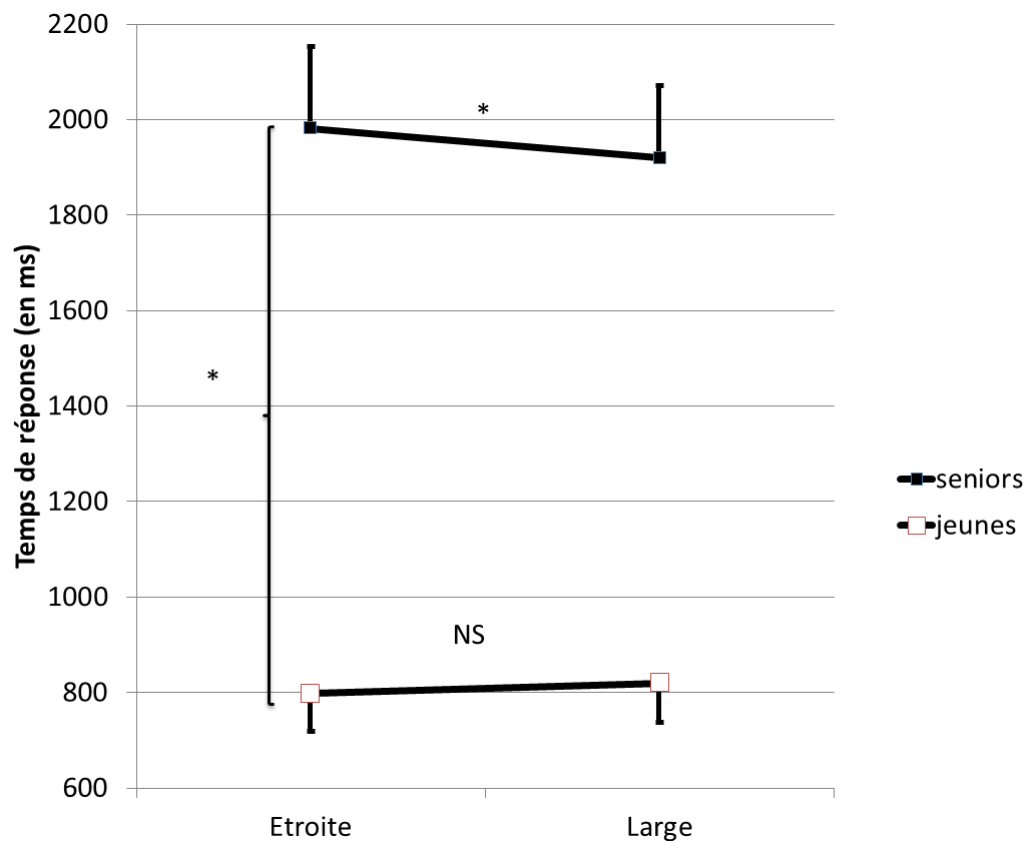


Figure 20 : temps de réponse en fonction de la largeur (étroite vs. large) et du groupe (seniors vs. jeunes).

Discussion

Notre seconde expérience visait à évaluer l'effet de l'âge sur la stratégie de résolution d'une tâche de rotation mentale de stimuli corporels des membres inférieurs. Des auteurs avaient évalué une dégradation des performances liée à l'âge dans la résolution d'une tâche de rotation mentale de stimuli non corporels (Dror & Kosslyn, 1994; Hertzog, Vernon, & Rypma, 1993) ou stimuli corporels (membre supérieur, Devlin et Wilson, 2010 ; Saimpont et al., 2009). Conformément à la littérature, cette expérience confirme la dégradation des temps de réponse avec l'âge. Cette dégradation témoigne de l'intérêt d'investiguer la stratégie de résolution de la tâche.

Comme pour les membres supérieurs, la confirmation de cette dégradation des temps de réponse nous a aussi amenés à questionner la présence des indices marquant une stratégie en imagerie motrice de résolution de la tâche de stimuli corporels de pieds. Cette présence d'indices nous permettrait de montrer que le sujet utilise son système sensorimoteur pour résoudre la tâche et donc que la tâche est valide pour évaluer l'intégrité des processus sensorimoteurs ou l'amélioration des processus sensorimoteurs après une période de rééducation. Nous pouvons constater principalement une mise en évidence d'un effet de complexité motrice uniquement chez les seniors, ainsi qu'une augmentation de temps de réponse, se dégradant encore avec l'âge, entre la rotation faible et la rotation forte

De la préservation des indices à la mesure de l'implication sensorimotrice

Deux indices recherchés n'ont pas pu être mis en évidence, l'effet MOLA et l'effet de latéralité. Ceci peut être expliqué par une stratégie en imagerie visuelle, mais aussi par d'autres raisons spécifiques à chacun des deux effets. Concernant le premier indice, nous devons nous intéresser à l'effet de la variation des contraintes d'orientation (rotation forte versus faible) et l'effet de la variation de point de vue (égocentré versus allocentré). Concernant le premier point, les contraintes biomécaniques des rotations médiales et latérales dans le plan horizontal des pieds sont équivalentes (Parsons, 1987). Cette équivalence ne permettait donc pas d'attendre des temps de réponse différents à 90° en fonction de stratégie de résolution différente. L'autre point important, l'utilisation d'un référentiel allocentré ou égocentré de résolution de la tâche peut avoir

une influence (Brady et al., 2011; Saxe et al., 2006). Dans cette étude, il n'était pas demandé de déterminer l'appartenance du pied et l'image présentée ne pouvait être interprétée par le sujet comme la sienne (Jeannerod, 2003). Les sujets ont donc imaginé « imiter » l'action d'un pied étranger pour reconnaître sa latéralité. Ils ont donc dû traduire le pied d'un cadre de référence allocentrique vers un cadre égocentrique (Gentilucci et al., 2000). Concernant le second indice, l'absence d'effet de Latéralité peut aussi être expliqué par une latéralisation des membres inférieurs moins prononcée que les membres supérieurs (Olivier, Davare, Andres, & Fadiga, 2007), mais aussi par des critères d'inclusion des sujets dans l'étude visant une dominance de la main droite, sans contrôle de la latéralité podale. La présence de sujets à prédominance podale soit gauche soit droite pouvait s'équilibrer et aboutir à ne pas réussir à mettre en évidence cet effet. Nous reviendrons sur ce point dans la discussion des deux expériences. L'absence de ces indices montrant une stratégie en imagerie motrice ne peut donc être avec certitude attribuée à une modification de stratégie de résolution de la tâche.

Plus intéressant, deux indices recherchés sont présents, le profil de la courbe et l'effet de complexité motrice. En effet, l'augmentation de la pente entre la rotation faible et forte avec l'âge tendrait à confirmer une stratégie en imagerie motrice. Cependant, la présence de seulement deux points limite l'évaluation d'un profil de courbe exponentiel. De plus, aucun effet de complexité motrice n'est retrouvé chez les jeunes. La tâche présentée pour les membres inférieurs ne semble pas suffisamment fine pour mettre en évidence le processus d'utilisation d'un programme moteur chez ceux-ci. A contrario, l'effet de Complexité Motrice est présent chez les seniors. En effet, les sujets seniors reconnaissent plus rapidement la latéralité du pied quand la sandale est de taille large. Lors de la manipulation uniquement de la largeur de cette sandale illustrée, tout comme Gentilucci et ses collaborateurs manipulaient uniquement la taille de la boule illustrée (2000), la différence de résultat montre que ce n'est pas seulement l'image picturale mais bien un programme moteur qui est identifié par le sujet. La reconnaissance de ce programme moteur implique une stratégie en imagerie motrice.

Au final, la présence, chez le sujet senior, de plusieurs indices (effet de la Complexité Motrice et la dégradation des temps de réponse avec l'âge et la rotation) montre donc l'implication d'une stratégie en imagerie motrice dans la résolution de cette tâche chez les sujets seniors. Cette tâche serait donc adaptée dans l'évaluation du système sensorimoteur uniquement chez le sujet senior.

Discussion générale de l'étude

Nous avons d'abord pu, spécifiquement pour ces tâches à destination du clinicien, confirmer la dégradation conforme à la littérature des temps de réponse avec l'âge (Devlin & Wilson, 2010; Saimpont et al., 2009).

L'âge dégrade le traitement de l'information

La confirmation de cette hypothèse amenait à nous poser la question des conséquences de la dégradation de ces temps de réponse. En effet, Devlin et Wilson (2010) et Saimpont et ses collaborateurs (2009), s'intéressant à des indices différents, avaient trouvé des résultats qui semblaient discordants. Les premiers semblaient montrer une objectivation des stimuli corporels avec un profil de courbe linéarisée. Ce profil de courbe marque habituellement une stratégie en imagerie visuelle (Toussaint & Meugnot, 2013; Wilson et al., 2004). Les seconds trouvaient des indices (effet MOLA et effet de latéralité) qui montrent une prise en compte des contraintes biomécaniques et de l'expertise sensorimotrice, donc une stratégie en imagerie motrice. Notre questionnement était donc de savoir si la dégradation liée à l'âge s'accompagnait d'un changement de stratégie. En effet, seule la résolution de la tâche avec une stratégie en imagerie motrice permettrait de certifier que cette tâche évalue le système sensorimoteur, donc validerait la possibilité d'utiliser cliniquement la tâche à cette fin.

Vers la possibilité d'une utilisation clinique

La stratégie en imagerie motrice pour la résolution de la tâche de stimuli corporels des membres supérieurs est présente chez les seniors comme les jeunes avec la mise en évidence des indices recherchés (effet MOLA, effet de Complexité Motrice et effet de Latéralité chez les sujets seniors ; effet MOLA pour la main droite et effet de Latéralité chez les jeunes). De plus, la présence d'un effet de complexité motrice montre que les tâches cognitives présentées sont résolues, non pas simplement en analysant l'image, mais en identifiant le programme moteur lié au stimulus illustré. Cette reconnaissance d'un programme moteur, plutôt que d'une image picturale, implique une résolution de la tâche en imagerie motrice et donc une implication du système sensorimoteur. Ces tests de reconnaissance de latéralité sont donc des tâches cognitives intéressantes pour

évaluer l'implication du système sensorimoteur des membres supérieurs chez les sujets seniors et les jeunes.

Si c'est aussi le cas pour la résolution de la tâche de stimuli corporels des membres inférieurs chez les seniors (effet de Complexité Motrice), a contrario, nous n'avons pas été en mesure de mettre en évidence d'indice chez les jeunes. Il est possible que les pieds sollicitent moins les processus sensorimoteurs que les mains qui gèrent des actions fines et complexes. Au final, cette tâche semble valide pour évaluer le système sensorimoteur des membres supérieurs chez les jeunes comme les seniors, mais aux membres inférieurs uniquement chez les seniors.

Intérêts spécifiques

Dans l'exercice clinique, la passation de cette tâche représente un faible coût et ne nécessite pas de connaissance palpatoire avancée ou d'une expérience clinique préalable. De plus, contrairement aux autres outils d'évaluation du sens du mouvement présentés précédemment (kinesthésie et statesthésie), la tâche de rotation mentale de stimuli corporels n'est pas une tâche d'évaluation périphérique (Bruyneel, 2016; Han et al., 2016; Krewer et al., 2016). En effet, cette tâche cognitive évalue le versant central de l'activité sensorimotrice (Ionta et al., 2007; Meugnot et al., 2014; Moseley, 2004c; Toussaint & Meugnot, 2013). Après la mise en place d'études de validation clinique, elle pourrait apporter un complément d'information dans l'évaluation des processus centraux du traitement de l'information sensorimotrice périphérique.

Limite

D'abord, l'utilisation d'un clavier pour enregistrer des réponses manuelles stimule les aires cérébrales dévolues au mouvement, alors que le mouvement imaginé des mains est en même temps l'objet d'étude, cette concomitance peut modifier les performances de réalisation de la première tâche.

De plus, nos critères d'inclusion demandaient une préférence manuelle droite. Nous avons constaté pour les membres inférieurs que la latéralité n'affecte pas la résolution des tâches. La motricité fine des membres supérieurs (Olivier et al., 2007) et la

latéralisation forte des membres supérieurs des sujets droitiers (Gentilucci et al., 1998) peut expliquer qu'un effet de la Latéralité soit retrouvé pour les membres supérieurs et non pour les membres inférieurs. Cependant, il y a deux limites à cette interprétation liée au design de l'étude. Les critères d'inclusion dans ces expériences ne demandaient que la dominance de la main droite sans précision de la dominance podale.

Conclusion

La tâche de rotation mentale de stimuli corporels avec manipulation de la Complexité Motrice est altérée avec l'âge. Cependant, ces tâches cognitives sont valides pour évaluer le système sensorimoteur. Après confirmation de son intérêt par une mise en place d'études de validation clinique, son coût modeste, sa visée cognitive d'évaluation de la représentation sensorimotrice et le peu d'expérience clinique nécessaire en feront un outil complémentaire de ceux à disposition du clinicien.

En résumé :

L'âge dégrade les capacités d'imagerie motrice implicite. La rotation mentale de stimuli corporels est un moyen d'évaluer l'intégrité du système sensorimoteur. Nos objectifs, à travers la mesure d'indices marquant l'implication sensorimotrice, étaient d'évaluer l'effet de l'âge sur un test de rotation mentale de stimuli corporels des membres supérieurs (expérience 6) et inférieurs (expérience 7). Les résultats montrent la présence d'indices recherchés chez les sujets seniors. La présence des indices suggère une préservation de la résolution des tâches à partir d'une stratégie en imagerie motrice. Ces tâches de rotation mentale de stimuli corporels sont donc utilisables chez le senior pour évaluer l'intégrité des processus centraux du traitement de l'information sensorimotrice, spécifiquement sur le versant cognitif.

Discussion générale

Chapitre 6 : bilan de cette thèse

L'imagerie motrice est une technique de prise en charge utilisée en rééducation. Elle permet d'activer les mêmes aires cérébrales que le mouvement réellement exécuté. Bien que de nombreuses publications existent sur lesquelles s'appuyer pour permettre de proposer une pratique clinique, un certain nombre de points sont encore à explorer pour optimiser la prise en charge rééducative des patients.

Une finalité clinique d'amélioration des pratiques

Les objectifs de cette thèse étaient d'évaluer plusieurs axes utiles à **«l'application clinique de l'imagerie motrice en rééducation» pour améliorer la pratique clinique**. Dans la première partie du travail, nous avons donc effectué une revue narrative des connaissances actuelles sur l'imagerie motrice afin de proposer une approche en accord avec la pratique basée sur les preuves. Un article issu de ce travail à destination des rééducateurs a, dans cette finalité, été publié dans *Kinésithérapie, la Revue* (Rulleau & Toussaint, 2014). De cette revue narrative, deux axes principaux à explorer se dégageaient.

Le premier axe concernait l'évolution dans le temps de l'imagerie motrice notamment chez les seniors. Nous avons étudié l'effet du moment de la journée sur les capacités d'imagerie motrice explicite et implicite (Expériences 1 et 3), ainsi que sur un programme d'amélioration du sens de la position reposant sur une pratique en imagerie motrice (Expérience 2). Ce premier axe apporte des éléments de réponse importants au praticien sur le déroulement temporel de sa pratique (évaluation des processus sensorimoteurs, programme d'apprentissage ou de réapprentissage, etc.).

Le second axe concernait l'utilisation du test de rotation mentale de stimuli corporels comme outil d'évaluation d'une rééducation sur le système sensorimoteur. Nous avons tout d'abord utilisé un test de rotation mentale de stimuli corporels pour évaluer l'impact d'un massage sur le fonctionnement du système sensorimoteur de sujets âgés (Expériences 4 et 5). Nous avons ensuite évalué l'effet de l'âge et de la Complexité Motrice dans ces tâches de rotation mentale de stimuli corporels, l'objectif étant de déterminer la stratégie de résolution utilisée par les seniors : préservation d'une stratégie en imagerie motrice versus recours à une stratégie en imagerie visuelle (Expériences 6 et 7). Du point de vue du praticien, ce deuxième axe permet de connaître et de valider le recours aux tests de rotation mentale pour évaluer les bénéfices centraux liés à une pratique de rééducation spécifique.

Dans cette discussion générale, nous ferons le bilan des nouvelles connaissances selon les 2 axes développés. Nous discuterons de l'intérêt en recherche et sur l'application en pratique clinique. Enfin, nous nous intéresserons aux perspectives qui nous semblent intéressantes à explorer.

Axe 1 : A quel moment devons-nous utiliser l'imagerie motrice en rééducation ?

En confrontant la littérature à l'expérience du praticien, plusieurs questions se posaient. Gueugneau et ses collaborateurs (2009) montraient l'évolution de la qualité de l'imagerie motrice au cours de la journée chez le jeune adulte sain. Pour deux tâches simples de marche et d'écriture, ces auteurs montraient une modulation circadienne de l'isochronie entre exécution et imagerie motrice et une parfaite isochronie l'après-midi (14h à 20h). Ils concluaient sur l'importance potentielle en pratique clinique de ce paramètre et la nécessité de l'évaluer dans d'autres populations, notamment celles concernées par la rééducation. D'un autre côté, l'impression lors de la pratique auprès de seniors hospitalisés orientait vers une meilleure participation le matin, mais pouvait être amenée par l'organisation des services de soin. Cette impression est confortée par Schmidt et ses collaborateurs (2007) qui rapportent une variation des capacités cognitives dans le temps, à la fois au long de la journée et au cours d'une vie. Ils rapportent notamment de meilleures capacités cognitives chez les seniors le matin que l'après-midi.

Ces éléments nous ont conduits à questionner la variation de la qualité de l'imagerie motrice et de l'exécution motrice en fonction du moment de la journée auprès de seniors hospitalisés (**Expérience 1 : Rulleau, Mauvieux et Toussaint, 2015**). Nous avons donc mesuré la durée de deux tâches simples en imagerie motrice et en exécution motrice. Le résultat montre que la durée de la tâche en imagerie motrice varie. En conséquence, chez les seniors l'isochronie entre exécution et imagerie motrice varie pour atteindre une batyphase entre 10h et 12h, la batyphase correspondant à la meilleure proximité entre la durée de l'exécution et la durée de l'imagerie d'un mouvement. Ce résultat montre qu'il existe une évolution de la qualité d'imagerie motrice au cours de la journée et au cours de la vie, avec une meilleure isochronie le matin chez les seniors (Rulleau et al., 2015). Puisque l'imagerie motrice est utilisée en pratique clinique comme technique de rééducation dans le réapprentissage moteur et comme outil d'évaluation, **quelles conséquences cliniques pourrions-nous en tirer ?**

Évalués par des questionnaires, des sujets avec une meilleure qualité d'imagerie motrice ont obtenu une meilleure amélioration de la performance de l'équilibre (Ryan & Simons, 1982), des mouvements des doigts (Guillot et al., 2009), du sens de la position (Toussaint & Blandin, 2010) ou encore gestes sportifs (Isaac, 1992; Robin et al., 2007) suite à des pratiques en imagerie motrice. Ce lien entre capacité d'imagerie motrice et apprentissage est-il affecté par les modulations des capacités d'imagerie d'un même individu au cours de la journée ? Les conséquences cliniques de la modulation de la qualité d'imagerie en fonction du moment de la journée ont donc été questionnées (**Expérience 2**). Nous avons évalué l'apprentissage par imagerie motrice kinesthésique d'une tâche de repositionnement à deux moments de la journée chez des sujets seniors et jeunes. Il en ressort que les sujets s'améliorent grâce à la pratique en imagerie motrice, mais que la qualité de cet apprentissage ne varie pas avec l'âge ni le moment de la journée. Plusieurs points pourraient expliquer cette absence d'effet, comme le manque de répétition ou d'intensité dans la pratique imaginée ou l'impact insuffisant de la modulation circadienne de l'imagerie motrice au cours de la journée. De plus, la planification du moment de la séance en fonction de l'âge sans prise en compte des préférences interindividuelles (i.e. : chronotypes plutôt du matin vs. plutôt du soir) a aussi pu limiter l'impact du moment de la pratique. Cette donnée est à pondérer puisque, même si quelques études existent montrant l'importance du chronotype sur les performances cognitives, Schmidt et ses collaborateurs (2007) rapportent que ces différences n'apparaissent que chez les seniors testés à leur moment de moindre performance. Cependant, à ce jour, aucune étude ne montre le rôle combinée du chronotype et de l'heure de la journée sur l'imagerie motrice. En conséquence, et dans l'état actuel de nos connaissances, les résultats suggèrent que **le praticien peut programmer une séance avec pratique en imagerie motrice à tout moment de la journée.**

D'autre part, si les résultats de l'**expérience 1** montraient une variation des capacités d'imagerie motrice explicite au cours de la journée, aucune donnée n'existait sur la variation des capacités d'imagerie motrice implicite. Or, si des similitudes existent entre ces deux types d'imagerie (Decety & Jeannerod, 1995; Jeannerod & Frak, 1999; Parsons & Fox, 1998), les processus de la rotation mentale, forme spécifique d'imagerie motrice implicite, sont dissociés sur les aspects conceptuels, comportementaux et cliniques (de Vries et al., 2013, 2011; Jeannerod & Frak, 1999; McAvinue & Robertson,

2007). Ce dernier aspect semble intéressant pour évaluer l'état du système sensorimoteur (Hoyek et al., 2010; Ionta et al., 2007; Meugnot et al., 2014; Moseley, 2004c). Dans l'**expérience 3**, nous avons donc évalué la variation de la rotation mentale à deux moments de la journée chez les seniors. Les résultats montrent une stabilité des performances quel que soit le moment de la journée. Les résultats suggèrent que **le praticien peut planifier l'évaluation de l'état du système sensorimoteur par rotation mentale de stimuli corporels sans tenir compte du moment de la journée dans cette population.**

Les **expériences 1, 2 et 3** questionnent aussi la variation des évaluations sensorimotrices au cours de la journée. Dans l'**expérience 1**, l'imagerie motrice explicite montre une variation au cours de la journée, entraînant une variation de l'isochronie entre pratique imaginée et exécutée. L'utilisation clinique de l'isochronie est encore en cours d'évaluation (Allali, Annweiler, Predovan, Bherer, & Beauchet, 2016; Beauchet et al., 2010; Beauchet, Launay, Sejdić, Allali, & Annweiler, 2014). Dans l'**expérience 2**, même si ce n'était pas l'objet de la recherche, nous observons une variation du sens de la position au cours de la journée. Chez le sujet jeune, cette évolution avait été étudiée (Kwon & Nam, 2014), cependant l'absence d'effet sur leur critère de jugement principal (comparaison des valeurs) a amené les auteurs à proposer une étude par rang de distribution. Cette analyse statistique choisie par les auteurs limite l'interprétation et l'application clinique. Chez le sujet senior, cette variation est cliniquement faible (4°) proche du seuil donné comme limite de fiabilité dans l'évaluation du sens de la position (Piette, 2016) et nécessitera d'être pris en compte. Enfin, dans l'**expérience 3**, nous avons montré l'absence de variation de l'imagerie motrice implicite au cours de la journée chez des sujets seniors. Les autres évaluations de la sensorimotricité (proprioception, kinesthésie et statesthésie) nécessitent une méthodologie complexe dans la prise de mesures, une expérience clinique et une bonne connaissance de l'anatomie palpatoire afin d'avoir une exactitude dans les repères anatomiques des prises de mesures (Bruyneel, 2016, 2013; Han et al., 2016; Krewer et al., 2016). Or, ce n'est pas le cas de l'imagerie motrice implicite. De plus, si les tests classiques évaluent la sensorimotricité au niveau périphérique, l'intérêt des tâches d'imagerie motrice est d'évaluer plus spécifiquement l'efficacité du traitement central des informations sensorimotrices en provenance de la périphérie.

Au final, nos résultats montrent qu'**il existe une variation de la qualité de l'imagerie motrice explicite au cours de la journée** (Expérience 1). Cependant, même si d'autres expériences complémentaires sont nécessaires, **le praticien semble pouvoir planifier à tout moment de la journée ses programmes de rééducation basée sur une pratique en imagerie motrice** (Expérience 2) et **ses évaluations des capacités d'imagerie motrice implicite** (rotation mentale de stimuli corporels, Expérience 3).

Axe 2 : Pouvons-nous utiliser la rotation mentale dans l'évaluation clinique ?

Dans la continuité de nos recherches sur l'utilisation clinique de l'imagerie motrice implicite, nous nous sommes interrogés sur la possibilité d'utiliser la rotation mentale de stimuli corporels pour mesurer les effets d'une technique de rééducation.

La technique de rééducation la plus ancienne, avec une méthode d'application bien décrite, est le massage (Rulleau et al., 2017). Pourtant, si le modèle d'action repose sur l'activation périphérique de récepteurs sensitifs, peu de données existent sur l'activation possible du système sensorimoteur à la suite d'un massage (Henriksen et al., 2004; Lund et al., 2009; Rulleau et al., 2017; Vaillant et al., 2009). Les **Expériences 4 et 5** ont cherché à évaluer certaines conditions de cette activation lors d'une séance de massage. Les résultats montrent que **l'activation du système sensorimoteur persiste à 24h lorsque le thérapeute masse les deux pieds**. Ils montrent aussi que le massage d'une zone réduite active le système sensorimoteur uniquement en post-massage immédiat, quand **le massage d'une zone plus étendue permet une activation persistante à 24h**. Enfin, ils montrent qu'**un massage sur un seul membre inférieur permet une activation bilatérale**. S'il existe une contre-indication au massage (e.g. : phlébite, douleur exquise ou allodynie, état cutanée), le praticien pourra donc masser le membre controlatéral.

Les conséquences en recherche clinique pour guider dans l'optimisation de sa prise en charge le praticien sont directes. En effet, si de nombreux auteurs se sont intéressés aux effets du massage (voir la revue narrative de Rulleau et ses collaborateurs, 2017), peu ont évalué la posologie. Chez des sujets déments institutionnalisés, Harris et ses collaborateurs (2012) constatent une amélioration significative de la durée du sommeil après un massage du dos de seulement trois minutes. Chez des patients atteints d'arthrose du genou, Perlman et ses collaborateurs (2012) ont comparé les effets de 30

ou 60 minutes de massage, réalisées une ou deux fois par semaine, sur une durée totale de huit semaines. Les effets du massage étaient évalués au moyen d'échelle d'évaluation de la douleur, de la mobilité et sur le temps de marche, une première fois avant le traitement, puis 8, 16 et 24 semaines plus tard. Ils ont constaté un meilleur rapport efficacité/posologie pour un massage de 60 minutes une fois par semaine (Perlman et al., 2012). En recherche clinique, l'utilisation de la rotation mentale de stimuli corporels pourra permettre d'évaluer la pertinence des soins de rééducation dans l'objectif d'activation des processus sensorimoteurs. Une expérience en ce sens est en préparation pour optimiser la durée, la régularité nécessaire et suffisante des séances de massage.

De plus, bien que ça n'était pas leurs objectifs principaux, les **Expériences 3, 4 et 5** ne montrent aucune amélioration des sujets seniors à la répétition du test de rotation mentale de stimuli corporels contrairement aux sujets jeunes (Meugnot et al., 2014; Toussaint & Meugnot, 2013) ou d'âge moyen (Boonstra et al., 2012). La concordance de ces résultats nous incite à poursuivre les recherches en ce sens. En effet, il existe une dégradation des performances dans les tâches de rotations mentales de stimuli corporels chez le sujet senior comparé au sujet jeune (Devlin & Wilson, 2010; Saimpont et al., 2013, 2009), de même qu'il existe une dégradation des performances d'apprentissage moteur liée à l'âge (Anguera, Bo, & Seidler, 2012; Cai, Chan, Yan, & Peng, 2014; Seidler et al., 2010). Cette dégradation s'accompagne-t-elle d'une absence d'effet de répétition ? Cela apporterait deux informations aux cliniciens dans l'utilisation de la rotation mentale, une pour son utilisation comme technique de rééducation, l'autre comme outil d'évaluation. En effet, si ces recherches confirment qu'aucune amélioration n'apparaît à la répétition du test, il ne serait pas cohérent d'utiliser cette tâche comme technique de rééducation chez les sujets seniors dans le cadre de l'Imagerie Motrice Graduée comme proposé chez des sujets plus jeunes (Moseley, 2006; Moseley et al., 2012; O'Connell et al., 2013). De plus, si ces recherches confirment qu'il n'y a pas d'effet de la simple répétition, une évolution du test marque une évolution liée à un facteur extérieur comme la prise en charge rééducative. La confirmation de l'absence d'effet de répétition pourrait nous suggérer que ce test est reproductible et permettrait une utilisation répétée du test en pratique clinique.

Dans la plupart des études, les stimuli majoritairement utilisés sont des images de main dans différents degrés de rotation. Un autre type de stimuli a été développé par Gentilucci et ses collaborateurs (1998, 2000). Ils présentent des images de mains dans différentes conditions et effectuent plusieurs expériences. Lorsqu'ils augmentent la taille de la boule, ceci fait diminuer la Complexité Motrice et par conséquent diminue le temps de reconnaissance de latéralité manuelle. Ensuite, lorsqu'ils manipulent des indices de reconnaissance de la main en enlevant un doigt ou le pouce, le temps de reconnaissance de latéralité ne varie pas. Ces deux résultats montrent que le sujet ne reconnaît pas l'image « picturale » de la main en reproduisant mentalement la posture de la main et des doigts, mais le programme moteur correspondant à la saisie lorsqu'il doit réaliser la tâche de reconnaissance de latéralité (Gentilucci et al., 2000). Afin d'explorer la possibilité d'une utilisation clinique de ce type de tâche, nous avons voulu évaluer ce type de stimuli corporels mettant en jeu la Complexité Motrice. Comme les sujets seniors sont plus souvent ciblés par la rééducation sensorimotrice et qu'il existe une dégradation de la vitesse de reconnaissance de latéralité liée à l'âge (Devlin & Wilson, 2010; Saimpont et al., 2009), cette évaluation a été effectuée chez des sujets jeunes et seniors pour mesurer un éventuel changement de stratégie de résolution de la tâche. De plus, la rééducation s'intéressant à la fois aux membres supérieurs (**Expérience 6**) et inférieurs (**Expérience 7**), nous avons souhaité vérifier la présence d'indices marquant une stratégie de résolution en imagerie motrice pour ces stimuli sur les membres inférieurs et supérieurs. Les résultats montrent la préservation de certains de ces indices pour les membres supérieurs chez les sujets jeunes comme chez les seniors et pour les membres inférieurs uniquement chez les sujets seniors. Par conséquent, **la rotation mentale de stimuli corporels dans laquelle est manipulée la Complexité Motrice permet de s'assurer que les sujets ont bien recours à une stratégie en imagerie motrice (versus visuelle) et semble donc une tâche intéressante pour évaluer l'état du système sensorimoteur chez les sujets seniors.**

Au final, nos résultats montrent qu'**en recherche clinique**, l'utilisation de **la reconnaissance de latéralité permet d'évaluer les effets d'une prise en charge rééducative** dont l'objectif peut être d'en optimiser la posologie (Expériences 3, 4 et 5). **En pratique clinique, elle est une voie prometteuse d'évaluation d'une prise en charge rééducative** (Expériences 6 et 7). D'un côté en recherche clinique, le chercheur

peut donc utiliser l'imagerie motrice implicite pour évaluer les effets d'une prise en charge rééducative d'un patient et ainsi proposer des axes d'amélioration des pratiques. D'un autre côté en pratique clinique, le thérapeute pourra évaluer les effets de son programme de rééducation, après la mise en place d'études de validation clinique.

Limites et points forts

La première limite de ce travail était le sujet de recherche lui-même chez des sujets âgés. Le vieillissement s'accompagne de troubles cognitifs qui auraient pu rendre difficile l'applicabilité clinique d'un outil cognitif d'évaluation et de rééducation. La reconnaissance de latéralité a ce défaut de ne permettre de traiter les résultats informatisés qu'après la passation. Nous avons donc constaté a posteriori la difficulté des patients à accomplir la rotation mentale de stimuli corporels, au contraire de l'évaluation de la capacité à produire une image motrice sur des consignes explicites qui peut s'évaluer a priori, par exemple grâce à l'utilisation du Timed Dependant Motor Imagery. L'expérience clinique nous a montré la possibilité de comprendre les consignes et produire une image mentale motrice explicite (TDMI positif) chez un patient avec un Mini-Mental State Evaluation à 9/30 (démence sévère). A contrario, lors d'un enseignement, un étudiant en Institut de Formation en kinésithérapie n'a pas été capable de produire une image mentale motrice (TDMI négatif). Il semble donc nécessaire de réaliser un test clinique chez tous les sujets pour vérifier la possibilité de produire une image motrice sans se baser uniquement sur la présence de troubles cognitifs.

La principale limite à ce travail est dans la dualité de la personne centrale à le réaliser. En effet, à la fois kinésithérapeute de terrain et « jeune chercheur », le sujet de recherche est en même temps un outil de prise en charge quotidien. Cette limite a été contrôlée grâce à la direction de cette thèse par une enseignante-chercheuse expérimentée, avec le recul nécessaire pour enseigner une méthodologie rigoureuse en rapport avec les autres études sur le sujet.

En continuité, la principale force de ce travail est l'association pluridisciplinaire de chercheurs en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives issus de différentes disciplines (Psychologie, STAPS, Neurosciences) dans le laboratoire sur lesquels un praticien et jeune chercheur a pu s'appuyer pour construire ce travail.

Perspective de recherches

Si ce mémoire a eu pour objectif de faire évoluer les connaissances sur l'application clinique de l'imagerie motrice en rééducation, de nombreux points de l'utilité clinique de l'imagerie motrice explicite et implicite sont toujours en cours d'évaluation. L'imagerie motrice explicite est-elle un moyen d'évaluation en pratique clinique ? Si oui, qu'évalue-t-elle ? Suite à ce travail, quelles sont les pistes dans l'amélioration de l'utilisation de l'imagerie motrice explicite comme outil de rééducation ? L'imagerie motrice implicite est un moyen d'évaluation du système sensorimoteur, mais quelle corrélation avec un état clinique ou son évolution pouvons-nous en tirer dans nos évaluations ? De plus, quelles sont les perspectives de l'utilisation de l'imagerie motrice implicite en rééducation ? Telles seront les questions que nous nous poserons dans la suite de nos recherches.

Dans les **expériences 1 et 2**, nous avons travaillé sur l'isochronie entre exécution et imagerie motrice, celle-ci marquant la qualité de l'anticipation motrice (Gueugneau et al., 2009; Guillot et al., 2012). L'utilisation de l'imagerie motrice explicite comme test semble donc intéressante à explorer, et **l'influence du moment de la journée sur la robustesse de ces tests cliniques devra être évaluée**.

D'abord, le Timed Up and Go est un test clinique prédictif de chute mécanique (Beauchet et al., 2011; Shumway-Cook, Brauer, & Woollacott, 2000). La perte d'isochronie entre les versions imaginée et exécutée de ce test marque cliniquement une dégradation structurelle et fonctionnelle des capacités cognitives (Allali et al., 2016; Beauchet et al., 2010, 2014). De plus, la diminution de la vitesse de marche en situation de double tâche montre un manque de réserve cognitive chez le senior et serait prédictive de chute (Bridenbaugh & Kressig, 2014, 2015; Lundin-Olsson, Nyberg, & Gustafson, 1997). Il existe une corrélation entre cette diminution de la vitesse de marche en situation de double tâche d'une part et de l'isochronie entre le Timed Up and Go imaginée et exécutée d'autre part (Bridenbaugh et al., 2013). L'isochronie entre Timed Up and Go imaginé et exécuté semble donc un test clinique intéressant et en devenir. Cependant, à notre connaissance, aucune évaluation de la variation de l'isochronie entre TUG imaginé et exécuté au cours de la journée n'a été effectuée. Quelle est l'influence de l'heure de la journée sur la robustesse de ce test ? Doit-il être exécuté à un moment précis de la journée ?

Ensuite, à partir d'une auto-évaluation de l'équilibre sur une planche à différents degrés d'inclinaison, des auteurs ont montré que surestimer ses capacités pouvaient conduire à la chute (Luyat, Domino, Noël, & others, 2008). Si cette découverte de la discordance entre l'auto-évaluation et les capacités réelles est exportable à notre évaluation de la prédiction motrice, dans les moments où le sujet n'anticipe pas en phase avec ses capacités réelles d'exécution (i.e. : aux moments de perte d'isochronie donc de moins bonne qualité), la variation de la qualité de l'anticipation motrice pourrait avoir des conséquences sur la mise en danger du sujet. Le résultat clinique pourrait être intéressant. En effet, si un sujet anticipe moins bien ses capacités physiques, qui plus est à certains moments de la journée, se met-il plus en danger ? Une analyse des données des chutes enregistrées sur 5 années dans un centre hospitalier est actuellement en cours de réalisation pour vérifier cette hypothèse et prendre des mesures préventives adaptées. Dans ce même objectif d'utiliser l'isochronie entre imagerie et exécution motrice pour évaluer la qualité de la prédiction motrice, le Timed Up and Go étant un test prédictif de chute, nous nous demanderons aussi si l'isochronie entre le Timed Up and Go imaginée et exécutée est un facteur prédictif de chute.

Enfin, la qualité de l'imagerie motrice marque l'expertise du sujet sur l'habileté motrice (Guillot et al., 2008). Plus l'expertise sera forte, meilleure sera la superposition des aires cérébrales impliquées (Guillot et al., 2008). Aussi, nous pouvons donc émettre l'hypothèse que meilleure sera la qualité de l'imagerie. Sur les caractéristiques temporelles, cette relation est encore discutée. L'isochronie entre la prédiction motrice et l'exécution produite par le sujet serait en relation avec cette expertise (Guillot et al., 2012; Lotze, Scheler, Tan, Braun, & Birbaumer, 2003; Milton et al., 2008). La conséquence clinique pourrait être intéressante avec le développement d'un test rapide : un sujet avec un niveau d'activité plus important a-t-il une meilleure isochronie entre imagerie et exécution motrice ? Au final, l'évaluation de cette isochronie pourrait-elle nous servir à évaluer objectivement le niveau d'activité physique, et les autres conséquences cliniques issues de ce niveau d'activité (ostéoporose, douleur etc.) ?

Des expériences sont actuellement en préparation ou en cours pour évaluer ces axes d'utilisation de l'imagerie dans les évaluations cliniques.

Dans l'utilisation de l'imagerie motrice explicite comme outil de rééducation, et malgré l'importance de l'évaluation temporelle pour évaluer la qualité de l'imagerie et inclure

les patients dans un programme de rééducation avec imagerie (Malouin et al., 2008b), l'intérêt de respecter l'isochronie entre pratique motrice et pratique imaginée n'est pas clairement démontré (Guillot et al., 2012). L'**expérience 2** ne nous montre pas de plus-value à respecter un moment de meilleure isochronie pour améliorer une tâche de repositionnement. Cependant, une seule séance était programmée dans cette expérience et un programme avec une autre régularité / intensité / durée pourrait avoir des résultats différents (Malouin et al., 2013; Malouin & Richards, 2013). Il conviendra d'effectuer des recherches supplémentaires afin de conclure sur l'intérêt spécifique de prendre en compte la variation de l'indice d'isochronie.

Les **expériences 3, 4, 5, 6 et 7** apportent toutes des éléments dans l'évaluation de la sensorimotricité en recherche clinique : la possibilité de planifier les évaluations quand nous le souhaitons (**Expérience 3**), la durée de l'effet sensorimoteur d'un massage (**Expérience 4**) et l'importance d'étendre les zones massées pour avoir cet effet (**Expérience 5**), la persistance avec l'âge de la stratégie en imagerie motrice dans la reconnaissance de latéralité de stimuli corporels (**Expériences 6 et 7**). Pourtant, l'utilité clinique de cette tâche reste encore à compléter. En effet, s'il est bien établi l'intérêt de l'évaluation sensorimotrice dans la pratique clinique en rééducation (Bruyneel, 2016, 2013; Han et al., 2016; Krewer et al., 2016), l'application clinique spécifique de ce test de reconnaissance de latéralité est en cours d'évaluation. La reconnaissance de latéralité peut-elle évaluer un état clinique ou une évolution de l'état clinique ? Une même évolution de deux patients sera-t-elle accompagnée d'une même évolution au test de reconnaissance de latéralité ?

Les résultats des privations (Meugnot et al., 2014; Toussaint & Meugnot, 2013) et stimulations (Expériences 4 et 5) sensorimotrices nous amènent à préparer une étude sur la mesure du niveau d'activité par reconnaissance de latéralité. De plus, les résultats comparés des travaux de Vaillant et ses collaborateurs (2008, 2009) et de nos expériences 4 et 5 nous amènent à penser que la mesure de la posture humaine sur plateforme pourrait être complétée par la reconnaissance de latéralité, puis remplacée dans certains cas au bénéfice d'un coût moindre. Une autre mesure intéressante pourrait être l'objectivation de la répercussion d'une atteinte douloureuse. En effet, Moseley a montré l'existence d'une plus grande difficulté à reconnaître un membre douloureux chronique (Moseley, 2004c). L'utilisation de la reconnaissance de latéralité pour

mesurer l'évolution d'une douleur chronique est aussi une possibilité d'application clinique en cours de préparation.

Nous avons vu l'intérêt de l'imagerie motrice explicite en outil de rééducation et d'évaluation, nous avons aussi vu l'intérêt potentiel de l'imagerie motrice implicite en outil d'évaluation. Quel est l'intérêt de l'imagerie motrice implicite en rééducation ? Actuellement, plusieurs auteurs ont travaillé sur son utilisation dans le cadre d'un programme de rééducation visant le traitement des douleurs chroniques (Moseley, 2006; Moseley et al., 2012; O'Connell et al., 2013). Le programme évolue avec l'état clinique et l'amélioration de la sensation douloureuse pour proposer l'imagerie motrice implicite, puis explicite et enfin l'utilisation d'une boîte miroir (Moseley et al., 2012). Pourtant, l'intérêt de l'utilisation dans ce programme de l'imagerie motrice implicite n'est pas clair (Bowering et al., 2013). En effet, Bowering et ses collaborateurs (2013) évaluent les différentes phases de ce programme et ne mettent pas en évidence de plus-value spécifique à cette première phase. Dans ce programme, Moseley et ses collaborateurs (2012) proposent de reconnaître des images de pied ou de main n'impliquant pas la Complexité Motrice. Ils ne proposent donc pas la reconnaissance de latéralité de stimuli corporels forçant le patient à utiliser implicitement un programme moteur comme dans les expériences de Gentilucci et ses collaborateurs (2000) ou nos expériences 6 et 7. Il semble donc intéressant de proposer une évaluation comparative par IRMf des zones sensitivo-motrices stimulées dans la reconnaissance de latéralité des images de stimuli corporels « classiques » et des images impliquant une Complexité Motrice. De plus, une étude est en préparation pour évaluer l'utilité spécifique de ces stimuli corporels, dont la reconnaissance de latéralité oblige à utiliser implicitement un programme moteur, en rééducation sensorimotrice.

Conclusion générale

Dans le cadre actuel des avancées des neurosciences et de la médecine factuelle, l'imagerie motrice semblait une technique prometteuse pour les rééducateurs. Des questions se posaient sur l'optimisation de l'évolution dans le temps de l'imagerie motrice et sur l'utilisation clinique de la rotation mentale.

Nos travaux ont montré **une variation de la qualité de l'imagerie motrice explicite au cours de la journée** (Expérience 1) mais que, en attente de nouvelles études, **le praticien semble pouvoir planifier ses programmes de rééducation avec pratique en imagerie motrice** (Expérience 2) et **ses évaluations avec imagerie motrice implicite à tout moment de la journée** (rotation mentale de stimuli corporels, Expérience 3). Ils ont aussi montré qu'en recherche clinique, l'utilisation de **la reconnaissance de latéralité permet d'évaluer une prise en charge rééducative** afin d'en optimiser la posologie (Expériences 3, 4 et 5) et qu'en pratique clinique, **elle est une voie prometteuse d'évaluation d'une prise en charge rééducative** (Expériences 6 et 7).

S'inscrivant dans la transition actuelle des rééducateurs vers l'Evidence-Based Medicine et dans la continuité de nos travaux, plusieurs études sont actuellement en préparation ou en cours avec comme objectifs (1) de mieux appréhender la mesure d'un état ou changement d'état clinique grâce à l'imagerie motrice explicite et implicite comme outil d'évaluation et (2) d'optimiser l'utilisation de l'imagerie motrice explicite et implicite comme outil de rééducation. Au final, ce travail montre qu'ensemble le praticien et le chercheur pourront améliorer la prise en charge des patients.

Bibliographie

- Aiguadé, R., Camps, P. P., & Carnacea, F. R. (2008). Techniques de crochetinge instrumental myofasciale. *Kinésithérapie, la Revue*, 8(75), 17- 21. [https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(08\)70054-8](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(08)70054-8)
- Ajimsha, M. S., Al-Mudahka, N. R., & Al-Madzhar, J. A. (2015). Effectiveness of myofascial release: systematic review of randomized controlled trials. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19(1), 102- 112. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2014.06.001>
- Allali, Annweiler, C., Predovan, D., Bherer, L., & Beauchet. (2016). Brain volume changes in gait control in patients with mild cognitive impairment compared to cognitively healthy individuals; GAIT study results. *Experimental Gerontology*, 76, 72- 79. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2015.12.007>
- Allami, N., Paulignan, Y., Brovelli, A., & Boussaoud, D. (2008). Visuo-motor learning with combination of different rates of motor imagery and physical practice. *Experimental Brain Research*, 184(1), 105- 113. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1086-x>
- Ang, K. K., Guan, C., Chua, K. S. G., Ang, B. T., Kuah, C. W. K., Wang, C., ... Zhang, H. (2011). A large clinical study on the ability of stroke patients to use an EEG-based motor imagery brain-computer interface. *Clin EEG Neurosci*, 42(4), 253-258.
- Anguera, J. A., Bo, J., & Seidler, D. R. D. (2012). Aging Effects on Motor Learning, 193- 194. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_453
- Avanzino, L., Pelosin, E., Abbruzzese, G., Bassolino, M., Pozzo, T., & Bove, M. (2014). Shaping motor cortex plasticity through proprioception. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 24(10), 2807- 2814. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht139>
- Bagesteiro, L. B., & Sainburg, R. L. (2002). Handedness: dominant arm advantages in control of limb dynamics. *Journal of Neurophysiology*, 88(5), 2408- 2421. <https://doi.org/10.1152/jn.00901.2001>
- Barclay-Goddard, R. E., Stevenson, T. J., Poluha, W., & Thalman, L. (2011). Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*, (5), CD005950. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005950.pub4>
- Barra López, M. E., López de Celis, C., Fernández Jentsch, G., Raya de Cárdenas, L., Lucha López, M. O., & Tricás Moreno, J. M. (2013). Effectiveness of Diacutaneous Fibrolysis for the treatment of subacromial impingement syndrome: a randomised controlled trial. *Manual Therapy*, 18(5), 418- 424. <https://doi.org/10.1016/j.math.2013.02.006>
- Barra, M. E., López, C., Fernández, G., Murillo, E., Villar, E., & Raya, L. (2011). The immediate effects of diacutaneous fibrolysis on pain and mobility in patients suffering from painful shoulder: a randomized placebo-controlled pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 25(4), 339- 348. <https://doi.org/10.1177/0269215510385480>
- Bassolino, M., Bove, M., Jacono, M., Fadiga, L., & Pozzo, T. (2012). Functional effect of short-term immobilization: kinematic changes and recovery on reaching-to-grasp. *Neuroscience*, 215, 127- 134. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.04.019>

- Beauchet, Annweiler, Assal, Bridenbaugh, Herrmann, Kressig, & Allali. (2010). Imagined Timed Up & Go test: a new tool to assess higher-level gait and balance disorders in older adults? *J. Neurol. Sci.*, 294(1-2), 102–106. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2010.03.021>
- Beauchet, Fantino, Allali, Muir, S. W., Montero-Odasso, M., & Annweiler, C. (2011). Timed Up and Go test and risk of falls in older adults: a systematic review. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 15(10), 933–938.
- Beauchet, Launay, C. P., Sejdić, E., Allali, G., & Annweiler, C. (2014). Motor imagery of gait: a new way to detect mild cognitive impairment? *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11, 66. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-66>
- Berquin, A. (2008). Progrès récents dans le diagnostic et le traitement du syndrome douloureux régional complexe. *Douleur, Volume 162*(24), 1514–1519.
- Boonstra, A. M., de Vries, S. J., Veenstra, E., Tepper, M., Feenstra, W., & Otten, E. (2012). Using the Hand Laterality Judgement Task to assess motor imagery: a study of practice effects in repeated measurements. *Int J Rehabil Res*, 35(3), 278–280. <https://doi.org/10.1097/MRR.0b013e328355dd1e>
- Bourgeois, Gourgou, Kramar, Lagarde, & Guillot. (2008). A randomized, prospective study using the LPG technique in treating radiation-induced skin fibrosis: clinical and profilometric analysis. *Skin Research and Technology: Official Journal of International Society for Bioengineering and the Skin (ISBS) [and] International Society for Digital Imaging of Skin (ISDIS) [and] International Society for Skin Imaging (ISSI)*, 14(1), 71–76. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0846.2007.00263.x>
- Bovend'Eerd, T. J., Dawes, H., Sackley, C., Izadi, H., & Wade, D. T. (2010). An integrated motor imagery program to improve functional task performance in neurorehabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(6), 939–946. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.03.008>
- Bowering, K. J., O'Connell, N. E., Tabor, A., Catley, M. J., Leake, H. B., Moseley, & Stanton, T. R. (2013). The effects of graded motor imagery and its components on chronic pain: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Pain: Official Journal of the American Pain Society*, 14(1), 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2012.09.007>
- Brady, N., Maguinness, C., & Ní Choisdealbha, Á. (2011). My Hand or Yours? Markedly Different Sensitivity to Egocentric and Allocentric Views in the Hand Laterality Task. *PLoS ONE*, 6(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023316>
- Braun, Beurskens, A. J., Borm, P. J., Schack, T., & Wade, D. T. (2006). The effects of mental practice in stroke rehabilitation: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil*, 87(6), 842–852. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.02.034>
- Braun, Kleynen, M., Schols, J., Schack, T., Beurskens, A., & Wade, D. (2008). Using mental practice in stroke rehabilitation: a framework. *Clin Rehabil*, 22(7), 579–591. <https://doi.org/10.1177/0269215508090066>
- Braun, van Haastregt, J. C., Beurskens, A. J., Gielen, A. I., Wade, D. T., & Schols, J. M. (2010). Feasibility of a mental practice intervention in stroke patients in nursing homes; a process evaluation. *BMC Neurology*, 10, 74. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-10-74>
- Bridenbaugh, Beauchet, Annweiler, Allali, Herrmann, F., & Kressig, R. W. (2013). Association between dual task-related decrease in walking speed and real versus imagined Timed Up and Go test performance. *Aging Clinical and Experimental Research*, 25(3), 283–289. <https://doi.org/10.1007/s40520-013-0046-5>

- Bridenbaugh, S. A., & Kressig, R. W. (2014). Quantitative gait disturbances in older adults with cognitive impairments. *Current Pharmaceutical Design*, 20(19), 3165- 3172.
- Bridenbaugh, S. A., & Kressig, R. W. (2015). Motor cognitive dual tasking: early detection of gait impairment, fall risk and cognitive decline. *Zeitschrift Fur Gerontologie Und Geriatrie*, 48(1), 15- 21. <https://doi.org/10.1007/s00391-014-0845-0>
- Brusco, N. K., Taylor, N. F., Watts, J. J., & Shields, N. (2014). Economic evaluation of adult rehabilitation: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials in a variety of settings. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(1), 94- 116.e4. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.03.017>
- Bruyneel. (2016). Évaluation de la proprioception : tests de statesthésie et kinesthésie. In *EMC - Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation* (Article 26-011-D-10).
- Bruyneel, A.-V. (2013). Réflexion sur les tests d'évaluation clinique de la proprioception à partir d'une revue de la littérature. *Kinésithérapie, la Revue*, 13(143), 36- 44. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2013.04.009>
- Butler, A. J., Cazeaux, J., Fidler, A., Jansen, J., Lefkove, N., Gregg, M., ... Wolf, S. L. (2012). The Movement Imagery Questionnaire-Revised, Second Edition (MIQ-RS) Is a Reliable and Valid Tool for Evaluating Motor Imagery in Stroke Populations. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2012, 497289. <https://doi.org/10.1155/2012/497289>
- Cai, L., Chan, J. S. Y., Yan, J. H., & Peng, K. (2014). Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00031>
- Calixtre, L. B., Moreira, R. F. C., Franchini, G. H., Alburquerque-Sendín, F., & Oliveira, A. B. (2015). Manual therapy for the management of pain and limited range of motion in subjects with signs and symptoms of temporomandibular disorder: a systematic review of randomised controlled trials. *Journal of Oral Rehabilitation*, 42(11), 847- 861. <https://doi.org/10.1111/joor.12321>
- Canadian Partnership for Stroke Recovery. (2013). Canadian Partnership for Stroke Recovery. Consulté 24 avril 2016, à l'adresse <http://www.ebrsr.com/search/all/motor%20imagery>
- Celenay, S. T., Kaya, D. O., & Akbayrak, T. (2016). Cervical and scapulothoracic stabilization exercises with and without connective tissue massage for chronic mechanical neck pain: A prospective, randomised controlled trial. *Manual Therapy*, 21, 144- 150. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.07.003>
- Chaibi, A., Tuchin, P. J., & Russell, M. B. (2011). Manual therapies for migraine: a systematic review. *The Journal of Headache and Pain*, 12(2), 127- 133. <https://doi.org/10.1007/s10194-011-0296-6>
- Chéron, G. (2011). Neurophysiologie du mouvement. Apprentissage moteur - EM|consulte. *EMC (Elsevier Masson SAS), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation*, 26-7- NaN-60.
- Clay, J. H., & Pounds, D. M. (2003). *Massothérapie clinique: incluant anatomie et traitement*. Paris: Maloine.
- Collet, & Guillot. (2010). Autonomic nervous system activities during imagined movements. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery* (1^{re} éd.). Oxford University Press, USA.

- Collet, Rienzo, Hoyek, & Guillot. (2013). Corrélats neurophysiologiques de l'imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences*, (82), 7- 19.
- Crosbie, J. H., McDonough, S. M., Gilmore, D. H., & Wiggam, M. I. (2004). The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 18(1), 60- 68.
- Cugini, P. (1993). Chronobiology: principles and methods. *Annali dell'Istituto Superiore Di Sanità*, 29(4), 483- 500.
- Dalecki, M., Hoffmann, U., & Bock, O. (2012). Mental rotation of letters, body parts and complex scenes: separate or common mechanisms? *Human Movement Science*, 31(5), 1151- 1160. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.12.001>
- de Vries, S., Tepper, M., Feenstra, W., Oosterveld, H., Boonstra, A. M., & Otten, B. (2013). Motor imagery ability in stroke patients: the relationship between implicit and explicit motor imagery measures. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 790. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00790>
- de Vries, S., Tepper, M., Otten, B., & Mulder, T. (2011). Recovery of motor imagery ability in stroke patients. *Rehabilitation Research and Practice*, 2011, 283840. <https://doi.org/10.1155/2011/283840>
- Debarnot, Sahraoui, D., Champely, S., Collet, C., & Guillot, A. (2012). Selective influence of circadian modulation and task characteristics on motor imagery time. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83(3), 442- 450.
- Decety, J., & Jeannerod, M. (1995). Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts's law hold in motor imagery? *Behavioural Brain Research*, 72(1- 2), 127- 134.
- Decety, J., Jeannerod, M., Germain, M., & Pastene, J. (1991). Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. *Behavioural Brain Research*, 42(1), 1- 5.
- Decety, J., & Michel, F. (1989). Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. *Brain and Cognition*, 11(1), 87- 97.
- Demougeot, L., & Papaxanthis, C. (2011). Muscle fatigue affects mental simulation of action. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 31(29), 10712- 10720. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6032-10.2011>
- Devlin, A. L., & Wilson, P. H. (2010). Adult age differences in the ability to mentally transform object and body stimuli. *Neuropsychology, Development, and Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, 17(6), 709- 729. <https://doi.org/10.1080/13825585.2010.510554>
- Dickstein, R., & Deutsch, J. E. (2007). Motor imagery in physical therapist practice. *Physical Therapy*, 87(7), 942- 953. <https://doi.org/10.2522/ptj.20060331>
- Dickstein, R., Deutsch, J. E., Yoeli, Y., Kafri, M., Falash, F., Dunskey, A., ... Alexander, N. (2013). Effects of integrated motor imagery practice on gait of individuals with chronic stroke: a half-crossover randomized study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(11), 2119- 2125. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.06.031>
- Dickstein, R., & Tamir, R. (2010). Motor imagery practice in individuals with Parkinson's disease. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery* (p. 177- 187). Guillot and Collet; Oxford university press.

- Diego, M. A., & Field, T. (2009). Moderate pressure massage elicits a parasympathetic nervous system response. *The International Journal of Neuroscience*, 119(5), 630- 638.
<https://doi.org/10.1080/00207450802329605>
- Dietrich, A. (2008). Imaging the imagination: The trouble with motor imagery. *Methods*, 45(4), 319- 324. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2008.04.004>
- Dijkerman, H. C., Ietswaart, M., & Johnston, M. (2010). Motor imagery and the rehabilitation of movement disorders : An overview. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. Guillot and Collet; Oxford university press.
- Donoyama, N., Wakuda, T., Tanitsu, T., Ishii, E., & Ichiman, Y. (2004). Washing hands before and after performing massages? Changes in bacterial survival count on skin of a massage therapist and a client during massage therapy. *Journal of Alternative and Complementary Medicine (New York, N.Y.)*, 10(4), 684- 686.
<https://doi.org/10.1089/acm.2004.10.684>
- Dror, I. E., & Kosslyn, S. M. (1994). Mental imagery and aging. *Psychology and Aging*, 9(1), 90- 102.
- Dufour, M., Colné, P., & Gouilly, P. (2006). *Massages et massothérapie* (2ème). Maloine.
- Dufour, M., & Gedda, M. (2007). *Dictionnaire de Kinésithérapie et Réadaptation*. Maloine.
- El-Tamawy, M. S., Darwish, M. H., & Khallaf, M. E. (2012). Effects of augmented proprioceptive cues on the parameters of gait of individuals with Parkinson's disease. *Annals of Indian Academy of Neurology*, 15(4), 267- 272. <https://doi.org/10.4103/0972-2327.104334>
- Ernst, E. (2003). The safety of massage therapy. *Rheumatology (Oxford, England)*, 42(9), 1101- 1106. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/keg306>
- Ezzo, J., Manheimer, E., McNeely, M. L., Howell, D. M., Weiss, R., Johansson, K. I., ... Karadibak, D. (2015). Manual lymphatic drainage for lymphedema following breast cancer treatment. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5, CD003475.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD003475.pub2>
- Facchini, S., Romani, M., Tinazzi, M., & Aglioti, S. M. (2002). Time-related changes of excitability of the human motor system contingent upon immobilisation of the ring and little fingers. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 113(3), 367- 375.
- Falkensteiner, M., Mantovan, F., Müller, I., & Them, C. (2011). The use of massage therapy for reducing pain, anxiety, and depression in oncological palliative care patients: a narrative review of the literature. *ISRN Nursing*, 2011, 929868.
<https://doi.org/10.5402/2011/929868>
- Field, T. (2014). Massage therapy research review. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 20(4), 224- 229. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2014.07.002>
- Field, T., Diego, M. A., Hernandez-Reif, M., Deeds, O., & Figuereido, B. (2006). Moderate Versus Light Pressure Massage Therapy Leads to Greater Weight Gain in Preterm Infants. *Infant behavior & development*, 29(4), 574- 578.
<https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2006.07.011>
- Field, T., Diego, M., Gonzalez, G., & Funk, C. G. (2014). Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 20(4), 219- 223. <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2014.09.001>
- Field, T., Diego, M., Gonzalez, G., & Funk, C. G. (2015). Knee arthritis pain is reduced and range of motion is increased following moderate pressure massage therapy. *Complementary*

- Therapies in Clinical Practice*, 21(4), 233–237.
<https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2015.08.002>
- Field, T., Diego, M., & Hernandez-Reif, M. (2007). Massage therapy research. *Developmental Review*, 27(1), 75–89.
- Field, T., Hernandez-Reif, M., Diego, M., Feijo, L., Vera, Y., & Gil, K. (2004). Massage therapy by parents improves early growth and development. *Infant Behavior and Development*, 27(4), 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2004.03.004>
- Fontana, A. P., Kilner, J. M., Rodrigues, E. C., Joffily, M., Nighoghossian, N., Vargas, C. D., & Sirigu, A. (2012). Role of the parietal cortex in predicting incoming actions. *NeuroImage*, 59(1), 556–564. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.07.046>
- Fourkas, A. D., Bonavolontà, V., Avenanti, A., & Aglioti, S. M. (2008). Kinesthetic imagery and tool-specific modulation of corticospinal representations in expert tennis players. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 18(10), 2382–2390.
<https://doi.org/10.1093/cercor/bhn005>
- Franz, E. A., Eliassen, J. C., Ivry, R. B., & Gazzaniga, M. S. (1996). Dissociation of Spatial and Temporal Coupling in the Bimanual Movements of Callosotomy Patients. *Psychological Science*, 7(5), 306–310. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1996.tb00379.x>
- Furlan, A. D., Imamura, M., Dryden, T., & Irvin, E. (2008). Massage for low-back pain. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4), CD001929.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD001929.pub2>
- Gandevia, S. C., & McCloskey, D. I. (1976). Joint sense, muscle sense, and their combination as position sense, measured at the distal interphalangeal joint of the middle finger. *The Journal of Physiology*, 260(2), 387–407.
- Gandevia, S. C., McCloskey, D. I., & Burke, D. (1992). Kinaesthetic signals and muscle contraction. *Trends in Neurosciences*, 15(2), 62–65.
- Gatti, R., Tettamanti, A., Gough, P. M., Riboldi, E., Marinoni, L., & Buccino, G. (2013). Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: a short review of literature and a kinematics study. *Neuroscience Letters*, 540, 37–42.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.11.039>
- Gentili, R., Han, C. E., Schweighofer, N., & Papaxanthis, C. (2010). Motor Learning Without Doing: Trial-by-Trial Improvement in Motor Performance During Mental Training. *Journal of Neurophysiology*, 104(2), 774–783. <https://doi.org/10.1152/jn.00257.2010>
- Gentilucci, M., Benuzzi, F., Bertolani, L., Elena Daprati, null, & Gangitano, M. (2000). Recognising a hand by grasp. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 9(2), 125–135.
- Gentilucci, M., Daprati, E., & Gangitano, M. (1998). Right-handers and left-handers have different representations of their own hand. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 6(3), 185–192.
- Goats, G. C., & Keir, K. A. (1991). Connective tissue massage. *British Journal of Sports Medicine*, 25(3), 131–133.
- Goginsky, A. M., & Collins, D. (1996). Research design and mental practice. *Journal of Sports Sciences*, 14(5), 381–392. <https://doi.org/10.1080/02640419608727725>
- Goldstone, L. A. (2000). Massage as an orthodox medical treatment past and future. *Complementary Therapies in Nursing and Midwifery*, 6(4), 169–175.
<https://doi.org/10.1054/ctnm.2000.0493>

- Gomes, C. A. F. de P., Politti, F., Andrade, D. V., de Sousa, D. F. M., Herpich, C. M., Dibai-Filho, A. V., ... Biasotto-Gonzalez, D. A. (2014). Effects of massage therapy and occlusal splint therapy on mandibular range of motion in individuals with temporomandibular disorder: a randomized clinical trial. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 37(3), 164–169. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2013.12.007>
- Grangeon, Guillot, & Collet. (2009). Effets de l'imagerie motrice dans la rééducation de lésions du système nerveux central et des atteintes musculo-articulaires. *Science et motricité*, (2), 9–38.
- Grangeon, M., Guillot, A., & Collet, C. (2011). Postural control during visual and kinesthetic motor imagery. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 36(1), 47–56. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9145-2>
- Gueugneau, N., Mauvieux, B., & Papaxanthis, C. (2009). Circadian modulation of mentally simulated motor actions: implications for the potential use of motor imagery in rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair*, 23(3), 237–245. <https://doi.org/10.1177/1545968308321775>
- Gueugneau, N., & Papaxanthis, C. (2010). Time-of-day effects on the internal simulation of motor actions: psychophysical evidence from pointing movements with the dominant and non-dominant arm. *Chronobiology International*, 27(3), 620–639. <https://doi.org/10.3109/07420521003664205>
- Guillot, A., Collet, C., Nguyen, V. A., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2009). Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 30(7), 2157–2172. <https://doi.org/10.1002/hbm.20658>
- Guillot, & Collet. (2005a). Contribution from neurophysiological and psychological methods to the study of motor imagery. *Brain Research. Brain Research Reviews*, 50(2), 387–397. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.09.004>
- Guillot, & Collet. (2005b). Duration of mentally simulated movement: a review. *Journal of Motor Behavior*, 37(1), 10–20. <https://doi.org/10.3200/JMBR.37.1.10-20>
- Guillot, & Collet. (2008). Construction of the Motor Imagery Integrative Model in Sport: a review and theoretical investigation of motor imagery use. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 31–44. <https://doi.org/10.1080/17509840701823139>
- Guillot, Collet, Nguyen, Malouin, Richards, & Doyon. (2008). Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. *NeuroImage*, 41(4), 1471–1483. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.03.042>
- Guillot, Hoyek, N., Louis, M., & Collet, C. (2012). Understanding the timing of motor imagery: recent findings and future directions. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 5(1), 3–22.
- Guillot, Louis, & Collet. (2010). Neurophysiological substrates of motor imagery ability. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. Guillot and Collet; Oxford university press.
- Guttman, A., Burstin, A., Brown, R., Bril, S., & Dickstein, R. (2012). Motor imagery practice for improving sit to stand and reaching to grasp in individuals with poststroke hemiparesis. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 19(4), 306–319. <https://doi.org/10.1310/tsr1904-306>

- Hall, C., Buckolz, E., & Fishburne, G. (1989). Searching for a relationship between imagery ability and memory of movements. *Journal of Human Movement Studies*, 17(2), 89–100.
- Hall, C. R., & Pongrac, J. (1983). *Movement imagery: questionnaire*. University of Western Ontario Faculty of Physical Education.
- Hamel, M. F., & Lajoie, Y. (2005). Mental imagery. Effects on static balance and attentional demands of the elderly. *Aging Clinical and Experimental Research*, 17(3), 223–228.
- Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., & Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: A critical review of methods. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.10.004>
- Harris, M., Richards, K. C., & Grando, V. T. (2012). The effects of slow-stroke back massage on minutes of nighttime sleep in persons with dementia and sleep disturbances in the nursing home: a pilot study. *Journal of Holistic Nursing: Official Journal of the American Holistic Nurses' Association*, 30(4), 255–263. <https://doi.org/10.1177/0898010112455948>
- Hartman, S. E. (2009). Why do ineffective treatments seem helpful? A brief review. *Chiropractic & Osteopathy*, 17, 10. <https://doi.org/10.1186/1746-1340-17-10>
- Haute Autorité de Santé. (2005). Prévention des chutes accidentelles chez la personne âgée. Consulté 2 avril 2012, à l'adresse http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_272503/prevention-des-chutes-accidentelles-chez-la-personne-agee
- Haute autorité de santé. (2012). Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. Consulté 15 mai 2013, à l'adresse http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_1334330/fr/accident-vasculaire-cerebral-methodes-de-reeducation-de-la-fonction-motrice-chez-l-adulte?xtmc=&xtcr=1
- Haute Autorité de Santé. (2013). Niveau de preuve et gradation des recommandations de bonne pratique - État des lieux. Consulté à l'adresse http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_1600564/fr/niveau-de-preuve-et-gradation-des-recommandations-de-bonne-pratique-etat-des-lieux
- Henriksen, M., Højrup, A., Lund, H., Christensen, L., Danneskiold-Samsøe, B., & Bliddal, H. (2004). The effect of stimulating massage of thigh muscles on knee joint position sense. *Advances in Physiotherapy*, 6(1), 29–36.
- Heremans, E., Nieuwboer, A., Feys, P., Vercruysse, S., Vandenberghe, W., Sharma, N., & Helsen, W. F. (2012). External cueing improves motor imagery quality in patients with Parkinson disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 26(1), 27–35. <https://doi.org/10.1177/1545968311411055>
- Hernandez-Reif, M., Field, T., Krasnegor, J., & Theakston, H. (2001). Lower back pain is reduced and range of motion increased after massage therapy. *The International Journal of Neuroscience*, 106(3–4), 131–145.
- Hertzog, C., Vernon, M. C., & Rypma, B. (1993). Age differences in mental rotation task performance: the influence of speed/accuracy tradeoffs. *Journal of Gerontology*, 48(3), P150-156.
- Holmes, & Calmels. (2008). A neuroscientific review of imagery and observation use in sport. *Journal of Motor Behavior*, 40(5), 433–445. <https://doi.org/10.3200/JMBR.40.5.433-445>

- Holmes, & Collins. (2001). The PETTLEP approach to motor imagery: A functional equivalence model for sport psychologists. *Journal of Applied Sport Psychology*, 13(1), 60–83.
- Hongsuwan, C., Eungpinichpong, W., Chatchawan, U., & Yamauchi, J. (2015). Effects of Thai massage on physical fitness in soccer players. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(2), 505–508. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.505>
- Hornberger, T. A., & Esser, K. A. (2004). Mechanotransduction and the regulation of protein synthesis in skeletal muscle. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 63(2), 331–335. <https://doi.org/10.1079/PNS2004357>
- Horne, J. A., & Ostberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4(2), 97–110.
- Hovington, C. L., & Brouwer, B. (2010). Guided motor imagery in healthy adults and stroke: does strategy matter? *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 24(9), 851–857. <https://doi.org/10.1177/1545968310374190>
- Hoyek, Collet, C., & Guillot, A. (2010). Représentation mentale et processus moteur : le cas de la rotation mentale. *Movement & Sport Sciences*, n° 71(3), 29–39.
- Huber, R., Ghilardi, M. F., Massimini, M., Ferrarelli, F., Riedner, B. A., Peterson, M. J., & Tononi, G. (2006). Arm immobilization causes cortical plastic changes and locally decreases sleep slow wave activity. *Nature Neuroscience*, 9(9), 1169–1176. <https://doi.org/10.1038/nn1758>
- Ietswaart, M., Johnston, M., Dijkerman, H. C., Joice, S., Scott, C. L., MacWalter, R. S., & Hamilton, S. J. C. (2011). Mental practice with motor imagery in stroke recovery: randomized controlled trial of efficacy. *Brain*, 134(Pt 5), 1373–1386. <https://doi.org/10.1093/brain/awr077>
- INSERM. (2014). Activité physique et prévention des chutes chez les personnes âgées : une expertise collective de l'Inserm. Consulté 4 janvier 2015, à l'adresse <http://www.inserm.fr/espace-journalistes/activite-physique-et-prevention-des-chutes-chez-les-personnes-agees-une-expertise-collective-de-l-inserm>
- International Guideline Library. (2016, avril 24). Consulté 24 avril 2016, à l'adresse http://www.g-i-n.net/library/international-guidelines-library/international-guidelines-library/@@guideline_search_results?basic-searchable-text=motor+imagery&type=basic&action=Search&advanced-authors=&diseases=&meshterm=&search=
- Intons-Peterson, M. J., Rocchi, P., West, T., McLellan, K., & Hackney, A. (1999). Age, testing at preferred or nonpreferred times (testing optimality), and false memory. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 23–40.
- Ionta, S., & Blanke, O. (2009). Differential influence of hands posture on mental rotation of hands and feet in left and right handers. *Experimental Brain Research*, 195(2), 207–217. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1770-0>
- Ionta, S., Fourkas, A. D., Fiorio, M., & Aglioti, S. M. (2007). The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Experimental Brain Research*, 183(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1020-2>
- Isaac. (1992). Mental Practice — Does It Work in the Field? *The Sport Psychologist*, 6(2), 192–198. <https://doi.org/10.1123/tsp.6.2.192>

- Isaac, Marks, D. F., & Russell, D. G. (1986). An instrument for assessing imagery of movement: The Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ). *Journal of Mental Imagery*, 10(4), 23- 30.
- Jackson, Lafleur, Malouin, Richards, & Doyon. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(8), 1133-1141.
- Jackson, P. L., Doyon, J., Richards, C. L., & Malouin, F. (2004). The efficacy of combined physical and mental practice in the learning of a foot-sequence task after stroke: a case report. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 18(2), 106- 111.
<https://doi.org/10.1177/0888439004265249>
- Jeannerod. (2001). Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage*, 14(1), S103- S109. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Jeannerod, M., & Frak, V. (1999). Mental imaging of motor activity in humans. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(6), 735- 739.
- Kalicinski, M., & Raab, M. (2014). Task requirements and their effects on imagined walking in elderly. *Aging Clinical and Experimental Research*, 26(4), 387- 393.
<https://doi.org/10.1007/s40520-013-0184-9>
- Kalisch, T., Tegenthoff, M., & Dinse, H. R. (2008). Improvement of sensorimotor functions in old age by passive sensory stimulation. *Clinical Interventions in Aging*, 3(4), 673- 690.
- Kamali, F., Panahi, F., Ebrahimi, S., & Abbasi, L. (2014). Comparison between massage and routine physical therapy in women with sub acute and chronic nonspecific low back pain. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 27(4), 475- 480.
<https://doi.org/10.3233/BMR-140468>
- Kapandji. (2002). *Anatomie fonctionnelle 1 : Membres supérieurs. Physiologie de l'appareil locomoteur* (V). Maloine.
- Kapandji, A.-I., & Judet, T. (2009). *Anatomie fonctionnelle : Tome 2 - Membre inférieur* (6e édition). Paris: Maloine.
- Karnath, H. O., Konczak, J., & Dichgans, J. (2000). Effect of prolonged neck muscle vibration on lateral head tilt in severe spasmodic torticollis. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 69(5), 658- 660.
- Kim, J. G., & Chung, S. T. (1998). Auditory, visual, and kinesthetic imagery on badminton service learning and performance. In *JOURNAL OF SPORT & EXERCISE PSYCHOLOGY* (Vol. 20, p. S67-S67). HUMAN KINETICS PUBL INC 1607 N MARKET ST, CHAMPAIGN, IL 61820-2200 USA.
- Kossev, A., Siggelkow, S., Kapels, H., Dengler, R., & Rollnik, J. D. (2001). Crossed effects of muscle vibration on motor-evoked potentials. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 112(3), 453- 456.
- Kosslyn, S. M., Giorgio, G., & Barsan, W. (2010). Multimodal images in the brain. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. Guillot and Collet.
- Krewer, C., Van de Winckel, A., Elangovan, N., Aman, J. E., & Konczak, J. (2016). Commentary on: « Assessing proprioception: A critical review of methods » by Han et al. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 91- 92. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2015.11.001>
- Kwon, & Nam. (2014). Circadian fluctuations in three types of sensory modules in healthy subjects. *Neural Regeneration Research*, 9(4), 436- 439. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.128256>

- Lara, T., Madrid, J. A., & Correa, Á. (2014). The vigilance decrement in executive function is attenuated when individual chronotypes perform at their optimal time of day. *PLoS One*, 9(2), e88820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088820>
- Le Blanc-Louvry, I., Costaglioli, B., Boulon, C., Leroi, A.-M., & Ducrotte, P. (2002). Does mechanical massage of the abdominal wall after colectomy reduce postoperative pain and shorten the duration of ileus? Results of a randomized study. *Journal of Gastrointestinal Surgery: Official Journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*, 6(1), 43–49.
- Lebon, F., Gueugneau, N., & Papaxanthis, C. (2013). Modèles internes et imagerie motrice. *Movement & Sport Sciences*, (82), 51–61.
- Lee, J., Han, M., Chung, Y., Kim, J., & Choi, J. (2011). Effects of foot reflexology on fatigue, sleep and pain: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 41(6), 821–833. <https://doi.org/10.4040/jkan.2011.41.6.821>
- Léonard, G., & Tremblay, F. (2007). Corticomotor facilitation associated with observation, imagery and imitation of hand actions: a comparative study in young and old adults. *Experimental Brain Research*, 177(2), 167–175. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0657-6>
- Lévênez, M., Timmermans, B., & Duchateau, J. (2009). Effet du crocheting myo-aponévrotique du triceps sural sur la tension passive et l'architecture musculaire à l'étirement. *Kinésithérapie, la Revue*, 9(92–93), 56–61. [https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(09\)74708-4](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(09)74708-4)
- Linden, C. A., Uhley, J. E., Smith, D., & Bush, M. A. (1989). The Effects of Mental Practice on Walking Balance in an Elderly Population. *OTJR: Occupation, Participation and Health*, 9(3), 155–169. <https://doi.org/10.1177/153944928900900303>
- Liu, K. P. Y., Chan, C. C. H., Wong, R. S. M., Kwan, I. W. L., Yau, C. S. F., Li, L. S. W., & Lee, T. M. C. (2009). A randomized controlled trial of mental imagery augment generalization of learning in acute poststroke patients. *Stroke*, 40(6), 2222–2225. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.108.540997>
- Liu, S.-L., Qi, W., Li, H., Wang, Y.-F., Yang, X.-F., Li, Z.-M., ... Cong, D.-Y. (2015). Recent advances in massage therapy—a review. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, 19(20), 3843–3849.
- Loew, L. M., Brosseau, L., Tugwell, P., Wells, G. A., Welch, V., Shea, B., ... Rahman, P. (2014). Deep transverse friction massage for treating lateral elbow or lateral knee tendinitis. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD003528. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003528.pub2>
- Loison, B., Moussaddaq, A.-S., Cormier, J., Richard, I., Ferrapie, A.-L., Ramond, A., & Dinomais, M. (2013). Translation and validation of the French Movement Imagery Questionnaire – Revised Second version (MIQ-RS). *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 56(3), 157–173. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2013.01.001>
- Lotze, M., & Zentgraf, K. (2010). Contribution of the primary motor cortex to motor imagery. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. Guillot and Collet; Oxford university press.
- Lotze, Scheler, G., Tan, H.-R. M., Braun, C., & Birbaumer, N. (2003). The musician's brain: functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *NeuroImage*, 20(3), 1817–1829.

- Lund, H., Henriksen, M., Bartels, E. M., Danneskiold-Samsøe, B., & Bliddal, H. (2009). Can stimulating massage improve joint repositioning error in patients with knee osteoarthritis? *Journal of Geriatric Physical Therapy* (2001), 32(3), 111- 116.
- Lundin-Olsson, L., Nyberg, L., & Gustafson, Y. (1997). « Stops walking when talking » as a predictor of falls in elderly people. *Lancet*, 349(9052), 617.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(97\)24009-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(97)24009-2)
- Luyat, M., Domino, D., Noël, M., & others. (2008). Can overestimating one's own capacities of action lead to fall? A study on the perception of affordance in the elderly, 6(4), 287-97.
- Machado, S., Lattari, E., de Sá, A. S., Rocha, N. B. F., Yuan, T.-F., Paes, F., ... Arias-Carrión, O. (2015). Is mental practice an effective adjunct therapeutic strategy for upper limb motor restoration after stroke? A systematic review and meta- analysis. *CNS & Neurological Disorders Drug Targets*, 14(5), 567- 575.
- Malouin, F. (2012). *Questionnaire d'Imagerie Visuelle et Kinesthésique (KVIQ) Procédures de passation. Version française du KVIQ VF1.2.*
- Malouin, F., Jackson, P. L., & Richards, C. L. (2013). Towards the integration of mental practice in rehabilitation programs. A critical review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 576.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00576>
- Malouin, F., & Richards, C. L. (2010). Mental practice for relearning locomotor skills. *Physical Therapy*, 90(2), 240- 251. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090029>
- Malouin, F., & Richards, C. L. (2013). Clinical Applications of Motor Imagery in Rehabilitation. In S. Lacey & R. Lawson (Éd.), *Multisensory Imagery* (p. 397- 419). Springer New York.
https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5879-1_21
- Malouin, F., Richards, C. L., & Durand, A. (2010). Normal aging and motor imagery vividness: implications for mental practice training in rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*, 91(7), 1122-1127. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.03.007>
- Malouin, F., Richards, C. L., Durand, A., & Doyon, J. (2008a). Clinical assessment of motor imagery after stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 22(4), 330- 340.
<https://doi.org/10.1177/1545968307313499>
- Malouin, F., Richards, C. L., Durand, A., & Doyon, J. (2008b). Reliability of mental chronometry for assessing motor imagery ability after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(2), 311- 319. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.11.006>
- Malouin, F., Richards, C. L., Durand, A., & Doyon, J. (2009). Added value of mental practice combined with a small amount of physical practice on the relearning of rising and sitting post-stroke: a pilot study. *Journal of Neurologic Physical Therapy: JNPT*, 33(4), 195- 202. <https://doi.org/10.1097/NPT.0b013e3181c2112b>
- Malouin, F., Richards, C. L., Jackson, P. L., & Doyon, J. (2010). Motor imagery for optimizing the reacquisition of locomotor skills after cerebral damage. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. Guillot and Collet; Oxford university press.
- Malouin, F., Richards, C. L., Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Durand, A., & Doyon, J. (2007). The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study. *Journal of Neurologic Physical Therapy: JNPT*, 31(1), 20- 29.

- Markland, D., Hall, C. R., Duncan, L. R., & Simatovic, J. (2015). The effects of an imagery intervention on implicit and explicit exercise attitudes. *Psychology of Sport and Exercise*, 17, 24–31.
- Matchock, R. L., & Mordkoff, J. T. (2009). Chronotype and time-of-day influences on the alerting, orienting, and executive components of attention. *Experimental Brain Research*, 192(2), 189–198. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1567-6>
- May, C. P., Hasher, L., & Foong, N. (2005). Implicit memory, age, and time of day: paradoxical priming effects. *Psychological Science*, 16(2), 96–100. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00788.x>
- McAvinue, L. P., & Robertson, I. H. (2007). Relationship between visual and motor imagery. *Perceptual and Motor Skills*, 104(3 Pt 1), 823–843. <https://doi.org/10.2466/pms.104.3.823-843>
- Metzдорф, M. T. (2013). Evidence-based medicine: what it is, what it isn't, and are we practicing it? *The Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, 75(6), 927–935. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3182932bac>
- Meugnot, A., Agbangla, N. F., Almecija, Y., & Toussaint, L. (2015). Motor imagery practice may compensate for the slowdown of sensorimotor processes induced by short-term upper-limb immobilization. *Psychological Research*, 79(3), 489–499. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0577-1>
- Meugnot, A., Agbangla, N. F., & Toussaint, L. (2016). Selective impairment of sensorimotor representations following short-term upper-limb immobilization. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* (2006), 69(9), 1842–1850. <https://doi.org/10.1080/17470218.2015.1125376>
- Meugnot, A., Almecija, Y., & Toussaint, L. (2014). The embodied nature of motor imagery processes highlighted by short-term limb immobilization. *Experimental Psychology*, 61(3), 180–186. <https://doi.org/10.1027/1618-3169/a000237>
- Milton, J., Small, S. L., & Solodkin, A. (2008). Imaging motor imagery: methodological issues related to expertise. *Methods (San Diego, Calif.)*, 45(4), 336–341. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2008.05.002>
- Mora-Relucio, R., Núñez-Nagy, S., Gallego-Izquierdo, T., Rus, A., Plaza-Manzano, G., Romero-Franco, N., ... Pecos-Martín, D. (2016). Experienced versus Inexperienced Interexaminer Reliability on Location and Classification of Myofascial Trigger Point Palpation to Diagnose Lateral Epicondylalgia: An Observational Cross-Sectional Study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2016, 6059719. <https://doi.org/10.1155/2016/6059719>
- Moraska, A. (2005). Sports massage. A comprehensive review. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(3), 370–380.
- Moraska, A. (2013). Massage efficacy beliefs for muscle recovery from a running race. *International Journal of Therapeutic Massage & Bodywork*, 6(2), 3–8.
- Moseley. (2004a). Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomised controlled trial. *Pain*, 108(1–2), 192–198. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.01.006>
- Moseley. (2004b). Imagined movements cause pain and swelling in a patient with complex regional pain syndrome. *Neurology*, 62(9), 1644.

- Moseley. (2004c). Why do people with complex regional pain syndrome take longer to recognize their affected hand? *Neurology*, 62(12), 2182–2186.
- Moseley. (2006). Graded motor imagery for pathologic pain: a randomized controlled trial. *Neurology*, 67(12), 2129– 2134. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000249112.56935.32>
- Moseley, A. L., Esplin, M., Piller, N. B., & Douglass, J. (2007). Endermologie (with and without compression bandaging)--a new treatment option for secondary arm lymphedema. *Lymphology*, 40(3), 129– 137.
- Moseley, Butler, Beames, & Giles. (2012). *The Graded Motor Imagery Handbook* (1st éd.). Noigroup Publications.
- Mourey, F. (2010). Évaluation clinique de l'équilibre chez le sujet âgé. *Kinésithérapie, la Revue*, 10(103), 18– 22. [https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(10\)74875-0](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(10)74875-0)
- Moyer, C. A., Rounds, J., & Hannum, J. W. (2004). A meta-analysis of massage therapy research. *Psychological bulletin*, 130(1), 3.
- Mudge, S., & Stott, N. S. (2007). Outcome measures to assess walking ability following stroke: a systematic review of the literature. *Physiotherapy*, 93(3), 189– 200. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2006.12.010>
- Mulder, Hochstenbach, J. B. H., van Heuvelen, M. J. G., & den Otter, A. R. (2007). Motor imagery: the relation between age and imagery capacity. *Hum Mov Sci*, 26(2), 203– 211. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.01.001>
- Mulder, T., Zijlstra, S., Zijlstra, W., & Hochstenbach, J. (2004). The role of motor imagery in learning a totally novel movement. *Experimental Brain Research*, 154(2), 211– 217. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1647-6>
- Mumford, B., & Hall, C. (1985). The effects of internal and external imagery on performing figures in figure skating. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences. Journal Canadien Des Sciences Appliquées Au Sport*, 10(4), 171– 177.
- Münch, M., Knoblauch, V., Blatter, K., Schröder, C., Schnitzler, C., Kräuchi, K., ... Cajochen, C. (2005). Age-related attenuation of the evening circadian arousal signal in humans. *Neurobiology of Aging*, 26(9), 1307– 1319. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.03.004>
- Naito, E., & Ehrsson, H. H. (2001). Kinesthetic illusion of wrist movement activates motor-related areas. *Neuroreport*, 12(17), 3805– 3809.
- Nedelko, V., Hassa, T., Hamzei, F., Weiller, C., Binkofski, F., Schoenfeld, M. A., ... Dettmers, C. (2010). Age-independent activation in areas of the mirror neuron system during action observation and action imagery. A fMRI study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 28(6), 737– 747. <https://doi.org/10.3233/RNN-2010-0542>
- Nugent, J. K. (2013). The competent newborn and the neonatal behavioral assessment scale: T. Berry Brazelton's legacy. *Journal of Child and Adolescent Psychiatric Nursing: Official Publication of the Association of Child and Adolescent Psychiatric Nurses, Inc*, 26(3), 173– 179. <https://doi.org/10.1111/jcap.12043>
- O'Connell, N. E., Wand, B. M., McAuley, J., Marston, L., & Moseley, G. L. (2013). Interventions for treating pain and disability in adults with complex regional pain syndrome. In *Cochrane Database of Systematic Reviews*. John Wiley & Sons, Ltd. Consulté à l'adresse <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14651858.CD009416.pub2/abstract>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97– 113.

- Olivier, E., Davare, M., Andres, M., & Fadiga, L. (2007). Precision grasping in humans: from motor control to cognition. *Current Opinion in Neurobiology*, 17(6), 644–648. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.01.008>
- Page, Gater, & Bach-Y-Rita. (2004). Reconsidering the motor recovery plateau in stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(8), 1377–1381. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.12.031>
- Page, Levine, P., Sisto, S. A., & Johnston, M. V. (2001a). Mental practice combined with physical practice for upper-limb motor deficit in subacute stroke. *Phys Ther*, 81(8), 1455–1462.
- Page, Levine, P., Sisto, S., & Johnston, M. V. (2001b). A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clin Rehabil*, 15(3), 233–240.
- Page, Szaflarski, Eliassen, Pan, & Cramer. (2009). Cortical plasticity following motor skill learning during mental practice in stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(4), 382–388. <https://doi.org/10.1177/1545968308326427>
- Paizis, C., Skoura, X., Personnier, P., & Papaxanthis, C. (2014). Motor Asymmetry Attenuation in Older Adults during Imagined Arm Movements. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 49. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00049>
- Papadelis, C., Kourtidou-Papadeli, C., Bamidis, P., & Albani, M. (2007). Effects of imagery training on cognitive performance and use of physiological measures as an assessment tool of mental effort. *Brain and Cognition*, 64(1), 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.01.001>
- Parsons, L. M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive psychology*, 19(2), 178–241.
- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(4), 709–730.
- Parsons, L. M., & Fox, P. T. (1998). The neural basis of implicit movements used in recognising hand shape. *Cognitive Neuropsychology*, 15(6–8), 583–615.
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F., & Merabet, L. B. (2005). The plastic human brain cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 28, 377–401. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216>
- Pascual-Leone, Nguyet, D., Cohen, L. G., Brasil-Neto, J. P., Cammarota, A., & Hallett, M. (1995). Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of Neurophysiology*, 74(3), 1037–1045.
- Pérennou, D., Decavel, P., Manckoundia, P., Penven, Y., Mourey, F., Launay, F., ... Casillas, J. M. (2005). Évaluation de l'équilibre en pathologie neurologique et gériatrique. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 48(6), 317–335. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2005.04.009>
- Perlman, A. I., Ali, A., Njike, V. Y., Hom, D., Davidi, A., Gould-Fogerite, S., ... Katz, D. L. (2012). Massage therapy for osteoarthritis of the knee: a randomized dose-finding trial. *PLoS One*, 7(2), e30248. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030248>
- Personnier, P., Ballay, Y., & Papaxanthis, C. (2010). Mentally represented motor actions in normal aging: III. Electromyographic features of imagined arm movements. *Behav. Brain Res.*, 206(2), 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.09.011>

- Personnier, P., Kubicki, A., Laroche, D., & Papaxanthis, C. (2010). Temporal features of imagined locomotion in normal aging. *Neuroscience Letters*, 476(3), 146–149. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2010.04.017>
- Personnier, P., Paizis, C., Ballay, Y., & Papaxanthis, C. (2008). Mentally represented motor actions in normal aging II. The influence of the gravito-inertial context on the duration of overt and covert arm movements. *Behav. Brain Res.*, 186(2), 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.08.018>
- Piette. (2016). Métrologie appliquée à la kinésithérapie : mesures, tests et bilans, concepts fondamentaux. In *Encyclopédie Médico-Chirurgicale- Kinésithérapie-MPR* (Vol. [26-007-A-40]).
- Pinsault, & Monvoisin. (2014). *Tout ce que vous n'avez jamais voulu savoir sur le thérapies manuelles*. PUG.
- Pinsault, & Monvoisin, R. (2015). La kinésithérapie piégée par les mages. *Le Monde diplomatique*, (741), 22–22.
- Piper, S., Shearer, H. M., Côté, P., Wong, J. J., Yu, H., Varatharajan, S., ... Taylor-Vaisey, A. L. (2015). The effectiveness of soft-tissue therapy for the management of musculoskeletal disorders and injuries of the upper and lower extremities: A systematic review by the Ontario Protocol for Traffic Injury management (OPTIMa) collaboration. *Manual Therapy*. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.08.011>
- Pollock, A., Farmer, S. E., Brady, M. C., Langhorne, P., Mead, G. E., Mehrholz, J., & van Wijck, F. (2014). Interventions for improving upper limb function after stroke. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 11, CD010820. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010820.pub2>
- Ranganathan, V. K., Siemionow, V., Liu, J. Z., Sahgal, V., & Yue, G. H. (2004). From mental power to muscle power—gaining strength by using the mind. *Neuropsychologia*, 42(7), 944–956. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.11.018>
- Regnaud, J.-P., Guay, V., & Marsal, C. (2009). Evidence based practice ou la pratique basée sur les preuves en rééducation. *Kinésithérapie, la Revue*, 9(94), 55–61. [https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(09\)70037-3](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(09)70037-3)
- Reuter-Lorenz, P. A., & Park, D. C. (2010). Human neuroscience and the aging mind: a new look at old problems. *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences*, 65(4), 405–415. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbq035>
- Riccio, I., Iolascon, G., Barillari, M. R., Gimigliano, R., & Gimigliano, F. (2010). Mental practice is effective in upper limb recovery after stroke: a randomized single-blind cross-over study. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 46(1), 19–25.
- Roberts, R., Callow, N., Hardy, L., Markland, D., & Bringer, J. (2008). Movement imagery ability: development and assessment of a revised version of the vividness of movement imagery questionnaire. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 30(2), 200–221.
- Robin, Dominique, Toussaint, Blandin, Guillot, & Her. (2007). Effects of motor imagery training on service return accuracy in tennis: The role of imagery ability. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 5(2), 175–186. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2007.9671818>
- Roll, R., Kavounoudias, A., Albert, F., Legré, R., Gay, A., Fabre, B., & Roll, J. P. (2012). Illusory movements prevent cortical disruption caused by immobilization. *NeuroImage*, 62(1), 510–519. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.016>

- Rosenkranz, K., Butler, K., Williamon, A., & Rothwell, J. C. (2009). Regaining motor control in musician's dystonia by restoring sensorimotor organization. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(46), 14627- 14636. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2094-09.2009>
- Rosenkranz, K., & Rothwell, J. C. (2004). The effect of sensory input and attention on the sensorimotor organization of the hand area of the human motor cortex. *The Journal of Physiology*, 561(Pt 1), 307- 320. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.069328>
- Roure, R., Collet, C., Deschaumes-Molinari, C., Delhomme, G., Dittmar, A., & Vernet-Maury, E. (1999). Imagery Quality Estimated by Autonomic Response Is Correlated to Sporting Performance Enhancement. *Physiology & Behavior*, 66(1), 63- 72. [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(99\)00026-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(99)00026-8)
- Roure, R., Collet, C., Deschaumes-Molinari, C., Dittmar, A., Rada, H., Delhomme, G., & Vernet-Maury, E. (1998). Autonomic nervous system responses correlate with mental rehearsal in volleyball training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78(2), 99- 108. <https://doi.org/10.1007/s004210050393>
- Rulleau, T.**, Mauvieux, B., & Toussaint, L. (2015). Influence of circadian rhythms on the temporal features of motor imagery for older adult inpatients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(7), 1229- 1234. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.02.015>
- Rulleau, T.**, Rivette, C., & Toussaint, L. (2017). Le massage, approche basée sur les preuves. *Encyclopédie Médico-Chirurgicale, Kinésithérapie, Médecine Physique*.
- Rulleau, T.**, & Toussaint, L. (in revision). The effect of a single and brief massage session on the activation of sensorimotor processes in elderly inpatients. *Journal of Geriatric Physical Therapy*.
- Rulleau, T.**, & Toussaint, L. (2014). L'imagerie motrice en rééducation. *Kinésithérapie, la Revue*, 14(148), 51- 54. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2013.12.015>
- Rulleau, T.**, & Toussaint, L. (2015). Effet du massage sur le fonctionnement du système sensori-moteur du sujet âgé hospitalisé. *Kinésithérapie, la Revue*, 15(158), 18- 19. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2014.11.020>
- Rulleau, T.**, & Toussaint, L. (2016). G10 – L'imagerie motrice en rééducation, application clinique et recherche. *Kinésithérapie, la Revue*, 16(170), 39- 40. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2015.11.061>
- Ryan, E. D., & Simons, J. (1982). Efficacy of Mental Imagery in Enhancing Mental Rehearsal of Motor Skills. *Journal of Sport Psychology*, 4(1), 41- 51. <https://doi.org/10.1123/jsp.4.1.41>
- Sackett, D. L., Rosenberg, W. M. C., Gray, J. A. M., Haynes, R. B., & Richardson, W. S. (2007). Evidence based medicine: what it is and what it isn't. 1996. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 455, 3- 5.
- Sagaspe, P., Taillard, J., Amiéva, H., Beck, A., Rascol, O., Dartigues, J.-F., ... Philip, P. (2012). Influence of age, circadian and homeostatic processes on inhibitory motor control: a Go/Nogo task study. *PloS One*, 7(6), e39410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039410>
- Saimpont, Malouin, Tousignant, & Jackson. (2012). The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience*, 222, 49- 57. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2012.06.066>

- Saimpont, Malouin, Tousignant, & Jackson. (2013). Motor imagery and aging. *Journal of Motor Behavior*, 45(1), 21- 28. <https://doi.org/10.1080/00222895.2012.740098>
- Saimpont, Malouin, Tousignant, & Jackson. (2015). Assessing motor imagery ability in younger and older adults by combining measures of vividness, controllability and timing of motor imagery. *Brain Research*, 1597, 196- 209. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.11.050>
- Saimpont, Pozzo, & Papaxanthis. (2009). Aging affects the mental rotation of left and right hands. *PloS One*, 4(8), e6714. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006714>
- Sainburg, R. L. (2002). Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Experimental Brain Research*, 142(2), 241- 258. <https://doi.org/10.1007/s00221-001-0913-8>
- Saxe, R., Jamal, N., & Powell, L. (2006). My body or yours? The effect of visual perspective on cortical body representations. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 16(2), 178- 182. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi095>
- Schmidt, C., Collette, F., Cajochen, C., & Peigneux, P. (2007). A time to think: circadian rhythms in human cognition. *Cognitive Neuropsychology*, 24(7), 755- 789. <https://doi.org/10.1080/02643290701754158>
- Schott, & Munzert. (2007). Temporal accuracy of motor imagery in older women. *International Journal of Sport Psychology*, 38(3), 304.
- Schuster, C., Hilfiker, R., Amft, O., Scheidhauer, A., Andrews, B., Butler, J., ... Ettlin, T. (2011). Best practice for motor imagery: a systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC Med*, 9, 75. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-75>
- Seidler, R. D., Bernard, J. A., Burutolu, T. B., Fling, B. W., Gordon, M. T., Gwin, J. T., ... Lipps, D. B. (2010). Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34(5), 721- 733. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.005>
- Sherman, K. J., Dixon, M. W., Thompson, D., & Cherkin, D. C. (2006). Development of a taxonomy to describe massage treatments for musculoskeletal pain. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 6, 24. <https://doi.org/10.1186/1472-6882-6-24>
- Shin, T. M., & Bordeaux, J. S. (2012). The role of massage in scar management: a literature review. *Dermatologic Surgery: Official Publication for American Society for Dermatologic Surgery [et Al.]*, 38(3), 414- 423. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4725.2011.02201.x>
- Shmushkevich, Y., & Kalichman, L. (2013). Myofascial pain in lateral epicondylalgia: a review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17(4), 434- 439. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.02.003>
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, 80(9), 896- 903.
- Skoura, X., Papaxanthis, C., Vinter, A., & Pozzo, T. (2005). Mentally represented motor actions in normal aging: I. Age effects on the temporal features of overt and covert execution of actions. *Behavioural brain research*, 165(2), 229-239.

- Sliz, D., Smith, A., Wiebking, C., Northoff, G., & Hayley, S. (2012). Neural correlates of a single-session massage treatment. *Brain Imaging and Behavior*, 6(1), 77–87.
<https://doi.org/10.1007/s11682-011-9146-z>
- Smith, C. A., Levett, K. M., Collins, C. T., & Jones, L. (2012). Massage, reflexology and other manual methods for pain management in labour. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, CD009290. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009290.pub2>
- Stinear, C. (2010). Corticospinal facilitation during motor imagery. In *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. Guillot and Collet; Oxford university press.
- Storck, U., Junker, H.-O., & Rostalski, W. (2007). *Technique du massage: précis pédagogique*. Paris: Maloine.
- Surburg, P. R. (1976). Aging and effect of physical-mental practice upon acquisition and retention of a motor skill. *Journal of Gerontology*, 31(1), 64–67.
- Taillard, J. (2009). L'évaluation du chronotype en clinique du sommeil. *Médecine du Sommeil*, 6(1), 31–34. <https://doi.org/10.1016/j.msom.2009.02.003>
- ter Horst, A. C., van Lier, R., & Steenbergen, B. (2010). Mental rotation task of hands: differential influence number of rotational axes. *Experimental Brain Research*, 203(2), 347–354. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2235-1>
- Toussaint, L., & Blandin, Y. (2010). On the role of imagery modalities on motor learning. *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 497–504.
<https://doi.org/10.1080/02640410903555855>
- Toussaint, L., & Blandin, Y. (2013). Behavioral evidence for motor imagery ability on position sense improvement following motor imagery practice. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*, (82), 63–68. <https://doi.org/10.1051/sm/2013093>
- Toussaint, L., & Meugnot, A. (2013). Short-term limb immobilization affects cognitive motor processes. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 39(2), 623–632. <https://doi.org/10.1037/a0028942>
- Toussaint, L., Robin, N., & Blandin, Y. (2010). On the content of sensorimotor representations after actual and motor imagery practice. *Motor Control*, 14(2), 159–175.
- Travell, J. G., & Simons, L. S. (1999). *Myofascial pain and dysfunction: the trigger point manual*. Williams & Wilkins.
- Tremblay, F., Léonard, G., & Tremblay, L. (2008). Corticomotor facilitation associated with observation and imagery of hand actions is impaired in Parkinson's disease. *Experimental Brain Research*, 185(2), 249–257. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1150-6>
- Vaillant, J., Rouland, A., Martigné, P., Braujou, R., Nissen, M. J., Caillat-Miousse, J.-L., ... Juvin, R. (2009). Massage and mobilization of the feet and ankles in elderly adults: Effect on clinical balance performance. *Manual therapy*, 14(6), 661–664.
- Vaillant, J., Vuillerme, N., Janvey, A., Louis, F., Braujou, R., Juvin, R., & Nougier, V. (2008). Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. *Brain research bulletin*, 75(1), 18–22.
- Valls, Grande conférence de la santé. (2016). Discours de clôture du Premier ministre et feuille de route- Ministère des Affaires sociales et de la Santé. Consulté 4 avril 2016, à l'adresse <http://social-sante.gouv.fr/grands-dossiers/grande-conference-de-la-sante/article/discours-de-cloture-du-premier-ministre-et-feuille-de-route>

- Vangheluwe, S., Wenderoth, N., & Swinnen, S. P. (2005). Learning and transfer of an ipsilateral coordination task: evidence for a dual-layer movement representation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(9), 1460- 1470. <https://doi.org/10.1162/0898929054985392>
- Verhagen, A. P., Bierma-Zeinstra, S. M. A., Burdorf, A., Stynes, S. M., de Vet, H. C. W., & Koes, B. W. (2013). Conservative interventions for treating work-related complaints of the arm, neck or shoulder in adults. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12, CD008742. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008742.pub2>
- Vickers, A., & Zollman, C. (1999). Massage therapies. *BMJ : British Medical Journal*, 319(7219), 1254- 1257.
- Victoria Espí-López, G., Arnal-Gómez, A., Arbós-Berenguer, T., González, Á. A. L., & Vicente-Herrero, T. (2014). Effectiveness of Physical Therapy in Patients with Tension-type Headache: Literature Review. *Journal of the Japanese Physical Therapy Association = Rigaku Ryōhō*, 17(1), 31- 38. <https://doi.org/10.1298/jjpta.17.31>
- Waters-Banker, C., Dupont-Versteegden, E. E., Kitzman, P. H., & Butterfield, T. A. (2014). Investigating the mechanisms of massage efficacy: the role of mechanical immunomodulation. *Journal of Athletic Training*, 49(2), 266- 273. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.2.25>
- Weerapong, P., Hume, P. A., & Kolt, G. S. (2005). The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(3), 235- 256.
- White, A., & Hardy, L. (1995). Use of different imagery perspectives on the learning and performance of different motor skills. *British Journal of Psychology (London, England: 1953)*, 86 (Pt 2), 169- 180.
- Williams, J., Thomas, P. R., Maruff, P., & Wilson, P. H. (2008). The link between motor impairment level and motor imagery ability in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, 27(2), 270- 285. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2008.02.008>
- Williams, Pearce, Loporto, Morris, & Holmes. (2012). The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behavioural Brain Research*, 226(2), 369- 375. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2011.09.014>
- Wilson, P. H., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., Lum, J., & Thomas, P. R. (2004). Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 46(11), 754- 759.
- Wirocius, J. M. (1999). *Histoire de la rééducation. Encycl Med Chir*. Elsevier, Paris), Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation.
- Yin, P., Gao, N., Wu, J., Litscher, G., & Xu, S. (2014). Adverse events of massage therapy in pain-related conditions: a systematic review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2014, 480956. <https://doi.org/10.1155/2014/480956>
- Yoo, E., Park, E., & Chung, B. (2001). Mental practice effect on line-tracing accuracy in persons with hemiparetic stroke: a preliminary study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(9), 1213- 1218. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.25095>
- Yuan, S. L. K., Matsutani, L. A., & Marques, A. P. (2015). Effectiveness of different styles of massage therapy in fibromyalgia: a systematic review and meta-analysis. *Manual Therapy*, 20(2), 257- 264. <https://doi.org/10.1016/j.math.2014.09.003>

- Yue, G., & Cole, K. J. (1992). Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 67(5), 1114- 1123.
- Zapparoli, L., Invernizzi, P., Gandola, M., Verardi, M., Berlingeri, M., Sberna, M., ... Paulesu, E. (2013). Mental images across the adult lifespan: a behavioural and fMRI investigation of motor execution and motor imagery. *Experimental Brain Research*, 224(4), 519- 540. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3331-1>
- Zimmermann-Schlatter, A., Schuster, C., Puhan, M. A., Siekierka, E., & Steurer, J. (2008). Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 5, 8. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-5-8>
- Zwergal, A., Linn, J., Xiong, G., Brandt, T., Strupp, M., & Jahn, K. (2012). Aging of human supraspinal locomotor and postural control in fMRI. *Neurobiology of Aging*, 33(6), 1073- 1084. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2010.09.022>

Annexe

Annexe 1

Le travail de synthèse a fait l'objet d'une publication dans une revue professionnelle indexée au CINAHL : Kinésithérapie, La Revue,

L'imagerie motrice en rééducation



Motor imagery in rehabilitation

^aCentre hospitalier Loire-Vendée-Océan, boulevard Guérin, 85300 Challans, France

^bCentre de recherches sur la cognition et l'apprentissage (CeRCA, CNRS UMR 7295),
Maison des Sciences de l'Homme et de la Société, 5, rue Théodore-Lefebvre,
86000 Poitiers, France

Thomas Rulleau ^{a,b}
Lucette Toussaint ^b

Reçu le 26 juillet 2013 ; reçu sous la forme révisée le 20 décembre 2013 ; accepté le 20 décembre 2013

RÉSUMÉ

Dans le cadre actuel des avancées des neurosciences et de la médecine factuelle, l'imagerie motrice semble une technique prometteuse pour les rééducateurs. Dans cette revue de la littérature, nous présentons les bases nécessaires à la compréhension et à la mise en place d'un programme d'imagerie. Notre objectif est d'apporter des réponses aux questions suivantes : quelles sont les bases neuroscientifiques de la pratique en imagerie motrice ? Quelles sont les critères de bonnes pratiques et les moyens de les évaluer ? Quelles sont les indications et les contre-indications ? Enfin, nous présenterons des exemples d'applications cliniques. Nous concluons sur le fait que l'imagerie motrice présente peu de risques ainsi qu'un faible coût. Dans le domaine de la rééducation, recourir à l'imagerie motrice entre donc dans le cadre de la transition actuelle vers des pratiques basées sur les preuves.

Niveau de preuve. – Non adapté.

© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

SUMMARY

In the current context of advances in neuroscience and evidence-based medicine, motor imagery is a promising technique for therapists. In this literature review, we detailed the basis for understanding and implementing a motor imagery program. Our goal is to provide answers to the following questions: what are the neuroscientific bases for motor imagery? What are the criteria of best practice and the means to assess it? What are the indications and contra-indications? Finally, we will present some clinical applications, before concluding on the low risks and low cost of motor imagery practice. In the field of rehabilitation, motor imagery practice is therefore within the scope of the current transition to evidence-based practices.

Level of evidence. – Not applicable.

© 2014 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

INTRODUCTION

Avec le développement des connaissances sur le fonctionnement cérébral, de nouvelles techniques œuvrant sur la plasticité du système nerveux central se mettent en place. L'imagerie motrice (IM), « qui consiste à s'imaginer une action sans l'exécuter physiquement » [1], appartient à ces techniques en devenir, s'imaginer réaliser une action présentant de fortes similitudes fonctionnelles et structurales avec sa pratique réelle [2]. La littérature s'enrichit actuellement avec l'apparition de méta-analyses [3,4] et de recommandations de pratiques

cliniques [5] incluant l'IM. Dans la perspective de la mise en place d'un programme, il semble utile de proposer une revue reprenant les points importants.

QUELLES SONT LES BASES NEUROSCIENTIFIQUES QUI SOUS-TENDENT L'IMAGERIE MOTRICE ?

La théorie de la simulation

D'après la théorie de la simulation [2], l'action est composée d'une phase invisible appelée anticipation, puis d'une phase visible appelée

Mots clés

Imagerie motrice
Pratique mentale
Rééducation
Simulation mentale

Keywords

Motor imagery
Mental practice
Rehabilitation
Mental simulation

Auteur correspondant :

T. Rulleau,
Service rééducation, centre
hospitalier Loire-Vendée-
Océan, boulevard Guérin,
85300 Challans, France.
Adresses e-mail :
thomas.rulleau@univ-poi-
tiers.fr (T. Rulleau),
lucette.toussaint@univ-poi-
tiers.fr (L. Toussaint)

Savoirs / Contribution originale

T. Rulleau, L. Toussaint

exécution. Dans la phase d'anticipation sont inclus le but de l'action, la signification de cette action et les conséquences de cette action sur l'organisme et le monde extérieur. La théorie de la simulation postule que la phase d'anticipation comporte tous les mécanismes d'une action faite, mais non exécutée. Le principe de similarité structurale et fonctionnelle entre la simulation et l'exécution d'action serait à l'origine de l'amélioration de la performance exécutée à la suite d'une pratique mentale. Cette dernière activerait les aires spécifiques du mouvement et permettrait de construire des associations parmi les processus impliqués dans la motricité [6]. Les répercussions fonctionnelles seraient liées à l'amélioration de l'efficacité du recrutement de l'engramme¹ du mouvement et aux modulations induites de l'excitabilité corticospinale, en fonction du muscle, de sa contribution spatiale et temporelle dans le mouvement [7,8].

La matérialité de l'IM

En dépit de l'absence effective de mouvements, certaines données attestent de la matérialité des images mentales. Tel est le cas lorsque les techniques d'exploration cérébrale mettent en évidence l'activation de structures neuronales communes entre IM et pratique physique (PP) [2,7]. Dietrich insiste néanmoins sur les résultats de l'analyse factuelle des données de l'exploration cérébrale, la similarité structurale entre IM et PP n'ayant été montrée que sur des articulations distales et sur des mouvements simples [9]. L'enregistrement de paramètres du système nerveux autonome (SNA) valide l'hypothèse de similarité fonctionnelle entre IM et PP [7]. Certains auteurs rapportent une corrélation de l'enregistrement d'activités électrodermale, thermo-vasculaire et cardio-respiratoire entre PP ou IM [10]. Ces résultats suggèrent que le SNA serait activé par la simulation motrice pour préparer l'organisme aux besoins énergétiques auxquels il aurait à subvenir. Le principe de similarité fonctionnelle ressort également des études en chronométrie mentale. Ces études reposent sur l'évaluation d'une adéquation entre la durée des pratiques mentales et physiques d'une action (ou isochronie). En proposant une tâche de marche réalisée mentalement et physiquement sur différentes distances et largeurs, Decety et Jeannerod ont montré que les performances sont conformes à la loi de Fitts² [11]. Les actions simulées répondent donc aux règles motrices centrales signifiant l'implication de représentation sensorimotrices commune à l'IM et à la PP.

QUELLES SONT LES MOYENS D'ÉVALUATION ET LES CRITÈRES DE BONNES PRATIQUES ?

La recherche d'un cadre méthodologique pour des séances d'IM atteste d'une littérature relativement pauvre en descriptions précises. Braun et al. [12] proposent une approche en cinq étapes :

- évaluer les capacités du patient à suivre un programme d'IM ;
- expliquer la nature du traitement proposé ;
- enseigner la technique d'imagerie ;

- incorporer le traitement dans la prise en charge ;
- développer une flexibilité dans la capacité du patient à auto-générer son traitement.

Certains points étant habituels en rééducation, nous allons développer ceux spécifiques à l'IM.

Évaluation des capacités IM

En conservant à l'esprit qu'il est difficile d'évaluer les capacités d'imagerie motrice [13], les mesures de chronométrie mentale peuvent toutefois donner des informations intéressantes. L'isochronie entre IM et PP lors d'une tâche de steppage a conduit Malouin et al. [14] à recommander le recours au *Timed Dependent Motor Imagery* (TDMI) pour déterminer les capacités d'imagerie des patients. Le TDMI est un test clinique rapide qui consiste à imaginer un mouvement de steppage pendant 15 s, puis 25 s et enfin 45 s. L'objectif est de vérifier la progression du nombre de mouvements produits dans chaque cas. Si le patient réussit ce test, il est considéré comme capable de comprendre les instructions et de produire une image motrice, justifiant de ce fait sa participation à un programme d'IM. Le défaut de ce test est toutefois de ne pas permettre de s'assurer de la qualité des images motrices produites par le patient.

Une deuxième méthode d'évaluation des capacités d'IM est le test de latéralité (manuelle ou podale). Ce test consiste à présenter des photographies de segments corporels (e.g. : un pied), dont le patient doit déterminer la latéralité (pied droit vs. pied gauche). Les images peuvent être présentées selon divers angles de rotations (0°, 40°, 80°, etc.) en sens horaire ou anti-horaire. Les mesures portent alors sur l'exactitude et le temps mis pour répondre [15]. De façon générale, le temps de réponse augmente avec l'angle de rotation des images, l'augmentation étant plus marquée pour les positions biomécaniquement inconfortables. Des temps de réponses élevés apparaissent également dans certains cas où la représentation corticale est altérée par des perturbations d'origine périphérique (Syndrome douloureux régional complexe de type 1 [SDRC1] [16], immobilisation d'un membre [17]). Ces temps de réponse plus longs attestent de l'engagement des participants dans une stratégie d'imagerie motrice pour réaliser la tâche, et par conséquent l'implication des processus sensorimoteurs et des contraintes qui s'y rattachent. Ils reposent sur le fait que pour identifier la latéralité de l'image d'un pied, les participants s'imaginent eux-mêmes bouger leur pied dans la position correspondante, bien qu'aucune consigne allant dans ce sens ne leur ait été donnée. Pour le praticien, l'avantage principal de ce test est une évaluation reproductible inter-opérateurs.

L'évaluation des capacités d'imagerie motrice par le *Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire* (KVIQ [18]) peut s'avérer intéressante dans le cadre de la rééducation. Le patient doit répondre à une série de questions en respectant quatre étapes :

- adopter une position de départ spécifique ;
- effectuer physiquement un mouvement ;
- s'imaginer exécuter ce même mouvement ;
- coter sur une échelle croissante de 1 à 5 la clarté visuelle de l'image formée ou l'intensité de la sensation kinesthésique associée à cette même image.

Pour le praticien, l'intérêt du KVIQ réside dans la possibilité de déterminer la modalité d'imagerie préférée du patient (modalité visuelle versus kinesthésique) et d'orienter la pratique en IM en tenant compte des préférences individuelles dans le but d'en maximiser les effets.

¹Trace biologique du mouvement dans le cerveau.

²La loi de Fitts prédit le temps requis pour aller d'une position de départ à une zone finale, en fonction de la distance et de la taille de la cible.

Savoirs / Contribution originale

T. Rulleau, L. Toussaint

exécution. Dans la phase d'anticipation sont inclus le but de l'action, la signification de cette action et les conséquences de cette action sur l'organisme et le monde extérieur. La théorie de la simulation postule que la phase d'anticipation comporte tous les mécanismes d'une action faite, mais non exécutée. Le principe de similarité structurale et fonctionnelle entre la simulation et l'exécution d'action serait à l'origine de l'amélioration de la performance exécutée à la suite d'une pratique mentale. Cette dernière activerait les aires spécifiques du mouvement et permettrait de construire des associations parmi les processus impliqués dans la motricité [6]. Les répercussions fonctionnelles seraient liées à l'amélioration de l'efficacité du recrutement de l'engramme¹ du mouvement et aux modulations induites de l'excitabilité corticospinale, en fonction du muscle, de sa contribution spatiale et temporelle dans le mouvement [7,8].

La matérialité de l'IM

En dépit de l'absence effective de mouvements, certaines données attestent de la matérialité des images mentales. Tel est le cas lorsque les techniques d'exploration cérébrale mettent en évidence l'activation de structures neuronales communes entre IM et pratique physique (PP) [2,7]. Dietrich insiste néanmoins sur les résultats de l'analyse factuelle des données de l'exploration cérébrale, la similarité structurale entre IM et PP n'ayant été montrée que sur des articulations distales et sur des mouvements simples [9]. L'enregistrement de paramètres du système nerveux autonome (SNA) valide l'hypothèse de similarité fonctionnelle entre IM et PP [7]. Certains auteurs rapportent une corrélation de l'enregistrement d'activités électrodermale, thermo-vasculaire et cardio-respiratoire entre PP ou IM [10]. Ces résultats suggèrent que le SNA serait activé par la simulation motrice pour préparer l'organisme aux besoins énergétiques auxquels il aurait à subvenir. Le principe de similarité fonctionnelle ressort également des études en chronométrie mentale. Ces études reposent sur l'évaluation d'une adéquation entre la durée des pratiques mentales et physiques d'une action (ou isochronie). En proposant une tâche de marche réalisée mentalement et physiquement sur différentes distances et largeurs, Decety et Jeannerod ont montré que les performances sont conformes à la loi de Fitts² [11]. Les actions simulées répondent donc aux règles motrices centrales signifiant l'implication de représentation sensorimotrices commune à l'IM et à la PP.

QUELLES SONT LES MOYENS D'ÉVALUATION ET LES CRITÈRES DE BONNES PRATIQUES ?

La recherche d'un cadre méthodologique pour des séances d'IM atteste d'une littérature relativement pauvre en descriptions précises. Braun et al. [12] proposent une approche en cinq étapes :

- évaluer les capacités du patient à suivre un programme d'IM ;
- expliquer la nature du traitement proposé ;
- enseigner la technique d'imagerie ;

- incorporer le traitement dans la prise en charge ;
- développer une flexibilité dans la capacité du patient à auto-générer son traitement.

Certains points étant habituels en rééducation, nous allons développer ceux spécifiques à l'IM.

Évaluation des capacités IM

En conservant à l'esprit qu'il est difficile d'évaluer les capacités d'imagerie motrice [13], les mesures de chronométrie mentale peuvent toutefois donner des informations intéressantes. L'isochronie entre IM et PP lors d'une tâche de steppage a conduit Malouin et al. [14] à recommander le recours au *Timed Dependent Motor Imagery* (TDMI) pour déterminer les capacités d'imagerie des patients. Le TDMI est un test clinique rapide qui consiste à imaginer un mouvement de steppage pendant 15 s, puis 25 s et enfin 45 s. L'objectif est de vérifier la progression du nombre de mouvements produits dans chaque cas. Si le patient réussit ce test, il est considéré comme capable de comprendre les instructions et de produire une image motrice, justifiant de ce fait sa participation à un programme d'IM. Le défaut de ce test est toutefois de ne pas permettre de s'assurer de la qualité des images motrices produites par le patient.

Une deuxième méthode d'évaluation des capacités d'IM est le test de latéralité (manuelle ou podale). Ce test consiste à présenter des photographies de segments corporels (e.g. : un pied), dont le patient doit déterminer la latéralité (pied droit vs. pied gauche). Les images peuvent être présentées selon divers angles de rotations (0°, 40°, 80°, etc.) en sens horaire ou anti-horaire. Les mesures portent alors sur l'exactitude et le temps mis pour répondre [15]. De façon générale, le temps de réponse augmente avec l'angle de rotation des images, l'augmentation étant plus marquée pour les positions biomécaniquement inconfortables. Des temps de réponses élevés apparaissent également dans certains cas où la représentation corticale est altérée par des perturbations d'origine périphérique (Syndrome douloureux régional complexe de type 1 [SDRC1] [16], immobilisation d'un membre [17]). Ces temps de réponse plus longs attestent de l'engagement des participants dans une stratégie d'imagerie motrice pour réaliser la tâche, et par conséquent l'implication des processus sensorimoteurs et des contraintes qui s'y rattachent. Ils reposent sur le fait que pour identifier la latéralité de l'image d'un pied, les participants s'imaginent eux-mêmes bouger leur pied dans la position correspondante, bien qu'aucune consigne allant dans ce sens ne leur ait été donnée. Pour le praticien, l'avantage principal de ce test est une évaluation reproductible inter-opérateurs.

L'évaluation des capacités d'imagerie motrice par le *Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire* (KVIQ [18]) peut s'avérer intéressante dans le cadre de la rééducation. Le patient doit répondre à une série de questions en respectant quatre étapes :

- adopter une position de départ spécifique ;
- effectuer physiquement un mouvement ;
- s'imaginer exécuter ce même mouvement ;
- coter sur une échelle croissante de 1 à 5 la clarté visuelle de l'image formée ou l'intensité de la sensation kinesthésique associée à cette même image.

Pour le praticien, l'intérêt du KVIQ réside dans la possibilité de déterminer la modalité d'imagerie préférée du patient (modalité visuelle versus kinesthésique) et d'orienter la pratique en IM en tenant compte des préférences individuelles dans le but d'en maximiser les effets.

¹ Trace biologique du mouvement dans le cerveau.

² La loi de Fitts prédit le temps requis pour aller d'une position de départ à une zone finale, en fonction de la distance et de la taille de la cible.

Savoirs / Contribution originale

T. Rulleau, L. Toussaint

la rééducation, même si d'autres études semblent nécessaires pour affiner les méthodes d'évaluation et les critères de bonnes pratiques. Actuellement, son intérêt réside dans le fait qu'elle présente peu de risques et qu'elle est facilement accessible de par son faible coût et l'absence de matériel spécifique. Enfin, ces répercussions sur le fonctionnement du système nerveux central et les améliorations motrices qui en découlent font de l'imagerie motrice une technique de rééducation tout à fait intéressante à mettre en œuvre en complément d'une technique de kinésithérapie classique.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Points à retenir

- L'imagerie motrice s'évalue avec le TDMI, le test de latéralité et les questionnaires.
- Des critères de bonnes pratiques cliniques ont été mis en évidence.
- L'IM est une technique prometteuse avec une place dans la transition vers la médecine factuelle.

RÉFÉRENCES

- [1] Malouin F, Richards CL. Mental practice for relearning locomotor skills. *Phys Ther* 2010;90:240–51.
- [2] Jeannerod M. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage* 2001;14:S103–9.
- [3] O'Connell NE, Wand BM, McAuley J, Marston L, Moseley GL. Interventions for treating pain and disability in adults with complex regional pain syndrome. *Cochrane Database Syst Rev* 2013 [published by John Wiley & Sons Ltd].
- [4] Barclay-Goddard RE, Stevenson TJ, Poluha W, Thalman L. Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke. *Cochrane Database Syst Rev* 2011 [CD005950].
- [5] Haute autorité de santé. Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte; 2012.
- [6] Kosslyn SM, Giorgio G, Barsan W. In: Guillot, Collet, editors. Multimodal images in the brain. The neurophysiological foundations of mental and motor imagery. Oxford: Oxford University Press; 2010.
- [7] Guillot A, Louis M, Collet C. In: Guillot, Collet, editors. Neurophysiological substrates of motor imagery ability. The neurophysiological foundations of mental and motor imagery. Oxford: Oxford University Press; 2010.
- [8] Stinear C. Corticospinal facilitation during motor imagery. In: Guillot, Collet, editors. The neurophysiological foundations of mental and motor imagery. Oxford: Oxford University Press; 2010.
- [9] Dietrich A. Imaging the imagination: The trouble with motor imagery. *Methods* 2008;45:319–24.
- [10] Collet C, Guillot A. Autonomic nervous system activities during imagined movements. The neurophysiological foundations of mental and motor imagery. Oxford: Oxford University Press, USA; 2010.
- [11] Decety J, Jeannerod M. Mentally simulated movements in virtual reality: does Fitts's law hold in motor imagery? *Behav Brain Res* 1995;72:127–34.
- [12] Braun S, Kleynen M, Schols J, Schack T, Beurskens A, Wade D. Using mental practice in stroke rehabilitation: a framework. *Clin Rehabil* 2008;22:579–91.
- [13] Malouin F, Richards CL, Jackson PL, Doyon J. In: Guillot, Collet, editors. Motor imagery for optimizing the reacquisition of locomotor skills after cerebral damage. The neurophysiological foundations of mental and motor imagery. Oxford University Press; 2010.
- [14] 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.
- [15] Hoyek N, Collet C, Guillot A. Représentation mentale et processus moteur : le cas de la rotation mentale. *Mov Sport Sci* 2010; (71):29–39.
- [16] Moseley GL. Why do people with complex regional pain syndrome take longer to recognize their affected hand? *Neurology* 2004;62:2182–6.
- [17] Toussaint L, Meugnot A. Short-term limb immobilization affects cognitive motor processes. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn* 2013;39:623–32.
- [18] 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.
- [19] Schuster C, Hilfiker R, Amft O, Scheidhauer A, Andrews B, Butler J, et al. Best practice for motor imagery: a systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC Med* 2011;9:75.
- [20] Saimpont A, Malouin F, Tousignant B, Jackson PL. Motor imagery and aging. *J Mot Behav* 2013;45:21–8.
- [21] Demougeot L, Papaxanthis C. Muscle fatigue affects mental simulation of action. *J Neurosci* 2011;31:10712–20.
- [22] Guillot A, Hoyek N, Louis M, Collet C. Understanding the timing of motor imagery: recent findings and future directions. *Int Rev Sport Exer Psychol* 2012;5:3–22.
- [23] Dickstein R, Tamir R. In: Guillot, Collet, editors. Motor imagery practice in individuals with Parkinson's disease. The neurophysiological foundations of mental and motor imagery. Oxford: Oxford University Press; 2010:177–87.
- [24] 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. *Science et Motricité*; 2009;9–38 [http://www.cairn.info/article.php?ID_ARTICLE=SM_067_0009&-DocId=159452&Index=%2Fcairn2idx%2Fcairn&TypeID=226&-BAL=antjyDXtmmaXM&HitCount=6&hits=29f9+29f8+29f2+29dd+29dc+29d9+0&fileext=html].
- [25] Moseley GL. Imagined movements cause pain and swelling in a patient with complex regional pain syndrome. *Neurology* 2004;62:1644.
- [26] Berquin A. Progrès récents dans le diagnostic et le traitement du syndrome douloureux régional F complexe. *Douleur* 2008;162:1514–9.
- [27] Moseley GL. Graded motor imagery is effective for long-standing complex regional pain syndrome: a randomised controlled trial. *Pain* 2004;108:192–8.
- [28] Moseley GL. Graded motor imagery for pathologic pain: a randomised controlled trial. *Neurology* 2006;67:2129–34.
- [29] De Vries S, Tepper M, Otten B, Mulder T. Recovery of motor imagery ability in stroke patients. *Rehabil Res Pract* 2011;2011:283840.

Annexe 2

La préparation de l'article sur les effets du massage sur le système sensorimoteur a aussi permis d'avoir un article commandé dans les Encyclopédies Médico-Chirurgicales, Kinésithérapie-Médecine Physique. Il s'agit d'une revue narrative.



Le massage, approche basée sur les preuves

T. Rulleau, C. Rivette, L. Toussaint

Le massage est une technique du kinésithérapeute. Il consiste en la manipulation des tissus dans un but de santé et de bien-être. Dans le cadre de la pratique basée sur les preuves et du rapport coût/efficacité, il apparaît nécessaire pour le praticien de connaître l'état actuel des connaissances sur l'utilité du massage dans la prise en charge des patients. Cette revue de la littérature a comme objectif de faire le point sur les travaux scientifiques permettant de valider de façon objective les effets bénéfiques du massage tel que réalisé par le kinésithérapeute dans le cadre de sa pratique. Avant d'aborder les effets du massage suédois, un rappel des différents types de massage existants est présenté, ainsi que les règles de bonnes pratiques concernant l'évaluation d'un rapport bénéfice/risque, l'hygiène et le matériel. Même si les travaux relativement récents sur l'intérêt du massage sur différents aspects de la santé et du bien-être des patients restent parcellaires et donnent parfois des résultats inconsistants, son bénéfice dans le cadre de pratique clinique n'est en aucun cas remis en cause. De plus, la variété des approches méthodologiques (type de massage, durée, fréquence, pression, etc.) illustrée dans la littérature scientifique, probablement à l'origine des résultats variés tels que rapportés dans cette revue de questions, témoigne de la nécessité de poursuivre les recherches sur cette pratique sans remettre en question son intérêt dans les prises en charge pour l'amélioration de la santé et du bien-être des patients.

© 2017 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots-clés : Massage ; Pratique basée sur les preuves (*evidence-based practice*) ; Application clinique ; Masseur-kinésithérapeute

Plan

■ Introduction	1
■ Pratique du massage	1
Définition et législation du massage	1
Préalable	2
Bilan-diagnostic massokinésithérapique	2
Application du massage	2
Autres types de massage	3
■ Théorie du massage	4
Rapport bénéfice/risque	4
Effets attendus : aspects fondamentaux	4
Effets attendus : aspects cliniques	5
■ Conclusion	6

■ Introduction

La massokinésithérapie est une technique de rééducation arrivée en France au début du siècle dernier. Actuellement, la pratique est en pleine mutation, évoluant d'une pratique basée principalement sur l'expérience vers une pratique simultanément fondée sur l'expérience clinique, le projet du patient et les preuves rejoignant le modèle de l'*evidence-based physiotherapy*^[1]. Les prises en charge s'orientent vers des pratiques plus efficaces, au bénéfice des patients.

Dans ce contexte, l'objectif de cette revue choisie de la littérature est de rapporter les effets théoriques attendus du massage afin de proposer une pratique basée sur les preuves. Sont repris ici les aspects législatifs et pratiques du massage, puis restituées les données de la littérature afin d'amener à une analyse critique des pratiques.

■ Pratique du massage

Définition et législation du massage

Le massage se définit comme « la manipulation des tissus mous du corps entier pour avoir des améliorations générales en santé, comme la relaxation ou l'amélioration du sommeil, ou avoir des bénéfices physiques, comme le relâchement musculaire ou la diminution de la douleur »^[2]. La massothérapie est « l'action manuelle de toucher en glissant, pressant, pétrissant ou exerçant toute forme de manipulation des tissus mous d'un sujet, dans le but d'une réaction, consciente ou non »^[3]. Codifié par Ling^[2] et Mezger^[4], le massage dit suédois ou classique se présente comme une thérapie des tissus mous qui va associer sept techniques : l'effleurage, les pressions glissées profonde et statique, le pétrissage, les vibrations et les percussions.

Dufour, Colné et Gouilly (2006) soulignent diverses origines possibles du terme massage : l'arabe *mass*, signifiant palper/toucher, le grecque *massein* qui traduit l'action de frotter. L'hébraïque *massech* et le sanscrit *manas* expriment eux la faculté de penser^[5].



Figure 1. Le placement du patient et du thérapeute vise à un confort optimal et une préservation des règles d'hygiène du rachis [10].

La définition actuelle est celle de l'article R. 4321-3 du Code de la santé publique codifiée par le décret n° 2004-802 du 29 juillet 2004 : « On entend par massage toute manœuvre externe, réalisée sur les tissus, dans un but thérapeutique ou non, de façon manuelle ou par l'intermédiaire d'appareils autres que les appareils d'électrothérapie, avec ou sans l'aide de produits, qui comporte une mobilisation ou une stimulation méthodique, mécanique ou réflexe de ces tissus. » Le décret a été abrogé à la suite de la codification du texte aux articles R. 4321-1 à R. 4321-13 du Code de la santé publique ; la définition est donc toujours en vigueur [6]. Actuellement, en France, la pratique du massage est un monopole réservé aux seuls masseurs-kinésithérapeutes.

Préalable

L'hygiène est un élément indispensable à prendre en compte afin de réaliser cette technique en toute sécurité. L'hygiène concerne le thérapeute, le patient ainsi que le matériel utilisé. Sachant que 75 % des infections sont d'origine manuportée [7], il faut éviter les ongles longs, les bijoux, les montres, le vernis à ongles. Avant et après chaque massage, le lavage des mains est indispensable pour prévenir la transmission de bactéries en éradiquant la flore bactérienne. Le thérapeute peut utiliser un lubrifiant (crème ou huile). Le pot de crème est à proscrire [7]. L'utilisation de pompes doseuses ou de monodoses est à privilégier. L'utilisation d'huile de massage permet une diminution de la flore bactérienne [8]. Les cheveux attachés, l'utilisation de vêtements à manches courtes à changer quotidiennement font partie également des conseils pratiques de réalisation du massage. Storck, Junker et Rostalski (2007) préconisent un massage sur une peau propre et sèche. Cela nécessite un lavage de la zone traitée mais également une mise à nue pour faciliter son accès [9].

Le support accueillant le patient peut être une table de massage, une chaise de massage ou encore un tapis de sol. La table de massage à hauteur variable amène un confort pour le thérapeute [10]. La chaise de massage permet un abord préférentiel du quadrant supérieur avec un relâchement de la partie postérieure [9]. Entre chaque utilisation, le praticien doit nettoyer son matériel avec un détergent/désinfectant.

Bilan-diagnostic massokinésithérapique

Avant toute entame thérapeutique, un bilan clinique préalable est indispensable afin d'éviter toute pratique dangereuse. Clay et

Pounds (2003) préconisent un bilan qui s'intéresse à la globalité du patient, c'est-à-dire à la fois son motif de prise en soin, son histoire, sa posture statique, sa mobilité de façon quantitative et qualitative, et l'examen spécifique de la zone de la plainte. Ce bilan biopsychosocial permet dès lors de donner des orientations aux traitements et de cibler la ou les zones à traiter [10]. L'adhésion du patient envers le massage a montré une influence sur l'efficacité de la prise en charge [11]. Le projet thérapeutique commun et cohérent naît donc de ce bilan et de l'échange entre le thérapeute et le patient. Il permet, de plus, une prise de contact physique avec le patient [5].

Application du massage

Placement

La pratique du massage, oscillant de trois à 60 minutes, impose une position confortable du thérapeute mais aussi du patient (Fig. 1).

Patient

Le patient est installé sur une table ou une chaise de massage en fonction de l'objectif de la séance. L'utilisation de coussins permet d'améliorer le confort du patient mais également de raccourcir ou d'étirer la structure musculaire à traiter.

Thérapeute

Le thérapeute doit se positionner de façon à réaliser ses manœuvres thérapeutiques en préservant une économie rachidienne. Le bon positionnement des mains et du corps permet également l'utilisation du poids de corps et vise à prévenir l'apparition de troubles musculosquelettiques [10]. Les outils manuels à disposition du thérapeute sont le pouce, la pointe des doigts, le talon de la main, le poing, les articulations de la main, mais aussi le coude et l'avant-bras.

Posologie

La durée varie fortement d'une étude à l'autre en fonction de l'objectif (physique, psychologique, etc.). Peu d'études se sont concentrées sur la dose optimale de massage à proposer pour en maximiser les bénéfices. Harris et al. (2012) constatent, chez des sujets déments institutionnalisés, une amélioration significative de la durée du sommeil (+ 36 min) après un massage du dos de seulement trois minutes [12]. Chez des patients atteints d'arthrose du genou, Perlman et al. (2012) ont comparé les effets de 30 ou



Figure 2. La pression modérée est un paramètre nécessaire à l'efficacité du massage. Ce massage déclenche un « léger changement de couleur de peau » [15].

60 minutes de massage, réalisé une ou deux fois par semaine, sur une durée totale de huit semaines [13]. Les effets du massage étaient évalués au moyen d'échelles d'évaluation de la douleur, de la mobilité et sur le temps de marche, une première fois avant le traitement, puis 8, 16 et 24 semaines plus tard. Ils ont constaté un meilleur rapport qualité/coût lors d'un massage de 60 minutes une fois par semaine.

D'autres études sont nécessaires pour optimiser la durée du massage en fonction des pathologies considérées.

Importance de l'appui

Dans une revue, Field (2014) s'intéresse à différents paramètres nécessaires à l'efficacité d'un massage [14]. Le massage à pression modérée déclenche « un léger changement de couleur de la peau du rose au blanc pour un bébé caucasien » [15]. Elle rapporte que cette pression modérée comparée à une pression légère a un impact important sur le développement du bébé [14]. Il semble y avoir dans la littérature un consensus sur les effets positifs du massage à condition qu'il soit effectué avec une pression modérée (Fig. 2) plutôt qu'une pression légère : développement des bébés prématurés, diminution du stress de l'adulte, de la dépression, des douleurs, et amélioration de la fonction immunitaire. Contrairement au massage à faible pression, ce type de massage améliore l'activité vagale et diminue le niveau de cortisol [16].

Techniques du massage suédois

Le massage dit suédois ou massage classique va associer plusieurs techniques. Si 36 techniques peuvent s'inclure dans des styles sensiblement différents et s'éloigner du massage suédois [17], sept techniques se dégagent dans le massage suédois ou classique [5, 9].

Effleurage

Manœuvre superficielle où la main du thérapeute glisse et épouse la forme des téguments. On remarque que Field (2014) insiste sur l'absence d'intérêt du massage à pression légère. De même, Dufour explique que la prise de contact est déjà effectuée lors du bilan, on peut dès lors se demander l'utilité de conserver cette technique.

Pression glissée profonde

Manœuvre qui consiste en une pression plus conséquente que l'effleurage où celle-ci permet d'aborder les tissus sous-tégumentaires.

Pression statique

Pression qui peut s'apparenter à la réalisation d'un appui localisé sur une structure molle. Ces pressions peuvent rester localisées sur une structure ou être étagées.

Pétrissage

Le pétrissage consiste en une succession de pression et de dépression soit de manière transversale, soit de manière longitudinale, amenant à un étirement, une torsion ou décompression.

Friction

Il consiste en un glissement d'une structure anatomique sur une autre structure anatomique. Ce mouvement se fait soit de manière sphérique ou de façon elliptique dans une zone peu étendue.

Vibration

Elle est assimilée à un mouvement de pression/dépression intermittent donnant lieu à une variabilité de fréquence de réalisation élevée et une intensité faible.

Percussion

Cette manœuvre consiste à un impact entre la main ou une partie de la main du thérapeute et la zone à traiter.

Autres types de massage

Il existe différents types de massage. Défini et décrit précédemment, le massage suédois ou massage classique est le plus utilisé dans les pays d'Occident. Cependant, d'autres types de massages existent.

Massage des trigger points (points musculaires douloureux)

Il vise une combinaison entre positions de relâchement, d'étirement et de différentes techniques de massage manuel [18]. Dans l'épicondylalgie, le bilan spécifique de cette technique nécessite un niveau d'expertise élevé [19] mais permet de réduire de façon significative la douleur [20].

Massage réflexe ou Connective Tissue Massage (CTM)

Le massage réflexe est une technique manipulative des tissus cutanés par traits tirés avec la pulpe ou le bord latéral de la dernière phalange du médus [21]. Le CTM vise à obtenir une vasodilatation réflexe et une diminution de la douleur. Celenay et al. (2016) comparent le traitement par exercices stabilisants sans ou avec massage réflexe. Dans ce dernier cas, la douleur nocturne diminue de façon plus significative [22].

Myofascial Release (MFR)

Par une application d'une faible intensité et une longue durée d'étirement du complexe myofascial, le MFR est destiné à rétablir une longueur optimale, diminuer la douleur et améliorer la fonction [23-27].

Drainage lymphatique manuel (DLM)

Il consiste à évacuer l'excès liquidien dans un membre. Il consiste en des pressions statiques étagées, à savoir des manœuvres dites d'appel ou des manœuvres dites de résorption [28]. Dans cette méta-analyse, les auteurs tirent comme conclusion que le DLM donne des avantages significatifs (60 à 80 %) sur les sensations de douleur et de lourdeur du membre atteint [28].

Massage transverse profond (MTP)

Cette technique permet de traiter une atteinte tendineuse et consiste en une friction profonde perpendiculaire aux fibres à

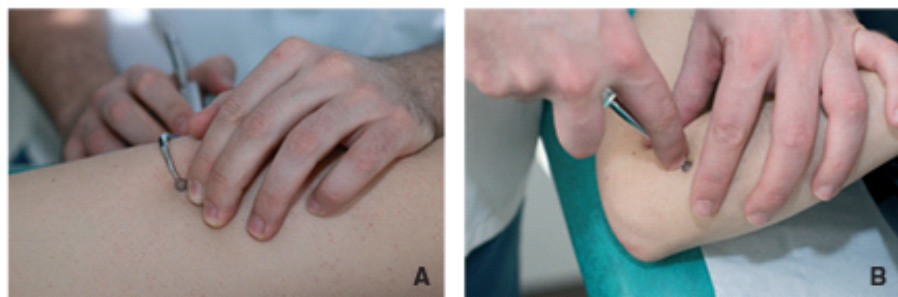


Figure 3. Le crochet est un outil de massage mécanique (A, B). Il permet de prolonger l'action de la main [35].

traiter. Dans le traitement des épicondyles latéraux, une méta-analyse conclut que la diminution des douleurs ou l'amélioration fonctionnelle de la préhension ne subissent pas de modifications importantes après utilisation du MTP [29]. Le MTP associé à d'autres techniques montrent une nette amélioration à six semaines mais non persistante à 26 semaines.

Massage instrumental

Il vient en complément du massage manuel. Il prolonge la main (Fig. 3). Il est possible d'associer un massage mécanique avec machine [30-32] ou avec des instruments comme le crochetage (*diacutaneous fibrolysis*) [25, 33-36]. Cependant, l'évaluation de son utilité nécessite des études supplémentaires.

■ Théorie du massage (Tableau 1)

Rapport bénéfice/risque

Comme toutes les techniques en santé, le rapport bénéfice/risque doit guider le professionnel dans son choix de masser ainsi que dans le type de massage. Dans une revue, Ernst (2003) a décrit 16 rapports de cas de problèmes. Il faut noter qu'il s'agit de prises en charge en majorité par des personnes non formées au massage et rarement avec le type de massage médical le plus utilisé (à savoir le « massage suédois ») [37]. Les cas rapportés peuvent être graves (accidents vasculaires cérébraux, hématome, ulcère, dommage nerveux, embolie pulmonaire, etc.). Yin et al. (2014) ont produit une revue systématique de 2003 à 2013 sur les effets secondaires du massage chez des patients présentant des douleurs corporelles. Sur les 11 ans couverts par cette revue, ils rapportent 138 événements indésirables liés à un massage (hernies discales, traumatismes des tissus mous, lésions de la moelle, dissections de l'artère vertébrale, etc.). On peut rappeler que le terme « massage » ne recouvre pas les mêmes techniques en fonction des pays et des langues. En effet, les auteurs considèrent dans les critères d'inclusion des articles de cette revue les manipulations cervicales comme un massage [38]. Cependant, et à titre d'exemple, ils rapportent qu'un massage cervical de type suédois a engendré une dissection de l'artère vertébrale. Il est donc nécessaire de choisir d'utiliser cette technique avec précaution.

Ces considérations mettent en avant la nécessité d'une formation de qualité avec indications et contre-indications, et une évaluation du rapport bénéfice/risque, afin d'orienter la pratique selon le principe de base de l'intervention en santé : *primum non nocere*.

Effets attendus : aspects fondamentaux

Dans cette section, sauf mention explicite, lorsqu'on parle des effets du massage, il est fait allusion au massage suédois.

Aspects physiologiques

Dans une revue concernant des sujets sains, Weerapong et al. (2005) rapportent qu'un massage du dos de six minutes s'accompagne d'une augmentation de la température cutanée pendant dix minutes. Ils soulignent aussi l'augmentation de la température intramusculaire (entre 0 et 2,5 cm de profondeur) mais sans augmentation du débit sanguin intramusculaire. Ces

résultats font se poser la question de l'utilité du massage dans l'amélioration des performances ou la prévention des blessures. A contrario, ils rapportent une augmentation du débit sanguin vasculaire mais des biais méthodologiques dans toutes les études positives limitent la fiabilité clinique (petits échantillons, pas de groupe contrôle). Concernant les modifications hormonales et parasympathiques, si leur revue confirme les effets bénéfiques du massage sur la diminution du cortisol, leurs critères d'inclusion restreints ne permettent pas de conclure à une diminution du stress chez des sujets sains [39].

Une autre revue souligne l'effet d'atténuation de l'inflammation à la suite d'un massage [40]. La mécanotransduction est définie comme la transformation d'un stimulus mécanique en un signal chimique après une déformation tissulaire mécanique externe [41]. Les auteurs rapportent l'effet de mécanotransduction modulant la voie de signalisation du processus inflammatoire obtenu par le massage. Ainsi, le massage diminue les lésions secondaires, la sensibilisation nerveuse, améliore la récupération, et réduit et prévient la douleur.

Aspects neurophysiologiques

Peu d'éléments sont retrouvés dans la littérature sur les effets du massage sur le système nerveux central. Avec l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Sliz et al. (2012) ont évalué l'effet immédiat de trois types de massage sur le pied droit (suédois, réflexe, avec objet en bois) comparés à un groupe contrôle sans massage [42]. Ces séances de massage de 8,5 minutes sur 42 participants ont montré une modulation de l'activité neuronale de certaines régions cérébrales impliquées dans l'état d'éveil. La plus importante modification a été obtenue avec le massage suédois. Le massage réflexe a un effet plus modéré. Le massage avec objet n'a pas d'effet significatif, montrant l'importance du touché humain dans ce type de traitement.

Aspects sensorimoteurs

Les conséquences du massage sur les aspects sensorimoteurs (augmentation de la sensibilité, de la précision des mouvements, amélioration du schéma corporel, etc.) sont recherchées par le kinésithérapeute. Pourtant, peu d'éléments sont retrouvés sur le sujet dans la littérature.

Une équipe danoise a travaillé sur la modification du sens de la position par le massage. Dans une de leur étude, l'évaluation des processus sensorimoteurs a été effectuée en se fondant sur la capacité des sujets à revenir à une position encodée, ou à imiter les configurations anatomiques du membre controlatéral [43]. Sur 18 sujets jeunes sains, les auteurs ont observé une diminution des erreurs de reproduction d'une position préalable à la suite d'un massage du genou de dix minutes. Ces résultats n'ont toutefois pas été retrouvés dans une autre étude de la même équipe portant sur 19 patients présentant une arthrose du genou [44].

D'autres auteurs ont mesuré les effets du massage sur l'activation des processus sensorimoteurs évalués par l'étude des temps de réponse dans une tâche de rotation mentale de segments corporels (ici, des images de pieds dont les sujets doivent identifier la latéralité). Les résultats montrent un effet immédiat du massage, qui se traduit par une activation plus rapide des processus sensorimoteurs, suggéré par la plus grande rapidité des réponses des participants. Cet effet bénéfique du massage persiste sur une période de 24 heures [45, 46].

Tableau 1.

Modèle théorique des effets attendus du massage.

Types d'effets		Physiologique	Sensorimoteur	Neurophysiologique
		Changement sur les tissus ou organes	Posture	Changement sur le système nerveux central ou comportemental
<i>Effets supposés</i>	Augmentation	Flux sanguin intramusculaire Compliance musculaire Mobilité articulaire Sanguin intramusculaire Circulation sanguine cutanée	Sens de la position	Relaxation
	Diminution	Adhésion tissulaire Raideur passive Raideur active, tension ou spasme musculaire		Anxiété Excitabilité neuromusculaire Stress Effets aigus sur la douleur
<i>Effets démontrés</i>	Augmentation	Activité parasympathique Hormones de relaxation Poids bébé Mobilité non douloureuse	Équilibre Stimulation sensorimotrice	Sommeil État d'éveil
	Diminution	Hormones de stress Inflammation Pleurs, agitation chez le bébé		Effets chroniques sur la douleur

Effets attendus : aspects cliniques

Bébé

Chez le bébé prématuré, les effets bénéfiques du massage se traduisent notamment par une prise de poids, une amélioration du sommeil, une diminution des pleurs et de l'agitation et du stress (notamment le hoquet) [14]. Chez le bébé non prématuré, un massage effectué par les parents préalablement formés apporte un gain de poids et un meilleur développement lors du premier mois (meilleure performance d'orientation, moins d'excitation et un score de dépression plus faible sur l'échelle de Brazelton [47]). Ces améliorations se poursuivent par une diminution de l'irritabilité et des troubles du sommeil [14, 48].

Sportif

Les trois points majeurs d'étude dans le domaine sportif sont la préparation de l'activité, la récupération musculaire et la prévention des blessures [39]. Dans un article récent, Moraska (2013) recommande l'utilisation du massage uniquement dans la récupération musculaire après une course à pied de 10 km. De plus, les sujets qui ont déjà reçu un massage avant présentent un niveau de récupération musculaire supérieur par comparaison à ceux sans expérience préalable du massage [11].

Cependant, dans deux revues de la littérature, les auteurs mettent en avant le peu de preuves scientifiques validant l'utilisation du massage chez le sportif [39, 49]. Ils rapportent que le massage a des effets psychologiques sur la récupération, qu'il réduit la sévérité de la douleur musculaire sans toutefois avoir d'effet sur la perte fonctionnelle. Les différentes techniques à préconiser comme les mécanismes d'action du massage ont été peu investiguées, conduisant les auteurs à recommander des recherches supplémentaires. Moraska (2005) ajoute la nécessité d'études bien conçues requérant des thérapeutes spécialement formés pour administrer ce type de thérapie [49].

Cicatrice

Les preuves pour l'utilisation du massage dans le traitement des cicatrices sont faibles avec des limites qui ne permettent pas de conclure actuellement, même si les auteurs décrivent un intérêt plus important dans les cicatrices postchirurgicales que traumatiques ou postbrûlures [50].

Sommeil

Chez des sujets déments institutionnalisés, il existe une amélioration significative de la durée du sommeil (+ 36 min) après un massage du dos de seulement trois minutes [12]. Dans une méta-analyse, Lee et al. (2011) évaluent les effets du massage des pieds, de type réflexologie. Ce type de massage soulagerait la fatigue

et améliorerait le sommeil, même si d'autres évaluations sont conseillées pour compléter les résultats obtenus [51].

À l'inverse, dans le cas de la fibromyalgie, fréquemment associée à une fatigue importante due à des troubles du sommeil, d'autres auteurs n'ont pas retrouvé d'effet significatif du massage sur le sommeil dans leur méta-analyse [27].

Posture

Le rôle du massage et de la manipulation de la cheville et du pied sur le contrôle postural de sujets âgés a été étudié par une équipe française de Grenoble [52, 53]. D'abord, dans une étude randomisée contrôlée avec un groupe placebo, ils ont évalué le contrôle postural au moyen d'une plateforme de force sur 70 sujets âgés institutionnalisés. Les auteurs observent qu'une séance de manipulation de la cheville et du pied pendant 20 minutes permet de compenser les déséquilibres résultant d'une occlusion visuelle. Ensuite, sur une évaluation du même type chez 28 sujets âgés hospitalisés, ils montrent également les effets bénéfiques de ce type de séance sur deux tests cliniques, le One Leg Balance et le Timed Up and Go.

Mobilité

Dans une étude contrôlée randomisée sur une population de 34 sujets présentant des douleurs lombaires nociceptives de plus de six mois, 30 minutes de massage deux fois par semaines sur cinq semaines (versus une séance de relaxation de même durée) ont apporté une amélioration de la mobilité et de la mobilité sans douleur, ainsi qu'une diminution des hormones de stress et une diminution de la douleur [54]. La même équipe arrive à des conclusions similaires avec l'étude de patients atteints d'arthroses de la nuque [55] ou du genou [56]. L'amélioration de la mobilité est aussi confirmée après avoir comparé les conséquences de quatre semaines de massage au port d'une gouttière d'occlusion chez 28 patients présentant des désordres temporomandibulaires [57].

A contrario, d'autres auteurs ont comparé les effets d'un massage à ceux accompagnant une kinésithérapie de « routine » (électrothérapie, ultrasons et vibration) sur des patientes avec des douleurs lombaires subaiguës ou chroniques [58]. Dans les deux groupes, ils associent un traitement par exercices. Ils constatent une amélioration fonctionnelle dans les deux groupes mais seul le groupe massage diminue significativement l'intensité de la perception douloureuse. En revanche, ils ne retrouvent pas d'amélioration sur la mobilité. Des évaluations complémentaires sur les modalités de massage sont donc nécessaires.

Douleur

La prise en charge de la douleur par le massage est un sujet majeur de la littérature. Au 1^{er} janvier 2016, sur 1361

occurrences de Pubmed sur les essais cliniques concernant le massage, 467 (plus d'un tiers) concernaient la douleur. Il y avait 53 méta-analyses.

Les différentes théories d'action du massage sur la douleur sont la théorie du *gate-control*, l'activation parasympathique, l'action chimique, l'effet mécanique, la restauration du sommeil ou l'attention interpersonnelle^[59]. L'absence d'effet retrouvé dans une méta-analyse en postmassage immédiat sur la douleur questionne la théorie la plus populaire du *gate-control*^[59].

Une revue systématique, dans le cas de migraine, évalue le massage comme équivalent à la kinésithérapie active, la relaxation, les manipulations vertébrales, l'utilisation de propanolol ou de topiramate^[60]. Les auteurs insistent sur les limites méthodologiques des études évaluées (petits échantillons, pas de groupe contrôle) et la nécessité de poursuivre les recherches. Dans le cas des douleurs des bras, des épaules et de la nuque, la méta-analyse effectuée par Verhagen et al. (2013) amène à conclure à l'absence de plus-value du massage après des exercices^[61]. Furlan et al. (2008) effectuent une méta-analyse sur les effets du massage sur la douleur lombaire^[62]. Ils concluent à son intérêt dans le cas de douleur subaiguë et chronique, surtout s'il est associé à des exercices et une éducation du patient. Dans leur méta-analyse sur le massage dans le cadre de douleurs liées à la grossesse, Smith et al. (2012) concluent à son utilité potentielle, mais aussi à la nécessité de poursuivre les recherches^[63]. Dans leur méta-analyse sur la fibromyalgie, certains auteurs^[27] n'ont pas retrouvé d'effet significatif du massage sur l'anxiété, la dépression et la douleur, sauf dans le cas où le programme dure plus de cinq semaines^[27]. Dans une revue, Falkenstein et al. (2011) s'intéressent au massage dans le cadre de soins palliatifs liés au cancer^[64]. Si le massage ne remplace pas le traitement pharmacologique, ces auteurs le préconisent dans la prise en charge globale associée, notamment s'agissant de la réduction de la douleur, et de la réduction de l'anxiété et de la dépression.

Les résultats sont ainsi prometteurs, mais l'on constate dans l'ensemble que de nouvelles recherches sont nécessaires avec une meilleure qualité méthodologique, des thérapeutes spécialement formés et une description des modalités des massages évalués.

■ Conclusion

Le massage est une des techniques du masseur-kinésithérapeute. L'ensemble des auteurs s'accordent sur son intérêt dans le cadre d'une association à d'autres prises en charge (pharmacologique, physique, etc.). Le rapport bénéfice/risque comme l'application clinique (posologie, pression) montre la nécessité d'une formation manuelle mais également d'une analyse critique des pratiques. Si la diminution de certaines douleurs à la suite d'une procédure de massage est bien documentée, le massage semble présenter un intérêt certain dans d'autres prises en charge telles que l'activation des processus sensorimoteurs, l'amélioration de la posture, de la mobilité des membres, du sommeil, de la qualité de vie du bébé, etc. Cependant, cette revue de la littérature suggère que des recherches complémentaires apparaissent aujourd'hui comme indispensables pour conforter son utilisation et améliorer les protocoles liés à cette pratique (durée, nombre de séances, etc.) en fonction des problèmes de santé des patients auxquels doit faire face le kinésithérapeute.

Déclaration d'intérêts : les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts en relation avec cet article.

Remerciements : à Noëlle Lafarge et Jean-François Dumas pour leur aide dans la définition législative du massage.

■ Références

- Regnaud J-P, Guay V, Marsal C. Evidence-based practice ou la pratique basée sur les preuves en rééducation. *Kinesither Rev* 2009;9: 55-61.

- Vickers A, Zollman C. Massage therapies. *Br Med J* 1999;319:1254-7.
- Dufour M, Gedda M. *Dictionnaire de kinésithérapie et réadaptation*. Paris: Maloine; 2007.
- Goldstone LA. Massage as an orthodox medical treatment past and future. *Complement Ther Nurs Midwif* 2000;6:169-75.
- Dufour M, Colné P, Gouilly P. *Massages et massothérapie*. Paris: Maloine; 2006.
- Dumas J-F. Communication personnelle. 2016.
- Centre de coordination de la lutte contre les infections nosocomiales. Hygiène et massokinésithérapie, guide de bonnes pratiques 2000. www.cclnparisnord.org/Guides/GuideMassoKine.pdf.
- Donoyama N, Wakuda T, Tanitsu T, Ishii E, Ichiman Y. Washing hands before and after performing massages? Changes in bacterial survival count on skin of a massage therapist and a client during massage therapy. *J Altern Complement Med* 2004;10:684-6.
- Storck U, Junker H-O, Rostalski W. *Technique du massage : précis pédagogique*. Paris: Maloine; 2007.
- Clay JH, Pounds DM. *Massothérapie clinique : incluant anatomie et traitement*. Paris: Maloine; 2003.
- Moraska A. Massage efficacy beliefs for muscle recovery from a running race. *Int J Ther Massage Bodywork* 2013;6:3-8.
- Harris M, Richards KC, Grando VT. The effects of slow-stroke back massage on minutes of nighttime sleep in persons with dementia and sleep disturbances in the nursing home: a pilot study. *J Holist Nurs* 2012;30:255-63.
- Perlman AI, Ali A, Njike VY, Hom D, Davidi A, Gould-Fogerite S, et al. Massage therapy for osteoarthritis of the knee: a randomized dose-finding trial. *PLoS ONE* 2012;7:e30248.
- Field T. Massage therapy research review. *Complement Ther Clin Pract* 2014;20:224-9.
- Field T, Diego MA, Hernandez-Reif M, Deeds O, Figuereido B. Moderate versus light pressure massage therapy leads to greater weight gain in preterm infants. *Infant Behav Dev* 2006;29:574-8.
- Diego MA, Field T. Moderate pressure massage elicits a parasympathetic nervous system response. *Int J Neurosci* 2009;119:630-8.
- Sherman KJ, Dixon MW, Thompson D, Cherkin DC. Development of a taxonomy to describe massage treatments for musculoskeletal pain. *BMC Complement Altern Med* 2006;6:24.
- Travell JG, Simons LS. *Myofascial pain and dysfunction: the trigger point manual*. Baltimore: Williams and Wilkins; 1999.
- Mora-Relucio R, Núñez-Nagy S, Gallego-Izquierdo T, Rus A, Plaza-Manzano G, Romero-Franco N, et al. Experienced versus inexperienced interexaminer reliability on location and classification of myofascial trigger point palpation to diagnose lateral epicondylalgia: an observational cross-sectional study. *Evid Based Complement Alternat Med* 2016;2016:6059719.
- Shmushkevich Y, Kalichman L. Myofascial pain in lateral epicondylalgia: a review. *J Bodyw Mov Ther* 2013;17:434-9.
- Goats GC, Keir KA. Connective tissue massage. *Br J Sports Med* 1991;25:131-3.
- Celenay ST, Kaya DO, Akbayrak T. Cervical and scapulothoracic stabilization exercises with and without connective tissue massage for chronic mechanical neck pain: a prospective, randomised controlled trial. *Man Ther* 2016;21:144-50.
- Ajimsa MS, Al-Mudhka NR, Al-Madhar JA. Effectiveness of myofascial release: systematic review of randomized controlled trials. *J Bodyw Mov Ther* 2015;19:102-12.
- Calixte LB, Moreira RF, Franchini GH, Albuquerque-Sendin F, Oliveira AB. Manual therapy for the management of pain and limited range of motion in subjects with signs and symptoms of temporomandibular disorder: a systematic review of randomised controlled trials. *J Oral Rehabil* 2015;42:847-61.
- Piper S, Shearer HM, Côté P, Wong JJ, Yu H, Varatharajan S, et al. The effectiveness of soft-tissue therapy for the management of musculoskeletal disorders and injuries of the upper and lower extremities: a systematic review by the Ontario Protocol for Traffic Injury management (OPTIMA) collaboration. *Man Ther* 2016;21:18-34.
- Victoria Espí-López G, Arnal-Gómez A, Arbós-Berenguer T, González ÁA, Vicente-Herrero T. Effectiveness of physical therapy in patients with tension-type headache: literature review. *J Jpn Phys Ther Assoc* 2014;17:31-8.
- Yuan SL, Matsutani LA, Marques AP. Effectiveness of different styles of massage therapy in fibromyalgia: a systematic review and meta-analysis. *Man Ther* 2015;20:257-64.
- Ezzo J, Manheimer E, McNeely ML, Howell DM, Weiss R, Johansson KI, et al. Manual lymphatic drainage for lymphedema following breast cancer treatment. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;(5):CD003475.

- [29] Loew LM, Brosseau L, Tugwell P, Wells GA, Welch V, Shea B, et al. Deep transverse friction massage for treating lateral elbow or lateral knee tendinitis. *Cochrane Database Syst Rev* 2014;(11):CD003528.
- [30] Le Blanc-Louvy I, Costaglioli B, Boulon C, Leroi A-M, Ducrotte P. Does mechanical massage of the abdominal wall after colectomy reduce postoperative pain and shorten the duration of ileus? Results of a randomized study. *J Gastrointest Surg* 2002;6:43-9.
- [31] Moseley AL, Esplin M, Piller NB, Douglass J. Endermologie (with and without compression bandaging)—a new treatment option for secondary arm lymphedema. *Lymphology* 2007;40:129-37.
- [32] Bourgeois JF, Gourgou S, Kramar A, Lagarde JM, Guillot B. A randomized, prospective study using the LPG technique in treating radiation-induced skin fibrosis: clinical and profilometric analysis. *Skin Res Technol* 2008;14:71-6.
- [33] Barra ME, López C, Fernández G, Murillo E, Villar E, Raya L. The immediate effects of diacutaneous fibrolysis on pain and mobility in patients suffering from painful shoulder: a randomized placebo-controlled pilot study. *Clin Rehabil* 2011;25:339-48.
- [34] Barra ME, López ME, López de Celis C, Fernández Jentsch G, Raya de Cárdenas L, Lucha López MO, Tricás Moreno JM. Effectiveness of diacutaneous fibrolysis for the treatment of subacromial impingement syndrome: a randomised controlled trial. *Man Ther* 2013;18:418-24.
- [35] Aiguadé R, Camps PP, Carnacea FR. Techniques de crochétage instrumental myofascial. *Kinesither Rev* 2008;8:17-21.
- [36] Lévêné M, Timmermans B, Duchateau J. Effet du crochétage myo-aponévrotique du triceps sural sur la tension passive et l'architecture musculaire à l'étirement. *Kinesither Rev* 2009;9:56-61.
- [37] Ernst E. The safety of massage therapy. *Rheumatology* 2003;42:1101-6.
- [38] Yin P, Gao N, Wu J, Litscher G, Xu S. Adverse events of massage therapy in pain-related conditions: a systematic review. *Evid Based Complement Alternat Med* 2014;2014:480956.
- [39] Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med* 2005;35:235-56.
- [40] Waters-Banker C, Dupont-Versteegden EE, Kitzman PH, Butterfield TA. Investigating the mechanisms of massage efficacy: the role of mechanical immunomodulation. *J Athl Train* 2014;49:266-73.
- [41] Hornberger TA, Esser KA. Mechanotransduction and the regulation of protein synthesis in skeletal muscle. *Proc Nutr Soc* 2004;63:331-5.
- [42] Sliz D, Smith A, Wiebking C, Northoff G, Hayley S. Neural correlates of a single-session massage treatment. *Brain Imaging Behav* 2012;6:77-87.
- [43] Henriksen M, Højrup A, Lund H, Christensen L, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. The effect of stimulating massage of thigh muscles on knee joint position sense. *Adv Physiother* 2004;6:29-36.
- [44] Lund H, Henriksen M, Bartels EM, Danneskiold-Samsøe B, Bliddal H. Can stimulating massage improve joint repositioning error in patients with knee osteoarthritis? *J Geriatr Phys Ther* 2009;32:111-6.
- [45] Rulleau T, Toussaint L. Effet du massage sur le fonctionnement du système sensori-moteur du sujet âgé hospitalisé. *Kinesither Rev* 2015;15:18-9.
- [46] Rulleau T, Toussaint L. G10 - L'imagerie motrice en rééducation, application clinique et recherche. *Kinesither Rev* 2016;16:39-40.
- [47] Nugent JK. The competent newborn and the neonatal behavioral assessment scale: T. Berry Brazelton's legacy. *J Child Adolesc Psychiatr Nurs* 2013;26:173-9.
- [48] Field T, Hernandez-Reif M, Diego M, Feijo L, Vera Y, Gil K. Massage therapy by parents improves early growth and development. *Infant Behav Dev* 2004;27:435-42.
- [49] Moraska A. Sports massage. A comprehensive review. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:370-80.
- [50] Shin TM, Bordeaux JS. The role of massage in scar management: a literature review. *Dermatol Surg* 2012;38:414-23.
- [51] Lee J, Han M, Chung Y, Kim J, Choi J. Effects of foot reflexology on fatigue, sleep and pain: a systematic review and meta-analysis. *J Korean Acad Nurs* 2011;41:821-33.
- [52] Vaillant J, Vuillerme N, Janvey A, Louis F, Braujou R, Juvin R, et al. Effect of manipulation of the feet and ankles on postural control in elderly adults. *Brain Res Bull* 2008;75:18-22.
- [53] Vaillant J, Rouland A, Martigné P, Braujou R, Nissen MJ, Caillat-Miowski J-L, et al. Massage and mobilization of the feet and ankles in elderly adults: effect on clinical balance performance. *Man Ther* 2009;14:661-4.
- [54] Hernandez-Reif M, Field T, Krasnegor J, Theakston H. Lower back pain is reduced and range of motion increased after massage therapy. *Int J Neurosci* 2001;106:131-45.
- [55] Field T, Diego M, Gonzalez G, Funk CG. Neck arthritis pain is reduced and range of motion is increased by massage therapy. *Complement Ther Clin Pract* 2014;20:219-23.
- [56] Field T, Diego M, Gonzalez G, Funk CG. Knee arthritis pain is reduced and range of motion is increased following moderate pressure massage therapy. *Complement Ther Clin Pract* 2015;21:233-7.
- [57] Gomes CAF de P, Politti F, Andrade DV, de Sousa DF, Herpich CM, et al. Effects of massage therapy and occlusal splint therapy on mandibular range of motion in individuals with temporomandibular disorder: a randomized clinical trial. *J Manipulative Physiol Ther* 2014;37:164-9.
- [58] Kamali F, Panahi F, Ebrahimi S, Abbasi L. Comparison between massage and routine physical therapy in women with sub-acute and chronic nonspecific low back pain. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2014;27:475-80.
- [59] Moyer CA, Rounds J, Hannum JW. A meta-analysis of massage therapy research. *Psychol Bull* 2004;130:3.
- [60] Chaibi A, Tuchin PJ, Russell MB. Manual therapies for migraine: a systematic review. *J Headache Pain* 2011;12:127-33.
- [61] Verhagen AP, Bierma-Zeinstra SM, Burdorf A, Stynes SM, de Vet HC, Koes BW. Conservative interventions for treating work-related complaints of the arm, neck or shoulder in adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;(12):CD008742.
- [62] Furlan AD, Imamura M, Dryden T, Irvin E. Massage for low-back pain. *Cochrane Database Syst Rev* 2008;(6):CD001929.
- [63] Smith CA, Levett KM, Collins CT, Jones L. Massage, reflexology and other manual methods for pain management in labour. *Cochrane Database Syst Rev* 2012;(2):CD009290.
- [64] Falkenstein M, Mantovan F, Müller I, Them C. The use of massage therapy for reducing pain, anxiety, and depression in oncological palliative care patients: a narrative review of the literature. *ISRN Nurs* 2011;2011:929868.

T. Rulleau (thomas.rulleau@univ-poitiers.fr).

CeRCA – CNRS-UMR 7295, Maison des sciences de l'homme et de la société, Bâtiment A5, 5, rue Théodore-Lefebvre, TSA 21103, 86073 Poitiers cedex 9, France.

Cabinet de kinésithérapie et ostéopathie, 16, avenue de Verdun, 85190 Aizenay, France.

Centre hospitalier départemental de Vendée, 85000 La Roche-Sur-Yon, France.

C. Rivette.

Clinique d'Alençon, 62, rue Candie, 61000 Alençon, France.

L. Toussaint.

CeRCA – CNRS-UMR 7295, Maison des sciences de l'homme et de la société, Bâtiment A5, 5, rue Théodore-Lefebvre, TSA 21103, 86073 Poitiers cedex 9, France.

Toute référence à cet article doit porter la mention : Rulleau T, Rivette C, Toussaint L. Le massage, approche basée sur les preuves. EMC - Kinésithérapie-Médecine physique-Réadaptation 2017;0(0):1-7 [Article 26-120-A-10].

Disponibles sur www.em-consulte.com



Arbres
décisionnels



Iconographies
supplémentaires



Vidéos/
Animations



Documents
légaux



Information
au patient



Informations
supplémentaires



Auto-
évaluations



Cas
clinique

Application clinique de l'imagerie motrice en rééducation

Dans le cadre actuel de la médecine basée sur les faits, les avancées des neurosciences cognitives apportent de nouvelles techniques séduisantes en rééducation. Parmi elles, l'imagerie motrice a retenu notre attention en tant qu'outil d'évaluation de l'intégrité des processus sensorimoteurs, mais aussi en tant que technique d'apprentissage ou de réapprentissage du contrôle des mouvements. Elle semble donc particulièrement intéressante dans la rééducation du mouvement humain : la kinésithérapie (physiothérapie).

Ce travail de thèse a été tout particulièrement motivé par des questions d'une part sur l'évolution dans le temps des capacités d'imagerie motrice (au cours d'une journée, du passage de l'âge adulte à un âge plus avancé) et la conséquence de cette évolution en pratique clinique, d'autre part sur la possibilité d'utiliser l'imagerie motrice implicite comme outil d'évaluation des capacités sensorimotrices des patients. Dans ce contexte, quatre études de cohortes et trois études randomisées contrôlées ont été effectuées chez des sujets seniors et/ou jeunes.

La première partie de ce travail a permis de mettre en évidence la modulation des capacités d'imagerie motrice en fonction du moment de la journée chez les seniors et de proposer des suggestions pour l'organisation des séances par le praticien. La deuxième partie de ce travail a permis de valider l'intérêt de l'imagerie motrice implicite (tâche de rotation mentale de stimuli corporels) comme outil d'évaluation d'une pratique de kinésithérapie (le massage) et de mieux comprendre l'impact de différentes posologies (durée du massage, zone de massage) sur l'activation des processus sensorimoteurs. Enfin, dans la dernière partie de ce travail, les études menées apportent quelques éclaircissements sur les effets du vieillissement sur les processus sensorimoteurs et présentent quelques tâches d'imagerie motrice prometteuses à destination des praticiens pour compléter leur évaluation clinique.

Pris dans son ensemble, ce travail s'inscrit dans le développement d'une recherche en rééducation pour améliorer la pertinence de la prise en charge au service des patients, notamment des patients âgés hospitalisés.

Mots clefs : imagerie motrice, évaluation sensorimotrice, rééducation, massage, kinésithérapie.

Clinical application of motor imaging in rehabilitation

In the current context of evidence-based medicine, advances in cognitive neuroscience bring new attractive techniques in rehabilitation. Among them, motor imagery has caught our attention as a tool for evaluating the integrity of sensorimotor processes, but also as a technique for learning or re-learning movement control. Therefore it seems particularly interesting in human movement rehabilitation: physiotherapy.

This thesis was particularly motivated by questions on the evolution over time of the motor imagery capacities (during a day, in transition from adulthood to a later age) and the consequence of this evolution in clinical practice, and on the possibility of using implicit motor imaging as a tool for assessing the sensorimotor capacities of patients. In this context, four cohort studies and three randomized controlled trials were performed on seniors and / or young subjects.

The first part of this work has made it possible to highlight the modulation of motor imagery capacities according to the time of the day for seniors and to propose suggestions for the organization of the sessions by the practitioner. The second part of this work has allowed us to validate the interest of implicit motor imagery (mental rotation task) as a tool to evaluate a physiotherapy practice (massage) and better understand the impact of different posology (duration of massage, zone of massage) on the activation of the sensorimotor processes. Finally, in the last part of this work, the studies provide clarifications on the effects of aging on sensorimotor processes and present some promising motor imagery tasks for practitioners to complete their clinical evaluation.

Taken as a whole, this work is part of the development of rehabilitation research to improve the relevance of patient care, in particular elderly inpatients.

Keywords: motor imaging, sensorimotor evaluation, rehabilitation, massage, physiotherapy.