

**DIFFÉRENCES BILATÉRALES DANS LES FORCES MANUELLES AVEC
L'ÂGE ET LEURS BASES NEUROPHYSIOLOGIQUES: UNE ÉTUDE PAR
STIMULATION MAGNÉTIQUE TRANSCRÂNIENNE (SMT)**

Jonathan Houle, B.Sc. Université d'Ottawa, 2013

Thèse soumise à la
Faculté des Études Supérieures et Postdoctorales
dans le cadre des exigences
du programme de Maîtrise ès sciences en Sciences de l'Activité Physique

École des Sciences de l'Activité Physique Faculté des Sciences de la Santé
Université d'Ottawa

© Jonathan Houle, Ottawa, Canada, 2017

REMERCIEMENTS

J'aimerais premièrement remercier Dr. François Tremblay de m'avoir permis de travailler sous sa tutelle. Merci d'avoir nourri mes connaissances et ma curiosité et de m'avoir pris à mes débuts pour m'apprendre à marcher dans le monde de la recherche. J'aimerais aussi remercier Anthony Remaud pour son support moral et son apport à la fois intellectuel et temporel. Également, j'aimerais remercier l'École des Sciences de l'Activité Physique pour m'avoir donné l'opportunité de continuer mon développement. Et finalement merci à tous les participants de l'étude qui ont pris de leur temps pour l'accomplissement de cette étape tant importante à mes yeux.

PRÉFACE

Les travaux décrits dans cette thèse ont été effectués par l'auteur (JH) sous la supervision de son directeur de thèse (Prof. Tremblay). Les expériences ont été conçues et menées par l'auteur aidé de son directeur et avec la collaboration de M. Anthony Remaud, associé de recherche à Institut de Recherche Bruyère (IRB), pour la collecte de données. Les analyses ont été effectuées par l'auteur avec la collaboration de M. Remaud. Finalement, la rédaction de la thèse a été effectuée par l'auteur avec la contribution de son directeur pour l'édition et la révision. L'étude a été approuvée au niveau déontologique par le comité d'éthique en recherche de l'IRB (voir appendice III).

LISTE D'ABRÉVIATIONS

ANOVA	analyse de variance
BL	bilatérale
DBL	déficit de force bilatéral
CMV	contraction maximale volontaire
DIT	durée d'inhibition transcalleuse
EMG	électromyogramme
FCR	flexor carpi radialis
GABA	<i>gamma-aminobutyric acid</i>
GPPAQ	Questionnaire de Pratique Générale de l'Activité Physique
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
IHI	inhibition inter-hémisphérique
IL	indice de latéralité
ISI	intervalle inter-stimulus
kg	kilogramme
lbs	livres
LIHI	inhibition inter-hémisphérique de long intervalle
LIT	latence d'inhibition transcalleuse
M1	cortex moteur primaire
MANOVA	analyse de variance multivariée
ms	milliseconde
mV	millivolt
PID	premier interosseux dorsale

PEM	potentiel évoqué moteur
PS	période de silence
PSc	période de silence contralatérale
PSi	période de silence ipsilatérale
s	seconde
SIHI	inhibition inter hémisphérique de court intervalle
SM	seuil moteur
SMR	seuil moteur au repos
SMT	stimulation magnétique transcrânienne
UL	unilatérale
μV	microvolt

RÉSUMÉ

Dans ce projet de thèse, nous nous sommes intéressés aux mécanismes sous-tendant la production de forces manuelles dans le contexte du vieillissement chez l'humain. Plus particulièrement, nous avons étudié un phénomène bien documenté relié à la production de force lors d'effort bilatéraux, soit le déficit de force bilatéral (DBL) où la force totale produite pendant des contractions bilatérales est inférieure à la somme des forces produites lors de contractions unilatérales. Ce projet visait donc à mieux cerner le phénomène de DBL en plus d'examiner la présence d'asymétries dans les forces manuelles avec l'âge. Le projet avait également pour but de mieux comprendre les bases neurophysiologiques sous-tendant le DBL et les asymétries dans les forces en lien notamment avec des mesures d'excitabilité et d'inhibition dérivées de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT). Deux groupes de participants adultes fortement droitiers, jeunes (n=12 ;4 femmes) et âgés (n=11, 5 femmes) ont été recrutés pour l'étude. Les forces manuelles ont été mesurées par dynamométrie en condition isométrique de pince digitale et de préhension à la fois lors de conditions unilatérales et bilatérales. Diverses mesures dérivées de la SMT (seuil moteur, période silence contra- et ipsilatérale) ont été ensuite effectuées en ciblant le cortex moteur sur chacun des hémisphères. Des indices de latéralité pour caractériser les différences bilatérales ont été calculés tant pour les mesures de forces que les mesures de SMT. Dans la condition unilatérale, la comparaison des indices de latéralité calculées pour les forces (pince et préhension) a montré que les âgés présentaient le même degré d'asymétrie que les jeunes. Lors d'efforts bilatéraux, l'indice bilatéral reflétant le DBL était plus prononcé chez les jeunes ($-6 \pm 2.2\%$) que les âgés ($-3.2 \pm 1.7\%$), mais cette différence n'était pas statistiquement significative. Pour les mesures de SMT, la comparaison des indices de latéralité n'a pas démontré de différences significatives entre les deux groupes tant pour les mesures d'excitabilité que les mesures d'inhibition transcalleuse. Certaines différences inter-hémisphériques ont été détectées par contre en comparant les mesures brutes (p. ex : potentiels évoqués moteurs

facilités). Enfin, des corrélations ont montré que l'indice de latéralité de la pince digitale était relié à l'indice calculée pour la durée de l'inhibition transcalleuse (DIT), de sorte qu'une plus grande asymétrie en faveur de la main droite était associée à une asymétrie de la DIT en faveur du cortex moteur gauche. Quant au DBL, aucune corrélation ne s'est avérée significative avec les indices de latéralité calculés pour les mesures dérivées de la SMT. Par contre, une analyse secondaire incluant seulement les sujets jeunes montrait une corrélation inverse entre le niveau du DBL et le degré de latéralité dans la taille des PEMs facilités, de sorte que les sujets montrant un DBL plus prononcé montraient aussi une plus grande asymétrie corticale de l'excitabilité en faveur du cortex moteur gauche. Une telle relation n'a pas été trouvée chez les aînés. Dans l'ensemble, ces données indiquent qu'avec l'âge il n'existe pas une plus grande asymétrie des forces manuelles lors d'efforts unilatéraux, ni de réduction marquée dans le DBL lors d'efforts bilatéraux. Il ne semble pas exister non plus de plus grandes asymétries avec l'âge dans la plupart des mesures d'excitabilité et d'inhibition transcalleuse. Nos données confirment aussi que le degré d'asymétrie dans la force de la pince est corrélé avec le degré d'asymétrie dans l'inhibition transcalleuse chez nos sujets fortement droitiers. Finalement, concernant le DBL, il semble qu'une plus grande asymétrie de l'excitabilité corticale à gauche, tel que mesuré par la taille des PEMs, soit associée à un déficit plus important lors d'efforts bilatéraux, du moins chez les sujets jeunes.

Table des matières

REMERCIEMENTS	ii
PRÉFACE	iii
LISTE D'ABRÉVIATIONS	iv
RÉSUMÉ.....	vi
manuelles.....	2
1.1.1 DBL aux membres supérieurs	3
1.1.2 DBL aux membres inférieurs et effets de l'entraînement	4
1.1.3 Différences entre hommes et femmes	5
1.1.4 Vieillessement et DBL.....	5
1.1.5 Différences de force inter-manuelles et âge	6
1.2 Bases neurophysiologiques du DBL et des différences de force inter-manuelles	7
1.2.1 Contribution de l'inhibition d'origine réflexe et activation volontaire	7
1.2.2 Contribution de l'inhibition d'origine corticale	9
1.2.3 Mécanismes impliqués dans la réduction des asymétries manuelles avec l'âge	10
1.3. Stimulation magnétique transcrânienne (SMT)	10
1.3.1 Mesures d'excitabilité cortico-motrice.....	11
1.3.2 Mesures d'inhibitions inter-hémisphériques (IHI)	12
1.3.3 Interactions hémisphériques et DBL étudiées par SMT.....	12
1.4 Objectifs du présent travail	15
2.1 Participants	17
2.2 Détermination des forces en condition unilatérale et bilatérale (UL et BL)	17
2.3 Enregistrements électromyographiques (EMG).....	18

2.4 Évaluation neurophysiologique par stimulation magnétique transcrânienne (SMT)	18
2.5 Détermination des périodes de silence ipsi- et contralérales (PSi et PSc) en UL et BL	19
2.6 Analyse des données de force lors des contractions UL et BL	19
2.7 Analyse des données neurophysiologiques	20
3.1 Observations générales et les forces manuelles	24
3.2 Effet de l'âge et du sexe sur asymétrie de force et DBL	24
3.3 Différences inter-hémisphériques dans les mesures d'excitabilité	25
3.4 Différences inter-hémisphériques dans les mesures d'inhibition transcaleuse	25
latéralité dans les mesures neurophysiologiques	26
4.1.1 Différences bilatérales dans les forces manuelles avec l'âge	28
transcaleuse	29
4.1.3 Associations entre indices de force, DBL et indices neurophysiologiques	30
4.2 Limites de l'étude	31
CHAPITRE V : CONCLUSION	33
5.1 Conclusion	34
Références	35
Tableau 1	44
Légendes et Figures	45
Appendice I: Questionnaire de latéralité manuelle d'Edinburgh	49
Appendice II : GPPAQ	50

Introduction :

La capacité à moduler les forces de contractions musculaires lors de mouvements est un mécanisme fondamental du contrôle moteur (Ashe 1997). Ce mécanisme nous permet d'exécuter des tâches des plus simples au plus complexes. Lors de l'exécution de tâches, la production de force est un facteur important à moduler, que la tâche relève d'une action unilatérale ou bilatérale (i.e., activer les deux membres simultanément). À cet égard, de nombreux travaux ont mis en évidence le fait que la capacité à générer de la force était diminuée lors d'efforts simultanés bilatéraux par rapport à des contractions unilatérales engageant les mêmes groupes musculaires (Jakobi & Chilibeck 2001). Ce phénomène de diminution dans la production de force, désigné sous le terme de déficit de force bilatéral (DBL), a été décrit pour la première fois par Henry et Smith (1961). Si, à la base, le phénomène de DBL a été associé à des mécanismes d'inhibition au niveau central, ses origines restent encore assez méconnues. En outre, on ne connaît pas encore très bien comment le DBL évolue avec l'âge, compte tenu des multiples changements affectant le système neuromusculaire avec le vieillissement. Ce projet de thèse visait à mieux cerner ce phénomène de DBL en plus d'examiner aussi la présence d'asymétrie des forces manuelles avec l'âge. Le projet avait également pour but de mieux comprendre les bases neurophysiologiques des asymétries dans les forces manuelles ainsi que le DBL en lien notamment avec des mesures d'excitabilité et d'inhibition inter-hémisphérique (IHI) dérivées de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT) du cortex moteur.

Dans les sections suivantes, un survol de la littérature sur le thème des différences bilatérales dans les forces musculaires en lien avec le phénomène de DBL sera d'abord décrit. Par la suite, nous aborderons l'impact du vieillissement sur le système neuromusculaire pour terminer par une revue des mécanismes neurophysiologiques avec un focus sur l'IHI.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Déficit de force bilatéral (DBL) et différences bilatérales dans les forces manuelles

Historiquement parlant, le DBL a été décrit pour la première fois il y a plus de 50 ans par Henry et Smith (1961). La description initiale telle que formulée par ces auteurs (Henry & Smith 1961) s'intéressait à la force de préhension. L'expérience était conduite sur 30 sujets adultes pour lesquels la force de préhension de chaque main était mesurée. Initialement ces auteurs avaient établi comme hypothèse que lors d'une contraction simultanée des muscles homologues des mains, celle-ci démontrerait une facilitation, c'est-à-dire un accroissement de la force par rapport à la somme de celles produites isolément par chaque main. Contrairement à leur hypothèse, Henry et Smith observèrent une diminution de l'ordre de 3% de la force dans la main dominante lors de la contraction bilatérale, alors que la main non dominante n'exprimait pas de différences significatives. Ce déficit dans la production de la force lors de contractions bilatérales a été par la suite désigné comme étant le DBL. De nos jours, le DBL est rapporté soit en terme absolu (kg ou lbs), soit en terme d'indice relatif (en %) de la manière suivante (Howard & Enoka 1991).

$$DBL_{abs} = BL_{tot} - (UL_D + UL_G)$$

$$\%DBL = 100 * (BL_{tot} / (UL_D + UL_G) - 100)$$

(Où UL = Unilatérale ; BL = bilatérale ; D = main droite ; G = main gauche)

Les études subséquentes sur le sujet ont montré que le DBL était présent tant chez les hommes que les femmes, dans les membres supérieurs ou inférieurs, les muscles proximaux ou distaux, dans les mouvements dynamiques et statiques, chez les athlètes et les non-athlètes de même que chez les patients atteints de troubles moteurs (Kuruganti et al. 2011, Aune et al. 2013). Il est important de préciser que le DBL est mis en évidence particulièrement lors de contractions bilatérales et simultanées de muscles homologues (Jakobi & Chilibeck, 2001). Les sections suivantes décrivent les caractéristiques du DBL observées dans les membres supérieurs et inférieurs.

1.1.1 DBL aux membres supérieurs

Suite à la description initiale de Henry et Smith, plusieurs auteurs se sont attardés à mesurer le phénomène dans les muscles des membres supérieurs et ceux de la main en particulier. Les études recensées sur les DBL de petits muscles de la main, rapportent en général des valeurs allant de 2% à 5%. Par exemple, Zijdewind & Kernell (2001) rapportent un DBL de 5 à 6% dans les muscles premier interosseux dorsale (PID) et court abducteur de l'index. Une étude ultérieure de Post et al. (2007) a trouvé des résultats similaires avec un DBL ~3-4% pour l'abduction de l'index. Toutefois, lorsqu'on compare ces résultats avec les DBL mesurés dans les muscles plus proximaux des membres supérieurs, les estimations ne sont plus les mêmes. Par exemple, une étude de Takebayashi et al. (2009) montre qu'un DBL d'environ 7-8% est mesurable dans les muscles fléchisseurs du coude. Une autre étude d'Aune et al. (2013) a montré que le DBL était encore plus prononcé dans les muscles de l'épaule avec des DBL de l'ordre de 20%. Il semble donc que le DBL soit plus marqué dans les muscles plus proximaux par rapport aux muscles distaux des membres supérieurs.

En ce qui a trait aux effets de latéralité, lesquels sont particulièrement évidents aux membres supérieurs, le rôle de la dominance manuelle dans le DBL a fait l'objet de quelques travaux. Une étude récente de Cornwell et al. (2012) s'est attaquée spécifiquement à cette question en comparant le DBL pour la préhension chez des groupes de gauchers et de droitiers. Les résultats montraient tant chez les droitiers que les gauchers que la force produite par la main dominante était supérieure à celle de la main non dominante tant en condition unilatérale que bilatérale. Le DBL était significatif uniquement chez les gauchers (-1.3%) et non pas chez les droitiers. Par contre, une analyse secondaire montrait que plusieurs sujets affichaient une force plus élevée dans la main non dominante (7 droitiers et 7 gauchers). En répartissant les sujets sur la base de la force de la main, les données montraient un DBL tant chez les droitiers (sujets plus fort de la main droite, 0.5%) que chez les gauchers (plus fort de la main gauche, -1.4%). Les DBL dans les deux groupes étaient attribuables à une inhibition spécifique dans la force de la main la plus forte, indépendamment de la préférence pour des habiletés manuelles.

1.1.2 DBL aux membres inférieurs et effets de l'entraînement

La majorité des études rapportent la présence de DBL dans les membres inférieurs tout comme dans les membres supérieurs. Toutefois, l'ampleur du déficit serait plus marquée dans les membres inférieurs (Taniguchi 1997, Magnus & Farthing 2008). Dans une étude de Taniguchi (1998) de l'effet de l'entraînement sur le DBL, les résultats montraient un DBL plus prononcé dans les membres inférieurs que dans les membres supérieurs. Par exemple, le DBL mesuré dans les extenseurs du genou était de ~14% alors que le DBL mesuré dans les extenseurs du coude était de ~10%. Cette différence entre les membres inférieurs et supérieurs reste tout de même controversée puisque certaines études la rapportent tandis que d'autres la réfutent. Un exemple de cette controverse est l'étude de Janzen et al. (2006) où un DBL plus petit a été trouvé lors de mouvements d'extension du genou (*leg press*) par rapport à des mouvements de tractions verticales (*lat pull-down*). Dans cette recherche, où ils évaluaient aussi l'effet de l'entraînement, des femmes devaient faire des mouvements de manière soit bilatérale ou unilatérale selon leur groupe respectif. Dans les deux cas, avant la période d'entraînement, les deux groupes montraient un indice de DBL plus petit lors de « *leg press* » que lors de « *lat pull-down* ». Suite à l'entraînement, le groupe bilatéral montrait une réduction dans le DBL après 26 semaines, alors que dans le groupe unilatéral, le DBL restait inchangé.

Selon les études, il semblerait que le DBL soit modifiable avec l'entraînement. En effet, les auteurs s'entendent pour dire que l'entraînement bilatéral tend à diminuer le DBL (Taniguchi 1997, Taniguchi 1998, Kuruganti et al. 2005). Ainsi, Howard et Enoka (1991) ont montré, par exemple, que le DBL variait selon l'activité pratiquée entre des groupes de cyclistes et d'haltérophiles. Alors que les cyclistes montraient moins de DBL que les sujets contrôles non-entraînés, les haltérophiles eux, reconnu pour leurs efforts bilatéraux globaux, démontraient une facilitation bilatérale plutôt qu'un déficit. Toutefois, d'autres études n'ont pas corroboré ces résultats. Par exemple, une étude sur un groupe de nageuses (pratiquant un de style de nage mixte, soit bilatéral en-phase et bilatéral hors-phase) a montré la présence de DBL comparables au groupe non-entraîné dans les muscles de la cuisse et de l'avant-bras (MacDonald et al. 2014).

1.1.3 Différences entre hommes et femmes

La plupart des études sur le DBL se sont concentrées sur des hommes ou des groupes mixtes sans analyse du facteur sexe, donc peu de données sont disponibles pour évaluer l'effet du genre. Néanmoins, certaines études indiquent que le DBL serait plus important chez les femmes que chez les hommes (Dunstheimer et al. 2001). D'autres auteurs ont rapporté la même tendance (Kuruganti et al. 2005). Cette différence entre les hommes et les femmes serait peut-être en lien avec des différences structurales et fonctionnelles au niveau du corps calleux et l'inhibition inter-hémisphérique (Perez & Cohen 2008).

1.1.4 Vieillesse et DBL

Avec l'âge, la production de force musculaire diminue et parmi les facteurs en cause on trouve le phénomène de sarcopénie musculaire (Mau-Moeller et al. 2013) et des changements dans l'activation motrice centrale (Manini et al. 2013, Plow et al. 2014). Malgré les nombreuses études sur le DBL, peu de travaux ont été effectués en lien avec l'âge. En général, les études ayant considéré ce facteur ont produit des résultats plutôt contradictoires. Par exemple, une étude de Kuruganti et al. (2005) montrait, qu'avant d'entreprendre un entraînement, les niveaux de DBL étaient comparables quel que soit l'âge des sujets, jeunes ou âgés, lors de mouvements d'extensions et de flexions du genou. Suite à six semaines d'entraînement, le ratio de DBL diminuait légèrement chez les individus âgés, mais la différence liée à l'âge n'était pas significative. Une autre étude menée par Hakkinen et al. (1997) montrait l'absence de différence dans le DBL chez des sujets jeunes et âgés lors de l'extension bilatérale du genou, malgré une production de force 25% supérieure dans le groupe de sujets jeunes. Une étude subséquente de Yamauchi et al. (2009) arrivait à des conclusions similaires, notant la différence (20-30%) de force des extenseurs du genou entre des femmes jeunes et âgées, malgré l'absence de différence quant au DBL. Par contre, Vieluf et al. (2013) ont montré que le DBL dans la capacité de générer rapidement des forces de préhension augmentait avec l'âge et était influencé par le niveau d'expertise des participants dans les tâches manuelles. Les experts âgés montraient un DBL moins important que les novices. En somme, les effets du vieillissement sur le DBL restent encore assez méconnus.

1.1.5 Différences de force inter-manuelles et âge

Les forces manuelles ont fait l'objet de plusieurs travaux au cours des 30 dernières années. Dans le contexte de cette revue, nous nous contenterons de décrire les études les plus pertinentes mettant en évidence les effets de dominance et des facteurs sexe et âge dans la production des forces manuelles, telles que mesurés par dynamométrie conventionnelle. Ainsi, dans un large échantillon (n=638, 310 hommes) comprenant des sujets âgés de 20 à 94 ans. Mathiowetz et al. (1985) montraient que la force de préhension atteignait un sommet entre 25 et 39 ans et déclinait ensuite avec une perte correspondant à ~35% après 70 ans. Par contre, les forces des pinces digitales restaient relativement inchangées entre 20 et 59 ans, puis déclinaient graduellement entre 60-79 ans avec une réduction ~ 22% chez les sujets âgés de 75 ans et plus. Les hommes étaient en moyennes 40% plus forts que les femmes pour la préhension et de 35% pour la pince digitale. Mais plus important, cette étude montrait des asymétries droite-gauche de l'ordre de 6% en faveur de la main dominante pour la préhension et de 2% pour la pince digitale chez les droitiers.

Les effets de l'âge sur les forces manuelles ont été confirmés par Ranganathan et al. (2001). Ces auteurs ont constaté un déclin lié à l'âge de 30% dans la force de préhension et de 26% dans la pince digitale en comparant des sujets jeunes (20-35 ans) et âgés (65-79 ans). Quant aux différences inter-manuelles dans la force, une autre série d'observations sur un large groupe de sujets (n=214) par Crosby et al. (1994) montraient des asymétries en faveur de la main dominante de l'ordre de 6% pour la préhension et de 3% pour la pince digitale; ce qui correspondait aux données antérieures de Mathiowetz et al. (1985). Une étude plus récente de Incel et al. (2002) sur la même question et regroupant des observations sur 128 droitiers indiquait des asymétries de force un peu plus élevées avec des différences de l'ordre de 8% pour la préhension et de 9% pour la pince digitale en faveur de la main droite.

Dans la plupart de ces travaux, les différences de forces inter-manuelles tendaient à être plus élevées chez les sujets jeunes par rapport aux sujets âgées, ce qui indiquait une plus grande asymétrie en faveur de la main dominante chez les jeunes participants. Dans

une étude plus récente traitant plus spécifiquement des effets de l'âge sur les asymétries manuelles, Teixeira (2008) montrait que l'asymétrie au niveau de la force de préhension était significativement plus élevée chez des sujets jeunes (6%, groupe 20-40 ans) que les sujets âgés (1,5%, 60 ans+). D'autres travaux récents ont confirmé la tendance suivant laquelle les différences de force et donc, l'asymétrie droite-gauche, tendaient à diminuer avec l'âge (Gooderham & Bryden 2014, Sivagnanasunderam et al. 2014).

En somme, les observations issues de larges groupes de participants montrent que les forces manuelles sont affectées par l'âge, surtout pour la préhension, avec des pertes de force de 20 à 30%. Les études montrent aussi que les différences inter-manuelles liées à la dominance sont plus marquées chez les jeunes et tendent à diminuer avec le vieillissement.

1.2 Bases neurophysiologiques du DBL et des différences de force inter-manuelles

Plusieurs mécanismes ont été proposés pour tenter d'expliquer le DBL (par ex., division de l'attention) mais l'explication prédominante repose sur des bases neurophysiologiques en lien avec l'inhibition centrale (Oda 1997, Aune et al. 2013).

L'origine de cette inhibition a fait l'objet de diverses spéculations mais la plupart des hypothèses impliquent soit les circuits réflexes au niveau spinal soit une interaction entre les aires motrices au niveau cortical.

1.2.1 Contribution de l'inhibition d'origine réflexe et activation volontaire

Le fait que le DBL puisse impliquer une inhibition spinale repose sur l'existence de connexions liant les circuits spinaux des deux membres (p. ex., réflexe de flexion et extension croisé (Pierrot-Deseilligny & Mazieres 1984) et sur le rôle notamment des afférences périphériques en provenance d'un membre inhibant le membre opposé. En lien avec cette hypothèse spinal, Khodiguian et al. (2003) ont étudié le DBL lors de contractions réflexes et volontaires. Dans cette recherche, tant la force produite que l'activité EMG évoquée dans le quadriceps, montraient un DBL (9 et 17%, respectivement) lors du réflexe

tendineux. Cependant, comme le DBL observé lors de la contraction volontaire du quadriceps n'était pas significatif comparé à celui noté lors de contractions réflexes, les auteurs concluaient que la contribution des mécanismes réflexes était difficile à préciser. Le rôle des réflexes spinaux a été aussi abordé dans l'étude de Kuruganti et al. (2011) où les auteurs ont examiné la contribution de la co-activation des muscles antagonistes et de l'inhibition réciproque dans le DBL des extenseurs du genou. Les résultats mettaient en évidence un DBL significatif lorsque testé à 45° d'extension. Par contre, l'activité des muscles antagonistes (ischio-jambiers) était comparable en contraction bilatérale ou unilatérale ; ce qui indiquait que ce facteur était négligeable dans le DBL observé. Une autre étude récente de Matkowski et al. (2011) a montré que le DBL dans les extenseurs du genou ne pouvait pas être expliqué par une différence dans le timing de la production de force entre les contractions bilatérales et unilatérales. Les auteurs indiquaient aussi que le DBL ne pouvait pas non plus s'expliquer par des changements dans l'activité EMG, la réponse M ou le niveau d'activation volontaire entre les conditions unilatérales et bilatérales, ce qui indiquait que les facteurs liés aux influences périphériques étaient peu en cause dans le DBL. En somme, il est peu probable que l'inhibition réflexe soit un facteur déterminant dans le DBL observé dans les muscles des membres.

Par ailleurs, des observations sur le rôle possible de changements dans l'activation des motoneurones ont été obtenues par Oda & Moritani (1994). Dans cette étude, les participants, tous droitiers, devaient produire des flexions rapides du coude en conditions unilatérales ou bilatérales. Dans cette dernière condition, la force résultante produite était diminuée par rapport à la résultante des conditions unilatérales et de manière plus significative dans le bras droit que le bras gauche. L'activité EMG du biceps gauche était similaire entre les conditions, contrairement à celle du biceps droit. La comparaison du spectre de puissance de l'EMG entre les deux conditions montrait une réduction dans le biceps droit par rapport au biceps gauche. Selon les auteurs, ces résultats suggéraient que le DBL était lié à une diminution du recrutement des unités motrices rapides de type II dans le bras dominant. Ces résultats concordaient avec ceux obtenus par Vandervoort et al. (1984) lors de mouvements d'extension de la jambe de type « *leg press* » et selon lesquels la diminution de l'activation des motoneurones innervant les fibres de type II serait en partie impliquée dans le déficit de force lors de contractions bilatérales. Il est probable que ces résultats reflètent des différences entre les groupes musculaires et des facteurs comme

le niveau d'entraînement des sujets.

1.2.2 Contribution de l'inhibition d'origine corticale

Contrairement à la conception classique selon laquelle seules les représentations motrices axiales et proximales (par ex. l'épaule) sont interconnectées via les fibres transcalleuses, on sait maintenant que les représentations des muscles du poignet et de la main sont aussi interconnectées (Carson 2005). Ces interconnexions offrent un substrat permettant aux aires motrices d'interagir mutuellement lors de la mise en jeu des muscles dans des conditions unilatérales ou bilatérales. Dans le cas du DBL, plusieurs études supportent le rôle de l'inhibition centrale au niveau des aires motrices primaires en tant que mécanisme principal. Les premières observations à cet égard ont été fournies par Oda et Moritani (Oda 1997) au moyen de l'EEG. Ces auteurs observaient en effet une suppression des potentiels corticaux moteurs impliqués dans la préparation motrice lors de contractions bilatérales maximales par rapport à la condition unilatérale.

Selon Oda (1997), cette suppression reflétait le résultat d'une inhibition interhémisphérique entre les deux aires motrices en lien avec le DBL. Cet auteur évoquait aussi la possibilité d'interactions inhibitrices dans les voies descendantes et la voie réticulospinale, en particulier, laquelle débute de manière bilatérale et se termine de manière ipsilatérale dans les funicules ventraux de la moelle. Dans une étude par imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Post et al. (2007) ont confirmé que l'activation du gyrus précentral (aire M1) lors des contractions bilatérales était effectivement diminuée en lien avec le DBL mesuré lors de CVM bilatérales de l'index par rapport à des contractions unilatérales. Les auteurs concluaient que le DBL reflétait un déclin dans l'activation du cortex moteur associé à une diminution des facilitations provenant des autres régions corticales en amont. Des preuves additionnelles concernant le rôle de l'inhibition centrale et des interactions hémisphériques dans le DBL ont été obtenues au moyen de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT). Ces preuves seront discutées dans la prochaine section.

1.2.3 Mécanismes impliqués dans la réduction des asymétries manuelles avec l'âge

Parmi les différentes tentatives pour expliquer pourquoi les différences de force inter-manuelles tendent à diminuer avec l'âge (alors qu'on pourrait penser le contraire), le modèle « HAROLD » (*Hemispheric Asymmetry Reduction in OLDER adults*) (Cabeza 2002) semble le plus abouti. Le modèle HAROLD suggère en effet une diminution de l'asymétrie dans l'activité hémisphérique avec l'avancement en âge. Ce modèle se base en grande partie sur les observations obtenues en neuro-imagerie fonctionnelle des patrons d'activation enregistrés lors de tâches motrices. Selon le modèle HAROLD la diminution de l'asymétrie avec l'âge serait liée à l'amélioration des performances de la main non dominante et non pas nécessairement au déclin de la main dominante. Tel que décrit dans la section précédente, plusieurs travaux sur les asymétries manuelles concordent avec le modèle HAROLD. Par contre, certains auteurs remarquent que la présence ou l'absence d'asymétries est fonction du type de tâches manuelles réalisées (Gooderham & Bryden 2014).

1.3. Stimulation magnétique transcrânienne (SMT)

Introduite en 1985 par Barker et collaborateurs, la SMT a innové en démontrant qu'il était possible de stimuler le cortex chez l'humain de manière non invasive au moyen de l'induction électromagnétique et ce, sans douleur. Depuis, la SMT est largement utilisée dans les études sur la physiologie du cerveau et la cartographie corticale, mais certains l'utilisent aussi à des fins thérapeutiques (Valero-Cabre et al. 2011). Le principe sous-jacent à la SMT repose sur l'induction d'un champ magnétique au moyen d'une bobine dans laquelle un courant de haut voltage est circulé. À ce champ magnétique pouvant atteindre jusqu'à 2 Tesla, est associé un champ électrique, lequel permet d'induire dans le cerveau un courant capable de dépolariser les neurones corticaux (Abbruzzese & Trompetto 2002). La forme de la bobine influence la focalisation de la stimulation et la plupart des études utilisent maintenant les bobines de type « papillon » en forme de « 8 », lesquelles permettent d'obtenir une stimulation plus focale par rapport aux bobines circulaires. La majorité des études de SMT ciblent les régions motrices corticales, et le cortex moteur primaire M1, en particulier, en raison de la possibilité de mesurer directement les effets de la stimulation corticale par le biais des potentiels évoqués moteurs (PEMs ou *MEPs* en anglais)

enregistrés par EMG dans les muscles des membres. À partir des PEMs, diverses mesures d'excitabilité peuvent être déduites.

1.3.1 Mesures d'excitabilité cortico-motrice

La SMT de M1 reflète une activation trans-synaptique des neurones corticaux que l'on peut mesurer au moyen d'électrodes sous-durales implantées dans la moelle. À faible et moyenne intensité, l'application de stimuli visant la région motrice induit des ondes indirectes (I1-I2) reflétant l'activation d'interneurones corticaux des couches supérieures (II et III), lesquels activent les neurones cortico-spinaux responsable du PME (Di Lazzaro & Rothwell 2014). Des stimulations à plus forte intensité évoquent des ondes indirectes additionnelles (I3-I4...), ce qui augmente la facilitation et la taille des PEMs. Seulement lors de stimulations à intensité maximale, on peut voir apparaître des ondes directes reflétant l'activation directe des neurones cortico-spinaux (Abbruzzese & Trompetto 2002). En somme, les effets de la SMT sur le cortex moteur reflètent surtout l'activation trans-synaptique des neurones cortico-spinaux via les interneurones des couches superficielles. C'est pourquoi l'amplitude et la latence des PEMs constituent des indices reflétant l'excitabilité intrinsèque et extrinsèque des neurones cortico-spinaux (Abbruzzese & Trompetto 2002). En présence de contractions volontaires, la latence des PEMs diminue et leur amplitude augmente en raison de l'augmentation de l'excitabilité corticale et de celle des motoneurones spinaux (Abbruzzese & Trompetto 2002). La SMT permet aussi de mesurer des phénomènes d'inhibition notamment à travers la période de silence (PS) (Schiller et al. 2009, Stevens-Lapsley et al. 2013). La PS contralatérale (PSc) est mesurée lorsque la SMT est appliquée pendant une contraction volontaire statique de faible intensité (10-30% CVM). La stimulation induit un PEM facilité suivi d'une interruption de l'activité EMG pouvant durer plus de 150 ms dans les muscles de la main. Cette période d'inhibition est d'origine spinale pour les premières 50 ms mais pour le reste elle reflète une inhibition corticale reflétant l'action des connexions GABAergique sur les neurones cortico-spinaux. En ce sens, la PSc constitue un marqueur neurophysiologique important pour explorer les changements survenant dans le système moteur associés à l'entraînement (Kidgell & Pearce 2011), au vieillissement (Rossini et al. 2007) ou à des pathologies.

1.3.2 Mesures d'inhibitions inter-hémisphériques (IHI)

Outre les mesures d'excitabilité reflétant les circuits intra-corticaux et les processus intra-hémisphériques, la SMT permet aussi d'explorer les interactions inter-hémisphériques (Reis et al. 2008). Deux techniques ont été développées à cet égard. L'une consiste à utiliser un paradigme de double stimulation avec une bobine appliquée sur chaque hémisphère, l'autre consiste à stimuler l'hémisphère ipsilatéral aux muscles en contraction maximale (Reis et al. 2008). La méthode de double stimulation utilise deux bobines pour produire une stimulation test et une stimulation conditionnée concomitantes. Cette technique permet de produire deux indices reflétant les interactions hémisphériques. Un indice à courte latence lorsque l'intervalle entre le stimulus test et la stimulation conditionnant est de ~8-10 ms (*Short-interval IHI : SIHI*) et un indice à longue latence lorsque l'intervalle est de 40-50 ms (*Long interval IHI : LIHI*). Les deux indices sont calculés au repos et mesurés par les PEMs dans les muscles homologues de chaque côté. Ils reflètent le processus dominant des interactions hémisphériques entre les cortex moteurs, soit l'inhibition mutuelle médiée par les connexions transcalleuses (Fling et al. 2011). L'autre technique consiste à évoquer une période de silence ipsilatérale (PSi). Contrairement à la double stimulation, la PSi est évoquée durant une contraction active au moyen d'une stimulation de haute intensité (e.g., ~120% seuil moteur) appliquée au cortex moteur du même côté. La stimulation ipsilatérale induit une réduction brève dans l'activité EMG du muscle en CVM qui traduit l'action des fibres transcalleuses du cortex moteur stimulé vers le cortex homologue activé volontairement. Le fait que la PSi soit absente chez un patient avec lésion dans le tiers postérieur du corps calleux confirme son origine calleuse (Li et al. 2013). En ce sens, tant la latence que la durée de la PSi sont considérées comme des mesures de l'inhibition transcalleuse. Bien que les mesures de SIHI/LIHI et de la PSi fournissent toutes les deux des indices des interactions hémisphériques motrices, elles doivent être considérées comme complémentaires et non identiques car leur base neuronale diffère (Chen et al. 2003).

1.3.3 Interactions hémisphériques et DBL étudiées par SMT

Une des premières études investiguant la question des réponses bilatérales au moyen de la SMT est celle de Bawa et al. (2004). Dans cette étude, les auteurs examinaient l'existence de projections bilatérales dans les muscles du membre supérieur. Au moyen d'impulsion simple, les auteurs testaient si la SMT pouvait évoquer des PEMs à la fois dans les muscles contralatéraux et ipsilatéraux homologues au repos et pendant des contractions. Les résultats montraient que 1) les réponses bilatérales étaient évoquées principalement dans les muscles proximaux (deltoïde et biceps) lors de contractions et que, 2) la probabilité variait grandement d'un sujet à l'autre. Ces données indiquaient que la présence et la force des projections bilatérales étaient variables entre les individus. Une autre étude sur la modulation des projections descendantes pendant des contractions bilatérales a été effectuée par Stinear & Byblow (2004). Ces auteurs comparaient la modulation des PEMs dans le *flexor carpi radialis* (FCR) lors de co-contractions du biceps ipsilatérales (condition unilatérale) et lors de co-contractions du biceps contralatérales (condition bilatérale). Les résultats montraient que la facilitation des PEMs du FCR du bras dominant était augmentée dans la condition unilatérale relativement à la condition bilatérale. Les auteurs concluaient que l'excitabilité corticale était plus grande en condition unilatérale que bilatérale. Dans l'ensemble, ces données indiquent qu'il existe une certaine variabilité entre les individus dans le contrôle bilatérale descendant, tel que testé avec la SMT, et que ces projections sont sujets à des modulations lors de contractions bilatérales.

En ce qui concerne les interactions hémisphériques, tel que testé avec la PSi, le travail de Giovannelli et al. (2009) a fourni des observations majeures sur le rôle des contractions bilatérales. En effet, ces auteurs ont investigué les effets des contractions volontaires des muscles de la main gauche sur la PSi évoquée dans les muscles de la main droite. Dans toutes les conditions, le cortex M1 droit était stimulé pendant une CVM du premier interosseux dorsal (PID) de la main droite. Les conditions testées impliquaient notamment, le repos et des contractions isométriques du PID gauche faibles ou maximales. En général, les auteurs observaient que l'activation du muscle PID gauche, quel que soit le niveau, se traduisait par une PSi plus longue et profonde, et donc, une IHI accrue. Ainsi, la contraction homologue du PID gauche, faible ou forte, avait un effet significatif sur la PSi induite à droite. En particulier, lors de la contraction maximale bilatérale des PID, la PSi était significativement plus profonde que lors de la contraction unilatérale du PID droit. Ces données indiquaient que la mise en jeu du cortex M1 droit pendant une activation maximale

du cortex M1 gauche facilitait l'IHI en provenance de l'hémisphère droit. Le fait que la PSi soit augmentée pendant l'effort bilatéral est en accord avec l'hypothèse d'une inhibition mutuelle entre les cortex MI comme facteur responsable du DBL.

Une étude par SMT de Yedimenko & Perez (2010) regardait aussi comment l'IHI et les PEMs étaient modulés dans des conditions bilatérales et unilatérales en relation avec la position de la main (pronation et supination) et la direction des forces (abduction/adduction). Les auteurs observaient une réduction des PEMs dans le PID dans les conditions bilatérales par rapport aux conditions unilatérales surtout lors de l'adduction de l'index droit. De même, l'IHI dirigée vers le PID gauche, augmentait avec les forces bilatérales par rapport aux forces unilatérales et aussi lors de mouvement d'adduction de l'index droit quel que soit la posture. Ces observations soulignaient que durant la génération de force bilatérale dans les muscles de la main, la direction des forces exercées peut moduler l'IHI entre les cortex M1. Dans une étude subséquente du même groupe (Soteropoulos & Perez 2011), les auteurs ont investigué au moyen de la SMT les interactions inter-hémisphériques en mesurant le SIHI et le LIHI dans le PID gauche durant des contractions isométriques du PID, du biceps et du triceps. Les données montraient que tant les SIHI que les LIHI étaient augmentées lors de contractions du PID par rapport à la contraction du biceps et du triceps. Ces observations confirment la spécificité des effets en termes d'interaction entre les cortex M1, les connexions entre les muscles homologues ayant une interaction mutuelle plus large et dense. Dans une étude plus récente, le même groupe (Perez et al. 2014) a renforcé cette hypothèse en montrant, au moyen de la PSi, que l'IHI était la plus importante lors de contractions bilatérales des muscles homologues du coude (fléchisseurs et extenseurs) que lors de contractions unilatérales. De plus, lors de contractions bilatérales de muscles non-homologues (p. ex. fléchisseurs droits avec extenseurs gauches), la PSi était diminuée par rapport à la condition bilatérale et même l'EMG était augmentée. En somme, l'inhibition transcalleuse entre les cortex M1 est facilitée lors de contractions bilatérales de muscles homologues alors qu'elle est inhibée lors de contractions de muscles non-homologues.

En résumé, les études de SMT dans leur ensemble confirment le fait que l'inhibition transcalleuse motrice est modulée différemment lors de contractions bilatérales par rapport aux contractions unilatérales et que son action est rehaussée lorsque des muscles

homologues sont activés conjointement. Ces observations ont des implications pour comprendre les bases physiologiques du phénomène de DBL ainsi que les asymétries dans les forces manuelles.

1.4 Objectifs du présent travail

L'objectif général de ce projet de thèse était d'abord de déterminer dans quelle mesure l'âge influence les différences de forces mesurées lors de contractions unilatérales et bilatérales en lien avec le phénomène de DBL dans les muscles de la main. Ensuite, nous avons voulu explorer les bases physiologiques sous-tendant les changements de force avec l'âge en lien avec les asymétries manuelles et le DBL au moyen de la SMT. Plus spécifiquement, nous avons tenté de déterminer si :

- 1) L'âge influence les asymétries mesurées dans les forces manuelles (pince digitale et préhension) lors de contractions unilatérales ainsi que la production de force lors de contractions bilatérales (DBL).
- 2) L'âge influence les asymétries reflétées dans les indices de latéralité entre les deux hémisphères dérivés des mesures de la SMT.
- 3) Il existe des corrélations entre les variations inter-individuelles dans les indices d'asymétries de force et le niveau de DBL, d'une part, et les indices de latéralité dérivés des mesures neurophysiologiques reflétant les processus intra- (seuil moteur, PEM, PSc) et inter-hémisphériques (PSi), d'autre part.

CHAPITRE II : MÉTHODES

2.1 Participants

Pour ce projet, 23 participants adultes en santé droitiers ont été recrutés. Les participants étaient répartis en deux groupes, soit un groupe jeune ($n=12$, 4 femmes, $26 \pm 1,9$ ans, étendu, 23-30 ans) et un groupe âgé ($n=11$, 5 femmes, $68 \pm 3,5$ ans, étendue 60-73). Les participants se présentaient pour une session (~ 2 h) au laboratoire de Neurosciences Clinique (IRB, pièce 704B). Pour être inclus dans l'étude, les participants devaient être en bonne santé, notamment exempts d'atteintes neurologiques ou d'atteintes orthopédiques/arthritiques aux membres supérieures. De plus, les participants ne devaient pas avoir de contre-indications pour la SMT, tel qu'évalué par le questionnaire de santé pour la SMT. Le niveau d'activité physique des participants a été évalué au moyen du Questionnaire de Pratique Générale de l'Activité Physique ([GPPAQ](#)), un outil validé disponible en ligne. La préférence manuelle pour la main droite a été déterminée par le questionnaire modifié d'Edinburgh. Les scores moyens de latéralité obtenus étaient respectivement de 85 ± 4.6 et de 95 ± 5.0 pour les jeunes et les âgés, ce qui confirme la latéralisation pour la main droite dans les deux groupes. Une période de familiarisation du matériel et des consignes précédait chaque session de collecte de données.

2.2 Détermination des forces en condition unilatérale et bilatérale (UL et BL)

Les mesures de force ont été effectuées suivant le protocole décrit par Wadsworth (1991). La force de préhension était mesurée au moyen de dynamomètres électroniques manuels CAMRY (modèle *EH101*; *Zhongshan Camry Electronic Co. Ltd.*, Zhongshan, Guangdong, Chine), alors que la force de la pince digitale (pince latérale pouce-index) était mesurée avec les dynamomètres manuels (Baseline[®], Fabrication Enterprises, Inc., White Plains, NY, É-U). Toutes les mesures ont été complétées en position assise, le regard fixe, les bras le long du corps avec le coude placé à 90° de flexion afin d'éviter les interférences posturales. Les participants étaient testés dans les conditions BL et UL suivant un ordre aléatoire préétabli et contrebalancé. Chaque condition était répétée à trois reprises pour la prise de données. Dans la condition UL, l'ordre de test entre la main droite et la main gauche était, elle aussi, contrebalancé. La même procédure a été utilisée pour tous les tests

de force. Avec le participant en place et le dynamomètre en main, les sujets devaient produire une contraction volontaire maximale (CVM) en exerçant une force pour une durée de 4 s en synchronisant leur contraction avec un timbre sonore produit par l'ordinateur. Un intervalle de repos de 1 minute était accordé entre chaque essai et une pause de 5 minutes, séparait les blocs d'essais pour les conditions UL et BL. Pour la condition BL, les participants devaient exercer simultanément et conjointement une CVM dans chaque main, en utilisant le CAMRY pour la force de préhension, et le dynamomètre Baseline pour la pince digitale. Dans la condition UL, la force était exercée alternativement entre la main droite ou la main gauche. Les valeurs de force en kg étaient lues puis entrées directement dans un tableur Excel. L'activité électromyographique des muscles de l'avant-bras et de la main pendant les contractions était aussi enregistrée. Notez cependant que ces données EMG ne sont pas rapportées dans le présent travail.

2.3 Enregistrements électromyographiques (EMG)

L'activité EMG a été enregistrée au moyen d'électrodes de surface de type barre du système Delsys (modèle DE-2.1; Delsys Inc., Boston, MA, États-Unis) appliquées sur les muscles de la main. Après amplification et filtrage (Bagnoli™ 4 System, Delsys Inc., bande=6–450 Hz, gain=1,000), les signaux ont été numérisés à un taux d'échantillonnage de 2 KHz au moyen d'un PC fonctionnant sous Microsoft® Windows® XP et équipé d'une carte d'acquisition analogue/numérique (PCI-63203, National Instrument Corp. Austin, TX, USA).

2.4 Évaluation neurophysiologique par stimulation magnétique transcrânienne (SMT)

Pour l'évaluation neurophysiologique, les participants étaient toujours assis confortablement dans une chaise d'enregistrement. La SMT était appliquée au moyen d'un stimulateur Magstim 200 (Magstim Co. Whitland, UK) connecté à une bobine focale en figure 8 (90 mm de diamètre). Pour la SMT, le muscle ciblé était le premier interosseux dorsal (PID) à partir duquel les potentiels évoqués moteurs (PEMs) ont été enregistrés. Pour faciliter la localisation de la représentation des muscles de la main testée, un casque EEG

(modèle *Waveguard*TM Original, ANTNA, Madison, WI, États-Unis) compatible avec la SMT était placé sur la tête des participants. Avec la bobine orientée à 45° dans le plan mi sagittal, la zone a été explorée sur l'hémisphère contralatérale à la main testée afin d'identifier la représentation de la main et le « hot spot » pour le PID. Une fois ce site identifié et marqué, le seuil moteur (Franz et al. 2000) a été déterminé à l'aide du logiciel *Motor Threshold Assessment Tool* (version 2.0; Clinical Researcher, Knoxville, TN, États-Unis). Ce logiciel permet une estimation rapide du seuil moteur (SM) en utilisant une stratégie probabiliste basée sur l'algorithme d'estimation paramétrique par testing séquentiel (*PEST : Parameter Estimation by Sequential Testing*). La même procédure a été répétée pour déterminer le SM de l'autre hémisphère.

2.5 Détermination des périodes de silence ipsi- et contralérales (PSi et PSc) en UL et BL

Dans le cadre de ce projet, les PSi et PSc ont été déterminées sur le couple « hémisphère gauche/main droite » et « hémisphère droit/main gauche », le protocole pour les PSi et PSc se répétant pour les deux hémisphères. Pour la PSc, les participants devaient générer une contraction légère (10% CVM) de la pince digitale en exerçant une force contre le dynamomètre pour une durée de 4 s en synchronisation avec un timbre sonore généré par l'ordinateur. Une stimulation était alors appliquée sur l'hémisphère contralatéral à la main testée à 2500 ms à une intensité équivalant à 130% du SM. Trois essais ont été mesurés avec un intervalle de 1 min entre les essais. Pour la PSi, le même protocole a été reproduit sauf que la SMT (130% SM à 2500 ms) était appliquée sur l'hémisphère ipsilatéral à la main testée. Les sujets devaient produire une contraction maximale de la main testée (ipsilatérale) et en même temps exercer une force minimale avec la main opposée. Encore une fois, trois essais ont été mesurés. Les données de chaque essai ont été enregistrées sur le PC pour une analyse ultérieure.

2.6 Analyse des données de force lors des contractions UL et BL

Pour chaque participant, les données de forces pour la pince et la préhension ont été moyennées pour chaque main dans les conditions unilatérales et bilatérales. Pour les forces

unilatérales de la pince et de préhension, des indices de latéralité (IL) ont été calculés en utilisant la formule suivante :

$$IL = (R-L) / (R+L) * 100$$

(R, main droite ; L, main gauche)

Un $IL > 0$ indique une asymétrie plus marquée vers la main dominante (i.e, latéralisation droite).

Pour le DBL, il a été estimé au moyen de l'indice bilatéral (IBL) tel que :

$$IBL = 100 * (BL_{tot} / UL_D + UL_G) - 100.$$

Un $IBL > 0$ indique une facilitation bilatérale alors qu'un $IBL < 0$ indique un déficit dans la production de force (Howard & Enoka 1991).

2.7 Analyse des données neurophysiologiques

Pour chaque participant, les mesures dérivées de la TMS incluant le seuil moteur, amplitude des PEMs, les PSc et PSi ont été compilées pour chaque hémisphère. Dans le cas des PEMs, des PSc et PSi, les mesures représentaient la moyenne des essais effectués pour l'hémisphère stimulé. Pour les PEMs, l'amplitude représentait la moyenne de la taille des PEMs pointe-à-pointe en μV . Pour l'analyse des PS, nous avons utilisé un procédé automatique de détection basé sur un script développé sur *Matlab* (version 2015b, The Mathworks, Inc., Natick, MA, États-Unis) pour déterminer le début et la fin de la période de silence (Garvey et al. 2001). Pour la PSc, on a d'abord rectifié le signal EMG avant de détecter le début et la fin de la période de silence. Le début de la période de silence correspondait à apparition du PEM alors que la fin de la période de silence était déterminée par le point où l'activité EMG retournait à 67% de la limite des variations mesurées dans période pré-stimulation. Pour la PSi, les tracés ont d'abord été rectifiés et le niveau EMG pré-stimulation a été estimé pour 100 ms avant la TMS. Le début de PSi a été déterminé sur la base du 1^{er} point où l'activité EMG tombait en dessous du niveau pré-stimulus pour au moins 5 ms consécutives (c'est-à-dire, 10 points à une fréquence de 2000 Hz). À l'opposé, la fin de la PSi correspondait au point où l'activité EMG retournait au niveau préstimulation pour au moins 5 ms. À partir, du début et de la fin de la PSi, nous avons

dérivé deux indices : 1) La latence de l'inhibition transcalleuse ($LIT = PSi_{\text{début}}$) et 2) la durée de de l'inhibition transcalleuse ($DIT = PSi_{\text{Fin}} - PSi_{\text{Début}}$). Les données issues du procédé de détection automatique ont été vérifiées visuellement tant pour la PSc que pour la PSi afin de corriger des erreurs possibles liées, par exemple, à l'artéfact dans les tracés.

Tout comme les données de force, les données neurophysiologiques ont aussi été transformées afin estimer le degré de latéralité en prenant l'hémisphère gauche, dominant chez nos groupes de droitiers, comme base de comparaison. Ainsi pour chaque mesure, un indice de latéralité a été calculé sur la base de la formule suivante :

$$IL = ((L-R)/(R+L)) * 100$$

(L : M1 Gauche, R : M1 droit)

Ainsi, un $IL > 0$ indique une asymétrie plus marquée vers le M1 gauche, alors qu'un $IL < 0$ signale une asymétrie plus marquée vers le M1 droit.

2.8 Analyse statistique.

Aux fins d'analyses, les données ont été regroupées en trois catégories : 1) forces manuelles (Pince, Préhension), 2) mesures d'excitabilité intra (SM, PEMs, durée PSc) et 3) mesure d'inhibition transcalleuse (DIT, LIT). Ces données regroupées ont été ensuite soumises à des analyses de variance multivariées (MANOVA) en utilisant le facteur «Main/Hémisphère» (droit vs. gauche) comme facteur répétés intra-sujets et les facteurs Groupe (jeune vs. âgé) et Sexe (femme vs. homme) comme facteur inter-sujets. En présence d'effets significatifs multivariés, le résultat des tests univariés a été utilisé pour examiner la contribution respective des variables aux effets et interactions. Pour les simples comparaisons entre groupes, le test de « t » indépendant a été utilisé. Finalement, nous avons utilisés les tests de corrélation de Pearson pour examiner les associations possibles entre les variations observées dans les forces manuelles et les variations correspondantes dans les mesures neurophysiologiques. Le niveau de significativité a été fixé à $p < 0.05$ pour tous les tests. Toutes les analyses ont été effectuées en utilisant les logiciels statistiques

SPSS 21 pour *Windows* (IBM Inc., Armonk, NY, États-Unis) et *GraphPad Prism 5.0* pour *Windows* (*GraphPad Software*, La Jolla, CA, États-unis; www.graphpad.com).

CHAPITRE III : RÉSULTATS

3.1 Observations générales et les forces manuelles

Tous les participants ont complété les tests sans difficulté tant pour les mesures de force que les mesures de SMT. Au niveau de la force de la pince digitale, le groupe jeune présentait des forces moyennes de 10.7 ± 2.4 kg à droite et de 10.1 ± 2.1 kg à gauche alors que les aînés présentaient des moyennes de 9.4 ± 2.8 kg à droite et 9.1 ± 2.6 kg à gauche. Pour la force de préhension, les moyennes à droite et à gauche pour les jeunes étaient de 45.7 ± 12 kg et 43.0 ± 12.5 kg à droite et à gauche, alors que pour les aînés, les moyennes droites et gauches étaient 36.3 ± 15.1 kg et 35 ± 13.3 kg respectivement.

3.2 Effet de l'âge et du sexe sur asymétrie de force et DBL

La figure 1 illustre les différences inter-manuelles dans les forces mesurées pour les deux groupes ainsi que les indices de latéralité et le DBL. On peut voir que les niveaux de forces sont légèrement plus bas dans le groupe aîné que dans le groupe jeune (Fig. 1a et 1b). On peut voir aussi que les différences inter-manuelles en faveur de la main droite sont assez similaires entre les groupes. Le test multivarié (MANOVA) révélait un effet significatif des facteurs « Main/Hémisphère » ($F=8.99$, $p=0.002$) et aussi du facteur Sexe ($F=28.6$, $p<0.001$) mais pas d'effet de « Groupe », ce qui indiquait que les niveaux de force n'étaient globalement pas influencés par l'âge. L'interaction « Hémisphère x Groupe » n'était pas non plus significative ($F=0.98$, $p=.40$), ce qui indiquait que les différences inter-manuelles étaient comparables entre les groupes, ce qui est confirmé par la distribution des indices de latéralité (Fig. 1c). Le test univarié a confirmé l'effet majeur du facteur « Main/Hémisphère » tant pour la pince digitale que pour la préhension ($F>9.0$, $p<0.006$). Concernant le DBL, comme le montre la figure 1d, la distribution des indices bilatéraux était comparable entre les groupes, même si, en moyenne, le groupe aîné présentait un DBL moins prononcé que le groupe jeune (-3.2% vs. -6.0% , respectivement). Cette différence entre les groupes n'était pas statistiquement significative ($t_{21}=1.0$, $p=0.32$). Enfin, la comparaison du DBL selon le sexe, et sans égard au groupe d'âge, montrait une tendance pour un DBL plus élevé chez les femmes que chez les hommes (-7.2 vs. -3.0%), mais cette différence encore une fois n'était pas statistiquement significative ($t_{21}=-1.5$, $p=0.15$).

3.3 Différences inter-hémisphériques dans les mesures d'excitabilité

Les différences entre les deux hémisphères dans les mesures d'excitabilité sont illustrées sur la figure 2 pour les deux groupes. La figure 2 montre aussi les indices de latéralité calculés dans les deux groupes. La présence de différences inter-hémisphériques est notable surtout pour les SM et les PEM facilités dans le groupe aîné. Le test multivarié a permis de détecter un effet significatif du facteur « Hémisphère » ($F=4.4$, $p=0.02$) mais pas d'interaction avec le facteur « Groupe » ($F=2.0$, $p=0.14$) ni avec le facteur « Sexe » ($F=2.2$, $p=0.14$). Les tests univariés ont montré que l'effet de l'hémisphère étaient lié aux différences inter-hémisphériques dans les mesures de SM ($F=4.01$ $p=0.05$; Fig. 2a) et dans les PEMs facilités ($F= 9.0$, $p=0.007$; Fig. 2b) mais pas dans la PSc ($F=1.9$, $p=0.17$; Fig. 2c). Il est à noter que ces différences (SM et PEMs) étaient surtout notables dans le groupe aîné. Par contre, comme le montre la distribution des indices de latéralité (Fig. 2d et 2e), dans l'ensemble les sujets âgés ne montraient pas de plus grandes asymétries vers le M1 gauche (signe positif) que les jeunes, aucune différence significative n'étant détectée lors de la comparaison des indices de latéralité entre les groupes pour les mesures de SM, PEM facilité et PSc ($t_{21}>1.4$, $p<0.15$).

3.4 Différences inter-hémisphériques dans les mesures d'inhibition transcalleuse

La figure 3 montre les différences entre les deux hémisphères mesurés pour les valeurs de LIT et DIT dans les deux groupes (Fig 3a et 3b) ainsi que les indices de latéralité calculés pour ces mesures (Fig. 3c et 3d). On constate que les différences entre hémisphères sont généralement minimales. En effet, le test multivarié a révélé qu'aucun des facteurs (Hémisphère, Groupe, Sexe) n'avait d'effet sur les mesures de LIT et DIT ($F<2.8$, $p>0.09$). La figure 3 (c et d) montre bien aussi l'absence de différences entre les groupes dans la distribution des indices de latéralité, aucune différence n'étant détectée dans les tests de t ($t_{21}<0.95$, $p>0.35$)

3.5 Corrélation entre les indices de latéralité pour la force, entre le DBL et les indices de latéralité dans les mesures neurophysiologiques

Le résultat des différentes corrélations est présenté dans le Tableau 1. Comme on peut le voir, pour les indices de latéralité de la pince digitale et de la préhension, les coefficients sont en général très faibles. De fait, seule l'indice de la pince digitale montre une corrélation positive significative avec l'indice de la DIT (Fig. 4a). Pour le DBL, aucune des corrélations n'était significatives. Par contre, une analyse secondaire plus fine des relations entre le DBL et les mesures dérivées de la SMT indiquaient que dans le groupe jeune, le niveau de DBL était corrélé inversement avec l'indice de latéralité calculé pour les PEMs facilités (Fig. 4b), de sorte que ceux montrant une plus grande asymétrie favorisant l'excitabilité du cortex M1 gauche (↑taille des PEMs) montrait aussi un niveau de DBL plus prononcé (↑ valeur négative). La même analyse effectuée dans le groupe âgé montrait seulement une tendance non significative ($r = 0.51$; $p = 0.10$) et dans le sens inverse.

CHAPITRE IV : DISCUSSION

4.1 Discussion :

L'objectif principal de cette étude était d'examiner les effets de l'âge sur la production de forces manuelles dans des conditions unilatérales et bilatérales pour étudier notamment les questions d'asymétries manuelles et du phénomène de DBL. Le but était aussi d'explorer les bases neurophysiologiques de ces phénomènes au moyen de la SMT. Les résultats montrent que les asymétries de force en faveur de la main dominante ne sont pas significativement modifiées avec l'âge. Même constat pour le DBL, qui n'est pas non plus significativement modifié avec l'âge. Même si les mesures de TMS ont mis en évidence quelques différences inter-hémisphériques surtout chez les aînés, ces différences restaient mineures. Les données neurophysiologiques montraient aussi que les indices de latéralité calculés pour les mesures d'excitabilité et d'inhibition transcalleuse n'étaient pas significativement affectés par l'âge. Finalement, les résultats montraient que les indices de latéralité pour les forces manuelles ainsi que le niveau de DBL étaient faiblement corrélés avec les indices similaires calculés pour les mesures d'excitabilité et d'inhibition transcalleuse. Par contre, certaines corrélations intéressantes ont pu être mises en évidence, notamment celle liant l'asymétrie de la pince digitale avec l'asymétrie de l'inhibition transcalleuse. Dans la prochaine section, nous allons tenter d'interpréter ces résultats et aussi de les mettre en perspective.

4.1.1 Différences bilatérales dans les forces manuelles avec l'âge

En ce qui concerne les mesures de force, nos données montraient des réductions avec l'âge de l'ordre de 8% pour la pince digitale et de 20% pour la préhension, en accord avec les données de Mathiowetz et al. (1985). Pour la pince digitale, la réduction avec l'âge est moins prononcée que celle rapportée dans l'étude de Ranganathan et al. (2001), mais cette étude comportait des sujets en moyenne plus âgés que dans la nôtre. Le fait que notre groupe aîné était relativement jeune et actif physiquement explique probablement l'absence d'effet significatif de l'âge sur les forces manuelles que nous avons retrouvé dans nos résultats. Concernant les asymétries droite-gauche, les différences notées entre les groupes

pour la pince digitale (aînés, 1.8 % ; jeunes, 2.4 %) et la préhension (aînés, 1.1 %; jeunes, 3.5 %) concordent avec la tendance observée dans la littérature vers une réduction de l'asymétrie avec l'âge. Nos observations sont donc en accord avec les études antérieures (Chua et al. 1995, Francis & Spirduso 2000) et avec le modèle HAROLD (Cabeza 2002). En lien avec ces observations, la comparaison des indices de latéralité ne montrait pas aussi de différences entre les groupes, ce qui renforce la notion que les effets de dominance manuelle n'augmentent pas avec l'âge, en accord avec le modèle HAROLD. Il faut noter aussi que les asymétries inter-manuelles ne dépassaient pas 10 % dans nos deux groupes, ce qui est conforme aux normes concernant les différences bilatérales de force dans les extrémités chez les populations en santé (Sapega 1990).

Quant au DBL, nos résultats indiquent que le déficit tendait à diminuer avec l'âge, bien que la différence ne fût pas significative entre les groupes. Ce résultat concorde avec les travaux d'autres chercheurs sur différents groupes musculaires et montrant l'absence d'effet lié à l'âge dans les niveaux de DBL (Hernandez et al. 2003, Kuruganti et al. 2005, Kuruganti & Seaman 2006). Outre les effets de l'âge, nos données confirment le fait que le DBL ne semble pas différent entre les hommes et les femmes. Il est vrai par contre que nos groupes étaient de petites tailles et que, comme remarqué, notre groupe d'aînés était composé de personnes actives et relativement « jeunes », ce qui limite la portée de nos conclusions. On peut postuler qu'avec une cohorte plus grande et plus âgée, la tendance vers la réduction du DBL avec l'âge que nous avons observé aurait pu se concrétiser, comme l'on rapporté certains auteurs (Beurskens et al. 2015).

En résumé, nos observations sur les forces manuelles concordent en majeure partie avec les données de la littérature concernant les asymétries inter-manuelles et le DBL.

4.1.2 Différences inter-hémisphériques dans les mesures d'excitabilité et d'inhibition transcalleuse

Concernant les mesures d'excitabilité, nos données montrent que l'âge a peu d'effets sur le SM, les PEM facilités et la PSc, ce qui rejoint les observations précédentes effectuées dans ce laboratoire par Davidson & Tremblay (2013). Par contre, contrairement à leur étude, des différences inter-hémisphères ont été notées pour le SM et les PEM facilités. Comme indiqué auparavant, ces asymétries étaient surtout influencées par les données du

groupe aîné et du fait que, contrairement à l'étude de Davidson & Tremblay, nos sujets étaient exclusivement et fortement droitiers. Il faut noter que la littérature sur les différences inter-hémisphériques dans les mesures de base d'excitabilité est assez variable, avec à peu près autant d'étude montrant des différences (Triggs et al. 1997, Brouwer et al. 2001, De Gennaro et al. 2004) que d'absence de différence (Davidson & Tremblay 2013). Dans cette étude, nous avons aussi utilisé les indices de latéralité pour caractériser la dominance hémisphère gauche/main droite et nos comparaisons ont montré que la distribution des indices pour les mesures d'excitabilité était similaire entre les groupes; indiquant encore une fois que l'âge ne s'accompagnait pas d'une plus grande asymétrie en faveur de l'hémisphère dominant.

En ce qui concerne les mesures d'inhibition transcalleuse, en accord avec les données de Davidson et Tremblay (2013), nos observations montraient que les différences inter-hémisphériques étaient minimales tant dans les mesures de LIT que dans la DIT. Par contre, nous n'avons pas détecté d'effet de l'âge sur ces mêmes mesures, alors que d'autres études ont montré que les mesures d'inhibition motrice transcalleuse étaient affectées avec l'âge (Davidson & Tremblay 2013, Petitjean & Ko 2013). Par contre, il faut noter que nos comparaisons, bien que non significatives, indiquent quand même une LIT plus retardée (~1.5 ms en moyenne) ainsi qu'une diminution de la DIT (~4 ms en moyenne) chez les aînés par rapport aux jeunes (voir la Figure 3 b). Nos données vont donc dans le même sens que les observations précédentes en regard des effets du vieillissement sur l'inhibition motrice transcalleuse.

4.1.3 Associations entre indices de force, DBL et indices neurophysiologiques

Bien que la majorité des corrélations entre indices de force et indices neurophysiologiques était plutôt faible, nos résultats ont quand même mis en évidence deux corrélations intéressantes. La première montrait une corrélation positive entre le degré de latéralité dans la pince digitale et le degré de latéralité dans la DIT, de sorte que les individus montrant une plus grande asymétrie droite de la force montraient aussi une plus grande asymétrie de la DIT en faveur du M1 gauche. Ces résultats viennent corroborer les observations antérieures de Davidson & Tremblay (2013) montrant une corrélation entre la

force (en kg) de la pince digitale dominante et les niveaux absolus de DIT mesurés en ms du M1 dominant vers le M1 non dominant chez des sujets jeunes et âgés. L'aspect novateur de nos résultats est de mettre en évidence une telle relation en utilisant les indices de latéralité reflétant le degré d'asymétrie tant dans la force que les mesures d'inhibition transcalleuse. Il faut aussi insister sur le fait que cette corrélation concernait seulement les forces de la pince digitale et non la force de préhension. En ce sens, nos résultats sont en accord avec ceux de Triggs et al. (1997), qui eux aussi observaient de plus fortes corrélations pour les asymétries de dextérité et la pince digitale que pour la force de préhension en liens avec les asymétries dans les mesures de SMT.

La seconde corrélation concernait la relation inverse établie entre l'asymétrie corticale gauche dans la facilitation des PEMs et l'importance du DBL chez les jeunes. Les PEMs représentent un indice critique de l'excitabilité des projections corticospinales, il est donc intéressant de constater leur interaction avec le DBL. La relation observée met en évidence le fait que les sujets démontrant une plus grande asymétrie d'excitabilité en faveur du M1 gauche étaient aussi ceux qui démontraient un niveau plus marqué de DBL; ce qui laisse penser que ces sujets démontraient aussi une meilleure capacité à faciliter les projections vers la main dominante. Il est possible que ces sujets aient aussi une plus grande capacité à inhiber le cortex M1 opposé via l'inhibition transcalleuse, mais cela est peu probable étant donné que les corrélations entre le DBL et les indices dérivés de la DIT et la LIT étaient très faibles. En lien avec cette question, nous avons examiné les corrélations entre les indices de latéralité des PEMs facilités et ceux calculés avec la LIT et la DIT chez les jeunes et celles-ci étaient toutes très faibles ($r < 0.23$, $p > 0.049$). Donc, il semble que l'asymétrie reflétée dans la taille des PEMS soit un meilleur marqueur que les mesures d'inhibition transcalleuse pour expliquer le DBL. Finalement, le fait que nous ayons trouvé cette corrélation uniquement dans le groupe jeune est difficile à expliquer mais peut-être lié au fait que les asymétries inter-manuelles et aussi le DBL tendent à s'atténuer avec l'âge, d'où la difficulté à établir des corrélations sur la base d'asymétries.

4.2 Limites de l'étude

Comme mentionné dans le texte, la présente étude comporte des limites sur lesquelles il faut s'attarder. La première limite concerne la taille d'échantillon. Notre échantillon de

participants comprenait 23 sujets (12 dans le groupe jeune et 11 dans le groupe âgé); ce qui a certes contribué à limiter notre capacité à détecter des effets en lien avec l'âge notamment. Ensuite, le fait que notre groupe d'âgés était en moyenne relativement jeune (68 ± 3.5 ans) et actif peut avoir contribué à masquer aussi les effets de l'âge. En effet, la plupart des participants âgés (et les jeunes aussi d'ailleurs) ont été classés comme actifs selon les résultats au GPPAQ. Finalement, le fait que le DBL ait été mesuré uniquement pour la préhension est une autre limite car comme nous l'avons souligné, les mesures de SMT (faisceau corticospinal latéral) semblent plus étroitement corrélées avec la fonction de la pince digitale qu'avec la force de préhension. Pour les prochaines études, il serait préférable d'orienter les travaux sur l'indice de DBL dans les pinces digitales plutôt que dans la force de préhension.

CHAPITRE V : CONCLUSION

5.1 Conclusion :

En conclusion, cette étude a permis de mettre en évidence plusieurs aspects intéressants relatifs aux effets du vieillissement dans la production de forces manuelles dans des efforts unilatéraux et bilatéraux et leurs bases neurophysiologiques. En ce qui concerne les efforts unilatéraux, nos données confirment que les effets de dominance manuelle ne sont pas plus prononcés avec l'âge et que la capacité à produire de la force reste très comparable aux jeunes surtout pour la pince digitale. Lors d'efforts bilatéraux, le DBL estimé dans la force de préhension tend à être plus marqué chez les jeunes que les aînés, mais ces différences ne sont pas significatives. Nos données montrent aussi qu'en général il n'existe pas de différence d'âge dans les asymétries retrouvées dans les mesures d'excitabilité et d'inhibition transcalleuse dérivées de la SMT, même si notre population de sujets âgés fortement droitiers tendait à montrer des asymétries pour les SM et les PEMs. Enfin, notre analyse de corrélations a permis de confirmer le lien entre les asymétries droites dans la force de la pince digitale et les asymétries corticales en faveur de l'hémisphère gauche pour l'inhibition transcalleuse chez nos participants jeunes et âgés. Nos corrélations ont mis aussi en évidence le fait que les asymétries reflétées dans la taille des PEMs en réponse à la SMT seraient possiblement un bon marqueur pour établir des relations avec le DBL dans les forces manuelles.

Références:

Abbruzzese, G. and C. Trompetto (2002). "Clinical and research methods for evaluating cortical excitability." J Clin Neurophysiol **19**(4): 307-321.

Ashe, J. (1997). "Force and the motor cortex." Behav Brain Res **87**(2): 255-269.

Aune, T. K., M. A. Aune, G. Ettema and B. Vereijken (2013). "Comparison of bilateral force deficit in proximal and distal joints in upper extremities." Hum Mov Sci **32**(3): 436444.

Bawa, P., J. D. Hamm, P. Dhillon and P. A. Gross (2004). "Bilateral responses of upper limb muscles to transcranial magnetic stimulation in human subjects." Exp Brain Res **158**(3): 385-390.

Beurskens, R., A. Gollhofer, T. Muehlbauer, M. Cardinale and U. Granacher (2015). "Effects of heavy-resistance strength and balance training on unilateral and bilateral leg strength performance in old adults." PLoS One **10**(2): e0118535.

Brouwer, B., M. V. Sale and M. A. Nordstrom (2001). "Asymmetry of motor cortex excitability during a simple motor task: relationships with handedness and manual performance." Exp Brain Res **138**(4): 467-476.

Cabeza, R. (2002). "Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model." Psychol Aging **17**(1): 85-100.

Carson, R. G. (2005). "Neural pathways mediating bilateral interactions between the upper limbs." Brain Res Brain Res Rev **49**(3): 641-662.

Chen, R., D. Yung and J. Y. Li (2003). "Organization of ipsilateral excitatory and inhibitory pathways in the human motor cortex." J Neurophysiol **89**(3): 1256-1264.

Chua, R., B. J. Pollock, D. Elliott, L. R. Swanson and H. Carnahan (1995). "The Influence of Age on Manual Asymmetries in Movement Preparation and Execution." Developmental Neuropsychology **11**(1): 129-137.

Cornwell, A., N. Khodiguian and E. J. Yoo (2012). "Relevance of hand dominance to the bilateral deficit phenomenon." Eur J Appl Physiol **112**(12): 4163-4172.

Crosby, C. A., M. A. Wehbe and B. Mawr (1994). "Hand strength: normative values." J Hand Surg Am **19**(4): 665-670.

Davidson, T. and F. Tremblay (2013). "Age and hemispheric differences in transcallosal inhibition between motor cortices: an ipsilateral silent period study." BMC Neurosci **14**(1): 62.

Davidson, T. and F. Tremblay (2013). "Hemispheric differences in corticospinal excitability and in transcallosal inhibition in relation to degree of handedness." PLoS One **8**(7): e70286.

De Gennaro, L., R. Cristiani, M. Bertini, G. Curcio, M. Ferrara, F. Fratello, V. Romei and P. M. Rossini (2004). "Handedness is mainly associated with an asymmetry of corticospinal excitability and not of transcallosal inhibition." Clin Neurophysiol **115**(6): 1305-1312.

Di Lazzaro, V. and J. C. Rothwell (2014). "Corticospinal activity evoked and modulated by non-invasive stimulation of the intact human motor cortex." J Physiol **592**(19): 4115-4128.

Dunstheimer, D., H. Hebestreit, B. Staschen, H. M. Strassburg and R. Jeschke (2001). "Bilateral deficit during short-term, high-intensity cycle ergometry in girls and boys." Eur J Appl Physiol **84**(6): 557-561.

Fling, B. W., S. J. Peltier, J. Bo, R. C. Welsh and R. D. Seidler (2011). "Age differences in interhemispheric interactions: callosal structure, physiological function, and behavior." Front Neurosci **5**: 38.

Francis, K. L. and W. W. Spirduso (2000). "Age differences in the expression of manual asymmetry." Exp Aging Res **26**(2): 169-180.

Franz, E. A., K. E. Waldie and M. J. Smith (2000). "The effect of callosotomy on novel versus familiar bimanual actions: a neural dissociation between controlled and automatic processes?" Psychological Science **11**(1): 82-85.

Garvey, M. A., U. Ziemann, D. A. Becker, C. A. Barker and J. J. Bartko (2001). "New graphical method to measure silent periods evoked by transcranial magnetic stimulation." Clin Neurophysiol **112**(8): 1451-1460.

Giovannelli, F., A. Borgheresi, F. Balestrieri, G. Zaccara, M. P. Viggiano, M. Cincotta and U. Ziemann (2009). "Modulation of interhemispheric inhibition by volitional motor activity: an ipsilateral silent period study." J Physiol **587**(Pt 22): 5393-5410.

Gooderham, S. E. and P. J. Bryden (2014). "Does your dominant hand become less dominant with time? The effects of aging and task complexity on hand selection." Dev Psychobiol **56**(3): 537-546.

Hakkinen, K., W. J. Kraemer and R. U. Newton (1997). "Muscle activation and force production during bilateral and unilateral concentric and isometric contractions of the knee extensors in men and women at different ages." Electromyogr Clin Neurophysiol **37**(3): 131-142.

Henry, F. M. and L. E. Smith (1961). "Simultaneous vs. Separate Bilateral Muscular Contractions in Relation to Neural Overflow Theory and Neuromoter Specificity." Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation **32**(1): 42-46.

- Hernandez, J. P., N. L. Nelson-Whalen, W. D. Franke and S. P. McLean (2003). "Bilateral index expressions and iEMG activity in older versus young adults." J Gerontol A Biol Sci Med Sci **58**(6): 536-541.
- Howard, J. D. and R. M. Enoka (1991). "Maximum bilateral contractions are modified by neurally mediated interlimb effects." J Appl Physiol (1985) **70**(1): 306-316.
- Incel, N. A., E. Ceceli, P. B. Durukan, H. R. Erdem and Z. R. Yorgancioglu (2002). "Grip strength: effect of hand dominance." Singapore Med J **43**(5): 234-237.
- Jakobi, J. M. and P. D. Chilibeck (2001). "Bilateral and unilateral contractions: possible differences in maximal voluntary force." Can J Appl Physiol **26**(1): 12-33.
- Janzen, C. L., P. D. Chilibeck and K. S. Davison (2006). "The effect of unilateral and bilateral strength training on the bilateral deficit and lean tissue mass in post-menopausal women." Eur J Appl Physiol **97**(3): 253-260.
- Khodiguan, N., A. Cornwell, E. Lares, P. A. DiCaprio and S. A. Hawkins (2003). "Expression of the bilateral deficit during reflexively evoked contractions." J Appl Physiol (1985) **94**(1): 171-178.
- Kidgell, D. J. and A. J. Pearce (2011). "What has transcranial magnetic stimulation taught us about neural adaptations to strength training? A brief review." J Strength Cond Res **25**(11): 3208-3217.
- Kuruganti, U., T. Murphy and T. Pardy (2011). "Bilateral deficit phenomenon and the role of antagonist muscle activity during maximal isometric knee extensions in young, athletic men." Eur J Appl Physiol **111**(7): 1533-1539.
- Kuruganti, U., P. Parker, J. Rickards, M. Tingley and J. Sexsmith (2005). "Bilateral isokinetic training reduces the bilateral leg strength deficit for both old and young adults." Eur J Appl Physiol **94**(1-2): 175-179.

Kuruganti, U. and K. Seaman (2006). "The bilateral leg strength deficit is present in old, young and adolescent females during isokinetic knee extension and flexion." Eur J Appl Physiol **97**(3): 322-326.

Li, J. Y., P. H. Lai and R. Chen (2013). "Transcallosal inhibition in patients with callosal infarction." J Neurophysiol **109**(3): 659-665.

MacDonald, M., D. Losier, V. L. Chester and U. Kuruganti (2014). "Comparison of bilateral and unilateral contractions between swimmers and nonathletes during leg press and hand grip exercises." Appl Physiol Nutr Metab **39**(11): 1245-1249.

Magnus, C. R. and J. P. Farthing (2008). "Greater bilateral deficit in leg press than in handgrip exercise might be linked to differences in postural stability requirements." Appl Physiol Nutr Metab **33**(6): 1132-1139.

Manini, T. M., S. L. Hong and B. C. Clark (2013). "Aging and muscle: a neuron's perspective." Curr Opin Clin Nutr Metab Care **16**(1): 21-26.

Mathiowetz, V., N. Kashman, G. Volland, K. Weber, M. Dowe and S. Rogers (1985). "Grip and pinch strength: normative data for adults." Arch Phys Med Rehabil **66**(2): 69-74.

Matkowski, B., A. Martin and R. Lepers (2011). "Comparison of maximal unilateral versus bilateral voluntary contraction force." Eur J Appl Physiol **111**(8): 1571-1578.

Mau-Moeller, A., M. Behrens, T. Lindner, R. Bader and S. Bruhn (2013). "Age-related changes in neuromuscular function of the quadriceps muscle in physically active adults." J Electromyogr Kinesiol **23**(3): 640-648.

Oda, S. (1997). "Motor control for bilateral muscular contractions in humans." Jpn J Physiol **47**(6): 487-498.

Oda, S. and T. Moritani (1994). "Maximal isometric force and neural activity during bilateral and unilateral elbow flexion in humans." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **69**(3): 240-243.

Perez, M. A., J. E. Butler and J. L. Taylor (2014). "Modulation of transcallosal inhibition by bilateral activation of agonist and antagonist proximal arm muscles." J Neurophysiol **111**(2): 405-414.

Perez, M. A. and L. G. Cohen (2008). "Mechanisms underlying functional changes in the primary motor cortex ipsilateral to an active hand." J Neurosci **28**(22): 5631-5640.

Petitjean, M. and J. Y. Ko (2013). "An age-related change in the ipsilateral silent period of a small hand muscle." Clin Neurophysiol **124**(2): 346-353.

Pierrot-Deseilligny, E. and L. Mazieres (1984). "[Reflex circuits of the spinal cord in man. Control during movement and their functional role (1)]." Rev Neurol (Paris) **140**(11): 605-614.

Plow, E. B., N. Varnerin, D. A. Cunningham, D. Janini, C. Bonnett, A. Wyant, J. Hou, V. Siemionow, X. F. Wang, A. G. Machado and G. H. Yue (2014). "Age-related weakness of proximal muscle studied with motor cortical mapping: a TMS study." PLoS One **9**(2): e89371.

Post, M., H. van Duinen, A. Steens, R. Renken, B. Kuipers, N. Maurits and I. Zijdwind (2007). "Reduced cortical activity during maximal bilateral contractions of the index finger." NeuroImage **35**(1): 16-27.

Ranganathan, V. K., V. Siemionow, V. Sahgal and G. H. Yue (2001). "Effects of aging on hand function." J Am Geriatr Soc **49**(11): 1478-1484.

Reis, J., O. B. Swayne, Y. Vandermeeren, M. Camus, M. A. Dimyan, M. Harris-Love, M. A. Perez, P. Ragert, J. C. Rothwell and L. G. Cohen (2008). "Contribution of transcranial

magnetic stimulation to the understanding of cortical mechanisms involved in motor control." J Physiol **586**(2): 325-351.

Rossini, P. M., S. Rossi, C. Babiloni and J. Polich (2007). "Clinical neurophysiology of aging brain: from normal aging to neurodegeneration." Prog Neurobiol **83**(6): 375-400.

Sapega, A. A. (1990). "Muscle performance evaluation in orthopaedic practice." J Bone Joint Surg Am **72**(10): 1562-1574.

Schiller, D., J. B. Freeman, J. P. Mitchell, J. S. Uleman and E. A. Phelps (2009). "A neural mechanism of first impressions." Nat Neurosci **12**(4): 508-514.

Sivagnanasunderam, M., D. A. Gonzalez, P. J. Bryden, G. Young, A. Forsyth and E. A. Roy (2014). "Handedness throughout the lifespan: cross-sectional view on sex differences as asymmetries change." Front Psychol **5**: 1556.

Soteropoulos, D. S. and M. A. Perez (2011). "Physiological changes underlying bilateral isometric arm voluntary contractions in healthy humans." J Neurophysiol **105**(4): 1594-1602.

Stevens-Lapsley, J. E., A. C. Thomas, J. B. Hedgecock and B. M. Kluger (2013). "Corticospinal and intracortical excitability of the quadriceps in active older and younger healthy adults." Arch Gerontol Geriatr **56**(1): 279-284.

Stinear, J. W. and W. D. Byblow (2004). "Modulation of human cervical premotoneurons during bilateral voluntary contraction of upper-limb muscles." Muscle Nerve **29**(4): 506-514.

Takebayashi, H., F. Yagi, K. Miyamoto, S. Morioka, S. Miyamoto, Y. Takuma, Y. Inoue, T. Okabe and K. Takimoto (2009). "Interaction interference between arm and leg: division of attention through muscle force regulation." Hum Mov Sci **28**(6): 752-759.

Taniguchi, Y. (1997). "Lateral specificity in resistance training: the effect of bilateral and unilateral training." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **75**(2): 144-150.

Taniguchi, Y. (1998). "Relationship between the modifications of bilateral deficit in upper and lower limbs by resistance training in humans." Eur J Appl Physiol Occup Physiol **78**(3): 226-230.

Teixeira, L. A. (2008). "Categories of manual asymmetry and their variation with advancing age." Cortex **44**(6): 707-716.

Triggs, W. J., R. Calvanio and M. Levine (1997). "Transcranial magnetic stimulation reveals a hemispheric asymmetry correlate of intermanual differences in motor performance." Neuropsychologia **35**(10): 1355-1363.

Valero-Cabre, A., A. Pascual-Leone and O. A. Coubard (2011). "[Transcranial magnetic stimulation (TMS) in basic and clinical neuroscience research]." Rev Neurol (Paris) **167**(4): 291-316.

Vandervoort, A. A., D. G. Sale and J. Moroz (1984). "Comparison of motor unit activation during unilateral and bilateral leg extension." J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol **56**(1): 46-51.

Vieluf, S., B. Godde, E. M. Reuter and C. Voelcker-Rehage (2013). "Effects of age and fine motor expertise on the bilateral deficit in force initiation." Exp Brain Res **231**(1): 107-116.

Wadsworth, C. T. (1991). "Muscle strength testing: Instrumented and non-instrumented systems. Edited by Louis R. Amundsen, Churchill Livingstone, Chicago, 1990, 186 pp, \$27.50." Muscle & Nerve **14**(3): 286-286.

Yamauchi, J., C. Mishima, S. Nakayama and N. Ishii (2009). "Force-velocity, forcepower relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women." J Biomech **42**(13): 2151-2157.

Yedimenko, J. A. and M. A. Perez (2010). "The effect of bilateral isometric forces in different directions on motor cortical function in humans." J Neurophysiol **104**(6): 2922-2931.

Zijdewind, I. and D. Kernell (2001). "Bilateral interactions during contractions of intrinsic hand muscles." J Neurophysiol **85**(5): 1907-1913.

Tableau 1. Corrélations entre indice de latéralité de force droite-gauche et indice de latéralité des mesures neurophysiologiques

	Indice ¹	Indice	DBL ²
	Pince digitale	Force préhension	
Indice asymétrie (%) ³			
Seuil Moteur	0.02	0.12	-0.08
PME facilité	0.13	0.33	-0.20
Durée PSc	-0.18	-0.02	0.06
LIT	-0.05	-0.15	-0.07
DIT	-0.48	-0.12	0.01

¹Indice de latéralité de force (F) calculé selon formule suivante : $(F_D - F_G) / (F_D + F_G) * 100$

² Déficit de force bilatérale (DBL) estimée selon formule suivante : $(100 * (BL_{tot} / UL_D + UL_G) - 100)$.

³ Indice de latéralité calculé selon formule suivante : $(\text{Mesure}_{HG} - \text{Mesure}_{HD}) / (\text{Mesure}_{HG} + \text{Mesure}_{HD}) * 100$

HG, hémisphère gauche, HD, hémisphère droit; PSc, période de silence contra-latérale, LIT, latence inhibition transcalleuse; DIT, durée inhibition transcalleuse.

Les corrélations significatives au seuil de $p < 0.05$ sont indiquées en caractères gras.

Légendes et Figures :

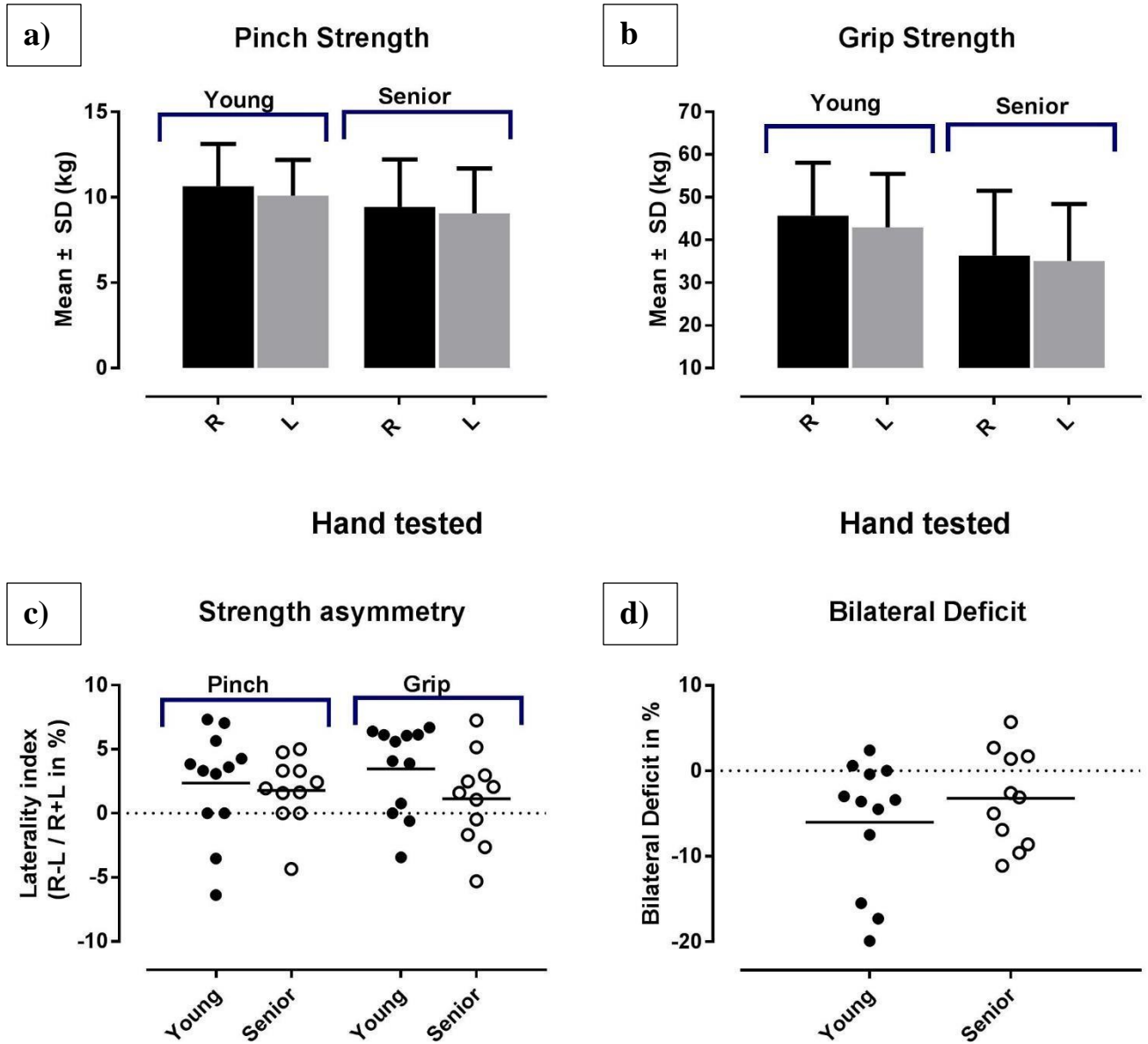


Figure 1. a) moyenne forces pour les pinces digitales pour la main droite et la main gauche dans les deux groupes b) moyenne des forces pour la préhension pour la main droite et la main gauche dans les deux groupes c) distribution des index de latéralité chez les sujets jeunes et âgés dans les deux conditions de force d) distribution des niveaux du déficit de force bilatérale chez les sujets jeunes et âgés

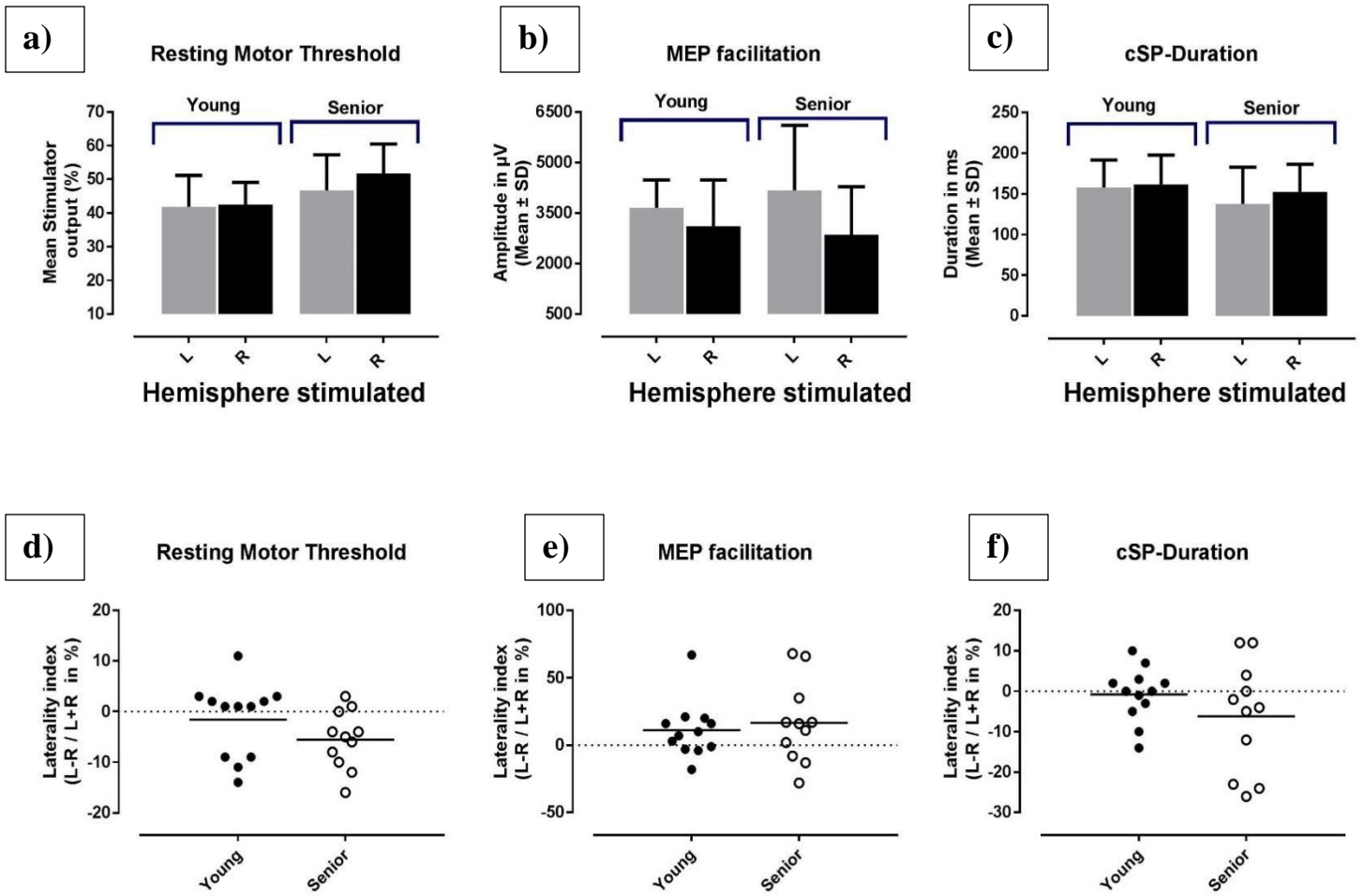


Figure 2. a) seuils moteurs moyens de stimulation en pourcentage pour les deux hémisphères et pour les deux groupes b) Moyenne des amplitudes des PEMs en microvolt pour l’hémisphère stimulé selon le groupe d’âge c) durée de la période de silence contralatérale en millisecondes pour l’hémisphère stimulé selon le groupe d’âge d) distribution des valeurs des indices de latéralité chez les participants dans les seuils moteurs pour les deux groupes e) distribution des indices de latéralité chez les participants dans l’amplitude des potentiels moteurs facilités pour les deux groupes f) distribution des indices de latéralité chez les participants dans les durées des périodes des silences contralatérales pour les deux groupes.

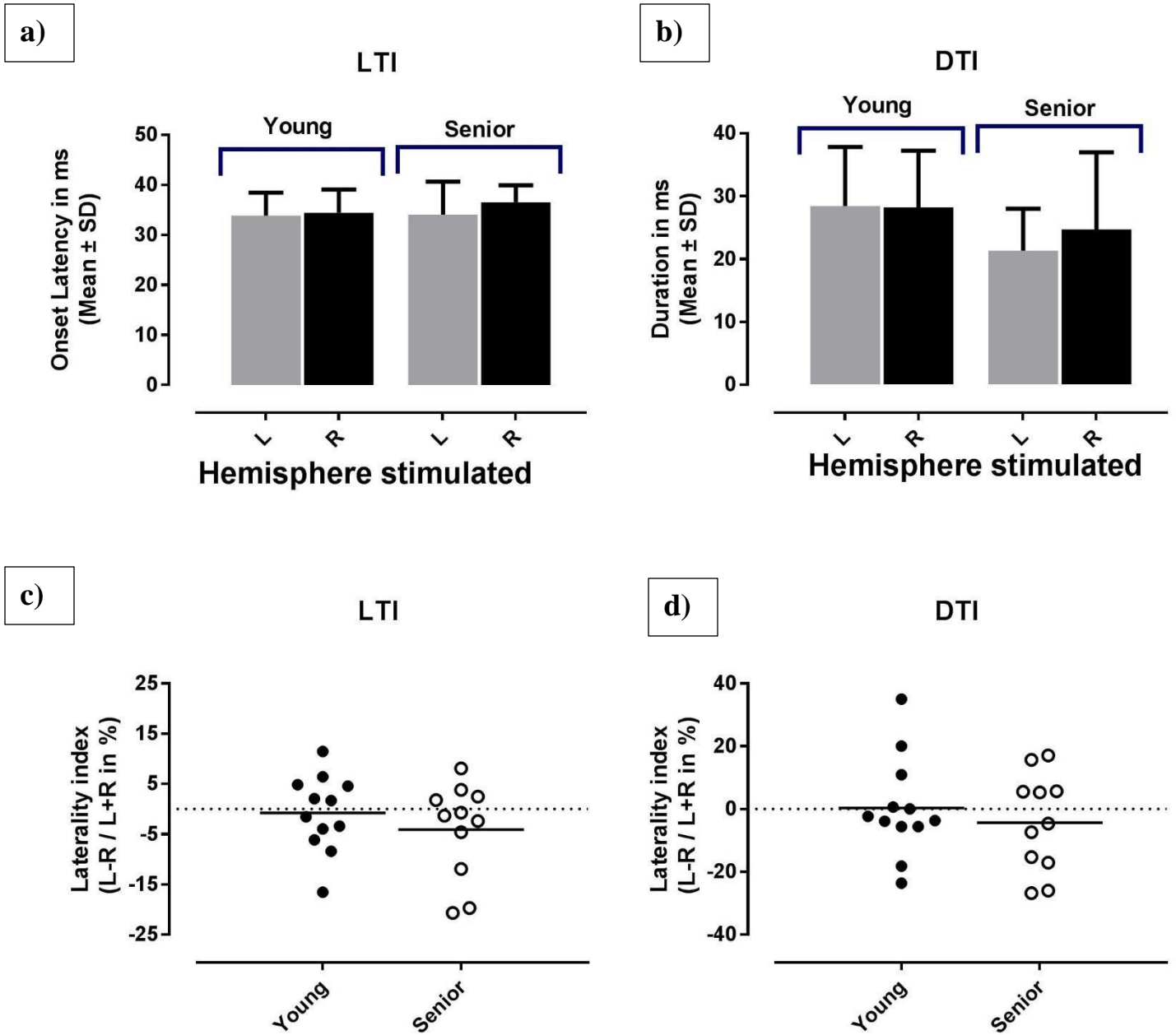


Figure 3. a) Valeurs moyennes pour la latence pour l'apparition de l'inhibition transcalleuse en millisecondes par hémisphère pour les deux groupes b) Valeurs moyennes de la durée de l'inhibition transcalleuse en millisecondes par hémisphère pour les deux groupes c) distribution des indices de latéralité de la latence d'inhibition transcalleuse pour les participants jeunes et âgés d) distribution des indices de latéralité de la durée d'inhibition transcalleuse pour les participants jeunes et âgés.

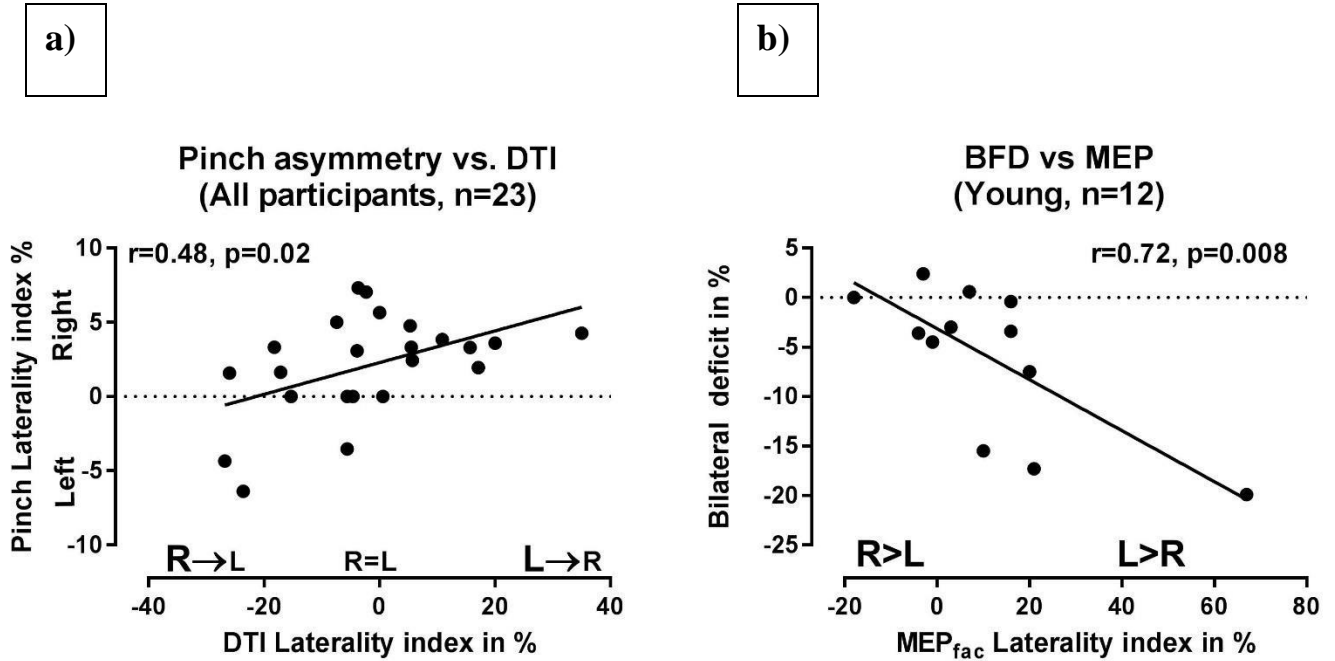


Figure 4. a) Relation entre les indices de latéralité calculés pour la pince digitale et les indices de latéralité dans la durée de l'inhibition transcalleuse. b) Relation entre l'importance du déficit bilatéral (indice bilatéral) chez le group jeune et les asymétries reflétés dans les indices de latéralité calculés pour l'amplitude des PEMs facilités.

Appendice I: Questionnaire de latéralité manuelle d'Edinburgh

Edinburgh Handedness Inventory¹

Your participant ID: _____

Please indicate with a one (1) your preference in using your left or right hand in the following tasks.

Where the preference is so strong you would never use the other hand, unless absolutely forced to, put a two (2).

If you are indifferent, put a one in each column (1 | 1).

Some of the activities require both hands. In these cases, the part of the task or object for which hand preference is wanted is indicated in parentheses.

Task / Object	Left Hand	Right Hand
1. Writing		
2. Drawing		
3. Throwing		
4. Scissors		
5. Toothbrush		
6. Knife (without fork)		
7. Spoon		
8. Broom (upper hand)		
9. Striking a Match (match)		
10. Opening a Box (lid)		
Total checks:	LH =	RH =
Cumulative Total	CT = LH + RH =	
Difference	D = RH - LH =	
Result	R = (D / CT) × 100 =	
Interpretation: (Left Handed: R < -40) (Ambidextrous: -40 ≤ R ≤ +40) (Right Handed: R > +40)		

Please stop here

Appendice II : GPPAQ

General Practice Physical Activity Questionnaire

Please tell us the type and amount of physical activity involved in your work.

I am not in employment (e.g. retired, retired for health reasons, unemployed, full-time carer etc.)
 I spend most of my time at work sitting (such as in an office)
 I spend most of my time at work standing or walking. However, my work does not require much intense physical effort (e.g. shop assistant, hairdresser, security guard, childminder, etc.)
 My work involves definite physical effort including handling of heavy objects and use of tools (e.g. plumber, electrician, carpenter, cleaner, hospital nurse, gardener, postal delivery workers etc.)
 My work involves vigorous physical activity including handling of very heavy objects (e.g. scaffolder, construction worker, refuse collector, etc.)

During the last week, how many hours did you spend on each of the following activities? Please answer whether you are in employment or not.

Physical exercise such as swimming, jogging, aerobics, football, tennis, gym workout, etc. None ▾

Cycling (including cycling to work) and during leisure time. None ▾

Walking (including walking to work), shopping, etc. None ▾

Housework or childcare. None ▾

Gardening or DIY None ▾

How would you describe your usual walking pace? Slow pace (ie less than 3 mph) ▾

Physical Activity Index (PAI)

The GPPAQ is ©Crown copyright. Reproduced under the terms of the Open Government Licence.

Questions concerning Walking, Housework/Childcare and Gardening/DIY have been included to allow patients to record their physical activity in these categories; however, these questions have not been shown to yield data of a sufficient reliability to contribute to an understanding of overall physical activity levels. They are not used in the generation of the PAL. ^[1]

Further reading & references

- General Practice Physical Activity Questionnaire
- 1. The General Practice Physical Activity Questionnaire (GPPAQ), Dept of Health, 2006
- 2. GPPAQ Publication Update (May 09), Eastern Region Public Health Observatory (NHS)

Disclaimer: This article is for information only and should not be used for the diagnosis or treatment of medical conditions. EMIS has used all reasonable care in compiling the information but make no warranty as to its accuracy. Consult a doctor or other health care professional for diagnosis and treatment of medical conditions. For details see our conditions.

Original Author: Dr Huw Thomas	Current Version: Dr Huw Thomas	
Document ID: 12442 (v7)	Last Checked: 18/03/2011	Next Review: 16/03/2016