

Université de Montréal

Diminution de la performance motrice du membre ipsilatéral au site de l'accident
vasculaire cérébral lors de tâches bilatérales

par

Marie-Hélène Forest

École de Réadaptation

Faculté de Médecine

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)
en sciences biomédicales
option Réadaptation

Mars, 2009

© Marie-Hélène Forest, 2009

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Diminution de la performance motrice du membre ipsilatéral au site de l'accident
vasculaire cérébral lors de tâches bilatérales

présenté par :
Marie-Hélène Forest

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Allan Smith
Président-rapporteur

Daniel Bourbonnais
Directeur de recherche

Christian Larivière
Membre du jury

Mémoire accepté le : _____

SOMMAIRE

Suite à un accident vasculaire cérébral (AVC), des déficits au membre controlatéral et ipsilatéral à la lésion cérébrale sont observés chez les personnes avec un AVC. La performance du membre ipsilatéral est déterminée par l'importance de la sévérité clinique du membre controlatéral ainsi que par l'adéquation du traitement bihémisphérique des informations sensori-motrices. L'objectif de la présente étude est de comparer la performance motrice de la main ipsilatérale lors de diverses tâches nécessitant un niveau plus ou moins complexe de traitement de l'information chez une clientèle hémiplegique ayant une faible sévérité clinique. Les résultats démontrent que les forces de pinces entre le pouce et l'index du membre ipsilatéral sont modulées et anticipées adéquatement chez les personnes avec un AVC ayant une faible sévérité clinique tel que démontré par des scores de cinq ou plus au Chedoke-McMaster Stroke Assessment (modules bras et main). La performance motrice du membre ipsilatéral lors de l'exécution d'une tâche de coordination bilatérale est comparable à celle du membre dominant des sujets sains lorsque la tâche est réalisée sans interaction entre les membres supérieurs (deux objets) et elle est perturbée lorsqu'elle implique une action coordonnée et réciproque des membres supérieurs sur un même objet. Ces personnes, ayant une bonne récupération motrice, ont donc une problématique centrale d'intégration et de traitement de l'information sensori-motrice lorsqu'il y a une complexification de la tâche à réaliser. Ces résultats suggèrent donc que les cliniciens devraient porter une attention plus particulière aux activités unilatérales et de coordination bilatérales lors de l'exécution de tâches complexes nécessitant un niveau d'intégration sensori-motrice élevé.

Mots clés : *accident vasculaire cérébral, membres supérieurs, force de pince, force de cisaillement («load force»), intégration sensori-motrice*

SUMMARY

As a result of a cerebrovascular accident (CVA), deficits in the contralateral and ipsilateral limb of the brain lesion are observed in person who had had a CVA. The performance of the ipsilateral limb is determined by the clinical severity of the contralateral limb and by the adequacy of bi-hemispherical processing of information. The objective of the present study is to compare the motor performance of the ipsilateral hand during tasks implying different level of sensori-motor integration in patients with low clinical impairments. The results demonstrated that the pinch strengths between the thumb and the index finger of the ipsilateral limb are modulated and anticipated adequately in stroke persons who have a good motor recovery such as demonstrated by scores of five or more in the Chedoke-McMaster Stroke Assessment (arm and hand parts). The motor performance of the ipsilateral limb of stroke persons during the execution of a bilateral coordination task is comparable to the motor performance of the dominant limb of healthy subjects when the task is realized without interaction between upper limbs (two objects) and it is perturbed when it implies a coordinated and reciprocal action of upper limbs on the same object. Consequently, these stroke persons with a good motor recovery have a central problem of integration and processing of sensori-motor informations when a more complex task has to be realized. These results suggest that the clinicians should pay more attention during unilateral tasks and during tasks with bilateral coordination that require a higher level of sensori-motor integration.

Keywords: *cerebral vascular accident, upper limbs, grip force, load force, sensori-motor integration*

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	iii
SUMMARY	iv
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES	viii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	x
DÉDICACE	Error! Bookmark not defined.
REMERCIEMENTS	xii
CHAPITRE 1 : INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 : RECENSION DES ÉCRITS	9
2.1. Généralités sur la préhension du membre controlatéral chez les personnes ayant eu un AVC	9
2.2. Caractéristiques de la préhension du membre ipsilatéral chez les personnes ayant eu un AVC	12
2.2.1. Préhension	13
2.2.2. Poursuite visuomotrice	14
2.3. Coordination bilatérale chez les personnes ayant eu un AVC	16
2.3.3. Coordination bilatérale des membres ipsilatéraux	17
2.3.4. Coordination bilatérale des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC	19
CHAPITRE 3 : MÉTHODOLOGIE.....	24
3.1. Participants.....	24
3.2. Évaluation clinique	25
3.3. Expérimentation	28
3.3.1. Instrument	28
3.3.2. Tâche de levées	30
3.3.3. Tâche de poursuite visuomotrice	31
CHAPITRE 4 : ARTICLE.....	34
4.1. Introduction.....	35

4.2. Subjects and methods.....	38
4.2.1. Participants.....	38
4.2.2. Measurement and data acquisition	39
4.2.2.1. Apparatus	40
4.2.2.2. Lifting tasks.....	40
4.2.2.3. Tracking tasks	41
4.2.3. Data analysis.....	42
4.2.4. Statistical analysis	43
4.3. Results	43
4.3.1. Sample description.....	43
4.3.2. Lifting tasks	44
4.3.2.1. Movement characteristics during the bilateral lifting task.....	44
4.3.3. Tracking task.....	45
4.3.4. Area under the curve (sine) and time lag for the load force in the tracking task	46
4.4. Discussion	47
4.4.1. Control of grip forces	48
4.4.2. Load forces.....	50
4.5. Acknowledgments	54
4.6. References	54
CHAPITRE 5 : DISCUSSION	66
5.1. Force de pince.....	67
5.2. Force de cisaillement («Load Force»).....	70
5.3. Implications cliniques et limites de l'étude.....	78
CHAPITRE 6 : CONCLUSION	80
CHAPITRE 7 : RÉFÉRENCES.....	82
CHAPITRE 8 - ANNEXES.....	xx
ANNEXE A - CERTIFICAT D'ÉTHIQUE.....	xxi
ANNEXE B - FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	xxiv
ANNEXE C - AUTORISATION DE DÉPÔT DE MÉMOIRE PAR ARTICLE...	xxix
ANNEXE D - ACCORD DES COAUTEURS	xxxii

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Caractéristiques démographiques et cliniques des sujets ayant eu un AVC	27
Table 4.1	Demographic and clinical characteristics of stroke subjects	59

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 3

Figure 3.1 : A)	Orientation des axes de forces du capteur de force,.....	29
Figure 3.1 : B)	Schéma de l'appareil utilisé lors de l'expérimentation. a) Capteur de force recouvert d'un morceau de papier sablé (grain de grosseur 120) ayant un point de repère en son centre, b) poids ayant la possibilité d'être changé, c) fil de l'accéléromètre situé sous l'appareil	29
Figure 3.2 A)	Tâche de levées en condition unilatérale	31
Figure 3.2 B)	Tâche de levées en condition bilatérale	31
Figure 3.3 A)	Tâche de poursuites visuomotrices (sinus) en condition contre la contre la table (condition unilatérale)	33
Figure 3.3 B)	Tâche de poursuites visuo- motrices (sinus) en condition paume (controlatérale ou non-dominante : condition bilatérale).....	33

CHAPITRE 4

Figure 4.1 :	Force transducer axes and the apparatus used during the experiment.....	60
Figure 4.2 A)	Lifting task, unilateral condition	61
Figure 4.2 B)	Lifting task, bilateral condition	61
Figure 4.2 C)	Tracking task, table condition (unilateral).....	61
Figure 4.2 D)	Tracking task, palm condition (bilateral).....	61

Figure 4.3 :	Raw data of the lifting task in unilateral condition for a healthy and a stroke subject.	62
Figure 4.4 :	Raw data of the lifting task in bilateral condition for a healthy and a stroke subject.	63
Figure 4.5 :	Raw data of the tracking task against the table and against the palm for a healthy and a stroke subject.	64
Figure 4.6 :	Comparison of the difference in area under the curve between the load force (Fx) and the force template during the tracking task between the stroke and healthy group under the conditions against the table and against the palm. * = $p < 0.05$	65

CHAPITRE 5

Figure 5.1 :	Mécanismes cérébraux lors de la réalisation de tâches de coordination bilatérale de levées synchrones des membres supérieurs.	72
Figure 5.2 :	Mécanismes cérébraux lors de la réalisation de tâches unilatérales de poursuites visuomotrices contre la table	74
Figure 5.3 :	Mécanismes cérébraux lors de la réalisation d'une tâche bilatérale de poursuites visuomotrices contre la paume	77

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ANOVA	analysis of variance
AVC	accident vasculaire cérébral
cm	centimètres
CM	CHEDOKE-McMaster Stroke Assessment
CVA	cerebrovascular accident
D	droite
DS	déficit somatosensoriel
F	femme
FM	Fulger-Meyer
Fx	Force de cisaillement («load force»)
Fy	Force antéro-postérieur
Fz	Force de pinces («grip force»)
g	grammes
G	gauche
H	homme
Hz	Hertz
IRGLM	Institut de Réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal
N	Newtons
NP	non-parétique
P	parétique
s	secondes
SW	Semmes-Weinstein monofilaments

*À tous ceux qui m'ont encouragée
et soutenue lors de ce projet
Merci !!!*

REMERCIEMENTS

J'aimerais premièrement remercier mon directeur de recherche, monsieur Daniel Bourbonnais, pour ses conseils judicieux, son implication dans ce projet, son écoute active, son ouverture d'esprit et la confiance qu'il a su m'accorder tout au long de ce projet.

Un merci tout particulier à monsieur Jean-François Pilon, ingénieur à l'IRGLM, pour son implication tout au long de mon projet et plus spécialement en ce qui a trait à l'analyse des données : ces conseils ont toujours été réfléchis autant que la pertinence de ses interventions.

De plus, j'aimerais remercier madame Brigitte Cousineau ainsi que madame Marie-Hélène Thériault, toutes deux ergothérapeutes à l'IRGLM, pour leurs participations aux évaluations cliniques des sujets de ce projet.

J'aimerais également remercier monsieur Fabio Pellegrino pour l'illustration de ce mémoire ainsi que madame Denise D'Anjou pour sa bonne humeur contagieuse et ses nombreux encouragements.

J'aimerais remercier également le personnel du centre de recherche de l'IRGLM dont Michel Goyette, Daniel Marineau ainsi que Jean-François Pilon qui ont fait en sorte que ce projet a pu être réalisé.

Finalement, je voudrais également remercier ma famille, mes amis(es) et mon copain pour leurs encouragements et leur soutien moral.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Au Canada, 300 000 personnes vivent présentement avec les séquelles d'un accident vasculaire cérébral (AVC). Chaque année, environ 50 000 canadiens en seront atteints et approximativement 15% d'entre eux en décèderont. De ce fait, l'AVC occupe le 4^{ième} rang des causes de décès au Canada. Annuellement, cette atteinte neurologique engendre des coûts de 2,7 milliards de dollars en frais de services médicaux et d'hospitalisation, en perte de salaire ainsi qu'en perte de productivité. Environ 35% des personnes ayant eu un AVC récupéreront entièrement ou resteront avec une légère invalidité. Cependant, près de 50% des personnes ayant eu un AVC demeureront avec une invalidité importante pouvant même nécessiter des soins de santé à long terme (Fondation des maladies du cœur du Canada, 2008). En général, le membre supérieur semble être plus sévèrement atteint que le membre inférieur chez les personnes ayant eu un AVC (Newman, 1972 ; Olsen, 1990). Ces données illustrent l'importance de l'amélioration des connaissances au niveau des incapacités et situations de handicap chez cette clientèle afin de développer de meilleures stratégies de réadaptation.

La séquelle la plus souvent observée suite à un AVC est la présence d'une hémiparésie dont la sévérité varie en fonction de l'ampleur et de la localisation cérébrale de l'atteinte. L'hémiparésie est définie comme étant une paralysie partielle causant des incapacités motrices à l'hémicorps controlatéral à la lésion

hémisphérique. Certains auteurs ont souligné que la faiblesse musculaire diminue la qualité du mouvement et affecte conséquemment le contrôle moteur ainsi que la coordination du membre controlatéral à la lésion hémisphérique (Lewis et al, 2004).

Par ailleurs, il est reconnu dans la littérature qu'un AVC engendre non seulement des déficits au niveau du membre controlatéral à la lésion, i.e. le membre «atteint» ou «parétique», (Blennerhassett et al, 2006; Debaere et al, 2001; Gowland et al, 1992; Hermsdörfer et al, 2003; 2004; Levin et al, 1999; Lewis et al, 2004; Nowak et al, 2003; 2007; Sommerfeld et al, 2004), mais également au niveau du membre ipsilatéral à la lésion, i.e. le membre «non-atteint» ou «non-parétique». Dorénavant, le terme «membre controlatéral» sera utilisé afin de désigner le membre controlatéral à la lésion cérébrale qui est habituellement parétique et le terme «membre ipsilatéral» sera utilisé pour identifier le membre ipsilatéral à la lésion cérébrale qui est généralement non-parétique. Ainsi, plusieurs recherches se sont intéressées aux impacts de l'AVC au niveau du membre ipsilatéral. Des déficits au niveau de la force musculaire (Colebatch et al, 1989; Hirschberg et al, 1952; Smutok et al, 1989; Watkins et al, 1984), de la dextérité manuelle (Desrosiers et al, 1996; Nowak et al, 2007 ; Spaulding et al, 1988; Sunderland et al, 1999) ainsi qu'au niveau de la qualité des caractéristiques cinématiques du mouvement (vélocité et temps d'exécution) (Fisk et al, 1988; Hermsdörfer et al, 1999a; 1999b; Velicki et al, 2000; Winstein et al, 1995) ont été démontrés au membre ipsilatéral à la lésion cérébrale. De plus, il y a plusieurs évidences dans la littérature qui démontrent que la qualité du mouvement du côté ipsilatéral est

affectée par la réalisation de mouvements du côté controlatéral survenant lors de mouvements bilatéraux. Ces mouvements bilatéraux peuvent se caractériser par leurs activités miroirs (par exemple aller porter un objet sur une étagère) ou réciproques (lors la réalisation de certain sport tel que le ski de fond). Ces premiers mouvements synchrones sont dits isodirectionnels alors que les seconds sont appelés nonisodirectionnels. Lors des études où les mouvements isodirectionnels ou nonisodirectionnels étaient étudiés chez des sujets ayant eu un AVC, il y avait constamment une dégradation de la performance du membre ipsilatéral lors des mouvements bilatéraux en comparaison avec la performance de ce même membre lors de tâches unilatérales. Au contraire, la performance du membre controlatéral était similaire lors des tâches unilatérales et bilatérales (Garry et al, 2005; Kilbreath et al, 2006; Lewis et al, 2004; Rice et al, 2001; Steenbergen et al, 1996; 2000; Waller et al, 2006). Ces données indiquent donc que le membre ipsilatéral s'accorde au membre controlatéral lors de mouvements simultanés, que ces mouvements soient isodirectionnels ou nonisodirectionnels.

L'intégrité de la motricité de la main est importante dans la vie de tous les jours. La saisie d'un objet requiert la coordination étroite des forces de pinces («grip force» ou F_z) et de cisaillement («load force» ou F_x) (Flanagan et al, 1993a; 1993b; Johansson et al, 1984; Westling et al, 1984). Les forces de pinces sont les forces de pression exercées par les doigts sur l'objet. Les forces de cisaillement résultent de la friction entre les doigts et l'objet et sont les forces qui permettent de contrecarrer l'effet de la gravité sur l'objet et par conséquent de soulever l'objet. Ainsi, les forces de cisaillement sont déterminées par les forces de pinces et les

caractéristiques de friction de l'objet. La modulation de la force de pince et de la force de cisaillement est adaptée à la friction entre la peau et l'objet et elles varient en parallèle afin de contrebalancer les forces externes (forces gravitationnelle et d'inertie de l'objet) dans le but de réaliser le mouvement désiré (Johansson et al, 1984; Westling et al, 1984). Lors de la prise dynamique d'un objet entre le pouce et l'index, la force de pince produite est typiquement au-dessus de la force minimale requise permettant le maintien de l'objet dans l'espace afin de prévenir la chute de celui-ci. Cette différence entre la force minimale et la force actuellement générée est appelée «marge de sécurité» dans la littérature (Flanagan et al, 1993b; Johansson et al, 1984).

Plusieurs études ont caractérisé la modulation de la force de pince au niveau du membre ipsilatéral chez les personnes ayant eu un AVC (Aruin, 2005; Quaney et al, 2005). Lors de ces études, les sujets devaient lever un appareil instrumenté soit à l'aide d'une pince formée du pouce et de l'index du membre ipsilatéral (Quaney et al, 2005) ou soit à l'aide d'une pince formée du pouce et des quatre autres doigts de la main ipsilatérale (Aruin, 2005). La sévérité des incapacités sensori-motrices du membre supérieur des sujets avec un AVC ayant participé à ces études différait. En effet, le tableau clinique des participants à l'étude de Quaney et al, (2005) était beaucoup plus sévère que celui des participants à l'étude d'Aruin (2005). Les résultats ont démontré que la force de pince produite entre le pouce et l'index était excessive et non adaptée à la charge au membre ipsilatéral chez les participants à l'étude de Quaney et al, (2005). Par ailleurs, aucune adaptation de la force de pince n'a été observée pour un même poids chez la clientèle avec un

AVC alors qu'il y avait une adaptation de cette force chez les sujets sains. Ainsi, pour un poids donné, une augmentation de la force de pince était observée et suivie par une diminution de la force pour atteindre un seuil stable. Au contraire, Aruin (2005), a démontré une modulation adéquate de la force de pince au membre ipsilatéral (pouce et quatre doigts) pour un même poids. Ainsi, les personnes ayant eu un AVC de cette dernière étude modulaient la force de pince comme les sujets sains de l'étude de Quaney et al, (2005) : pour un poids donné, une augmentation de la force de pince était suivie d'une diminution de celle-ci jusqu'à l'atteinte d'un seuil stable. En somme, la première étude démontre qu'il y a une atteinte au niveau de la modulation de la force de pince ipsilatérale lors de tâches unilatérales chez les sujets avec un AVC présentant une sévérité clinique importante, alors que la seconde étude démontre l'inverse chez une clientèle de personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice. Ces études suggèrent donc que les caractéristiques de préhension du membre ipsilatéral chez les personnes avec un AVC varient selon la sévérité clinique de la récupération motrice du membre controlatéral.

Plusieurs études se sont intéressées à la coordination bilatérale chez les sujets avec un AVC, compte tenu de la fréquence et de l'importance de l'utilisation du membre controlatéral et ipsilatéral lors de la réalisation de tâches de tous les jours. En effet, lors de la réalisation de plusieurs activités de la vie quotidienne, un membre assiste l'autre ou ils interagissent ensemble sur un même objet. Les études qui ont examiné la coordination bilatérale chez les personnes ayant eu un AVC ont caractérisé la performance du membre controlatéral lors de tâches

d'oscillation des membres supérieurs (Rice et al, 2001), lors de tâches de transport d'objets (Steenbergen et al, 1996) ainsi que lors de tâches d'atteinte («reaching») et de saisie («grasping») d'objets (Steenbergen et al, 2000). D'autres études, avec la même clientèle, se sont plutôt intéressées à l'interaction entre les membres supérieurs lors de mouvements cycliques de flexion et d'extension (en utilisant les modes isodirectionnels soit des mouvements dans la même direction tel que lorsque le bras ipsilatéral est en flexion alors que le bras controlatéral l'est également (vice et versa au niveau de l'extension) et nonisodirectionnels soit des mouvements réciproques tel que lorsque le bras ipsilatéral est en flexion alors que le bras controlatéral est en extension et vice et versa) (Deborah et al, 2001) et lors de tâches où les sujets devaient dessiner des cercles avec chaque main (en utilisant les modes isodirectionnels et nonisodirectionnels) (Lewis et al, 2004). Cependant, la performance du membre ipsilatéral à la lésion cérébrale n'a pas été spécifiquement quantifiée lors de ces différentes conditions expérimentales.

Quelques études ont également démontré que la performance du membre ipsilatéral était perturbée et qu'elle s'accordait avec le répertoire moteur du membre controlatéral lors de la réalisation de mouvements bilatéraux des membres supérieurs chez les sujets avec un AVC (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004). Généralement, les effets observés lors de mouvements bilatéraux ont été mis en évidence chez une clientèle ayant une sévérité clinique allant de modérée à sévère (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004). Conséquemment, si la performance du membre ipsilatéral est déterminée par la sévérité clinique du membre controlatéral, la performance du membre

ipsilatéral chez les sujets avec un AVC ayant une faible sévérité clinique sera moins influencée par celle du membre controlatéral lors de la réalisation de tâches bilatérales et donc elle sera comparable à la performance des sujets sains. Cependant, si l'adéquation du traitement bihémisphérique des informations détermine également l'importance de la diminution de la performance du membre ipsilatéral, la performance des sujets ayant eu un AVC avec une sévérité clinique faible sera également affectée par l'augmentation de la complexité du traitement de l'information sensori-motrice. En somme, en assumant que l'augmentation de la complexité du traitement des informations et non seulement l'atteinte motrice contribuent à la diminution de la performance du membre ipsilatéral, les sujets ayant une sévérité clinique plus faible devraient également avoir une certaine difficulté de performance lors de tâches nécessitant un haut niveau de traitement d'informations sensori-motrices. De plus, cette difficulté devrait être amplifiée lors de tâches bilatérales étant donné l'augmentation de la complexité du traitement des informations.

L'objectif de cette étude est donc de tester cette hypothèse en comparant la performance du membre ipsilatéral des sujets avec un AVC ayant une sévérité clinique faible à celle des sujets sains lors de tâches de poursuites visuomotrices de tracés de force impliquant un traitement complexe des informations sensori-motrices ainsi que lors de tâches de levées d'objets impliquant un patron moteur similaire, mais avec un traitement plus simple des informations sensori-motrices. De plus, cette hypothèse stipulant que la complexité du traitement des informations influencera la performance motrice sera évaluée en augmentant le niveau de

traitement de l'information en utilisant des tâches bilatérales. Ainsi, il est suggéré que la performance du membre ipsilatéral chez des sujets avec un AVC ayant une faible sévérité clinique va différée de la performance des sujets sains lors de tâches de poursuites visuomotrices de tracés de force, mais qu'elle sera similaire lors de la tâche de levées d'objets. Il est également stipulé que la diminution de la performance sera amplifiée lors de tâches bilatérales impliquant un haut niveau de traitement de l'information sensori-motrice.

CHAPITRE 2

RECENSION DES ÉCRITS

La main est en soi une structure mécanique complexe et polyvalente. Le contrôle moteur de la main est aussi très complexe, considérant les nombreux degrés de liberté impliqués. La préhension, chez l'être humain, est caractérisée et assurée par la disposition anatomique d'un pouce large et mobile qui permet de s'opposer aux autres doigts de la main. Par ailleurs, son utilisation dans les activités quotidiennes exige un positionnement précis du bras et des rajustements constants au niveau des articulations des doigts afin d'assurer une certaine stabilité de l'objet manipulé (Sangole et al, 2007).

Suite à un AVC, une atteinte de la préhension du membre controlatéral et/ou ipsilatéral peut être observée. Ceci devient problématique pour ces personnes étant donné l'utilisation constante des mains dans la vie de tous les jours. Pour illustrer ce point, une description des caractéristiques de la préhension du membre controlatéral et ipsilatéral lors de tâches unilatérales et bilatérales chez les personnes ayant eu un AVC sera élaborée dans les sous-sections suivantes.

2.1. Généralités sur la préhension du membre controlatéral chez les personnes ayant eu un AVC

Chez les personnes avec un AVC, les caractéristiques de la préhension du membre controlatéral sont spécifiquement liées à la sévérité de l'AVC. Dans cette

section, les caractéristiques de la préhension du membre controlatéral des personnes ayant eu un AVC seront discutées lors de tâches unilatérales.

La faiblesse musculaire se définit comme étant une diminution de la capacité d'un muscle à se contracter suite à l'atteinte neurologique et elle varie selon l'étendue des atteintes cérébrales. La manifestation la plus visible de la faiblesse musculaire est la diminution de la production d'une force maximale volontaire de préhension au membre controlatéral comparée à celle produite par le membre ipsilatéral et elle varie selon l'importance de la sévérité clinique des personnes ayant eu un AVC (Bertrand et al, 2003; Boissy et al, 1999; Chae et al, 2002; Hammer et al, 2003; Kamimura et al, 2002). Par ailleurs, la sévérité de la faiblesse musculaire du membre controlatéral est reliée à la diminution de la performance de ce membre dans des tests fonctionnels, tels que le Fugl-Meyer, le TEMPA et les tests du Box and Block et du Doigt-Nez, chez les personnes ayant eu un AVC (Boissy et al, 1999).

Bien qu'il soit possible que la faiblesse musculaire joue un rôle important dans les limitations du répertoire de préhension, d'autres déficits peuvent aussi en affecter le résultat. Ainsi, la réalisation de gestes de préhension requiert une intégration sensori-motrice complexe et il est possible que cette intégration soit déficiente chez les personnes avec un AVC. Lors de la préhension à l'aide d'une pince formée par le pouce et l'index ou par le pouce et l'opposition des quatre autres doigts de la main controlatérale, les personnes avec un AVC et ayant une sévérité clinique importante produisent habituellement une force de pince excessive et non

adaptée au poids de l'objet présenté (Blennerhassett et al, 2006; Deborah et al, 2001; Hermsdöfer et al, 2003; 2004; Nowak et al, 2003). Chez les sujets sains, il est habituel d'observer une production de force de pince légèrement supérieure à la force requise afin de maintenir l'objet dans l'espace. Certains auteurs ont suggéré que l'inadéquation de la modulation de la force de pince du membre controlatéral chez les personnes ayant eu un AVC était liée à la présence de déficits d'intégration, d'analyse et de traitement des informations sensori-motrices reçues lors de l'exécution d'une tâche (Blennerhassett et al, 2006; Hermsdöfer et al, 2003; 2004; Nowak et al, 2003). Ainsi, chez cette clientèle, il est habituel de retrouver une modulation inadéquate de la force de pince ainsi que des déficits sensori-moteurs qui diminuent la qualité de la préhension du membre controlatéral. De plus, cette production de force excessive peut mener à la fatigue précoce des muscles employés à la tâche pouvant même conduire au manque de force (Johansson et al, 1984).

La qualité de la préhension peut également être affectée par une incoordination dans la séquence d'activation des muscles réalisant la pince et/ou le mouvement plus proximal nécessaire au soulèvement ou au transport de l'objet. Cette incoordination entre les contractions et les relâchements des muscles agonistes et antagonistes peut se manifester à l'extrême par une cocontraction de ceux-ci (Chae et al, 2002; Fitts et al, 1989; Hammond et al, 1988; Kamper et al, 2001) et ainsi diminuer la performance du sujet à la tâche (Chae et al, 2002; Gowland et al, 1992; Hammond et al, 1998; Ibrahim et al, 1993; Kamper et al, 2001). Selon la littérature, il existe une forte corrélation entre la présence de faiblesse musculaire,

la sévérité de la cocontraction musculaire du membre controlatéral ainsi que le niveau de sévérité clinique des personnes ayant eu un AVC (Chae et al, 2002). Ainsi, plus un sujet avec un AVC aura une forte sévérité clinique, plus la faiblesse musculaire sera élevée et plus la cocontraction des muscles agonistes et antagonistes pour une même articulation sera importante au niveau du membre controlatéral. Il reste à établir si la diminution de force chez cette clientèle résulte de l'augmentation de la cocontraction de muscles antagonistes ou de la modification des caractéristiques physiologiques des muscles. En somme, tant la faiblesse que la difficulté à coordonner les activités musculaires chez la personne avec un AVC peuvent concourir à diminuer la qualité de la préhension au membre controlatéral chez les personnes ayant eu un AVC.

Des atteintes au niveau du membre ipsilatéral ont aussi été documentées chez les personnes avec un AVC. La section suivante portera sur les impacts d'un AVC sur la qualité de la préhension au membre ipsilatéral.

2.2. Caractéristiques de la préhension du membre ipsilatéral chez les personnes ayant eu un AVC

Dans la section suivante, les atteintes de préhension au membre ipsilatéral lors de tâches de préhension simples et complexes seront présentées en fonction de la force de pince (force réalisée par les doigts et plus particulièrement par le pouce ainsi que l'index et utilisée afin de saisir l'objet) et de la force de cisaillement

(«load-force») (force réalisée par la peau des doigts et où le coude et l'épaule sont utilisés afin de lever ou presser un objet) chez des sujets ayant eu un AVC.

2.2.1. Préhension

Deux études ont principalement caractérisé la modulation de la force de pince du membre ipsilatéral chez les personnes ayant eu un AVC lors de tâches unilatérales simples (Aruin, 2005; Quaney et al, 2005). Cependant, ces études ont démontré des résultats opposés : Quaney et al, (2005) ont démontré une atteinte significative de la modulation de la force de pince (pouce et index) ainsi que de la force de cisaillement («load-force») au membre ipsilatéral des sujets avec un AVC ayant une forte sévérité clinique, alors qu'Aruin et al, (2005) ont démontré une modulation adaptée de la force de pince (pouce et quatre doigts) ainsi qu'une augmentation du temps de latence entre l'application de la force de pince et le début de la levée de l'objet au membre ipsilatéral des personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice. Cette augmentation du temps de latence entre l'application de la force de pince et le début de la levée de l'objet indique possiblement la présence de changements au niveau de la coordination temporelle entre les doigts et les muscles plus proximaux de l'avant-bras du membre ipsilatéral (Aruin, 2005). Ainsi, ces auteurs suggèrent que peu importe le niveau de sévérité clinique des personnes ayant eu un AVC, une atteinte de la musculature plus proximale est observée (Aruin, 2005; Quaney et al, 2005) et que cette atteinte proximale peut être observée alors que la modulation de la musculature distale est intacte (Aruin, 2005). En somme, l'adéquation de la modulation de la force de

pince varie en fonction de la sévérité clinique des sujets : plus la sévérité de l'atteinte au membre controlatéral sera importante, plus le membre ipsilatéral sera également atteint. Dans ce contexte, comme l'expérimentation présentée dans ce mémoire utilise en partie une tâche de poursuite visuomotrice, cet aspect, en lien avec le membre ipsilatéral, sera revu dans la prochaine section.

2.2.2. Poursuite visuomotrice

Dans la littérature, des études se sont intéressées à la performance du membre ipsilatéral lors de la réalisation d'une tâche motrice unilatérale utilisant une rétroaction visuelle (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004).

Ces études se sont intéressées plus spécifiquement à la qualité du mouvement du membre ipsilatéral chez les sujets avec un AVC et ayant une sévérité clinique allant de modérée à sévère. Elles ont étudié l'index (Carey et al, 1998) et le poignet (Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004) de la main ipsilatérale. Les tâches de poursuites visuomotrices étaient basées sur la poursuite d'un curseur sur un écran d'ordinateur qui fournit une rétroaction visuelle («feedback») sur une variable du mouvement. Les tâches étaient exécutées soit en position compatible (l'avant-bras est en position de pronation) ou en position incompatible (l'avant-bras est en position médiane) où, lorsque le curseur monte, l'index doit s'étendre et lorsque le curseur descend, l'index doit fléchir (Carey et al, 1998), soit en nécessitant l'activation d'un seul groupe de muscles (fléchisseurs ou extenseurs) ou l'activation combinée et simultanée des deux groupes de muscles pour une même articulation

(poignet) (Yarosh et al, 2004) ou soit en exécutant une tâche simple de tapement en la comparant à une tâche de poursuite visuomotrice (Kwon et al, 2007). Lors de ces trois études de poursuite visuomotrice, une diminution de la performance du membre ipsilatéral des personnes ayant eu un AVC est constamment observée comparativement à la performance de ce même membre lors de l'exécution de tâches plus simples (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004). Une diminution de la vitesse et de la magnitude d'exécution (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004) ainsi que la présence d'irrégularités dans les trajectoires de mouvements demandées (Yarosh et al, 2004) ont été observées au membre ipsilatéral. Ces déficits sont attribués à une problématique d'intégration, d'analyse et de traitement de l'augmentation du nombre d'informations, musculaires (Yarosh et al, 2004) ou sensori-motrices (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007), provenant des voies afférentes (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004) et/ou à une difficulté dans le choix de stratégies optimales de résolution de problèmes lors de tâches plus complexes (Carey et al, 1998). Il est également suggéré qu'une incoordination dans la séquence d'activation des muscles agonistes et antagonistes au membre ipsilatéral, observée par la diminution de la qualité du mouvement lors de l'exécution de tâches plus complexes, serait attribuée à cette augmentation du nombre d'informations à traiter simultanément (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004). Somme toute, chez les personnes avec un AVC et ayant une sévérité clinique allant de modérée à sévère, il y a une problématique d'intégration des informations sensori-motrices qui affecte la qualité du mouvement du membre ipsilatéral lors de la

réalisation de tâches unilatérales plus complexes, par exemple une poursuite visuomotrice.

Il est reconnu dans la littérature que les sujets ayant eu un AVC démontrent des problèmes de coordination bilatérale lors de différentes tâches. Certains auteurs se sont intéressés à la coordination entre les membres ipsilatéraux (bras / jambe) et entre les membres supérieurs chez cette clientèle. La section suivante traitera de ce sujet.

2.3. Coordination bilatérale chez les personnes ayant eu un AVC

Dans la littérature, plusieurs théories contradictoires font émerger une controverse quant à l'amélioration ou non de la performance du membre controlatéral suite à l'utilisation conjointe du membre ipsilatéral lors de la réalisation de tâches bilatérales. Il est suggéré qu'une intervention thérapeutique utilisant les mouvements bilatéraux, où le membre controlatéral et ipsilatéral bougent simultanément, résulte en une amélioration à long-terme des habiletés fonctionnelles du membre controlatéral chez les personnes ayant eu un AVC (Luft et al, 2004; Mudie et al, 2000; Waller et al, 2006; Whitall et al, 2000). D'autres études chez une même clientèle ont rapporté que les améliorations du membre controlatéral surviennent uniquement lors de l'exécution des mouvements bilatéraux (amélioration ponctuelle) (Cunningham et al, 2002; Volman et al, 2002). Ainsi, l'utilisation des mouvements bilatéraux afin d'assister le retour de la fonction

motrice du membre controlatéral chez les sujets ayant eu un AVC est une approche thérapeutique préconisée par ces auteurs.

Cependant, plusieurs études n'ont pas pu mettre en évidence ces découvertes (Lewis et al, 2004; Rice et al, 2001; Steenbergen et al, 1996; 2000). En lien avec le sujet de l'étude présentée dans ce mémoire, une description des impacts de la réalisation de mouvements bilatéraux indépendants (deux objets) des membres supérieurs sur la qualité du mouvement au membre ipsilatéral ainsi qu'une description de la qualité de la coordination des membres ipsilatéraux chez les personnes ayant eu un AVC seront présentées dans la section suivante.

2.3.1. Coordination bilatérale des membres ipsilatéraux

La coordination bilatérale des membres ipsilatéraux peut se réaliser sous deux conditions : le mode isodirectionnel et le mode nonisodirectionnel. Trois études ont principalement étudié la coordination bilatérale des membres ipsilatéraux chez les personnes avec un AVC (Debaere et al, 2001; Garry et al, 2005; Swinnen et al, 2002). Ces études se sont intéressées à la coordination entre les deux membres ipsilatéraux (bras et jambe) chez des personnes ayant eu un AVC lors de la réalisation de mouvements coordonnés isodirectionnels et nonisodirectionnels (Debaere et al, 2001), lors de mouvements coordonnés entre la flexion et l'extension en mode isodirectionnel (Garry et al, 2005) et lors de l'entraînement bilatéral en mode nonisodirectionnel (Swinnen et al, 2002). Une coordination bilatérale perturbée des membres ipsilatéraux a été observée lors de la réalisation

de mouvements bilatéraux isodirectionnels (Debaere et al, 2001; Garry et al, 2005) ainsi que nonisodirectionnels (Debaere et al, 2001; Swinnen et al, 2002) et aucune amélioration significative de la qualité de la coordination bilatérale des membres supérieurs en mode nonisodirectionnel n'a été mise en évidence suite à l'entraînement de cette tâche chez les personnes ayant eu un AVC (Swinnen et al, 2002). Une diminution de l'amplitude ainsi que de la vitesse d'exécution du mouvement bilatéral ont été observées et ces perturbations ont démontré être amplifiées lors de la réalisation des tâches en mode nonisodirectionnel (Debaere et al, 2001; Garry et al, 2005). De plus, suite à l'exécution de quelques cycles en mode nonisodirectionnel, il est constamment observé un retour en mode isodirectionnel chez les sujets avec un AVC (Debaere et al, 2001; Kelso, 1994; 1992; Swinnen et al, 2002). Il a été suggéré que la réalisation d'une tâche complexe requiert une source d'attention plus importante et augmente le nombre d'informations à intégrer, à analyser et à traiter afin de créer le patron moteur qui guide la synchronisation du mouvement des membres ipsilatéraux. Comme le patron moteur est perturbé par cette augmentation de flux d'informations, les personnes avec un AVC retournent constamment en mode isodirectionnel qui est, en somme, un patron moteur simple et plus naturel, mais qui est également déficitaire chez cette clientèle (Baldissera et al, 1991; Swinnen et al, 1995; 2002). Tout ceci indique possiblement une problématique d'intégration de l'information d'origine centrale chez la clientèle avec un AVC (Debaere et al, 2001). En somme, il existe une perturbation de la coordination des membres ipsilatéraux chez les sujets ayant eu un AVC. La section suivante portera sur la coordination bilatérale des membres supérieurs chez les personnes avec un AVC.

2.3.2. Coordination bilatérale des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC

Lors de l'exécution de mouvements bilatéraux impliquant la coordination des membres supérieurs, ceux-ci doivent se coordonner pour réaliser les mouvements requis afin d'atteindre le but de la tâche. Les mouvements bilatéraux des membres supérieurs peuvent se diviser en trois classes : coordination synchrone, réciproque et opposée. Dans la section suivante, une description de la qualité du mouvement au membre ipsilatéral lors de différentes tâches bilatérales impliquant une interaction des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC sera réalisée.

Dans la littérature, quelques études se sont intéressées à la coordination synchrone des membres supérieurs chez les personnes avec un AVC. La coordination synchrone des membres supérieurs est l'exécution d'un mouvement similaire, symétrique et indépendant (deux objets) par les membres afin d'atteindre un objectif commun. Dans ces études, les tâches à réaliser étaient de type oscillatoire où les membres supérieurs bougent dans le même sens dans un mouvement de balancement avant-arrière (Rice et al, 2001), de type flexion et extension simultanée des membres (Garry et al, 2005), de type atteinte («reaching») où les membres doivent chacun se rendre à une cible précise et presser sur celle-ci (Steenbergen et al, 2000), de type saisie («grasping») où ils doivent se rendre chacun à un objet précis et le prendre (Steenbergen et al, 2000) et de type rotatoire où le sujet doit dessiner des cercles avec les deux membres

supérieurs tournant dans le même sens (horaire ou anti-horaire) (Lewis et al, 2004). Une diminution de la qualité du mouvement au membre ipsilatéral en comparaison avec la performance de ce même membre lors de tâches unilatérales chez les personnes ayant eu un AVC lors de l'exécution de mouvements bilatéraux nécessitant une coordination synchrone des membres supérieurs est observée (Garry et al, 2005; Lewis et al, 2004; Rice et al, 2001; Steenbergen et al, 2000). Par ailleurs, aucune différence au niveau de la performance du membre controlatéral soit lors de tâches unilatérales ou bilatérales n'est observée (Garry et al, 2005; Lewis et al, 2004; Rice et al, 2001; Steenbergen et al, 2000). Ainsi, une diminution de la fréquence (Garry et al, 2005; Rice et al, 2001), de la moyenne de la vitesse maximale (Rice et al, 2001; Steenbergen et al, 2000) ainsi que de l'amplitude du mouvement (Garry et al, 2005) au membre ipsilatéral sont observées lors de l'exécution de tâches bilatérales nécessitant une coordination synchrone des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC. Les mécanismes sous-jacents à la coordination bilatérale sont variés et peu congruents dans la littérature. Ainsi, il est suggéré que le membre ipsilatéral pourrait diminuer la qualité de son mouvement lors de la réalisation de tâches bilatérales afin de se stabiliser au niveau de la qualité du mouvement du membre controlatéral et ainsi favoriser une coordination bilatérale plus harmonieuse (Steenbergen et al, 2000). Cette hypothèse est appuyée par une forte coordination temporelle observée aux membres supérieurs lors de la tâche bilatérale synchrone d'atteinte («reaching») (deux objets) (Steenbergen et al, 2000). Cependant, comme la diminution de l'amplitude du mouvement est observée au membre ipsilatéral alors que la qualité du mouvement au membre controlatéral reste

inchangée lors de mouvements bilatéraux, il est également suggéré que le membre controlatéral contraint le membre ipsilatéral lors de ce type de mouvements (Garry et al, 2005; Rice et al, 2001). Néanmoins, d'autres auteurs suggèrent que l'attention soutenue portée au membre controlatéral au détriment du membre ipsilatéral explique la diminution de la qualité du mouvement au membre ipsilatéral lors de la réalisation de tâches bilatérales (Lewis et al, 2004). Quoiqu'il en soit, lors de la réalisation des tâches bilatérales nécessitant une coordination synchrone des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC, une dégradation de la qualité du mouvement au membre ipsilatéral en comparaison à la performance de ce même membre lors de tâches unilatérales est constamment observée alors que la qualité des mouvements au membre controlatéral, soit lors de tâches unilatérales ou bilatérales, reste inchangée. Ainsi, l'hypothèse que les tâches bilatérales puissent améliorer la performance du membre controlatéral reste controversée.

Dans la littérature, certaines études s'intéressent à la qualité du mouvement de coordination lors de l'exécution de tâches bilatérales nécessitant une coordination opposée des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC. La coordination opposée des membres supérieurs est l'exécution de mouvements contraires, asymétriques et indépendants (deux objets) dans l'optique d'atteindre un objectif commun. Les tâches bilatérales de coordination opposée de ces études étaient de type rotatoire où le sujet doit dessiner deux cercles avec ses deux membres supérieurs en tournant dans des sens opposés (horaire et anti-horaire) (Lewis et al, 2004) et de type transport où chacun des membres doit transporter sa

propre balle et aller la déposer dans leur trou respectif en même temps (mouvement asymétrique) (Steenbergen et al, 1996). Lors de la réalisation des tâches bilatérales nécessitant une coordination opposée des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC, une dégradation de la performance du membre ipsilatéral en comparaison avec la performance de ce même membre lors de tâches unilatérales est constamment observée (Lewis et al, 2004; Steenbergen et al, 1996) alors que la qualité des mouvements au membre controlatéral, soit lors de tâches unilatérales ou bilatérales, reste inchangée (Lewis et al, 2004; Steenbergen et al, 1996). Une diminution de la vitesse d'initiation et d'exécution du mouvement (Steenbergen et al, 1996) ainsi qu'une détérioration des paramètres spatiaux (Lewis, 2004) au membre ipsilatéral des sujets avec un AVC sont observés. Les explications de ce phénomène sont identiques à celles données ci-haut en ce qui a trait aux tâches bilatérales synchrones.

En somme, une diminution de la qualité du mouvement du membre ipsilatéral est observée lors de la réalisation de tâches bilatérales nécessitant une coordination synchrone ou opposée des membres supérieurs chez les personnes ayant eu un AVC en comparaison à la qualité du mouvement de ce même membre lors de la réalisation de tâches unilatérales.

La qualité du mouvement au membre ipsilatéral lors de tâches bilatérales nécessitant la coordination réciproque des membres supérieurs n'est pas étudiée dans la littérature. La coordination réciproque est l'action d'un membre supérieur contre l'action de l'autre membre interagissant sur un même objet. Par exemple,

lors de l'ouverture d'un pot de confiture, une des mains doit contrecarrer l'action de l'autre. Dans la présente étude, le mouvement réciproque de poursuite de tracés de force a été choisi, étant donné qu'il demande au sujet de saisir un objet entre le pouce et l'index, de le presser contre la paume de l'autre main et qu'il implique un haut niveau de traitement de l'information sensori-motrice. Le chapitre suivant décrit la méthodologie employée afin de réaliser la collecte de données qui permettra ensuite d'analyser les impacts au niveau du membre ipsilatéral chez la clientèle hémiplegique lors de tâches bilatérales réciproques (un objet).

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

3.1. Participants

Lors de cette étude, deux groupes de sujets ont été formés. Le premier groupe consistait en 17 personnes ayant eu un AVC alors que le second groupe était composé de 17 sujets sains. Ces deux groupes ont été appariés au niveau du sexe, de l'âge et de la dominance manuelle des sujets qui les composaient. Les personnes ayant eu un AVC ont été recrutées par sollicitation postale à l'aide d'une liste de sujets ayant eu un AVC il y a de une à cinq années et ayant été traités à l'Institut de Réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM). Afin d'être admis dans cette étude, les personnes ayant eu un AVC devaient remplir les critères d'inclusion suivants : 1 – avoir une parésie de légère à modérée au niveau du membre supérieur controlatéral qui résulte d'un premier AVC unilatéral depuis une à cinq années avant l'inclusion dans l'étude; 2 – avoir un stade de recouvrement moteur au niveau du membre controlatéral se situant entre quatre et sept au Chedoke-McMaster Stroke Assessment pour les sections main et bras (Gowland et al, 1993); 3 – être aptes à utiliser l'appareil expérimental à l'aide d'une pince effectuée par l'opposition du pouce et de l'index ; 4 – être âgées entre 20 et 80 ans. Ensuite, si les sujets, ayant eu un AVC ou sains, remplissaient les conditions suivantes, ils étaient exclus de l'étude: 1 – avoir un problème médical majeur (maladie cardiaque, systémique ou une dégénérescence neurologique progressive);

2 – être atteints d'un désordre musculosquelettique qui affecte les membres supérieurs et qui ne résulte pas d'un AVC; 3 – avoir un déficit visuel qui rend difficile l'utilisation d'une rétroaction visuelle («feedback»); 4 – avoir de la difficulté à comprendre des consignes (i.e. aphasie sévère de compréhension); 5 – avoir une hémiparésie visuelle évaluée par le test des cloches qui est un instrument fiable et valide (Gauthier et al, 1989; Vanier et al, 1990).

Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique affilié au centre de réadaptation (IRGLM) où les personnes ayant eu un AVC ont été recrutées. Chaque participant a donné son consentement écrit avant le début de l'étude.

3.2. Évaluation clinique

Les personnes ayant eu un AVC ont été évaluées en une seule session d'une durée d'une heure et 15 minutes. Les sujets du groupe contrôle n'ont pas été invités à passer ces tests. Les évaluations cliniques ont été réalisées par deux ergothérapeutes expérimentées ayant reçu la formation requise. Le Chedoke-McMaster Stroke Assessment (Gowland et al, 1993) a été utilisé afin d'évaluer le degré de l'atteinte motrice de la main et du bras du membre controlatéral. Le score de cette évaluation est donné en relation avec l'habileté du sujet à réaliser le mouvement demandé à l'intérieur ou à l'extérieur des patrons de synergies. Les sujets ayant un déficit somatosensoriel ont été identifiés à l'aide de deux submodalités : le seuil du toucher et de la pression ainsi que de la kinesthésie du pouce. Le seuil du toucher et de la pression a été mesuré au niveau de la phalange

distale de l'index des deux mains en utilisant cinq monofilaments de Semmes-Weinstein (2.83, 3.61, 4.31, 4.56, 6.65) et en respectant les procédures décrites par Bell-Krotoski (1990). La kinesthésie du pouce a, quant à elle, été évaluée au niveau de l'articulation interphalangienne du pouce des deux mains à l'aide d'un goniomètre digital en suivant les procédures décrites par Desrosiers et al, (1996). Le sens du membre supérieur controlatéral a également été évalué en utilisant le test Fugl-Meyer (Fulg-Meyer et al, 1975). Les sujets ont été classés comme présentant un déficit somatosensoriel au niveau du membre controlatéral et/ou ipsilatéral s'ils rencontraient les critères suivants basés sur les normes établies pour les adultes sains âgés (Desrosiers et al, 1996): 1 – les sujets ne peuvent ressentir le monofilament numéro 3.61 deux fois sur trois essais et 2 – les sujets ne peuvent correctement indiquer le sens du mouvement du pouce au maximum deux fois sur 10 essais. Ces procédures caractérisant les déficits somatosensoriels qui ont été utilisées dans l'étude de Bertrand et al, (2003). Le test du ABILHAND bimanuel a également été utilisé pour quantifier l'habileté des personnes ayant eu un AVC dans leurs activités de la vie quotidienne et domestique (Penta et al, 2001). Les caractéristiques démographiques et cliniques des personnes ayant eu un AVC sont résumées dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 - Caractéristiques démographiques et cliniques des sujets ayant eu un AVC

Sujets	Âge, années	Sexe	Domini- Nance	Côté de la parésie	CM (main, bras)	FM	SW (P, NP)	Kinesthésie du pouce (P, NP)	ABIL- HAND
1	52	H	D	D	6; 5	8	3,61; 3,61	10; 10	36
2	60	H	D	G	6; 6	6	3,61; 3,61	10; 9	42
3	66	H	D	D	5; 5	8	3,61; 3,61	10; 10	40
4 **	61	H	D	D	5; 5	7	4,31; 3,61	7; 9	44
5	58	H	D	D	7; 7	7	3,61; 3,61	10; 10	46
6	55	H	D	D	7; 7	8	3,61; 3,61	10; 10	46
7	53	F	G	G	6; 7	7	4,31; 3,61	10; 10	X
8 **	39	H	D	D	5; 6	4	* ; 3,61	3; 10	30
9 **	75	H	D	G	6; 5	8	4,31; 4,31†	7; 10	44
10 **	46	F	D	D	5; 5	7	3,61; 3,61	9; 10	35
11	45	H	G	D	7; 7	8	2,83; 3,61	10; 10	44
12	31	H	D	G	7; 7	8	2,83; 2,83	10; 10	42
13	48	H	D	G	7; 7	7	3,61; 3,61	10; 9	44
14	50	H	D	G	7; 7	8	3,61; 2,83	7; 10	46
15	46	H	D	G	7; 7	8	2,83; 2,83	10; 10	40
16	64	H	D	G	6; 7	8	3,61; 3,61	10; 10	40
17	55	F	D	D	6; 7	8	3,61; 3,61	10; 10	39

Légende : CM = Chedoke-McMaster Stroke Assessment, D = droite, F = femme, FM = Fulger-Meyer, G = gauche, H = homme, NP = non-parétique, P = parétique, SW = Semmes-Weinstein monofilaments, * = sujets n'ayant aucune sensation (monofilament). ** = sujets ayant un déficit somatosensoriel

3.3. Expérimentation

3.3.1. Instrument

Lors de cette étude, il était demandé au sujet d'utiliser une pince formée du pouce et de l'index afin de saisir les appareils instrumentés identiques (Figure 3.1). Le poids de chaque appareil était de 350 g. La propriété de la surface de contact entre le pouce et l'index était toujours la même : un papier-sablé avec un grain de grosseur 120. Les surfaces de préhension étaient séparées par un espace de trois centimètres (cm) et le diamètre des pastilles était de quatre cm. Un capteur de force tri-axial permettait de mesurer les forces de pince (F_z), les forces de cisaillement («load-force») (F_x) et les forces antéro-postérieures (F_y). Un accéléromètre était fixé sous l'appareil afin de mesurer les accélérations verticales, horizontales et latérales. Tous les signaux ont été enregistrés à une fréquence de 128 Hertz (Hz).

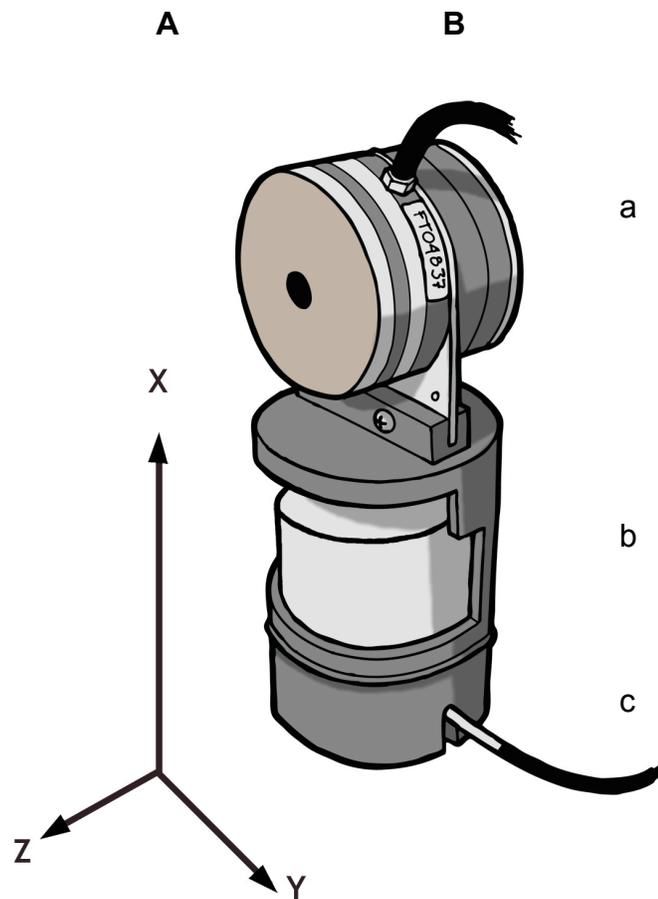


Figure 3.1 : A) Orientation des axes de forces du capteur de force,

Figure 3.1 : B) Schéma de l'appareil utilisé lors de l'expérimentation. a) Capteur de force recouvert d'un morceau de papier sablé (grain de grosseur 120) ayant un point de repère en son centre, b) poids ayant la possibilité d'être changé, c) fil de l'accéléromètre situé sous l'appareil

3.3.2. Tâche de levées

Lors de la session expérimentale, les sujets étaient assis sur une chaise sans appui-bras. Leurs coudes étaient positionnés à 90° de flexion et leurs avant-bras reposaient sur une table ajustable en hauteur. Lors de la première condition, l'expérimentateur plaçait les deux appareils en face du sujet. Suite au signal sonore, le sujet devait lever et tenir, en utilisant ses pouces et index et en fléchissant ses coudes, les deux appareils jusqu'à la hauteur indiquée par le marqueur (trois cm) durant huit secondes (sec) soit une période de préparation, de levée et de dépôt de l'objet sur la table (Figure 3.2 B). Un rond, situé au milieu du capteur de force, aidait les sujets à placer adéquatement leurs doigts sur l'appareil. Cette condition bilatérale était exécutée cinq fois. Ensuite, lors de la deuxième condition, l'expérimentateur demandait au sujet de lever l'appareil qui était situé uniquement en face de son membre ipsilatéral (ou dominant pour les sujets sains) et en suivant les mêmes consignes que lors de la réalisation de la condition bilatérale (Figure 3.2 A). Cette condition unilatérale était également exécutée cinq fois. Ce protocole, condition bilatérale et unilatérale, était répété trois fois pour un total de 30 levées. La moyenne des variables provenant de la cinquième levée bilatérale de chaque bloc d'essai au niveau du membre ipsilatéral (ou dominant) ainsi que la moyenne de la dernière levée unilatérale (dixième levée) de chaque bloc de ce même membre ont été utilisées lors des analyses subséquentes.

Avant de débiter l'expérience, la tâche était démontrée au sujet et celui-ci pouvait expérimenter quelques levées. S'il y avait des lacunes tant qu'à l'exécution de la

tâche, c'est à ce moment que l'expérimentateur pouvait corriger la position/performance du sujet. Les sujets gardaient les yeux ouverts tout au long de la séance et ils pouvaient prendre des pauses afin d'éviter de se fatiguer.

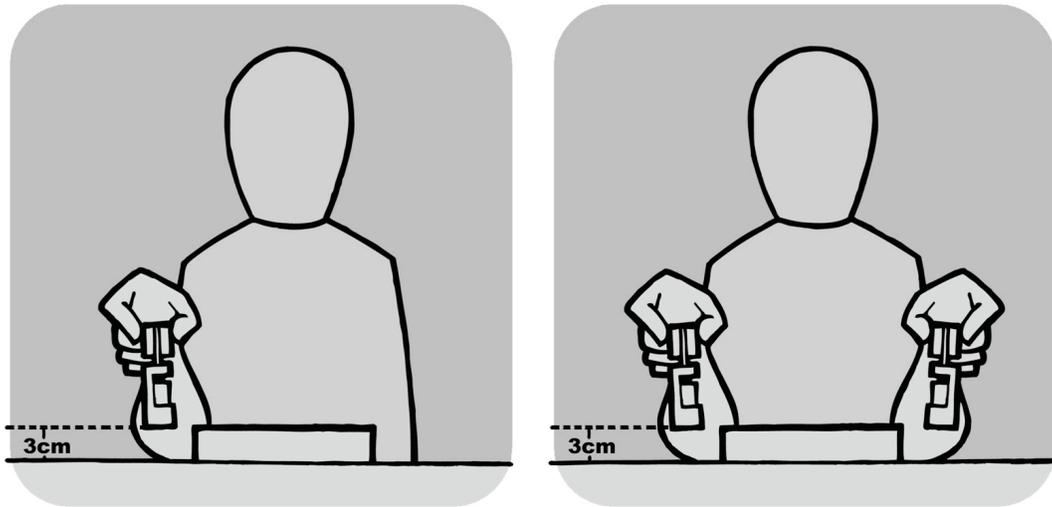


Figure 3.2 A) Tâche de levées en condition unilatérale

Figure 3.2 B) Tâche de levées en condition bilatérale

3.3.3. Tâche de poursuite visuomotrice

Lors de la réalisation de cette tâche, les sujets étaient positionnés comme lors de la tâche des levées. Suite à un signal sonore donné par l'expérimentateur, les sujets devaient placer leur pouce et leur index ipsilatéraux (ou dominants) sur l'appareil. Un rond, situé au milieu du capteur de force, aidait les sujets à placer adéquatement leurs doigts sur l'appareil. Les forces de pression (F_x) exercées autant par le pouce et l'index sur l'objet que celle de l'objet sur la table ou sur la paume étaient mesurées. Suite au signal sonore, les sujets devaient exercer une

force de pression contre la table (condition unilatérale : Figure 3.3 A) ou contre la paume de leur autre membre (condition bilatérale : Figure 3.3 B), en tenant l'appareil entre le pouce et l'index. Cette force de pression était digitalisée et affichée en temps réel sur un écran d'ordinateur. Sur le même écran, un tracé sinusoïdal (1 Hertz (Hz)) était affiché et le sujet devait tenter de le suivre en exerçant une force de pression (F_x). Le tracé de force à suivre comportait une seconde de préparation ayant une force de zéro Newton (N) suivi de cinq sinus ayant comme maximum une force de 10 N et comme minimum une force de zéro N. Chaque condition était répétée trois fois et les moyennes des trois essais ont été utilisées dans les analyses subséquentes. Avant de débiter cette tâche, elle était démontrée au sujet et celui-ci pouvait expérimenter quelques essais de poursuites visuomotrices. S'il y avait des lacunes tant qu'à l'exécution de la tâche, c'est à ce moment que l'expérimentateur pouvait corriger la performance du sujet. Ces deux conditions ont été randomisées entre les sujets de chaque groupe.

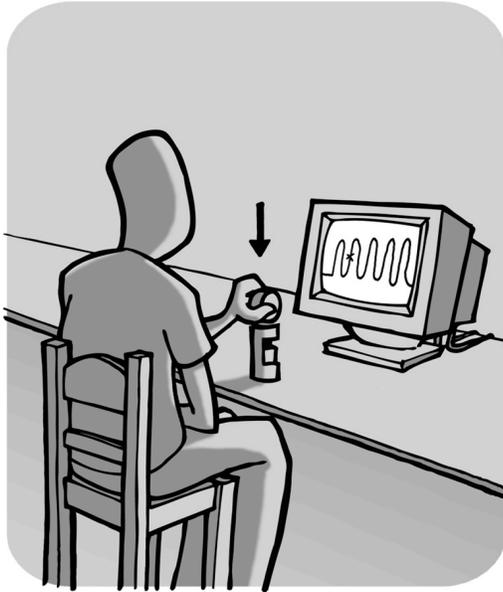


Figure 3.3 A) Tâche de poursuites visuomotrices (sinus) en condition contre la contre la table (condition unilatérale)

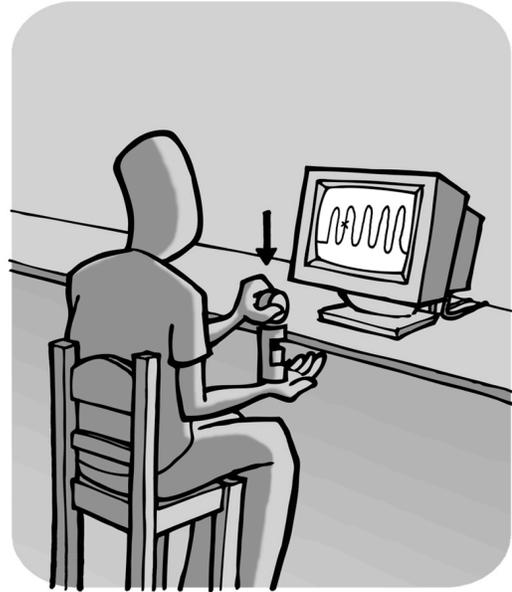


Figure 3.3 B) Tâche de poursuites visuomotrices (sinus) en condition paume (controlatérale ou non-dominante : condition bilatérale)

CHAPITRE 4

ARTICLE

Ipsilateral upper-extremity performance during bilateral manipulation following a cerebrovascular accident

Forest Marie-Hélène^a, Mercier Catherine^c, Bertrand Martine^d, Bourbonnais Daniel^a,

^a *École de Réadaptation, Université de Montréal, Montréal, Canada*

^b *Centre de Recherche Interdisciplinaire en Réadaptation (CRIR), Institut de Réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Montréal, Canada*

^c *Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et en intégration sociale (CIRRS), Québec, Canada*

^d *Haute école de travail social et de la santé EESP Vaud, Haute École spécialisée de Suisse Occidentale, Lausanne, Switzerland*

Abstract. Previous studies have shown that the motor performance of the limb ipsilateral to the cerebral lesion following a stroke is diminished during bilateral movements compared to unilateral movement. It is also impaired during complex tasks that probably require complex bi-hemispherical processing of information. We compare the performance of the ipsilateral hand in persons with light motor impairments following a stroke to that of healthy subjects while performing a tracking task involving complex visual and sensory processing and prehensile tasks involving similar motor patterns but simpler sensory and motor processing. The performance of the ipsilateral hand of stroke persons is diminished when exerting a grip force to follow a visual force template unilaterally and this impairment is increased when both hands interact on the same object. In contrast, the performance of the ipsilateral hand is similar to that of healthy subjects during simpler lifting tasks whether the movement is performed unilaterally or bilaterally. This suggests that the visuomotor performance is impaired on the ipsilateral side even though the motor control of the proximal and distal musculature is appropriate to manipulate an object. It also suggest that increased complexity of the processing of sensory and motor information contributes to impairing the performance of the ipsilateral hand of stroke patients. This emphasizes the importance of addressing the impairment of the ipsilateral hand in stroke rehabilitation.

Keywords: cerebrovascular accident, upper limb, grip force, load force, sensorimotor integration

* Address for correspondence: Bourbonnais Daniel, PhD, OT, Director, École de réadaptation, Faculté de médecine, Université de Montréal, Pavillon 7077 Avenue du Parc, C.P. 6128 Succ. Centre-ville, Montréal, Qc, Canada H3C 3J7

E-mail : daniel.bourbonnais@umontreal.ca

4.1. Introduction

Motor deficits in the limb contralateral to the cerebral lesion, i.e. the paretic limb [3,5,11,15,16,21,22,24,25,30] are frequently observed following a cerebro-vascular accident (CVA). However, studies have shown that the motor performance of the limb ipsilateral to the lesion, i.e the non-paretic limb, is also affected following a unilateral CVA. In fact, both decreased manual dexterity [6,25,31,34] and impaired kinematic characteristics of movements [7,13,14,36,40] of the ipsilateral limb have been reported in this population.

Several mechanisms have been suggested to explain this decreased performance of the ipsilateral side. Since approximately 10 to 15% of the fibers of the corticospinal tract fibers reach the ipsilateral spinal cord in humans [26], the loss of this cortical projection may contribute to motor impairments of the ipsilateral upper extremity. It has also been suggested that damage to one hemisphere alters the integrity of transcallosal signals and disrupts cortical outputs from the non lesioned hemisphere to the spinal cord. In support of this view, it was demonstrated that the response of the ipsilateral abductor muscle to transcranial magnetic stimulation normally observed in healthy subjects is weaker following stroke. This suggests that the interhemispheric inhibition of the lesioned hemisphere on the non lesioned hemisphere is impaired following a CVA. Recently, based on a differential longitudinal recovery pattern of dexterity and strength of the ipsilateral limb, it has been proposed that subcortical injury following a CVA disrupts complex motor

function by altering the activity of the overlying cortex thus impairing the performance of more complex tasks requiring bi-hemispherical processing of information [23]. The observation that the performance of the ipsilateral hand and wrist is impaired during tasks requiring visual or cognitive processing supports this view. In fact, Kwon and al (2007) found a performance deficit during flexion and extension of the ipsilateral wrist tracking a sine wave was not observed in a simple tapping task using the impaired finger [20]. The performance of the ipsilateral hand of stroke patients compared to healthy subjects diminished when they were asked to track a cursor on a screen with their finger while their wrist was either aligned or not with the axis of reference of the finger movement by moving their wrist in pronation or supination [4]. Similarly, the performance of the ipsilateral wrist of stroke patients was more impaired when they performed tracking tasks requiring combined movements (e.g. flexion/adduction) as compared to more isolated movements (e.g. flexion) [37].

Several studies have also shown that the performance of the ipsilateral limb is diminished during bilateral movements compared to unilateral movement [9,22,29,32,33]. In general, the studies examining the effect of bilateral movements have been conducted in moderate to severe populations of stroke patients. We can therefore postulate that, if the performance of the ipsilateral limb is determined by the clinical severity of the contralateral limb, the performance of the ipsilateral limb will be less influenced by the contralateral limb in patients with light impairments during bilateral tasks and will be comparable to the performance of healthy subjects. In contrast, if the adequacy of the bi-hemispherical processing of

information also contributes to decrease the performance of the ipsilateral hand, this performance would be affected by increasing the complexity of sensory processing, even though the clinical severity is light. In sum, assuming that increased information processing and not solely motor impairment contributes to a decreased motor performance of the ipsilateral limb, patients with a less severe motor impairment should still have difficulty performing tasks that require a higher level of processing of visual or sensory information and this should be amplified in bilateral tasks requiring more complex processing.

In the present study, we tested this hypothesis directly by comparing the performance of the ipsilateral hand in patients with light clinical severity and in healthy subjects in a tracking task involving complex visual and sensory processing and prehensile tasks involving similar motor patterns but simpler sensory and motor processing. This hypothesis that the processing complexity would influence motor performance was further evaluated by increasing this complexity using bilateral tasks. It was hypothesized that the performance of the ipsilateral limb of stroke participants would differ from that of healthy subjects during the tracking tasks but not during the prehensile task and that this impairment would be greater in bilateral tasks requiring more information processing.

4.2. Subjects and methods

4.2.1. Participants

Seventeen subjects with post-CVA hemiparesis and 17 age-, gender- and dominance-matched healthy subjects participated in the study. The chronic stroke subjects were recruited from the list of patients treated at the Institut de Réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal over a one- to five-year period prior to their admission to the study. To be included in this study, the stroke subjects had to meet the following criteria: 1- paresis of the upper extremity resulting from a first unilateral stroke that occurred between one and five years prior to their admission to the study; 2- having a stage of motor recovery of the paretic upper limb between four and seven in the Chedoke-McMaster Stroke Assessment (arm and hand section)[12]; 3- ability to use the experimental pinch apparatus; 4- aged between 20 and 80 years. If any subjects, stroke or healthy, met the following criteria, they were excluded from the study: 1- major medical problems (active cardiac, systemic or progressive neurological disease); 2- musculo-skeletal disorder affecting the upper extremities, 3- visual deficits that would preclude the use of visual feedback, 4- inability to understand training procedures (e.g. severe comprehensive aphasia); 5- visual hemineglect as evaluated by the "Bells Test"[10, 35].

Once the research ethics committee of the rehabilitation center had approved the study, subjects were recruited and each participant provided his/her written consent before the experiment.

4.2.2. Measurement and data acquisition

All stroke subjects were evaluated in a single session of 1 h 15 min. The clinical evaluations were administered by two experienced occupational therapists. The Chedoke McMaster Stroke Assessment [12] was used to evaluate the motor impairment of the arm and hand by quantifying the subject's ability to perform movements requiring increasing complexity of movements. The touch/pressure threshold was measured at the distal phalanx of the index of the two hands using five Semmes-Weinstein monofilaments (2.83, 3.61, 4.31, 4.56, 6.65). The procedures described by Bell-Krotoski (1990) [2] were followed. The thumb kinesthesia was evaluated at the interphalangeal joint of the thumbs of the two hands with a digit goniometer following the procedures described by Desrosiers and coll. (1996) [6]. Proprioception of the upper limb was evaluated using the Fugl-Meyer Test [8]. Subjects were classified as presenting somatosensory impairment if they met the following criteria based on norms established for healthy older adults [6] : 1- subject could not feel the monofilament number 3.61 in two out of three trials and 2- subject could not correctly indicate the direction of the thumb movement at least twice in 10 trials. Based on these criteria, none of the subjects showed sensory impairment on the ipsilateral side while four subjects showed impairment on the controlateral side. The ABILHAND bimanual test was also used to quantify the degree of ability of stroke subjects in their daily life. ABILHAND measures the patient's perceived difficulty in performing everyday bimanual activities and provides a score out of 46 [27]. Demographic and clinical data for the stroke subjects are summarized in Table 4.1.

4.2.2.1. Apparatus

In the experiment, subjects were asked to pinch and lift an instrumented object between the thumb and the index finger (Figure 4.1). The weight of the apparatus was 350 g. The property of the grip surface of the apparatus was standardized by 120-grit sandpaper. The opposite surface of the gripping area was separated from the gripping surface by 3 cm and the diameter of the gripping surface measured 4 cm. A 3-axis transducer measured the grip force (F_z : force exerted between index and thumb), the load force (F_x : vertical force generated by the weight and the acceleration of the object during the lifting task and the force generated by pressing against the object in the tracking task) and anterior-posterior (F_y) shear forces. An accelerometer was fixed to the apparatus to measure the vertical, horizontal and lateral acceleration. All signals were digitized at a frequency of 128 Hz and stored on a hard disk.

4.2.2.2. Lifting tasks

The subject was seated on a chair, without armrest, with elbows positioned at 90 degrees of flexion and forearms resting on an adjustable table. The lifting task comprised two experimental conditions: bilateral and unilateral lifting. In the first condition, two apparatus were placed in front of the subject. Following an auditory cue, the subject was asked to simultaneously lift and hold the two devices using the pinch grip (thumb and index finger), at a height of 3 cm indicated by a piece of

foam, by flexing the elbow and holding it still for 8 s before putting it on the table (bilateral condition: Figure 4.2 B). Five trials were performed and only the variables of the last trial of the ipsilateral hand or dominant side for healthy subjects was retained for analysis, in order to reflect the strategy used once the subjects adapted to the object weight. In addition, the difference in time between onsets of grip force preceding the lifting of the objects is compared in the bilateral condition for both groups in order to provide an index of temporal coordination between the two hands. Then, the experimenter asked the subject to lift and hold only the device on his ipsilateral or dominant side for healthy subjects (unilateral condition: Figure 4.2 A). The apparatus was lifted and held at a height of 3 cm for 8 s and five trials were performed. Again, only data from the last trial were kept for analysis. Both conditions were repeated three times for a total of 30 lifts. The last trials from each block were averaged.

These lifting tasks were demonstrated at the beginning of the experimental session and the subjects were allowed one or two familiarization trials before initiating the blocks of data collection. Subjects kept their eyes open throughout the session and were allowed breaks to prevent fatigue.

4.2.2.3. Tracking tasks

The subject's position was the same as in the lifting tasks. In the tracking tasks, the subject was asked to pinch the apparatus between the ipsilateral (or dominant side for healthy subjects) thumb and index finger and to get ready to press the device

either against a table (unilateral condition: Figure 4.2 C) or against the palm of his/her other hand (bilateral condition: Figure 4.2 D). Following an auditory cue, the force exerted against the table or the palm (load force: F_x) was displayed on a screen in front of the subject with a force template to follow. This template includes a baseline of 1 s followed by five sinusoidal curves that had a maximum of 10 N and a minimum of 0 N at a frequency of 1 Hz. The subject's task was to match as much as possible the force exerted on the table with the force template. The table and palm conditions were repeated three times and were counterbalanced between each subject in each group. All the values from the three blocks were averaged. Before data collection began, the tasks were demonstrated to the subjects and they could practice a few trials to follow the curve.

4.2.3. Data analysis

The grip force (F_z) and load force (F_x) during the lifting tasks were calculated at mid point between the peak acceleration and baseline value of the acceleration. This procedure was implemented to standardize the occurrence of the force measurements and corresponds roughly to the occurrence of the peak of force grip.

To determine the accuracy of force in the tracking task, the difference between the exerted load force (F_x) displayed on the screen and fed back to the subject and the template force to follow was calculated using the trapezoid method in absolute values. Since the load force is determined by the grip force and the friction coefficient,

the difference between the grip force (F_z) and the force template was estimated for each subject and averaged. In addition, both the grip force (F_z) and the load force (F_x) were cross-correlated with the force template for the entire duration of the trial. The cross-correlation allows the time lag to be calculated by maximizing the correlation between the signals. These time lags were estimated for each subject. In addition, the difference in area between the force traces and the force template were recalculated by realigning the signal using the time lag revealed by the cross correlation technique. This allows the effect of temporal asynchrony between the limbs on the error of force matching to be estimated.

4.2.4. Statistical analysis

A total of 2x2 repeated measures analyses of variance (ANOVA) were performed on the grip and load force variables for the lifting task [(condition (unilateral/bilateral) X group (healthy/stroke) and the tracking task (condition (table and palm) X group (healthy/stroke))]. When necessary, post-hoc contrasts were performed using Student t-tests.

4.3. Results

4.3.1. Sample description

The mean age was 53.2 ± 10.6 years for the stroke group and 52.7 ± 11.7 years for the healthy group and was not different ($t = 0.138$, $p = 0.891$). All subjects were right-

handed except four, two in each group. All left-handed subjects were age- and gender-matched. In the stroke group, eight subjects had a right hemiparesis and seven, a left hemiparesis.

4.3.2. Lifting tasks

The mean grip forces (Fz) were measured in the ipsilateral hand in the stroke subjects while lifting unilaterally (5.35 ± 4.25) N and bilaterally (5.24 ± 3.58) N and in the dominant hand in healthy subjects while lifting unilaterally (4.49 ± 1.53) N and bilaterally (4.66 ± 1.89) N. ANOVA showed no condition effect ($F_{(1,32)} = 0.050$, $p = 0.825$), no group effect ($F_{(1,32)} = 0.485$, $p = 0.491$) and no condition-by-group interaction ($F_{(1,32)} = 1.031$, $p = 0.318$). The mean load force (Fx) was also measured in the ipsilateral hand in the stroke subjects while lifting unilaterally (2.04 ± 0.62) N and bilaterally (2.04 ± 0.51) N and in the dominant hand in healthy subjects while lifting unilaterally (1.96 ± 0.36) N and bilaterally (1.96 ± 0.31) N. ANOVA showed no condition effect ($F_{(1,32)} = 0.003$, $p=0.959$), no group effect ($F_{(1,32)} = 0.249$, $p=0.621$) and no condition-by-group interaction ($F_{(1,32)} = 0.002$, $p=0.965$). The figures numbers 4.3 and 4.4 represent respectively raw data of the lifting task in unilateral and bilateral conditions for a healthy and a stroke subject.

4.3.2.1. Movement characteristics during the bilateral lifting task

The symmetry of lifting in the bilateral condition was analyzed for each group by comparing the time difference at onset of the grip force before the subject lifted

his/her hands. The mean difference in time was (-0.003 ± 0.050) s for the stroke group and (-0.007 ± 0.021) s for the healthy group. Statistical analysis (t-test) showed no difference between the two groups ($t = 0.265$, $p = 0.792$).

4.3.3. Tracking task

In order to perform the tracking task using the Fx force as feedback, the subjects had to exert a grip force (Fz) which was also modulated during the task. The group mean difference between the grip force (Fz) and the force template during the tracking tasks was measured in the stroke group against the table (14.15 ± 6.41) N and against the controlateral palm (17.63 ± 10.51) N and in the healthy group against the table (11.19 ± 4.43) N and against the palm (11.68 ± 4.31) N. ANOVA showed a condition effect ($F_{(1,32)} = 16.338$, $p = 0.000$), no group effect ($F_{(1,32)} = 0.636$, $p = 0.431$) and no condition-by-group interaction ($F_{(1,32)} = 0.266$, $p = 0.610$). In sum, both groups produce a higher grip force during the palm condition compared to the table condition.

The group mean load force (Fx) during the tracking task under the conditions of tracking against the table and against the controlateral palm are seen in Figure 4.5. ANOVA showed no condition effect ($F_{(1,32)} = 7.899$, $p = 0.008$) and no group effect ($F_{(1,32)} = 6.636$, $p = 0.015$) but a significant condition-by-group interaction ($F_{(1,32)} = 4.447$, $p = 0.043$). No significant difference between the palm and table conditions ($t = -0.925$, $p = 0.369$) was observed in the healthy group while a significant difference was observed in the stroke group ($t = -2.658$, $p = 0.017$). Further

contrasts indicate that the area between the load force (F_x) and the force template was increased in the stroke group in both the table ($F_{(1,32)} = 7.836$, $p = 0.028$) and the palm ($F_{(1,32)} = 14.445$, $p = 0.013$) conditions compared to the healthy subjects. In sum, the stroke group always had a poorer performance than the healthy subjects for both the table and palm condition but the difference was greater in the palm condition.

4.3.4. Area under the curve (sine) and time lag for the load force in the tracking task

Load force (F_x) signals were cross-correlated with the force template and the difference in area with the force template was recalculated. The mean area between the load force (F_x) and the force template after these signals have been cross-correlated in the stroke group for the table condition (8.94 ± 3.82) N and for the palm condition (9.70 ± 4.10) N and in the healthy groups for the table condition (6.89 ± 2.15) N and the palm condition (6.99 ± 2.54) N (figure 4.6). While no condition effect ($F_{(1,32)} = 1.965$, $p = 0.171$), and condition-by-group interaction ($F_{(1,32)} = 1.181$, $p = 0.285$) were observed, a significant group effect ($F_{(1,32)} = 4.911$, $p = 0.034$) was noted in both conditions.

The mean time lag of the cross-correlation between the load force (F_x) and the force template were calculated in the stroke group for the table (-75.1 ± 73.4) ms and the palm (-118.6 ± 187.1) ms conditions and in the healthy group for the table (-67.6 ± 76.2) ms and the palm (-58.8 ± 79.2) ms conditions. While no significant condition

effect ($F_{(1,32)} = 0.223$, $p = 0.640$) and no significant group effect ($F_{(1,32)} = 2.822$, $p = 0.103$) were observed, a significant condition-by-group interaction ($F_{(1,32)} = 4.738$, $p = 0.037$) was noted. Post-hoc analyses reveal no significant condition effect (table versus palm) in the healthy group ($F_{(1,16)} = 1.200$, $p = 0.290$) but a significant one in the stroke group ($F_{(1,16)} = 4.442$, $p = 0.051$): the tracking errors being larger in the palm condition. The mean time lags of the stroke group were no different from the healthy group in the table condition ($t = -0.292$, $p = 0.772$) but differed in the palm condition ($t = -2.232$, $p = 0.033$).

4.4. Discussion

The results indicate that the magnitudes of grip forces of the ipsilateral limb were modulated similarly in participants with light sensorimotor impairments following a CVA and in healthy subjects during unilateral and bilateral lifting of an object. The grip forces were similarly greater in both groups during a visuomotor tracking task using bilateral handling of the object as compared to the same visuomotor tracking task using only the ipsilateral hand. However, the control of the load force exerted by the ipsilateral hand of the stroke subjects in this visuomotor tracking task was impaired compared to the healthy subjects and this performance decreased when both hands were involved. Overall, these observations suggest that the visuomotor performance is impaired on the ipsilateral side even though the motor control of the proximal and distal musculature is appropriate to manipulate an object. These results suggest that increasing the complexity of the processing of sensory and

motor information impairs the performance of the ipsilateral hand of stroke patients compared to healthy subjects.

4.4.1. Control of grip forces

While lifting an object between the index and thumb, the individual has to generate a load force in order to prevent the object from slipping from the fingertips due to gravity. The amplitude of the load force is directly related to the friction coefficient and the acceleration of the object and the magnitude of the pinch force exerted on it. Usually, the magnitude of the grip force is slightly larger than the minimal grip force mechanically required to prevent the object from slipping; this provides a safety margin for the correction of small perturbations without dropping the object. Many studies have examined the coordination between the grip force and the load force during the manipulation of an object [17-19,38,39]. Although, the respective roles of feedback and feedforward mechanisms is still debated.

The results indicate that the grip force exerted by the ipsilateral hand of the stroke subjects was similar to that exerted by healthy subjects in the lifting task. Appropriate modulation of the grip force of the ipsilateral hand during consecutive lifting of objects with different weights was also reported in the stroke subjects with a moderate clinical severity [1]. In contrast, an inappropriate modulation of grip force exerted by the ipsilateral hand was observed in stroke participants with a more severe clinical severity [28]. This suggests that the adequacy of grip force

modulation not only of the controlateral hand but also of the ipsilateral hand will vary according to the clinical severity resulting from a CVA.

The grip forces were similar in both groups of subjects during the force tracking task in both conditions involving either the ipsilateral (or dominant) hand or both hands. Interestingly, both groups showed a marked increase in grip force when the object was held between hands as compared to the unilateral condition while pressing against the table although the same tracking task was performed in both conditions. When the subject performs the tracking task against the table, the load force on the object still results from the grip force and the friction characteristics of the object. In this condition, the reaction force to the load force is ensured by the table. Therefore, as the subject presses the object against the table, he/she does not control the reaction force since the task is unilateral and the reaction force is provided by the table. Although it is a product of the subject's effort. Similar to the lifting tasks, the grip force is produced by the hand and forearm musculature and the load force is produced by the arm musculature acting at the elbow in order to press the object against the table. However, in contrast to the lifting tasks, the magnitude of the load force needed to be precisely controlled by means of visual feedback. The grip force is modulated to provide a safety margin allowing appropriate control of the load force and ensuring that the thumb and finger do not slip on the object while pressing against the table. In contrast, when the subject used both hands to perform the same visuomotor task and generate the same load force pattern, the reaction force is provided by the controlateral hand rather by the

table. In this case, any load force generated by the ipsilateral hand has to be countered by a stabilization force generated simultaneously by the contralateral hand. In other words, both arms have to be coordinated in a predictive mode to ensure that an increase in the load force is accompanied by an increase in the stabilization force generated by the contralateral arm. In this situation, the strategy of both groups of subjects is to increase the safety margin by increasing the grip force. This strategy probably ensures that, if any time delays in force coordination between arms occur, the object will not slip between the fingers.

4.4.2. Load forces

The amplitudes of load forces during the lifting tasks were modulated similarly on the ipsilateral side of stroke participants and of healthy subjects. In sum, both grip and load forces were modulated correctly during the bilateral lifting tasks. Moreover, the onsets of grip force were closely synchronized in both hands. These results suggest that the strategy used by the subjects is to ensure mirrored movements on both sides. This could be achieved by a bilateral command controlling both the distal musculature involved in grip force control and the more proximal musculature involved in the lifting of the objects. However, this would not allow independent control of grip and load forces if, for example, the object slips in one hand. Alternatively, both movements could be lateralized by a unilateral command centrally issued simultaneously. This would allow independent control of grip and load forces. Whether bilateral or unilateral commands are involved is still to be determined.

The only difference in the performance of stroke participants compared to healthy subjects was the errors in the matching between the force template and load forces during the tracking tasks. The area between the load force and the force template was increased in stroke participants as compared to healthy subjects even when only the ipsilateral hand is used to perform the tracking task. This result is in accordance with other studies [4,20,37] demonstrating the impaired performance of the ipsilateral wrist and fingers during a tracking task. In view of the fact that the motor control of the hand and arm musculature of the ipsilateral arm required to perform the lifting and tracking tasks is similar, the motor impairment probably results from the visuomotor requirements and the sensory processing of the tracking tasks.

The results of several reports showing that the performance of the ipsilateral limb diminishes for bilateral movements [9,22,29,32,33]. This contrasts with the observation that the performance of the ipsilateral hand was not impaired in bilateral lifting tasks but agrees with the increase in impairment in the tracking task when the contralateral hand is used to stabilize the object. This absence of bilateral effects during the lifting task probably results from the light clinical severity of the stroke participants in the present study. Nonetheless, it appears that the performance of the ipsilateral hand is diminished specifically when both hands interact on the same object and not when both limbs are performing a similar movement.

When the load force signal is cross-correlated with the force template, a significant difference in time delay is found for stroke participants as compared to healthy subjects only for the bilateral tracking condition. Moreover, when this time lag is taken into account and the signals are temporally realigned, the difference in force amplitude that was specifically increased during bilateral force template matching in stroke participants is less and is comparable to the unilateral condition. This observation suggests that a temporal processing problem is involved in the diminished performance of stroke participants specifically in the palm condition (bilateral) tracking task. In contrast, no temporal differences for force onset were observed between hands while lifting the objects. It is suggested that the visuomotor control involved in the force matching lowered the performance by increasing the processing required to achieve bilateral coordination. The palm condition (bilateral) tracking task requires that the controlateral hand provides a stabilization force as the load force is produced on the ipsilateral side. It is possible that the time delay results from the difficulty of stroke participants to stabilize the controlateral arm although the clinical severity of the arm is moderate. Alternatively, the time delay may result from the difficulty of stroke participants to integrate sensory information or to provide a feedforward control of the controlateral arm.

Several mechanisms were suggested to explain the diminished performance of the ipsilateral limb following a stroke. The loss of ipsilateral descending projections and transcallosal interactions between motor areas could hardly explain that the performance of the ipsilateral hand was similar to that of healthy subjects in simpler

lifting tasks while it differs in more complex tasks. Since both tasks required the same groups of muscle as effectors but different sensorimotor processing, the results rather support the hypothesis that neuronal injury following a CVA disrupts complex motor requiring bi-hemispherical information processing [23]. Our results are also congruent with the observation that the performance of the ipsilateral hand and wrist is impaired during task requiring visual or cognitive processing support this view [4,20,37].

Finally, all these results underline the importance of taking into account the complexity of the task in order to evaluate the motor performance of the ipsilateral limb and bilateral coordination in subjects with hemiparesis. In other words, even if the severity of the cerebral lesion does not affect the quality of the prehension of the ipsilateral side in subjects with hemiparesis during simpler movements such as lifting unilaterally an object, the performance of more complex unilateral movements of the ipsilateral limb requiring more sensorimotor integration such as visuomotor tracking could still be diminished. Moreover, the results indicate that this impairment in more complex tasks could be worse when the controlateral limb interacts on the same object even though the performance of the ipsilateral limb is not impaired compared to healthy subjects when using the controlateral limb in a much simpler task such as bilateral lifting of two objects. These results have a clinical impact and emphasize the importance of addressing impairment of the ipsilateral hand in stroke rehabilitation. These results also underline the advantage of using bilateral assessment to evaluate the motor performance of the upper limbs of stroke persons.

4.5. Acknowledgments

We wish to thank Fabio Pellegrino for the illustrations and Jean-François Pilon for helping with the analysis programs.

4.6. References

- [1] Aruin, A. S. (2005). Support-specific modulation of grip force in individuals with hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 86, 4, 768-775.
- [2] Bell-Krotoski, J.A. Light touch-deep pressure testing using Semmes-Weinstein microfilaments. In *Rehabilitation of the hand: Surgery and therapy*, edited by Hunter, J.M., Schneider, L.M., Mackin, E.J., Callahan, A.D. St. Louis, MO : Mosby, 1990, p. 585-593.
- [3] Blennerhassett, J.M., Carey, L.M., Matyas T.A. (2006). Grip force regulation during pinch grip lifts under somatosensory guidance: comparison between people with stroke and healthy controls. *Archives physical medicine rehabilitation*, 87, 3, 418-29.
- [4] Carey, J.R., Baxter, T.L., Di Fabio R.P. (1998). Tracking control in the nonparetic hand of subjects with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 79, 4, 435-41.
- [5] Debaere, F., D. Van Assche, et al. (2001). Coordination of upper and lower limb segments: Deficits on the ipsilesional side after unilateral stroke. *Experimental Brain Research*, 141, 4, 519-529.
- [6] Desrosiers, J., Bourbonnais, D., Bravo, G., Roy, P.M., Guay, M. (1996). Performance of the 'unaffected' upper extremity of elderly stroke patients. *Stroke*, 27, 9, 1564-70.

- [7] Fisk, J.D., Goodale, M.A. (1988). The effects of unilateral brain damage on visually guided reaching: hemispheric differences in the nature of the deficit. *Experimental Brain Research*, 72, 425-435.
- [8] Fugl-Meyer, A.R., Jaasko, L., Leyman, I., Olsson, S., Steglind, S. (1975). The post-stroke hemiplegic patient. 1. A method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 7, 13-31.
- [9] Garry, M.I., Van Steenis, R.E., Summers, J.J. (2005). Interlimb coordination following stroke. *Human Movement Science*, 24, 5-6, 849-64.
- [10] Gauthier, L., Dehaut, F., Joannette, Y. (1989) The bells test: a quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11, 49-54.
- [11] Gowland, D., deBruin, H., Basmajian, J.V., Plews, N., Burcea, I. (1992). Agonist and antagonist activity during voluntary upperlimb movement in patients with stroke. *Physical Therapy*, 72, 624-633.
- [12] Gowland, C., Stratford, P., Ward, M., Moreland, J., Torresin, W., Van Hullenaar, S., Sanford, J., Barreca, S., Vanspall, B., Plews, N. (1993). Measuring physical impairment and disability with the Chedoke-McMaster Stroke Assessment. *Stroke*, 24, 58-63.
- [13] Hermsdörfer, J., Ulrich, S., Marquardt, C., Goldenberg, G., Mai, N. (1999a). Prehension with the ipsilesional hand after unilateral brain damage. *Cortex*, 35, 2, 139-161.
- [14] Hermsdörfer, J., Laimgruber, K., Kerkhoff, G., Mai, N., Goldenberg, G. (1999b). Effects of unilateral brain damage on grip selection, coordination, and kinematics of ipsilesional prehension. *Experimental Brain Research*, 128, 41-51.
- [15] Hermsdörfer, J., Hagl, E., Nowak, D.A., Marquardt, C. (2003). Grip force control during object manipulation in cerebral stroke. *Clinical Neurophysiologie*, 114, 915-929.
- [16] Hermsdörfer, J., Hagl, E., Nowak, D.A. (2004). Deficits of anticipatory grip force control after damage to peripheral and central sensorimotor systems. *Human Movement Science*, 23, 643-662.

- [17] Johansson, R.S., Westling, G. (1984). Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects. *Experimental Brain Research*, 56, 550–564.
- [18] Johansson, R.S., Westling, G. (1988). Programmed and triggered actions to rapid load changes during precision grip. *Experimental Brain Research*, 71, 1, 72-86.
- [19] Johansson, R.S., Cole, K.J. (1992). Sensory-motor coordination during grasping and manipulative actions. *Current Opinion in Neurobiology*, 2, 6, 815-23.
- [20] Kwon, Y.-H., Kim, C.S., Jang, S.H. (2007). Ipsi-lesional motor deficits in hemiparetic patients with stroke. *NeuroRehabilitation*, 22, 279-286.
- [21] Levin, M., Cirstae, C., Archambault, P., Son, F., Roby-Brami, A. (1999). Impairment and compensation of reaching in hemiparetic and cerebral palsied patients. In: Progress in motor control II, Penn State University.
- [22] Lewis, G.N., Byblow, W.D. (2004). Bimanual coordination dynamics in poststroke Hemiparetics. *Journal of motor behaviour*, 36, 2, 174-188.
- [23] Noskin, O., Krakauer, J.W., Lazar, R.M., Festa, J.R., Handy, C., O'Brien, K.A., Marshall, R.S. (2008) Ipsilateral motor dysfunction from unilateral stroke : implications for the functional neuroanatomy of hemiparesis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 79, 4, 401-406.
- [24] Nowak, D.A., Hermsdörfer, J., Topka, H. (2003). Deficits of predictive grip force control during object manipulation in acute stroke. *Journal of Neurophysiology*, 250, 850-860.
- [25] Nowak, D.A., Grefkes, C., Dafotakis, M., Küst, J., Karbe, H., Fink, G.R. (2007) Dexterity is impaired at both hands following unilateral subcortical middle cerebral artery stroke. *European Journal of Neuroscience*, 25, 3173-3184.
- [26] Nyberg-Hansen, R., Rinvik, E. (1963) Some comments on the pyramidal tract with special reference to its individual variations in man. *Acta neurologica Scandinavica*, 39, 1–30.

- [27] Penta, M., Tesio, L., Arnould, C., Zancan, A., Thonnard, J.L. (2001). The ABILHAND questionnaire as a measure of manual ability in chronic stroke patients: Rasch-based validation and relationship to upper limb impairment. *Stroke*, 32, 1627-34.
- [28] Quaney, B. M., S. Perera, et al. (2005). Impaired grip force modulation in the ipsilesional hand after unilateral middle cerebral artery stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 19, 4, 338-349.
- [29] Rice, M. S. and K. M. Newell (2001). Interlimb coupling and left hemiplegia because of right cerebral vascular accident. *The Occupational Therapy Journal of Research*, 21,1, 12-28.
- [30] Sommerfeld, D.K., Eek, E.U., Svensson, A.K., Holmqvist, L.W., Von Arbin, M.H. (2004). Spasticity after stroke : its occurrence and association with motor impairments and activity limitations. *Stroke*, 35, 134-139.
- [31] Spaulding, S.J., McPherson, J.J., Strachota, E., Kuphal, M., Ramponi, M. (1988). Jebsn éhand Function Test : Performance of the uninvolved hand in hemiplegia and of right-handed, right and left hemiplegic persons. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69, 419-422.
- [32] Steenbergen, B., W. Hulstijn, et al. (1996). Bimanual movement coordination in spastic hemiparesis. *Experimental Brain Research*, 110, 1, 91-98.
- [33] Steenbergen, B., E. van Thiel, et al. (2000). The coordination of reaching and grasping in spastic hemiparesis. *Human Movement Science*, 19,1, 75-105.
- [34] Sunderland, A., Bowers, M.P., Sluman, S.M., Wilcock, D.J., Ardron, M.E. (1999). Impaired dexterity of ipsilateral hand after stroke and the relationship to cognitive deficit. *Stroke*, 30, 949-955.
- [35] Vanier, M., Gauthier, L., Lambert, J., Pepin, E.P., Robillard, A., Dubouloz, C.J., Gagnon, R., Joannette, Y. (1990). Evaluation of left visuospatial neglect: norms and discrimination power of two tests. *Neuropsychology*, 4, 87-96.
- [36] Velicki, M.R., Winstein, C. J., Pohl, P.S. (2000). Impaired direction and extend specification of aimed arm movements in humans with stroke-related brain damage. *Experimental Brain Research*, 130, 362-374.

- [37] Yarosh, C.A., Hoffman, D.S., Strick, P.L. (2004). Deficits in movements of the wrist ipsilateral to a stroke in hemiparetic subjects. *Journal of Neurophysiology*, 92, 3276-3285.
- [38] Westling, G., Johansson, R.S., (1984). Factors influencing the force control during precision grip. *Experimental Brain Research*, 54, 277–284.
- [39] Westling, G., Johansson, R.S., (1987). Responses in glabrous skin mechanoreceptors during precision grip in humans. *Experimental Brain Research*, 66, 1, 128-40.
- [40] Winstein, C.J., Pohl, P.S. (1995). Effects of unilateral brain damage on the control of goal-directed hand movements. *Experimental Brain Research*, 105, 163-174.

Table 4.1
Demographic and clinical characteristics of stroke subjects

S	Age yr	D	S of P	CM	FM (h, a)	SW	TK P, NP	P, NP	ABIL
1	52	M	R	R	6; 5	8	3,61; 3,61	10; 10	36
2	60	M	R	L	6; 6	6	3,61; 3,61	9; 10	42
3	66	M	R	R	5; 5	8	3,61; 3,61	10; 10	40
4	61	M	R	R	5; 5	7	4,31; 3,61	7; 9	44
5 **	58	M	R	R	7; 7	7	3,61; 3,61	10; 10	46
6	55	M	R	R	7; 7	8	3,61; 3,61	10; 10	46
7	53	F	L	L	6; 7	7	4,31; 3,61	10; 10	x
8 **	39	M	R	R	5; 6	4	* ; 3,61	3; 10	30
9 **	75	M	R	L	6; 5	8	4,31; 4,31†	7; 10	44
10 **	46	F	R	R	5; 5	7	3,61; 3,61	9; 10	35
11	45	M	L	R	7; 7	8	2,83; 3,61	10; 10	44
12	31	M	R	L	7; 7	8	2,83; 2,83	10; 10	42
13	48	M	R	L	7; 7	7	3,61; 3,61	10; 9	44
14	50	M	R	L	7; 7	8	3,61; 2,83	7; 10	46
15	46	M	R	L	7; 7	8	2,83; 2,83	10; 10	40
16	64	M	R	L	6; 7	8	3,61; 3,61	10; 10	40
17	55	F	R	R	6; 7	8	3,61; 3,61	10; 10	39

Table 4.1: Demographic and clinical characteristics of stroke subjects, Legend : a = arm, ABIL = ABILHAND, CM = Chedoke-McMaster, D = dominance, F = female, FM = Fulger-Meyer, G = gender, h = hand, L = left, M= male, NP = nonparetic, P = paretic, R = right, S = Subjects, S of P = side of paresis, SW = Semmes-Weinstein monofilaments, TK = thumb kinesthesia, * subjects who indicated that they don't feel the largest monofilament. ** subjects with a sensory impairment.

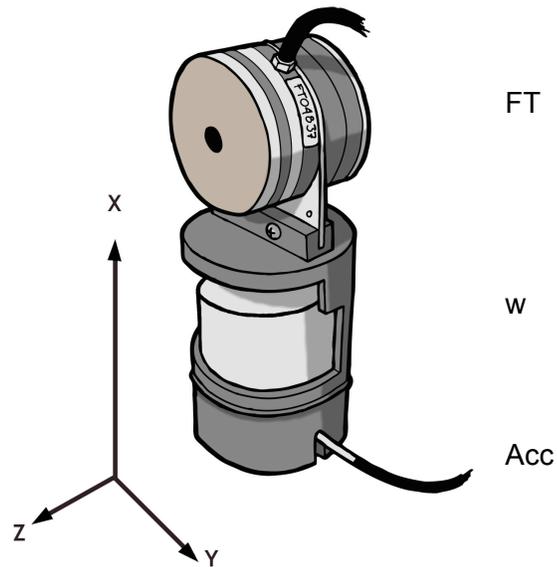


Figure 4.1 : Force transducer axes and the apparatus used during the experiment. The axes of the force transducer (FT) of the apparatus used during the experiment are indicated. The surface of the transducer was covered with a piece of sand-paper (120-grit) with a dot in its center. The weight (w) on the plateau could be changed. The accelerometer (Acc) was fixed under the apparatus.

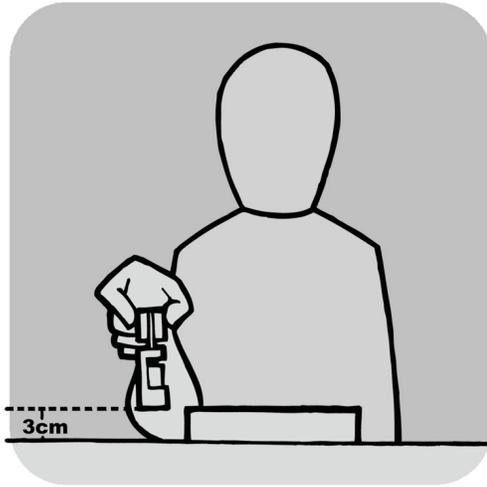


Figure 4.2 A) Lifting task, unilateral condition

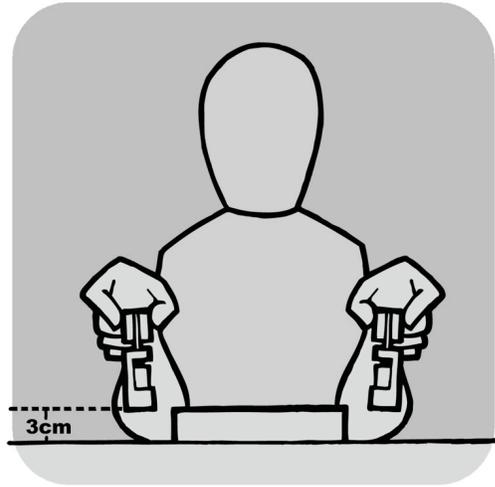


Figure 4.2 B) Lifting task, bilateral condition

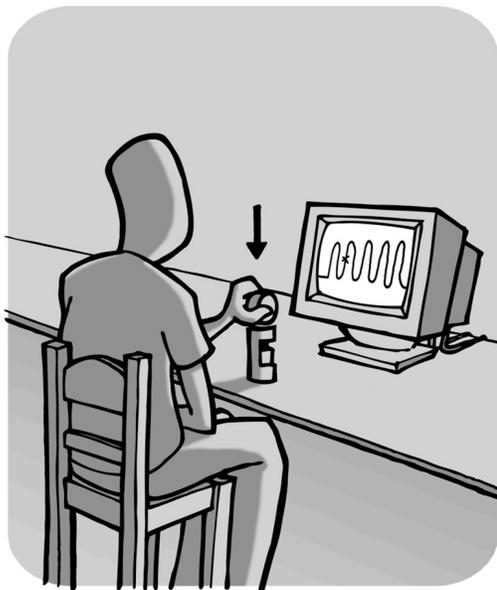


Figure 4.2 C) Tracking task, table condition (unilateral)

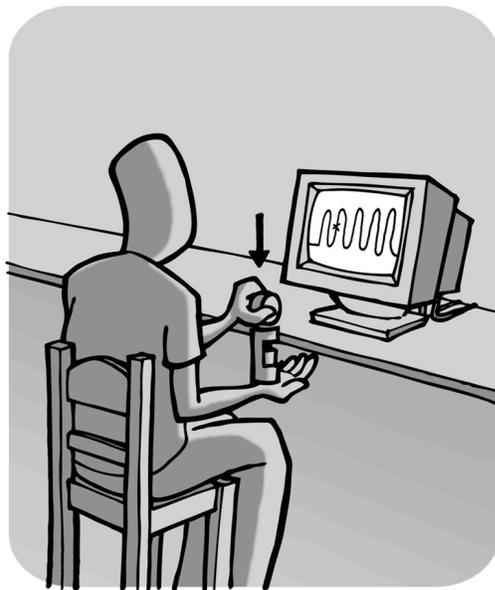


Figure 4.2 D) Tracking task, palm condition (bilateral)

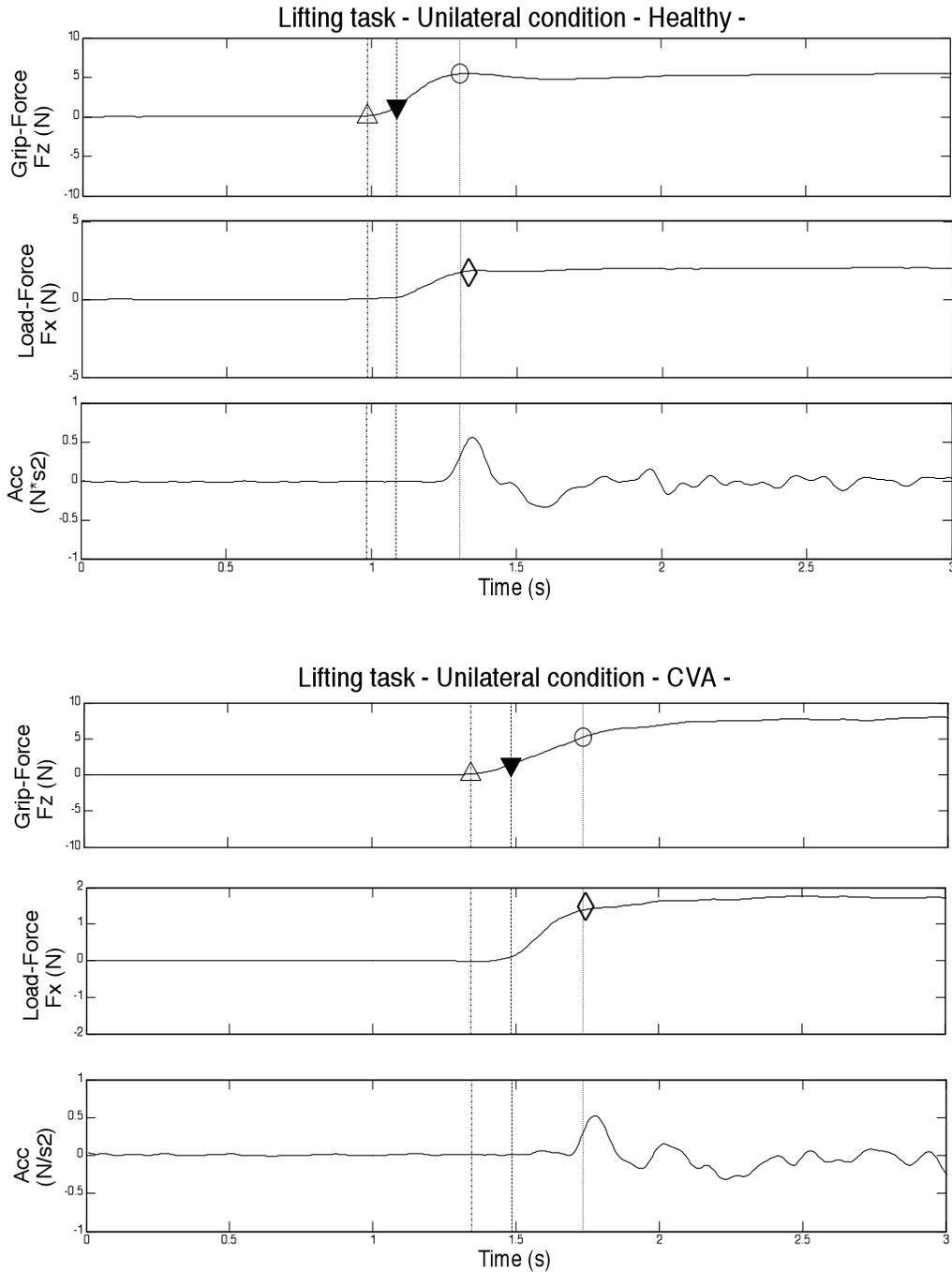


Figure 4.3 : Raw data of the lifting task in unilateral condition for a healthy and a stroke subject. Legend : Δ = OC (object contact is made) , \blacktriangledown = GFO (grip force at load force onset) , \circ = GFL (grip force at positive load force), \diamond = Lf (load force), $-\cdot-\cdot-\cdot-\cdot-$ = point at which object contact is made and the grip force begins to increase, $-----$ = point at which load force becomes positive, $\cdots\cdots\cdots$ = point at object lift-off.

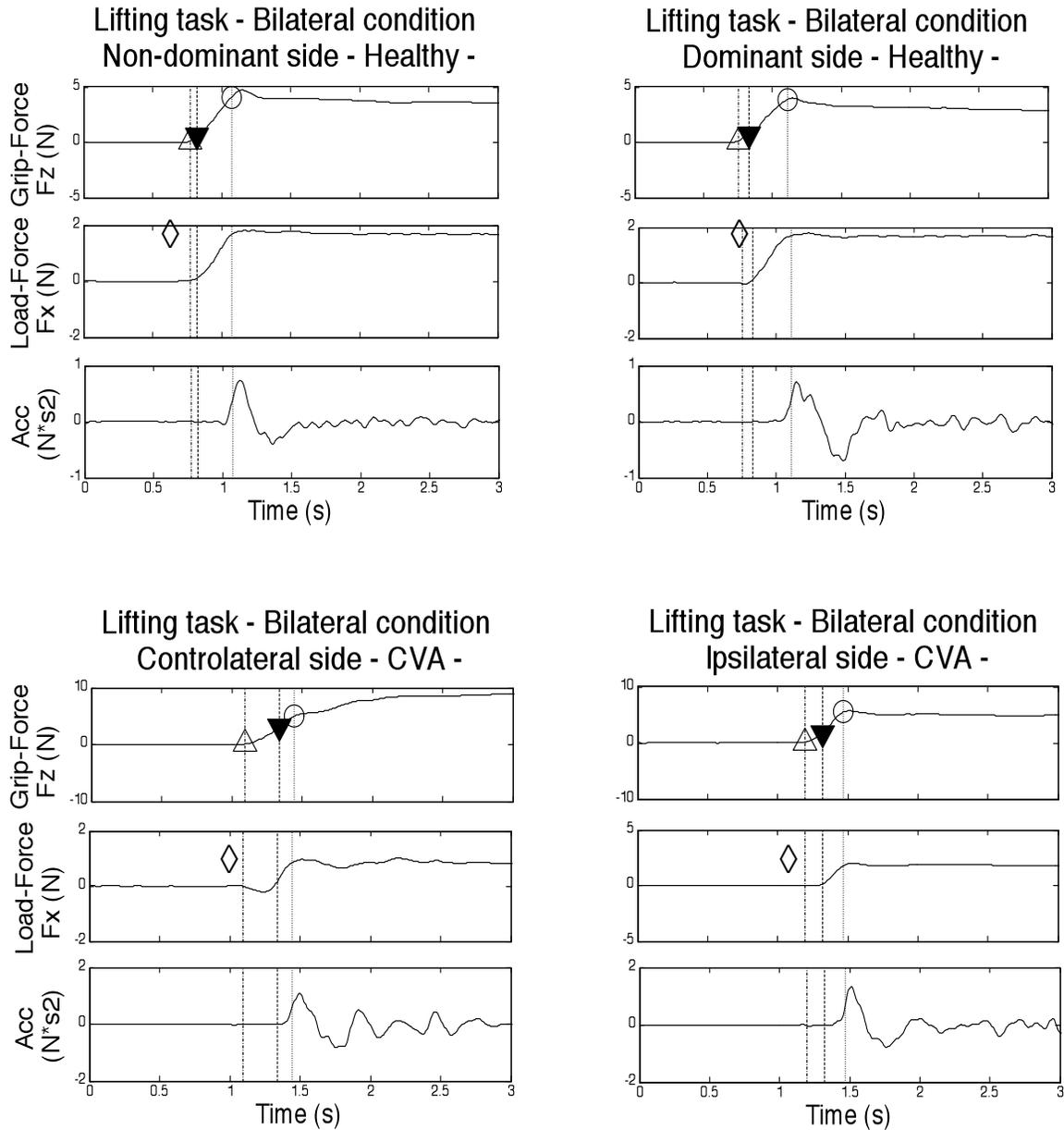


Figure 4.4 : Raw data of the lifting task in bilateral condition for a healthy and a stroke subject. Legend : Δ = OC (object contact is made) , \blacktriangledown = GFO (grip force at load force onset) , \circ = GFL (grip force at positive load force), \diamond = LF (load force) , $-\cdot-\cdot-\cdot-\cdot-$ = point at which object contact is made and the grip force begins to increase, $-----$ = point at which load force becomes positive, $\cdots\cdots\cdots$ = point at object lift-off.

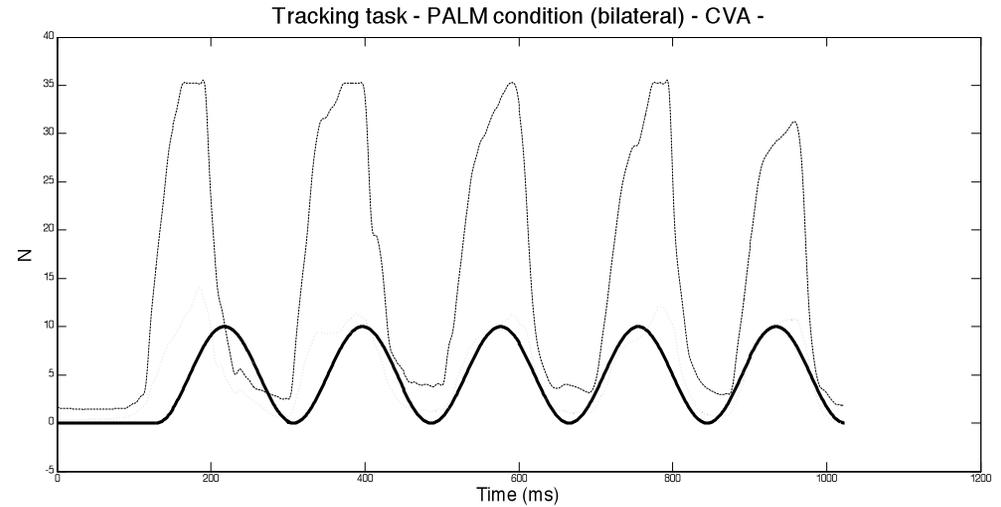
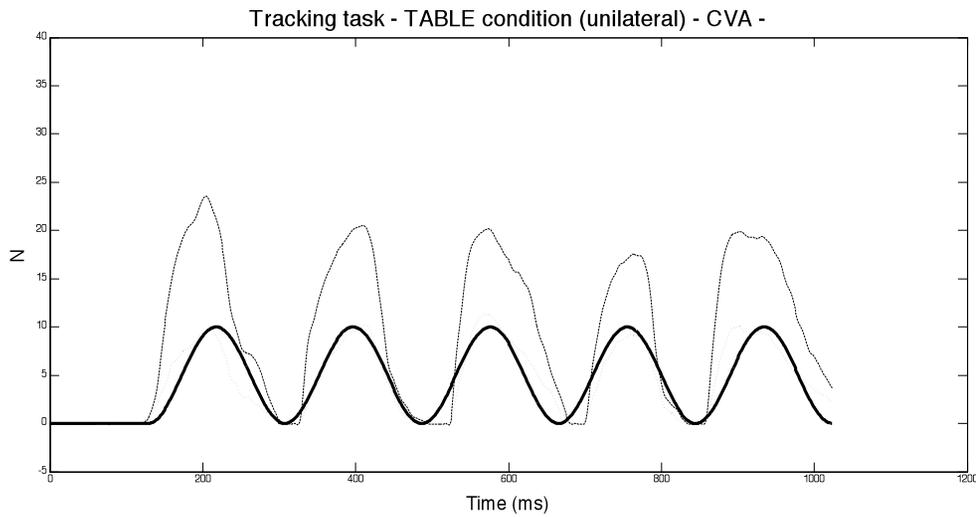
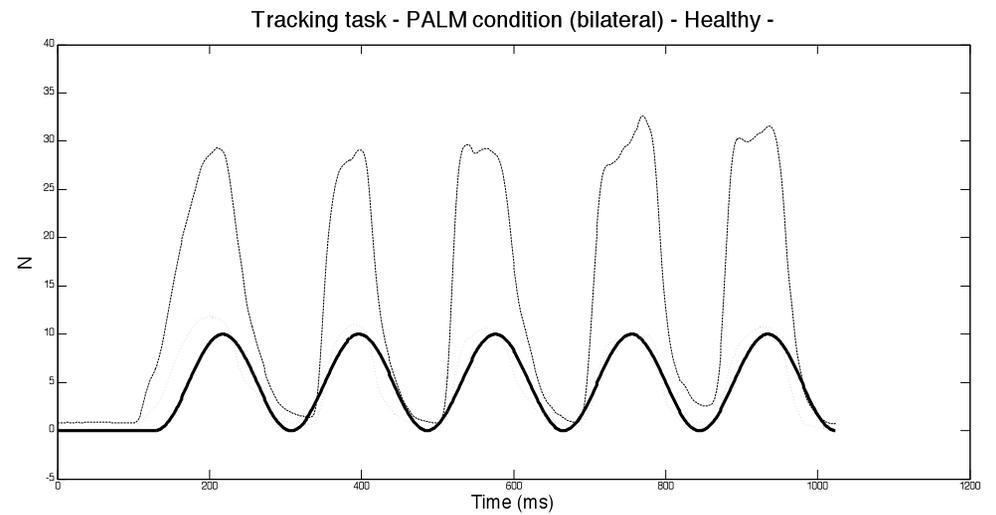
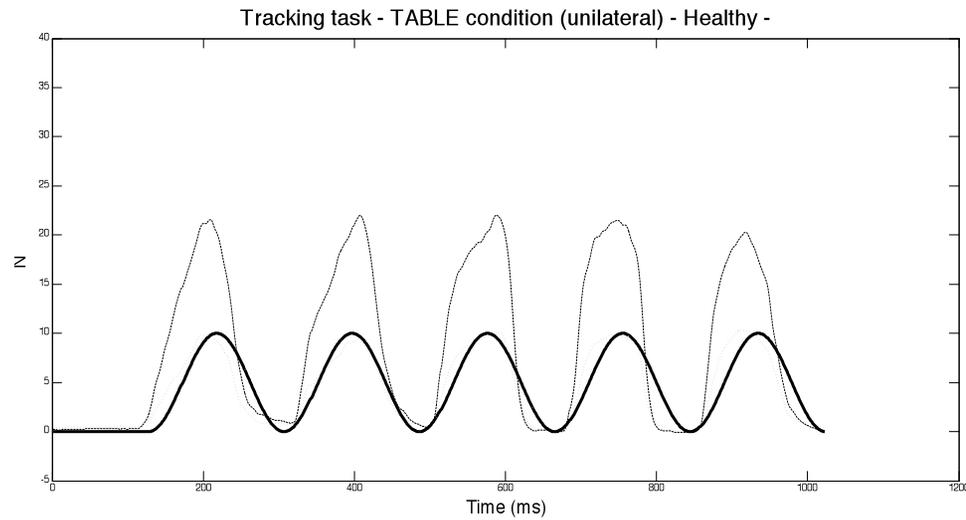


Figure 4.5 : Raw data of the tracking task against the table and against the palm for a healthy and a stroke subject. Legend : the force template is represented by the black line, the grip force by the dashed line and the load force by the dotted line.

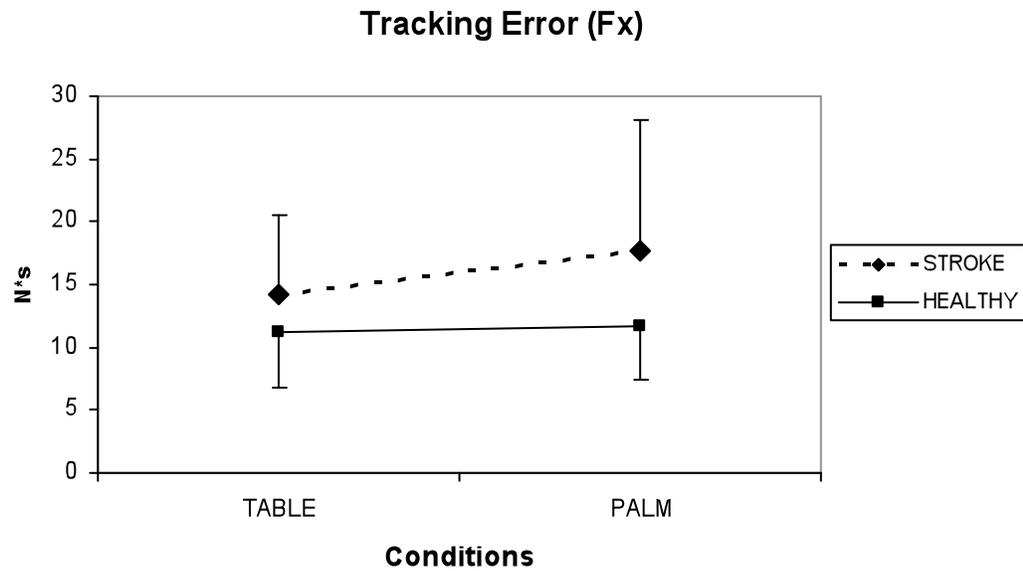


Figure 4.6 : Comparison of the difference in area under the curve between the load force (Fx) and the force template during the tracking task between the stroke and healthy group under the conditions against the table and against the palm. * = $p < 0.05$

CHAPITRE 5

DISCUSSION

Le but de cette étude est de comparer la performance motrice de la main ipsilatérale à la lésion corticale lors de différentes tâches ayant un niveau plus ou moins élevé de traitement de l'information chez une clientèle hémiplegique ayant une faible sévérité clinique. Ces différentes tâches requièrent une action distale qui est le maintien de l'objet entre le pouce et l'index, mais également une action plus proximale impliquant le coude qui est responsable du soulèvement de l'objet ou de l'application des forces de cisaillement lors des tâches de poursuites visuomotrices de tracés de force. Les résultats démontrent que les forces de pince sont modulées adéquatement lors de la réalisation des tâches chez les personnes ayant eu un AVC comparativement à un groupe contrôle. Ces résultats indiquent donc que le contrôle sensori-moteur de la préhension (pince) soit intègre.

Les résultats démontrent également que la performance motrice du membre ipsilatéral chez cette clientèle, telle que mesurée par la capacité des sujets à suivre un tracé de force (F_x), est comparable à celle de sujets sains lorsque la tâche de coordination bilatérale se réalise sans interaction entre les deux membres supérieurs. Par contre, la performance motrice du membre ipsilatéral est perturbée lorsqu'elle implique l'action coordonnée des membres supérieurs sur un même objet. Deux hypothèses peuvent être soulevées pour expliquer ce résultat. Premièrement, la difficulté à stabiliser le membre controlatéral à la lésion pourrait

perturber la performance du membre ipsilatéral. Deuxièmement, une alternative serait que la stabilisation du membre controlatéral soit adéquate, mais que ce soit plutôt un problème d'intégration de l'information sensori-motrice entre les deux cotés qui affecte la performance du membre ipsilatéral lors de l'exécution de tâches coordonnées, et ce, malgré la réalisation de forces de pince adéquates. Ces hypothèses seront plus amplement discutées dans la section suivante.

5.1. Force de pince

Les résultats démontrent que les forces de pince (F_z) du membre ipsilatéral des personnes ayant eu un AVC ne diffèrent pas de celles exécutées par le membre dominant des sujets sains autant durant les tâches de poursuites de tracés de force, contre la table (unilatérale) et contre la paume (bilatérale), que durant les tâches de levées unilatérales et bilatérales. Ceci suggère que les forces de pince sont bien contrôlées et anticipées au niveau central chez les personnes ayant eu un AVC. Cependant, les résultats obtenus dans l'étude présentée dans ce mémoire diffèrent de l'étude de Quaney et al, (2005) où une force de pince excessive et non adaptée à la charge est continuellement produite entre le pouce et l'index du membre ipsilatéral chez les personnes avec un AVC ayant un tableau clinique sévère. Toutefois, une différence entre les caractéristiques cliniques des personnes ayant eu un AVC incluses dans les deux études est observée. Les résultats aux évaluations cliniques de l'étude présentée dans ce mémoire (Tableau 3.1) démontrent que les personnes ayant eu un AVC ont une bonne récupération motrice (sept sujets cotent sept au Chedoke bras et main; trois sujets cotent sept

au Chedoke bras et six au Chedoke main) alors que les personnes ayant eu un AVC incluses dans l'étude de Quaney et al, (2005) semblent avoir une sévérité motrice plus importante (moyenne de $(43 \pm 9.7) / 66$ au Fugl-Meyer). L'adéquation de la modulation de la force de pince au membre ipsilatéral des personnes ayant eu un AVC incluses dans l'étude présentée dans ce mémoire concorde avec les résultats présentés dans l'étude de Aruin (2005). Ils suggèrent une modulation adéquate de la force de pince produite entre le pouce et les quatre autres doigts de la main ipsilatérale chez les personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice (moyenne de (1.25 ± 0.41) à l'échelle modifiée d'Ashworth). Ainsi, il est suggéré que la qualité de la modulation de la force de pince au membre ipsilatéral des personnes ayant un AVC varie selon le niveau de la sévérité clinique (Chae et al, 2002). De plus, l'adéquation de la modulation de la force de pince des personnes ayant eu un AVC dans la présente étude concorde avec l'étude de Deborah et al, (2001) où une adaptation de la force de pince au poids inconnu de l'objet présenté est observée suite à l'expérimentation du premier essai lors de l'exécution de tâches unilatérales et bilatérales. Ainsi, il est suggéré qu'il y ait une actualisation du patron moteur et de la représentation interne des caractéristiques de l'objet lors des premiers essais de la tâche résultant en une modulation adaptée de la force de pince en fonction du poids de l'objet au membre ipsilatéral des personnes ayant eu un AVC. En somme, la modulation de la force de pince au membre ipsilatéral est adaptée chez les personnes ayant eu un AVC en autant que la sévérité clinique soit faible.

Les résultats démontrent aussi que la tâche de poursuite visuomotrice de tracés de force contre la table (unilatérale) requiert des forces de pince (F_z) moins élevées que celles réalisées contre la paume (bilatérale) pour la main ipsilatérale des personnes ayant eu un AVC et pour la main dominante des sujets sains alors que les mêmes tracés de force doivent être poursuivis lors des deux conditions (contre la table et contre la paume). Il est possible que cette augmentation de force résulte de la complexité de la tâche induite par l'ajout de l'autre membre sous l'objet manipulé puisque les personnes saines et ayant eu un AVC présentent cette même augmentation de force. En effet, l'ajout de la main controlatérale (ou dominante) sous l'objet afin de réaliser la tâche engendre une interaction entre les deux membres : ceux-ci doivent se coordonner pour effectuer la tâche visuomotrice. Ainsi, lorsque les sujets exécutent la tâche de poursuite visuomotrice de tracés de force contre la table, la force de cisaillement (F_x) produite sur l'objet résulte de la force de pince et des caractéristiques de friction de la surface de l'objet. Dans cette condition, la force de réaction à la force de cisaillement est assurée par la table. Ainsi, lorsque le sujet presse l'objet contre la table, il n'a pas à se soucier de la force de réaction. Cependant, la force de pince, produite par la main et par la musculature de l'avant-bras, ainsi que la force de cisaillement, produite par la musculature du bras agissant au coude dans l'optique de presser l'objet contre la table, doivent être coordonnées afin de poursuivre le tracé de force (rétroaction visuelle). Une marge de sécurité est alors produite pour contrôler adéquatement la force de cisaillement et afin d'empêcher que le pouce et l'index ne glissent de l'objet lorsque le sujet presse contre la table. Au contraire, lorsque le sujet utilise les deux mains pour exécuter la même tâche de poursuites

visuomotrices de tracés de force (condition contre la paume : bilatérale) et afin de générer la même force de cisaillement, la force de réaction est produite par la main controlatérale (ou non-dominante) placée sous l'objet. Dans ce cas, les forces de cisaillement sont générées par le membre ipsilatéral (ou dominant) et elles doivent être contrecarrées par des forces de stabilisation générées simultanément par la main controlatérale (ou non-dominante). En d'autres mots, chaque membre doit être coordonné dans un mode prédictif afin de s'assurer qu'une augmentation de la force de cisaillement produite par le membre ipsilatéral (ou dominant) soit accompagnée d'une augmentation de la force de stabilisation générée par le membre controlatéral (ou non-dominant). Dans ce cas, la stratégie des sujets de chaque groupe est donc d'augmenter la marge de sécurité par l'augmentation de la force de pince du membre ipsilatéral (ou dominant). Cette stratégie permet probablement d'éviter que l'objet ne glisse des doigts s'il y a une augmentation du délai entre la coordination des deux membres supérieurs lors de la réalisation de la tâche.

Ceci suggère donc que les forces de pince (musculature distale) entre le pouce et l'index du membre ipsilatéral sont bien contrôlées et anticipées au niveau central chez les personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice.

5.2. Force de cisaillement («Load Force»)

Les résultats démontrent que les amplitudes de la force de pince et de cisaillement sont modulées de façon similaire au membre ipsilatéral des personnes ayant eu un

AVC comparées aux sujets sains lors de la tâche unilatérale de levées ainsi que bilatérale de levées synchrones des mains (deux objets). De plus, les temps où débute la levée des objets lors de la tâche de levées bilatérales sont synchronisés aux deux mains dans les deux groupes de sujets. Ceci indique que la stratégie utilisée lors de l'exécution de cette tâche est la production de mouvements miroirs. La coordination bilatérale des membres supérieurs peut être exécutée par une commande centrale bilatérale qui contrôle la musculature distale impliquée dans le contrôle de la force de pince et qui contrôle les muscles plus proximaux utilisés pour soulever l'objet (force de cisaillement). Cependant, un contrôle indépendant des forces de pince et de cisaillement ne peut pas être écarté. En effet, un objet peut être échappé par une des mains, mais pas nécessairement par l'autre. Ainsi, les mouvements peuvent être latéralisés par une commande unilatérale qui est simultanément issue du niveau central. Ceci permettra le contrôle indépendant des forces de pince et de cisaillement. Cependant, l'utilisation d'un contrôle bilatéral ou unilatéral lors de l'exécution de tâches bilatérales de levées synchrones reste à être déterminée. La figure 5.1 illustre les voies impliquées lors de la réalisation d'une tâche de levée bilatérale synchrone simple où les forces de pince et de cisaillement sont modulées adéquatement chez les personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice.

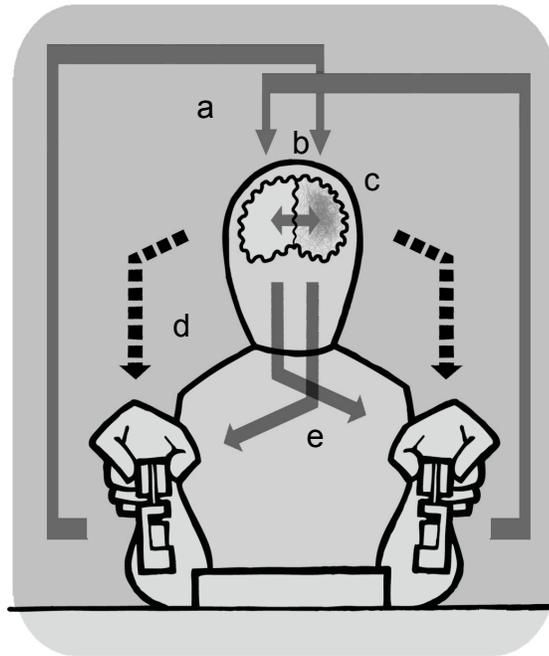


Figure 5.1 : Mécanismes cérébraux lors de la réalisation de tâches de coordination bilatérale de levées synchrones des membres supérieurs. a) rétroaction sensorimotrice, b) transfert interhémisphérique, c) hémisphère atteint par l'AVC, d) voies ipsilatérales, e) voies cortico-spinales controlatérales

La seule différence entre la performance des personnes avec un AVC comparée à celle des personnes saines est au niveau de la magnitude de la force de cisaillement (F_x) lors des tâches de poursuite visuomotrice de tracés de force. L'aire située entre la force de cisaillement produite par le sujet et le tracé de force référent, représentant l'erreur commise par les sujets, est augmentée chez les personnes avec un AVC comparée aux sujets sains lors de la tâche de poursuite visuomotrice de tracés de force impliquant seulement le membre ipsilatéral (condition contre la table : unilatérale). Les résultats de l'étude présentée dans ce mémoire concordent avec ceux obtenus dans d'autres études démontrant que la performance motrice du poignet et des doigts au membre ipsilatéral est atteinte

lors de l'exécution de tâches nécessitant une poursuite visuomotrice (Carey et al, 1998; Kwon et al, 2007; Yarosh et al, 2004). Considérant que le contrôle moteur de la musculature de la main et du bras du membre ipsilatéral est similaire lors de la réalisation de tâches unilatérales de levées et de poursuites visuomotrices de tracés de force, le déficit moteur observé résulte probablement des exigences visuomotrices requises afin d'exécuter la tâche de poursuites visuomotrices de tracés de force et de la difficulté au niveau du traitement des informations sensori-motrices. Ceci suggère donc que la performance des personnes avec un AVC est atteinte lorsqu'il y a une augmentation de la complexité de la tâche nécessitant une intégration et un traitement des informations sensori-motrices plus importants. La Figure 5.2 illustre les voies impliquées lors de la réalisation d'une tâche plus complexe de poursuites visuomotrices de tracés de force unilatérale (contre la table) où un déficit au niveau de la modulation de la force de cisaillement au membre ipsilatéral est observé alors que la modulation de la force de pince est adéquate chez les personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice.

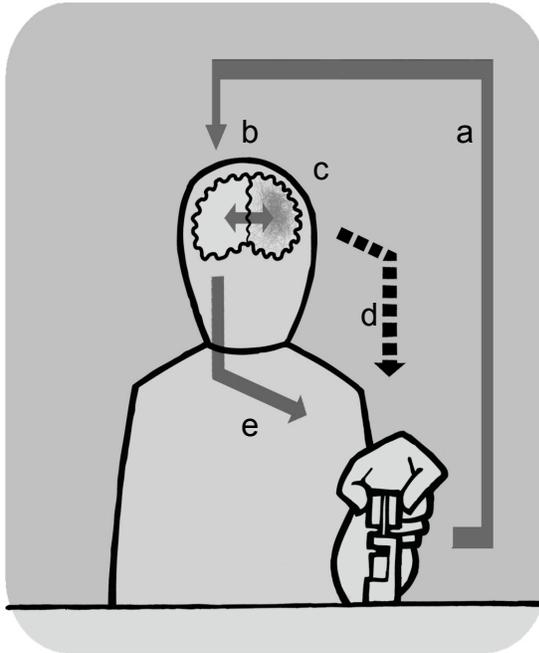


Figure 5.2 : Mécanismes cérébraux lors de la réalisation de tâches unilatérales de poursuites visuomotrices contre la table. a) rétroaction sensorimotrice, b) transfert interhémisphérique, c) hémisphère atteint par l'AVC, d) voies ipsilatérales, e) voies cortico-spinales controlatérales

Le déficit observé au niveau de la modulation de la force de cisaillement (F_x) au membre ipsilatéral lors de la tâche de poursuites visuomotrices de tracés de force est augmenté lorsque le membre controlatéral est utilisé afin de stabiliser l'objet lors de l'exécution de la condition contre la paume (bilatérale). Ceci contraste avec les résultats obtenus lors de la tâche de levées bilatérales synchrones de deux objets où la performance motrice (F_z et F_x) du membre ipsilatéral n'est pas atteinte, mais congrue avec les résultats de certains articles démontrant que la performance du membre ipsilatéral diminue lors de l'exécution de mouvements bilatéraux (Garry et al, 2005; Lewis et al, 2004; Rice et al, 2001; Steenbergen et al,

1996; 2000). Il est probable que l'absence de déficit au membre ipsilatéral chez les personnes ayant eu un AVC de la présente étude résulte de leur faible tableau clinique. Conséquemment, il appert que la performance du membre ipsilatéral est spécifiquement diminuée lorsque les deux membres interagissent sur un même objet et non lorsque les membres exécutent un mouvement similaire (deux objets).

Lorsque la force de cisaillement (F_x) est corrélée par corrélation croisée avec le tracé de force référent, une différence significative au niveau du décalage temporel est retrouvée chez les personnes ayant eu un AVC comparée au sujets sains seulement lors de la condition contre la paume (bilatérale) de la tâche de poursuites visuomotrices de tracés de force. La différence d'amplitude (l'erreur commise par les sujets) entre les deux signaux qui est observée suite à la corrélation croisée de ceux-ci devient alors similaire à la différence d'erreur observée lors de la condition contre la table (unilatérale) sans corrélation croisée chez les personnes avec un AVC. Cette observation suggère donc qu'un problème de décalage temporel est impliqué dans la diminution de la performance motrice des personnes avec un AVC spécifiquement lors de la condition contre la paume (bilatérale) de poursuites visuomotrices de tracés de force. Cette diminution de performance due au décalage temporel peut résulter de la coordination bilatérale impliquée. La tâche de poursuites visuomotrices lors de la condition contre la paume nécessite que le membre controlatéral produise une force de stabilisation adéquate afin de contrecarrer la force de cisaillement produite par le membre ipsilatéral. Il est donc possible que le décalage temporel résulte d'une difficulté d'intégration des informations sensori-motrices et/ou d'envoi de la commande

motrice rétroactive («feedforward») au membre controlatéral. Alternativement, le décalage temporel peut résulter également d'une difficulté de stabilisation du membre controlatéral dans l'espace pour les personnes avec un AVC. Cependant, en considérant la faible sévérité clinique des personnes avec un AVC incluses dans cette étude ainsi que les résultats obtenus lors de la tâche de levées synchrones pour le membre controlatéral, il peut être supposé que la capacité de stabilisation du membre controlatéral n'est pas si atteinte. La Figure 5.3 illustre les voies impliquées lors de la réalisation d'une tâche complexe de poursuites visuomotrices de tracés de force bilatérale (contre la paume). Un déficit important est observé au niveau de l'amplitude (erreur) de la force de cisaillement au membre ipsilatéral alors que la modulation de la force de pince est adéquate. Ceci démontre possiblement une difficulté centrale d'intégration et de traitement des informations sensori-motrices chez les personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice.

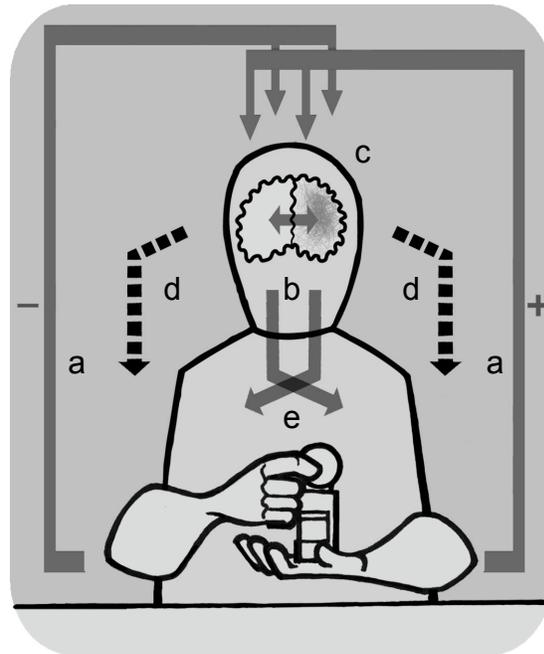


Figure 5.3 : Mécanismes cérébraux lors de la réalisation d'une tâche bilatérale de poursuites visuomotrices contre la paume. a) rétroaction sensorimotrice + et -, b) transfert interhémisphérique, c) hémisphère atteint par l'AVC, d) voies ipsilatérales, e) voies cortico-spinales controlatérales

Finalement, tous ces résultats soulignent l'importance de considérer le niveau de complexité de la tâche unilatérale ou de coordination bilatérale lors de l'évaluation de la performance motrice du membre ipsilatéral chez les personnes ayant eu un AVC. En d'autres mots, même si la sévérité de la lésion cérébrale ne diminue pas la qualité de la préhension au membre ipsilatéral chez les personnes avec un AVC lors de mouvements simples tels que des levées d'objets, la performance du membre ipsilatéral peut être affectée lors de l'exécution de mouvements unilatéraux plus complexes nécessitant une intégration et un traitement central des informations sensori-motrices plus complexes, tel qu'une poursuite visuomotrice unilatérale de tracés de force. De plus, les résultats démontrent également que ce

déficit peut être accentué lors de l'exécution de tâches plus complexes qui impliquent que le membre controlatéral interagisse sur le même objet que le membre ipsilatéral, et ce, même si la performance du membre ipsilatéral n'est pas atteinte comparée à la performance du membre dominant des sujets sains lors de tâches plus simples impliquant également le membre controlatéral tel que des tâches de levées bilatérales synchrones de deux objets.

5.3. Implications cliniques et limites de l'étude

Ces résultats sont directement en lien avec la pratique clinique. Selon les résultats obtenus, les cliniciens devraient porter une attention particulière à la performance motrice du membre ipsilatéral lors de la réadaptation et de l'évaluation des personnes ayant eu un AVC surtout lors de l'exécution de tâches unilatérales ou de coordination bilatérale plus complexes nécessitant un niveau d'intégration sensori-moteur plus important étant donné qu'il existe une perturbation au niveau de la performance du membre ipsilatéral chez une clientèle hémiplegique ayant une faible sévérité clinique.

Il existe des limites inhérentes à tout projet de recherche clinique et les résultats doivent être considérés dans le contexte de ces limites. Ainsi, le fait que le recrutement des personnes ayant eu un AVC ait été effectué sur une base volontaire au sein d'un milieu urbain et semi-urbain pourrait avoir créé un biais de sélection (région géographique, niveau d'activité physique). De plus, les sujets inclus dans cette étude présentaient une récupération motrice relativement bonne

et ils n'ont pas pris les pauses offertes. De ce fait, les résultats de cette étude ne peuvent pas être généralisés à une clientèle hémiplegique plus gravement atteinte. Cette étude a également été effectuée auprès d'une clientèle hémiplegique chronique et ne considère pas les personnes ayant eu un AVC en phase aiguë et subaiguë. Toutefois, il serait intéressant de vérifier si les résultats de cette étude sont du même ordre entre ces deux groupes. Enfin, le faible nombre de sujets inclus dans cette étude peut biaiser les résultats statistiques. Ainsi, il aurait fallu une vingtaine de sujets pour avoir une puissance statistique fiable.

La non-intervention de la position des membres supérieurs lors de la tâche de poursuites visuomotrices de tracés de force lors des conditions contre la table et contre la paume représente une autre limite de cette étude. La quantification de la performance du membre controlatéral lors de cette tâche de poursuite visuomotrice aurait peut être pu permettre d'infirmer ou de confirmer statistiquement l'hypothèse relative à la stabilisation adéquate ou non du membre controlatéral lors de la tâche de poursuites visuomotrices de tracés de force lors de la condition contre la paume.

CHAPITRE 6

CONCLUSION

L'objectif était de comparer la performance motrice de la main ipsilatérale lors de diverses tâches ayant un niveau plus ou moins élevé de traitement de l'information sensori-motrice chez une clientèle hémiplegique ayant une faible sévérité clinique. Il est démontré que les forces de pince du membre ipsilatéral sont modulées et anticipées adéquatement au niveau central chez les personnes avec un AVC ayant une bonne récupération motrice lors de la réalisation de tâches unilatérales et bilatérales. Les résultats démontrent aussi que la modulation de la force de cisaillement du membre ipsilatéral est adéquate lorsque les mouvements bilatéraux sont réalisés sans interaction entre les membres et qu'elle est perturbée lors de la réalisation de tâches de poursuites visuomotrices en condition contre la table et que ce déficit est amplifié en condition contre la paume.

Ceci confirme l'hypothèse qu'il est possible que la performance du membre ipsilatéral soit adéquate lors de tâches simples, qu'elle soit affectée lors de l'exécution de mouvements unilatéraux complexes et qu'elle soit encore plus affectée lors de l'exécution de mouvements bilatéraux complexes nécessitant un haut niveau de traitement et d'intégration des informations sensori-motrices : poursuite visuomotrice impliquant une action coordonnée des membres sur un même objet. En somme, les personnes avec un AVC ayant une faible sévérité clinique ont une problématique centrale d'intégration et de traitement de l'information sensori-motrice lorsqu'il y a une complexification de la tâche à réaliser. Les cliniciens devraient porter une attention aux activités unilatérales et de

coordination bilatérales lors de la réadaptation surtout pour les tâches plus complexes nécessitant un niveau d'intégration sensori-moteur élevé tel que les jeux d'ordinateur, le tricot et la Wii-Thérapie.

CHAPITRE 7

RÉFÉRENCES

- Aruin, A. S. (2005). Support-specific modulation of grip force in individuals with hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86, 4, 768-775.
- Bell-Krotoski, J.A. Light touch-deep pressure testing using Semmes-Weinstein microfilaments. *Dans : Rehabilitation of the hand : Surgery and therapy*, edited by Hunter, J.M., Schneider, L.M., Mackin, E.J., Callahan, A.D. St. Louis, MO : Mosby, 1990, p. 585-593.
- Blennerhassett, J.M., Carey, L.M., Matyas T.A. (2006). Grip force regulation during pinch grip lifts under somatosensory guidance: comparison between people with stroke and healthy controls. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87, 3, 418-429.
- Bertrand, A.M., Mercier, C., Shun P.L., Bourbonnais, D., Desrosiers, J. (2003). Effects of weakness on symmetrical bilateral grip force exertion in subjects with hemiparesis. *Journal of Neurophysiologie*, 91, 4, 1579-1585.
- Baldissera, F., Cavallari, P., Marini, G., Tassone, G. (1991). Differential control of in-phase and anti-phase coupling of rhythmic movements of ipsilateral hand and foot. *Experimental Brain Research*, 83, 375-380.
- Boissy, P., Bourbonnais, D., Carlotti, M.M., Gravel, D., Arsenault, B.A. (1999). Maximal grip force in chronic stroke subjects and its relationship to global upper extremity function. *Clinical Rehabilitation*, 13, 354-362.

- Carey, J.R., Baxter, T.L., Di Fabio R.P. (1998). Tracking control in the nonparetic hand of subjects with stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79, 4, 435-441.
- Chae, J., Yang, G., Park, B.K., Labatia, I. (2002). Muscle weakness and cocontraction in upper limb hemiparesis: relationship to motor impairment and physical disability. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 16, 3, 241-248.
- Colebatch, J.G., Gandevia, S.C. (1989). The distribution of muscular weakness in upper motor neuron lesion affecting the arm. *Brain*, 112, 749-763.
- Cunningham, C.L., Phillips Stoykov, M.E., Walter, C.B. (2002). Bilateral facilitation of motor control in chronic hemiplegia. *Acta Psychologica*, 110, 2-3, 321-337.
- Debaere, F., Van Assche, D., Kiekens, C., Verschueren S.M.P., Swinnen, S.P. (2001). Coordination of upper and lower limb segments: Deficits on the ipsilesional side after unilateral stroke. *Experimental Brain Research*, 141, 4, 519-529.
- Desrosiers, J., Bourbonnais, D., Bravo, G., Roy, P.M., Guay, M. (1996). Performance of the 'unaffected' upper extremity of elderly stroke patients. *Stroke*, 27, 9, 1564-1570.
- Deborah, J.S., Wiesendanger, M. (2001). Bimanual organization of manipulative forces : evidence from erroneous feedforward programming of precision grip. *European Journal of Neurosciences*, 13, 1825-1832.

- Fisk, J.D., Goodale, M.A. (1988). The effects of unilateral brain damage on visually guided reaching : hemispheric differences in the nature of the deficit. *Experimental Brain Research*, 72, 425-435.
- Fitts, S., Hammond, M., Kraft, G., Nutter, P. (1989). Quantification of gaps in the EMG interference pattern in chronic hemiparesis. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 73, 225-232.
- Flanagan, J.R., Wing, A.M. (1993a). Modulation of grip force with load force during point-to-point arm movements. *Experimental Brain Research*, 95, 131-143.
- Flanagan, J.R., Tresilian, J., Wing, A.M. (1993b). Coupling of grip force and load force during arm movements with grasped objects. *Neuroscience Letter*, 152, 53-56.
- Fondation des maladies du cœur du Canada (2008). Accidents vasculaires cérébraux : prévention, traitement et réadaptation. Saint-Laurent, QC : Éditions du Trécarré.
- Fugl-Meyer, A.R., Jaasko, L., Leyman, I., Olsson, S., Steglind, S. (1975). The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 7, 13-31.
- Garry, M.I., Van Steenis, R.E., Summers, J.J. (2005). Interlimb coordination following stroke. *Human Movement Science*, 24, 5-6, 849-864.
- Gauthier, L., Dehaut, F., Joannette, Y. (1989) The bells test: a quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11, 49-54.

- Gowland, D., deBruin, H., Basmajian, J.V., Plews, N., Burcea, I. (1992). Agorist and antagonist activity during voluntary upperlimb movement in patients with stroke. *Physical Therapy*, 72, 624-633.
- Gowland, C., Stratford, P., Ward, M., Moreland, J., Torresin, W., Van Hullenar, S., Sanford, J., Barreca, S., Vanspall, B., Plews, N. (1993). Measuring physical impairment and disability with the Chedoke-McMaster Stroke Assessment. *Stroke*, 24, 58-63.
- Hammer, A., Lindmark, B. (2003). Test-retest intra-rather reliability of grip force in patients with stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 35, 189–194.
- Hammond, M., Fitts, S., Kraft, G., Nutter, R., Trotter, M., Robinson, L. (1988). Co-contraction in the hemiparetic forearm : quantitative EMG evaluation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69, 348-351.
- Hermsdörfer, J., Ulrich, S., Marquardt, C., Goldenberg, G., Mai, N. (1999a). Prehension with the ipsilesional hand after unilateral brain damage. *Cortex*, 35, 2, 139-161.
- Hermsdörfer, J., Laimgruber, K., Kerkhoff, G., Mai, N., Goldenberg, G. (1999b). Effects of unilateral brain damage on grip selection, coordination, and kinematics of ipsilesional prehension. *Experimental Brain Research*, 128, 41-51.
- Hermsdörfer, J., Hagl, E., Nowak, D.A., Marquardt, C. (2003). Grip force control during object manipulation in cerebral stroke. *Clinical Neurophysiology*, 114, 915-929.
- Hermsdörfer, J., Hagl, E., Nowak, D.A. (2004). Deficits of anticipatory grip force control after damage to peripheral and central sensorimotor systems. *Human Movement Science*, 23, 643-662.

- Hirschberg, G.G., Nathanson, M. (1952). Electromyographic recording of muscular activity in normal and spastic gaits. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 33, 217-225.
- Ibrahim, I.K., Dietz, V. (1993). Impaired activation pattern in antagonistic elbow muscles of patients with spastic hemiparesis. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 33, 247-255.
- Johansson, R.S., Westling, G. (1984). Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects. *Experimental Brain Research*, 56, 550–564.
- Johansson, R.S., Westling, G. (1988). Programmed and triggered actions to rapid load changes during precision grip. *Experimental Brain Research*, 71, 1, 72-86.
- Johansson, R.S., Cole, K.J. (1992). Sensory-motor coordination during grasping and manipulative actions. *Current Opinion in Neurobiology*, 2, 6, 815-823.
- Kamimura, T., Ikuta, Y. (2002). Evaluation of sustained grip strength for a stroke patient with mild paresis. *Hiroshima Journal of Medical Sciences*, 51, 23-31.
- Kamper, D.G., Rymer, W.Z. (2001). Impairment of voluntary control of finger motion following stroke : role of inappropriate muscle coactivation. *Muscle & Nerve*, 24, 673-681.
- Kelso, J.A.S., Jeka, J.J. (1992). Symmetry breaking dynamics of human multilimb coordination. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 18, 645-668.

- Kelso, J.A.S. (1994). Elementary coordination dynamics. Dans Swinnen, S.P., Heuer, H., Massion, J., Casaer, P. (Eds.) *Interlimb coordination : neural, dynamical, and cognitive constraints* (pp. 301-318). San Diego : Academic Press.
- Kilbreath, S.L., Crosbie, J., Canning, C.G., Lee, M.J. (2006). Inter-limb coordination in bimanual reach-to-grasp following stroke. *Disability and Rehabilitation*, 28, 23, 1435-1443.
- Kwon, Y.-H., Kim, C.S., Jang, S.H. (2007). Ipsi-lesional motor deficits in hemiparetic patients with stroke. *NeuroRehabilitation*, 22, 279-286.
- Levin, M., Cirstae, C., Archambault, P., Son, F., Roby-Brami, A. (1999). Impairment and compensation of reaching in hemiparetic and cerebral palsied patients. Dans : Progress in motor control II, Penn State University.
- Lewis, G.N., Byblow, W.D. (2004). Bimanual coordination dynamics in poststroke Hemiparetics. *Journal of motor behaviour*, 36, 2, 174-188.
- Luft, A.R., McCombe-Waller, S., Whittall, J., Forrester, L.W., Macko, R., Sorkin, J.D. (2004). Repetitive bilateral arm training and motor cortex activation in chronic stroke : A randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Association*, 292, 1853-1861.
- Mudie, M.H., Matyas, T.A. (2000). Can simultaneous bilateral movement involve the undamaged hemisphere in reconstruction of neural networks damaged by stroke ? *Disability and Rehabilitation*, 22, 1/2, 23-37.
- Newman, M. (1972). The process of recovery after hemiplegia. *Stroke*, 3, 702-710.

- Noskin, O., Krakauer, J.W., Lazar, R.M., Festa, J.R., Handy, C., O'Brien, K.A., Marshall, R.S. (2008). Ipsilateral motor dysfunction from unilateral stroke : implications for the functional neuroanatomy of hemiparesis. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 79, 4, 401-406.
- Nowak, D.A., Hermsdörfer, J., Topka, H. (2003). Deficits of predictive grip force control during object manipulation in acute stroke. *Journal of Neurophysiology*, 250, 850-860.
- Nowak, D.A., Grefkes, C., Dafotakis, M., Küst, J., Karbe, H., Fink, G.R. (2007) Dexterity is impaired at both hand following unilateral subcortical middle cerebral artery stroke. *European Journal of Neuroscience*, 25, 3173-3184.
- Nyberg-Hansen, R., Rinvik, E. (1963). Some comments on the pyramidal tract with special reference to its individual variations in man. *Acta neurologica Scandinavica*, 39, 1–30.
- Olsen, T.S. (1990). Arm and leg paresis as outcome predictors in stroke rehabilitation. *Stroke*, 21, 247–251.
- Penta, M., Tesio, L., Arnould, C., Zancan, A., Thonnard, J.L. (2001). The ABILHAND questionnaire as a measure of manual ability in chronic stroke patients: Rasch-based validation and relationship to upper limb impairment. *Stroke*, 32, 1627-1634.
- Quaney, B. M., S. Perera, Maletsky, R., Luchies, C.W., Nudo, R.J. (2005). Impaired grip force modulation in the ipsilesional hand after unilateral middle cerebral artery stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 19, 4, 338-349.

- Rice, M. S. and K. M. Newell (2001). Interlimb coupling and left hemiplegia because of right cerebral vascular accident. *The Occupational Therapy Journal of Research*, 21, 1, 12-28.
- Sangole, A..P., Levin, M.F. (2007). A new perspective in the understanding of hand dysfunction following neurological injury. *Stroke Rehabilitation*, 14, 3, 80-94.
- Smutok, M.A., Grafman, J., Salazar, A.M., Sweeney, J.K., Jonas, B.S., DiRocco, P.J. (1989). Effects of unilateral brain damage on controlateral and ipsilateral upper extremity function in hemiplegia. *Physical Therapy*, 69, 195-203.
- Sommerfeld, D.K., Eek, E.U., Svensson, A.K., Holmqvist, L.W., Von Arbin, M.H. (2004). Spasticity after stroke : its occurrence and association with motor impairments and activity limitations. *Stroke*, 35, 134-139.
- Spaulding, S.J., McPherson, J.J., Strachota, E., Kuphal, M., Ramponi, M. (1988). Jebsn éhand Function Test : Performance of the uninvolved hand in hemiplegia and of right-handed, right and left hemiplegic persons. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69, 419-422.
- Steenbergen, B., W. Hulstijn, et al. (1996). Bimanual movement coordination in spastic hemiparesis. *Experimental Brain Research*, 110, 1, 91-98.
- Steenbergen, B., E. van Thiel, et al. (2000). The coordination of reaching and grasping in spastic hemiparesis. *Human Movement Science*, 19, 1, 75-105.
- Sunderland, A., Bowers, M.P., Sluman, S.M., Wilcock, D.J., Ardron, M.E. (1999). Impaired dexterity of ipsilateral hand after stroke and the relationship to cognitive deficit. *Stroke*, 30, 949-955.

- Swinnen, S.P., Dounskaia, N., Verschueren, S., Serrien, D.J. Daelman, A. (1995). Relative phase destabilization during interlimb coordination : the disruptive role of kinesthetic afferences induced by passive movement. *Experimental Brain Research*, 105, 439-454.
- Swinnen, S. P., F. Debaere, et al. (2002). Coordination deficits on the ipsilesional side after unilateral stroke: the effect of practice on nonisodirectional ipsilateral coordination. *Acta Psychologica*, 110, 2-3, 305-320.
- Vanier, M., Gauthier, L., Lambert, J., Pepin, E.P., Robillard, A., Dubouloz, C.J., Gagnon, R., Joannette, Y. (1990). Evaluation of left visuospatial neglect: norms and discrimination power of two tests. *Neuropsychology*, 4, 87-96.
- Velicki, M.R., Winstein, C. J., Pohl, P.S. (2000). Impaired direction and extend specification of aimed arm movements in humans with stroke-related brain damage. *Experimental Brain Research*, 130, 362-374.
- Volman, M.J.M., Wijnroks, A., Vermeer, A. (2002). Bimanual circle drawing in children with spastic hemiparesis : effect of coupling modes on the performance of the impaired and unimpaired arms. *Acta Psychologica*, 110, 2-3, 339-356.
- Yarosh, C.A., Hoffman, D.S., Strick, P.L. (2004). Deficits in movements of the wrist ipsilateral to a stroke in hemiparetic subjects. *Journal of Neurophysiology*, 92, 3276-3285.
- Waller, S.McC., Harris-Love, M., Liu, W., Whittall, J. (2006). Temporal coordination of the arms during bilateral simultaneous and sequential movements in patients with chronic hemiparesis. *Experimental Brain Research*, 168, 450-454.

- Watkins, M.P., Harris, B.A., Kozlowski, B.A. (1984). Isokinetic testing in patients with hemiparesis : a pilot study. *Physical Therapy*, 64, 184-189.
- Westling, G., Johansson, R.S., (1984). Factors influencing the force control during precision grip. *Experimental Brain Research*, 54, 277–284.
- Westling, G., Johansson, R.S., (1987). Responses in glabrous skin mechanoreceptors during precision grip in humans. *Experimental Brain Research*, 66, 1, 128-140.
- Whitall, J., McCombe Waller, S., Silver, K.H.C., Macko, R.F. (2000). Repetitive bilateral arm training with rhythmic auditory cuing improves motor function in chronic hemiparesis stroke. *Stroke*, 31, 10, 2390-2395.
- Winstein, C.J., Pohl, P.S. (1995). Effects of unilateral brain damage on the control of goal-directed hand movements. *Experimental Brain Research*, 105, 163-174.

CHAPITRE 8

ANNEXES

ANNEXE A
CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

Montréal, le 20 octobre 2008

Centre de réadaptation
Lucie-Bruneau

Centre de réadaptation
Constance-Lethbridge

Hôpital juif de réadaptation

Institut Nazareth
et Louis-Braille

Institut Raymond-Dewar

Institut de réadaptation
de Montréal

Centre de réadaptation Estrie

Centre de réadaptation
La Ressource

Centre de réadaptation en
déficience physique Le Bouclier

Monsieur Daniel Bourbonnais, erg., Ph. D.
Directeur et professeur titulaire
Université de Montréal
École de réadaptation – Faculté de médecine
C.P. 6128, succ. Centre-Ville
Montréal, Québec
H3C 3J7

N/réf : CRIR-147-0505

Monsieur Bourbonnais,

Nous avons bien reçu votre formulaire « R » dûment rempli concernant votre projet :

“Effects of Unilateral Weakness Following Stroke on Motor Prediction and Coordination during Bilateral Tasks”.

Nous avons donc procédé au renouvellement de votre certificat d'éthique dont nous vous joignons la copie. Ce certificat est valable pour un an.

Par ailleurs, le CÉR demande à être informé de toutes modifications qui pourraient être apportées au projet de recherche mentionné ci-dessus (Formulaire M).

Recevez, Monsieur Bourbonnais, l'expression de nos meilleures salutations.

Me Anik Nolet
Coordonnatrice à l'éthique de la recherche
des établissements du CRIR

AN/fm

PJ: Certificat d'éthique

Certificat d'éthique
(Renouvellement)

Pour fins de renouvellement, le Comité d'éthique de la recherche des établissements du CRIR, selon la procédure d'évaluation accélérée en vigueur, a examiné le projet de recherche **CRIR-147-0505** intitulé :

« Effects of Unilateral Weakness Following Stroke on Motor Prediction and Coordination during Bilateral Tasks ».

Présenté par: **Daniel Bourbonnais**

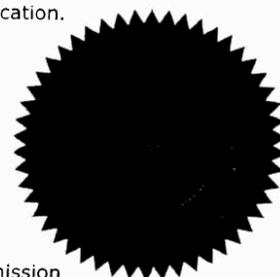
Le présent projet répond aux exigences éthiques de notre CÉR. Ce projet se déroule dans le site du CRIR suivant : **Institut de réadaptation de Montréal.**

Ce certificat est valable pour un an. En acceptant le présent **certificat d'éthique**, le chercheur s'engage à :

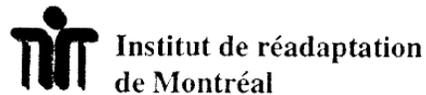
1. Informer, dès que possible, le CÉR de tout changement qui pourrait être apporté à la présente recherche ou aux documents qui en découlent (Formulaire M) ;
2. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout incident ou accident lié à la procédure du projet ;
3. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout nouveau renseignement susceptible d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche, ou encore, d'influer sur la décision d'un sujet de recherche quant à sa participation au projet ;
4. Notifier, dès que possible, le CÉR de toute suspension ou annulation d'autorisation relative au projet qu'aura formulée un organisme de subvention ou de réglementation ;
5. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout problème constaté par un tiers au cours d'une activité de surveillance ou de vérification, interne ou externe, qui est susceptible de remettre en question l'intégrité ou l'éthicité du projet ainsi que la décision du CÉR ;
6. Notifier, dès que possible, le CÉR de l'interruption prématurée, temporaire ou définitive du projet. Cette modification doit être accompagnée d'un rapport faisant état des motifs à la base de cette interruption et des répercussions sur celles-ci sur les sujets de recherche ;
7. Fournir annuellement au CÉR un rapport d'étape informant de l'avancement des travaux de recherche (formulaire R) ;
8. Demander le renouvellement annuel de son certificat d'éthique ;
9. Tenir et conserver, selon la procédure prévue dans la *Politique portant sur la conservation d'une liste des sujets de recherche*, incluse dans le cadre réglementaire des établissements du CRIR, une liste des personnes qui ont accepté de prendre part à la présente étude ;
10. Envoyer au CÉR une copie de son rapport de fin de projet / publication.

Me Michel T. Giroux
Président du CÉR

Date d'émission
21 septembre 2008



ANNEXE B
FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



Formule de consentement pour les participants à l'étude ayant eu un accident vasculaire cérébral

Identification du participant :

Nom : _____ Prénom : _____

Date de naissance : _____ Âge : _____

No. de dossier : _____ Code : _____

TITRE DU PROJET : Effets de la faiblesse suite à un accident vasculaire cérébral sur la prédiction et la coordination durant des tâches bilatérales
« Effects of unilateral weakness following stroke on motor prediction and coordination during bilateral tasks. »

RESPONSABLE :

Daniel Bourbonnais Ph.D. Tél. : (514) 343-6417

REPRÉSENTANT DU RESPONSABLE :

Marie-Hélène Forest erg. Tél. (514) 340-2111 poste 3152

OBJECTIFS DU PROJET

Un accident vasculaire cérébral (AVC) peut causer une faiblesse d'un bras et/ou d'une jambe. Il est probable que cette faiblesse d'un bras interfère avec la capacité de la personne à faire des activités de la vie de tous les jours qui demandent l'utilisation des deux mains. L'objectif du présent projet est d'évaluer les effets de la faiblesse du bras suite à l'AVC sur la production de force durant des activités qui demandent l'utilisation des deux mains. Cette étude pourrait ouvrir de nouvelles avenues de recherche pour améliorer la motricité des bras et des mains des personnes ayant eu un accident vasculaire cérébral.

NATURE ET DURÉE DE MA PARTICIPATION

Dans le cadre de ce projet, vous devrez vous présenter au Centre de recherche de l'Institut de réadaptation de Montréal situé au 4^e étage du 6300 de l'avenue Darlington à Montréal. Deux visites d'une durée d'une heure et demie sont prévues. Au cours de la première visite, nous vérifierons si vous rencontrez les critères d'admission de l'étude et évaluerons la performance de votre bras et de votre main. Dans la deuxième séance, nous effectuerons des mesures de la force maximale de votre main. Par la suite, nous vous demanderons de soulever des objets de différents poids avec chacune de vos mains. Ces objets sont instrumentés et permettent de mesurer les forces exercées sur ceux-ci. Nous vous demanderons de compléter un bref questionnaire sur la fréquence d'utilisation de votre main dans diverses activités quotidiennes.

AVANTAGES PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION

Il n'y a pas d'avantage direct à participer à ces sessions d'évaluations à l'Institut de Réadaptation de Montréal. Toutefois, vous aurez contribué à l'avancement des connaissances concernant les capacités motrices du bras et de la main chez les personnes ayant eu un AVC.

INCONVÉNIENTS PERSONNELS ET RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION

Comme les mouvements de préhension des objets sont répétés environ une cinquantaine de fois, il est possible que le fait de répéter le mouvement puisse provoquer une fatigue musculaire. Cependant, le poids des objets manipulés pourra être ajusté en fonction de la fatigue de votre bras. Veuillez noter aussi que vous pourrez prendre des pauses entre les essais.

Il est entendu que votre participation à ces évaluations ne vous fait courir, sur le plan médical, aucun risque que ce soit.

ACCÈS À VOTRE DOSSIER MÉDICAL

Vous acceptez que les personnes responsables de ce projet aient accès à votre dossier médical à l'Institut de Réadaptation de Montréal afin d'y recueillir les informations essentielles à la réalisation du projet.

RETRAIT DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET

Votre participation au projet est sur une base libre et volontaire. Il est également entendu que vous pourrez, à tout moment, mettre un terme à votre participation à ce projet. Votre participation ou votre désistement à ce projet n'aura aucun effet sur les soins et les services de santé que vous recevez ou recevrez à l'Institut de Réadaptation de Montréal.

CONFIDENTIALITÉ

Tous les renseignements personnels recueillis au cours de l'étude vous concernant seront codifiés afin d'assurer leur confidentialité. Ces données seront conservées sous clé par le responsable de l'étude pour une période de cinq (5) ans suite à la fin de l'étude. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès. Après cette période de 5 ans, les données seront détruites. En cas de présentation de résultats de cette recherche pour des fins d'enseignement, de communications scientifiques ou de publications, rien ne pourra permettre de vous identifier.

AUTORISATION D'UTILISER LES RÉSULTATS ET GARANTIE D'ANONYMAT

Vous acceptez que les informations recueillies puissent être utilisées pour des fins de communications scientifiques, professionnelles et d'enseignement. Il est entendu que l'anonymat sera respecté à votre égard lors de toute communication de résultats.

VERSEMENT D'UNE INDEMNITÉ

Une indemnisation de 25 \$ en compensation de votre déplacement et des inconvénients liés à votre participation vous sera remise à la fin de chaque séance d'expérimentation.

PERSONNE-RESSOURCE

Si vous avez des questions sur vos droits et recours ou sur votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Me Anik Nolet, coordonnatrice à l'éthique de la recherche des établissements du CRIR au (514) 527-4527 poste 2643 ou par courriel à l'adresse suivante: anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca.

CONSENTEMENT

La nature de l'étude, les procédés utilisés, les risques et les bénéfices que comporte ma participation à cette étude ainsi que le caractère confidentiel des informations qui seront recueillies au cours de l'étude m'ont été expliqués.

J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer à cette étude. Je peux me retirer en tout temps sans que cela ne nuise aux relations avec mon médecin et les autres intervenants et ce, sans préjudice d'aucune sorte.

Clause de responsabilité

En acceptant de participer à cette étude, je ne renonce à aucun de mes droits ni ne libère les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

Une copie signée de ce formulaire d'information doit m'être remise

NOM DU PARTICIPANT

SIGNATURE

Fait à _____

Le _____, 200_____

Engagement du chercheur

Je, soussigné(e), _____, certifie (a) avoir expliqué au signataire intéressé(e) les termes de la présente formule, (b) avoir répondu aux questions qu'il (elle) m'a posées à cet égard et (c) lui avoir clairement indiqué qu'il (elle) reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit précédemment.

**Signature du responsable du projet
ou de son représentant**

Fait à _____, le _____, 200_____

Le responsable du projet, Daniel Bourbonnais, peut être rejoint aux coordonnées suivantes :
Téléphone: (514) 343-6417 télécopieur (514) 343-2105

(À ÊTRE COMPLÉTÉ EN TROIS EXEMPLAIRES)

ANNEXE C
AUTORISATION DE DÉPÔT DE MÉMOIRE PAR ARTICLE



Faculté de médecine
Vice-décanat
Études supérieures

Le 7 novembre 2008

Madame Marie-Hélène Forest
12, avenue Goethe
Candiac (Qc) J5R 3W4

Objet : **Autorisation de déposer votre mémoire de maîtrise sous forme d'articles**
FORM03628408 Programme de Sciences biomédicales (2-484-1-0)

Madame,

Suite à votre demande, j'ai le plaisir de vous autoriser à présenter votre mémoire maîtrise sous forme d'articles. Il est entendu que vous devez vous soumettre aux conditions minimales de dépôt décrites dans le « *Guide de présentation des mémoires de maîtrise et des thèses de doctorat* », édition de mars 2001. Ce document est disponible sur le site de la FES, www.fes.umontreal.ca. Vous pouvez également vous le procurer à la Librairie de l'Université de Montréal. La norme minimale pour le dépôt par articles est d'un article comme premier auteur soumis (soumettre la lettre de l'éditeur).

Cependant, afin de respecter la loi canadienne sur les droits d'auteurs, vous devez, au moment du dépôt de votre mémoire, remettre, avec les formulaires de reproduction et diffusion dûment complétés et signés, les déclarations écrites de tous les coauteurs des articles inclus dans votre mémoire autorisant la reproduction et la diffusion de votre mémoire de maîtrise.

Veillez agréer, Madame, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Le directeur du programme
de Sciences biomédicales,

Daniel Lajeunesse, Ph.D.

c.c. : Daniel Bourbonnais
FES – Études

ANNEXE D
ACCORD DES COAUTEURS

ANNEXE II

ACCORD DES COAUTEURS ET PERMISSION DE L'ÉDITEUR

A) Déclaration des coauteurs d'un article

Lorsqu'un étudiant n'est pas le seul auteur d'un article qu'il veut inclure dans son mémoire ou dans sa thèse, il doit obtenir l'accord de tous les coauteurs à cet effet et joindre la déclaration signée à l'article en question. Une déclaration distincte doit accompagner chacun des articles inclus dans le mémoire ou la thèse.

1. Identification de l'étudiant et du programme

Marie-Hélène Forest, 2-484-1-0, Sciences biomédicales – option Réadaptation

2. Description de l'article

Article en phase de préparation

FOREST, Marie-Hélène, BERTRAND, Martine, MERCIER, Catherine, BOURBONNAIS, Daniel

Motor impairment of the ipsilateral upper-extremity's performance during bilateral tasks following a stroke

3. Déclaration de tous les coauteurs autres que l'étudiant

À titre de coauteur de l'article identifié ci-dessus, je suis d'accord pour que Marie-Hélène Forest inclus cet article dans son **mémoire de maîtrise** qui a pour titre Diminution de la performance motrice du membre ipsilatéral au site de l'accident vasculaire cérébral lors de tâches bilatérales.

FOREST, Marie-Hélène
Coauteur

Signature

10 déc 08
Date

FOREST, Marie-Hélène

BERTINUS MARTINE
Coauteur

Signature

19 novembre 08
Date

BERTRAND, Martine

MERCIER CATHERINE
Coauteur

Signature

8 décembre 2008
Date

MERCIER, Catherine

BOURBONNAIS DANIEL
Coauteur

Signature

8 décembre 2008
Date

BOURBONNAIS, Daniel

B) Permission de l'éditeur d'une revue ou d'un livre 1. Identification de la revue ou du livre

Aucune demande de publication n'a été amorcée.

