

Master of Science conjoint HES-SO - UNIL en Sciences de la santé Orientation Physiothérapie

Effets d'un réentraînement à l'effort par intervalles sur la force musculaire après un accident vasculaire cérébral : Impacts à court et à long terme

Marie Glannaz
Aurélie Paley

Sous la direction de
Prof. HES associé, Francis Degache
Haute école de santé Vaud (HESAV), HES-SO

Sous la co-direction de
Pr. ordinaire, Doyenne filière physiothérapie HESAV, Emmanuelle Opsommer
Haute école de santé Vaud (HESAV), HES-SO

Expert : Maître d'Enseignement et de Recherche, Jérôme Barral, Institut des Sciences du Sport de
l'Université de Lausanne

Remerciements

En premier lieu, nous remercions chaleureusement M. Francis Degache, Professeur HES associé à la Haute école de Santé Vaud (HESAV). En tant que directeur de travail de Master, il nous a guidés et conseillés de manière avisée durant deux ans. Il a su être disponible et patient pour répondre à nos nombreuses questions tout au long du projet.

Nous souhaitons aussi remercier sincèrement notre co-directrice de travail de Master, Mme Emmanuelle Opsommer, Professeure ordinaire et doyenne de la filière physiothérapie à HESAV, pour la qualité de ses conseils. Nous avons particulièrement apprécié son aide et les solutions proposées lors des difficultés rencontrées durant ce travail.

Nous désirons remercier M. Nicolas Place, Maître d'enseignement et de recherche à l'Université de Lausanne, qui a pris du temps pour nous transmettre les subtilités de l'évaluation isocinétique et de l'électromyogramme dans son laboratoire.

Nous remercions également M. Pierluigi Ballabeni, Chef de projet recherche à l'Université de Lausanne, pour ses conseils judicieux en matière de méthodologie statistique.

Nous tenons encore à exprimer notre gratitude à M. Romain Konde et à M. Pierre-André Paley pour leur précieuse aide à la relecture et à la correction de ce travail. Nous adressons aussi un grand merci à Mme Alexandra Kunz pour sa contribution à la rédaction du résumé en anglais.

Finalement, un merci tout particulier à nos familles et à nos proches pour leur soutien inestimable.

Table des matières

Introduction.....	1
Accident vasculaire cérébral.....	1
Définition et épidémiologie.....	1
Classification des AVC.....	2
Conséquences d'un AVC.....	3
Prise en charge actuelle	4
Réentraînement à l'effort	6
Définitions de la force et de la faiblesse musculaires	7
Fonction musculaire après un AVC.....	7
Evaluation de la force musculaire : dynamomètre isocinétique	9
Problématique	10
Méthodologie	12
Sélection des patients.....	12
Procédure d'inclusion	12
Inclusion.....	14
Epreuve d'effort maximal.....	14
Intervention	15
Evaluations.....	16
Tests de marche	18
Test de force musculaire	18
Calcul de la taille d'échantillon.....	19
Analyse statistique	19
Résultats	20
Population.....	20
Force musculaire	21
Evaluation de la force isocinétique en concentrique	21
Evaluation de la force isométrique.....	23
Différences de force du membre inférieur sain en comparaison au côté lésé	23
Critères de jugement secondaires	24

Paramètres cardiovasculaires.....	24
Puissance maximale	24
Test de marche de six minutes.....	24
Test de marche de 20 mètres.....	24
<i>Discussion</i>	30
Effet sur la force isocinétique	30
Effet sur la force isométrique	33
Effets sur les paramètres cardiovasculaires	37
Effets sur la puissance maximale	40
Effets sur les paramètres de marche	40
<i>Limites</i>	43
Limites méthodologiques	43
Travail préalable	46
<i>Conclusion</i>	47
Pistes futures	48
<i>Bibliographie</i>	49
<i>Annexes</i>	62

Liste des tableaux

<i>Tableau 1: Critères d'inclusion et d'exclusion</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 2: Détail des évaluations réalisées</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 3: Caractéristiques de la population.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 4: Résultats : force isocinétique des fléchisseurs et extenseurs du genou des deux membres inférieurs aux trois temps d'évaluation.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 5: Résultats : force isométrique des fléchisseurs et extenseurs du genou des deux membres inférieurs aux trois temps d'évaluation.....</i>	<i>27</i>
<i>Tableau 6: Résultats : différences de force isocinétique des fléchisseurs et des extenseurs du genou du côté sain en comparaison au côté lésé.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 7: Résultats : différences de force isométrique des fléchisseurs et des extenseurs du genou du côté sain en comparaison au côté lésé.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 8: Résultats : critères de jugement secondaires aux trois temps d'évaluation.....</i>	<i>29</i>

Liste des figures

<i>Figure 1 : Schéma de la séance de réentraînement à l'effort par intervalles, à raison de 3 fois par semaine durant 8 semaines.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 2: Résultats : Evolution de la force isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou sain et lésé à différentes vitesses, évolution entre l'évaluation pré-réentraînement et l'évaluation six mois après la fin du réentraînement</i>	<i>22</i>
<i>Figure 3: Résultats : Evolution du test de marche de 6 minutes, évolution entre l'évaluation pré-réentraînement, l'évaluation après deux mois de réentraînement et l'évaluation six mois après la fin du réentraînement.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 4: Résultats : Evolution du test de marche de 20 mètres, évolution entre l'évaluation pré-réentraînement, l'évaluation après deux mois de réentraînement et l'évaluation six mois après la fin du réentraînement.....</i>	<i>25</i>

Liste des abréviations

AIT	Accident ischémique transitoire
AVC	Accident vasculaire cérébral
CER-VD	Commission cantonale vaudoise d'éthique de la recherche sur l'être humain
CHUV	Centre hospitalier universitaire vaudois
ECG	Électrocardiogramme
EMS	Etablissement médico-social
FC _{max}	Fréquence cardiaque maximale
FC _{repos}	Fréquence cardiaque de repos
FC _{réserve}	Fréquence cardiaque de réserve
HESAV	Haute École de Santé de Vaud
IRM	Imagerie par résonance magnétique
MPR	Médecine Physique et de Réadaptation
P _{max}	Puissance maximale
TAS	Tension artérielle systolique
TAD	Tension artérielle diastolique
UNIL	Université de Lausanne
VO _{2max}	Volume d'oxygène maximale
VO _{2pic}	Volume d'oxygène maximale atteint au cours d'un test d'effort
1RM	Charge maximale

Résumé

Introduction : Suite à un accident vasculaire cérébral (AVC), les capacités maximales à l'effort, les capacités de marche ainsi que la force des deux membres inférieurs sont diminuées. Peu d'études ont investigué les effets d'un réentraînement aérobic sur la force musculaire et son impact à long terme.

Objectif : L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets à court et à long terme du réentraînement à l'effort par intervalles sur la force musculaire après un AVC.

Méthode : Dix participants en phase chronique post-AVC ont pris part à huit semaines de réentraînement aérobic sur cycloergomètre, à raison de trois séances par semaine. Le critère de jugement principal était la force musculaire isocinétique et isométrique des fléchisseurs et des extenseurs du genou. Les critères de jugement secondaires étaient les paramètres cardiovasculaires (VO_{2max} , FC_{max} , FC_{repos} , TAS, TAD), les paramètres de marche (test de marche de 20 mètres, test de marche de six minutes) ainsi que la puissance de pédalage maximale.

Résultats : La force isocinétique a été significativement augmentée (entre 21,21 et 63,87 % d'amélioration, $p < 0,05$) pour les deux membres inférieurs et pour les deux groupes musculaires six mois après la fin du réentraînement. Les paramètres de marche ont également été améliorés. Le test de six minutes a été amélioré de 25,43 % ($p = 0$) et le test de 20 mètres de 29,98 % ($p = 0,0051$) six mois après la fin du réentraînement.

Conclusion : Nous avons pu mettre en évidence l'impact positif qu'a le réentraînement à l'effort sur la force musculaire isocinétique et les paramètres de marche dans la phase chronique après un AVC et ces résultats se maintiennent au cours des six mois suivant le réentraînement.

Abstract

Introduction: Following a stroke, the maximal strength capacity, the walking abilities and the lower limbs strength are much diminished. Only a few studies have investigated the outcome of aerobic training on muscular strength and its long-term impact.

Objective: The aim of this study is to evaluate the short- and long-term effects of aerobic interval training on muscular strength after a stroke.

Method: Ten subjects in the post stroke chronic phase took part to a 3 sessions weekly training on ergocycle over a period of 8 weeks. The main criterium of judgment was based on the knee flexors and extensors isokinetic and isometric strength. Secondary criteria included, cardiovascular parameters such as VO_{2max} , HR_{max} , HR_{rest} , SBP, DBP, walking pace parameters (20 Meters Walking Test, 6 Minutes Walking Test) and maximal power output.

Results: For both knees and both muscular groups, isokinetic strength was significantly increased (between 21.21 and 63.87% amelioration, $p < 0.05$) six month after the end of training period. Also, an improvement was observed on the 6 Minute Walking Test by 25.43% ($p = 0$) and the 20 Meters Test by 29.98% ($p = 0.0051$) in the same laps of time.

Conclusion: We have been able to highlight not only the positive impact of interval training on muscular isokinetic strength and walking parameters during the post stroke chronic phase but also the fact that the gain lasts for six months beyond end of training.

Introduction

En guise d'introduction, les concepts essentiels à la compréhension de ce travail sont développés. Dans un premier temps, nous définissons l'accident vasculaire cérébral (AVC), les différents types pouvant survenir, les facteurs de risque, les symptômes et la prise en charge actuelle. Nous poursuivons en décrivant les conséquences d'un AVC sur la capacité à l'effort et sur la force musculaire.

Accident vasculaire cérébral

Définition et épidémiologie

Un accident vasculaire cérébral provient de l'interruption de la circulation sanguine au niveau cérébral. Cette interruption peut être due à un vaisseau qui éclate ou qui est bloqué par un thrombus, engendrant un arrêt de l'apport en oxygène et en nutriments, endommageant les tissus cérébraux (OMS, 2019).

Dans les pays industrialisés, l'AVC est la troisième cause de décès, après les maladies cardiovasculaires et les cancers. En Suisse, chaque année 16'000 personnes sont victimes d'un AVC, soit un cas toutes les 30 minutes. L'incidence des AVC, estimée à 150 nouveaux cas pour 100'000 habitants par année en Suisse (Groupe suisse de travail pour les maladies cérébrovasculaires et Fondation suisse de cardiologie, 2000), augmente avec l'âge. Elle est plus importante chez l'homme (incidence suisse entre 141 et 344 nouveaux cas /100'000 habitants / an chez les 35-64 ans; prévalence 2,9 % à Lausanne chez les 65-69 ans) que chez la femme (incidence suisse entre 61 et 294 nouveaux cas /100'000 habitants / an chez les 35-64 ans ; prévalence 2,7 % à Lausanne chez les 65-69 ans).

Dans le monde, l'AVC représente la première cause d'invalidité acquise chez l'adulte (Groupe suisse de travail pour les maladies cérébrovasculaires et Fondation suisse de cardiologie, 2000). Vingt-cinq pourcents des patients en meurent, 40 % s'en remettent complètement et 35 % restent handicapés (Fondation Suisse de Cardiologie, s. d.). Dans la proportion de survivants, 69 % rentrent à domicile, 17 % vont dans des institutions spécialisées, 6 % restent hospitalisés et 6 % sont dans des institutions de type établissement médico-social (EMS) (Groupe suisse de travail pour les maladies cérébrovasculaires et Fondation suisse de cardiologie, 2000).

D'ici 2030, à un taux d'incidence constant, la Fondation suisse de cardiologie estime une augmentation de 55 à 80 % du nombre d'AVC, due notamment au vieillissement de la population en Suisse. La mise en place d'une prise en charge adaptée est donc nécessaire.

Classification des AVC

Derrière le terme AVC sont regroupées plusieurs causes à savoir les accidents ischémiques et hémorragiques.

Accidents ischémiques

L'AVC ischémique, aussi appelé infarctus cérébral représente 80 % de la totalité des AVC (Bartels, Duffy, & Beland, 2016). Il est causé soit par une thrombose locale, soit par une embolie pouvant être d'origine artérielle ou cardiaque.

Au cours des 10 dernières années, l'incidence des AVC ischémiques a augmenté de 40 % chez les 18-50 ans (Ekker et al., 2018).

Physiopathologie

Trois types de pathologies peuvent mener à un infarctus cérébral, soit une thrombose des petits vaisseaux, une thrombose des gros vaisseaux ou des troubles cardiaques (Deplanque & Bordet, 2018).

Dans tous les cas, c'est la circulation sanguine qui est à l'origine du problème. Elle est perturbée soit par un dépôt de plaques d'athérosclérose (favorisé par l'hypertension) rétrécissant le flux sanguin, entraînant des turbulences et favorisant l'apparition de caillots, soit par un problème cardiaque modifiant le flux sanguin (Deplanque & Bordet, 2018).

Le thrombus bouche localement une artère cérébrale, privant une zone du cerveau de glucose et d'oxygène. A ce stade, si le caillot est rapidement lysé ou s'il se dissout spontanément, il s'agit d'un accident ischémique transitoire (AIT). Un AIT dure généralement moins d'une heure et aucune séquelle neurologique n'est visible à l'imagerie. Sauf que généralement, la prise en charge intervient plus tardivement et le caillot ne se lyse pas de lui-même. Avec les minutes, de plus en plus de territoire cérébral est détruit. Il persiste une zone dite de « pénombre », autour de la zone détruite, potentiellement récupérable (Deplanque & Bordet, 2018).

Facteurs de risque principaux

Les facteurs de risque d'un accident ischémique peuvent être modifiables ou non. Dans les facteurs de risque non modifiables qui ressortent, nous pouvons citer l'âge, l'ethnie, le genre et les antécédents familiaux (Grysiewicz, Thomas, & Pandey, 2008). L'hypertension, le diabète, la consommation de tabac et d'alcool, les problèmes cardiaques en général, l'obésité et l'inactivité physique sont des facteurs de risque modifiables (Grysiewicz et al., 2008). Ces facteurs de risque sont notamment des déterminants favorisant l'apparition de plaques d'athérosclérose, élément souvent déclencheur d'un AVC ischémique (Béjot, Touzé, Jacquin, Giroud, & Mas, 2009; Grysiewicz et al., 2008).

Accidents hémorragiques

L'hémorragie cérébrale survient lors d'une rupture spontanée d'un vaisseau déjà pathologique dans le tissu cérébral provoquant un saignement (Boulois, Tourdias, & Oppenheim, 2018).

L'AVC hémorragique, comprenant les hémorragies intracérébrales et subarachnoïdales, représente environ 13 % de la totalité des AVC (10 % d'hémorragies intracérébrales et 3 % d'hémorragies subarachnoïdales) (Grysiewicz et al., 2008).

Physiopathologie

Une hémorragie cérébrale sans cause traumatique peut être due à de multiples étiologies, comme une maladie des petits vaisseaux, des cavernomes, des lésions macrovasculaires, des thromboses veineuses cérébrales, la transformation hémorragique d'un infarctus ou d'une tumeur hémorragique (Boulois et al., 2018). Les cas les plus fréquents sont l'hémorragie sur une hypertension intracérébrale, la rupture d'anévrisme, l'hémorragie lobaire spontanée et le saignement d'une maladie artérioveineuse (Bartels et al., 2016).

Facteurs de risque principaux

Tout comme pour les accidents ischémiques, les facteurs de risque peuvent ne pas être modifiables comme l'âge, l'ethnie ou le genre (Grysiewicz et al., 2008) ou potentiellement modifiables. L'hypertension, le diabète, la consommation de tabac ou d'alcool se retrouvent également dans les facteurs de risque modifiables de l'AVC hémorragique. Se rajoutent à cette liste la dyslipidémie, la médication antithrombotique, la consommation de drogues illicites, les sujets sous dialyse ou présentant une tumeur ainsi que la présence d'un anévrisme (Grysiewicz et al., 2008).

Conséquences d'un AVC

À la suite d'un AVC, les déficiences persistantes dépendent du territoire vasculaire cérébral concerné. Deux tiers des infarctus cérébraux surviennent dans le territoire carotidien (artères sylviennes et artère cérébrale antérieure) et un tiers dans le territoire vertébro-basilaire et de l'artère cérébrale postérieure (Deplanque & Bordet, 2018). Un AVC dans le territoire carotidien engendre principalement une hémiparésie, une aphasie et/ou une apraxie. Une paralysie d'un nerf crânien, une hémiparésie ou une hémihypoesthésie seront les conséquences d'un AVC dans le territoire vertébro-basilaire (Brugerolle, 2002).

Les lésions sont généralement hémisphériques, créant des atteintes spécifiques motrices, sensitives et/ou cognitives. Les troubles moteurs se définissent dans un premier temps par une paralysie totale, controlatérale au côté de la lésion (Brugerolle, 2002). Après quelques jours, des contractions musculaires sont possibles et permettent d'effectuer des mouvements grossiers. Des troubles du tonus (spasticité) apparaissent et s'ajoutent aux troubles moteurs.

La spasticité, qui est une résistance à l'étirement des muscles, donne l'attitude caractéristique de la personne hémiplegique, avec une flexion du membre supérieur et une extension du membre inférieur (Brugerolle, 2002). Ces troubles moteurs touchent 50 % des patients (Thom et al., 2006). Les troubles sensitifs, qui sont aussi très fréquents, suivent la même topographie que la paralysie. De plus, les personnes atteintes d'un AVC peuvent être confrontées à des troubles praxiques (incapacité à accomplir des gestes malgré l'absence de troubles moteurs) ou des troubles gnosiques (troubles de l'intégration des sensations malgré des capteurs sensoriels périphériques sains) (Brugerolle, 2002). L'aphasie, trouble de la parole et du langage, touche 19 % des patients (Thom et al., 2006). Elle s'exprime par des difficultés de compréhension et/ou d'expression, du langage oral et/ou écrit. D'autres déficiences peuvent apparaître après un AVC, tels que les syndromes dépressifs, les troubles de l'orientation, la négligence de l'hémicorps atteint ou les troubles de l'attention (Brugerolle, 2002).

La récupération varie d'un patient à l'autre : elle peut être totale ou laisser un déficit global majeur. Tous les patients ont une récupération spontanée et mettent en place des compensations fonctionnelles (Brugerolle, 2002). Il est important de mener une prise en charge optimale dès les premiers jours qui suivent l'AVC. Cette prise en charge est décrite dans le chapitre suivant.

Prise en charge actuelle

La prise en charge actuelle des patients atteints d'un AVC se déroule en trois phases distinctes, soit la phase aiguë, subaiguë et chronique (Haute Autorité de Santé, 2012). La phase aiguë concerne les deux premières semaines suivant un AVC (Haute Autorité de Santé, 2012). En phase préhospitalière, le patient est évalué et pris en charge selon son degré d'urgence. Une imagerie cérébrale, soit une tomodensitométrie, soit une imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM), est effectuée pour différencier s'il s'agit d'un AVC hémorragique ou d'un AVC ischémique.

Lors d'un AVC ischémique, l'équipe médicale doit déterminer si une thrombolyse est indiquée, afin de dissoudre le thrombus, au plus tard après quatre heures et demi (Mazighi & Bracard, 2018). La thrombolyse doit se faire pour tout patient présentant un déficit neurologique handicapant (Sztajzel & Muller, 2016). Lors d'une occlusion des grosses artères (la carotide interne ou l'artère cérébrale moyenne), une thrombectomie mécanique, c'est-à-dire le retrait du thrombus avec un stent transitoire et une aspiration de l'embolie, peut être préconisée (Kulcsar, Carrera, & Michel, 2017; Mazighi & Bracard, 2018). Une thrombectomie mécanique doit être effectuée dans les six heures, en association avec une thrombolyse intraveineuse (Mazighi & Bracard, 2018). Seuls 15 à 20 % des patients arrivant à l'hôpital sont éligibles pour une thrombectomie. En effet, les patients avec une occlusion artérielle intracrânienne doivent aussi présenter une certaine indépendance fonctionnelle avant l'AVC, une absence d'un

volume majeur d'ischémie irréversible et un accès technique au vaisseau occlus (Kulcsar et al., 2017). L'indépendance fonctionnelle avant l'AVC est évaluée grâce à un score de Barthel ou à un score de Rankin modifié. Ces deux tests évaluent l'indépendance fonctionnelle, entre 0 et 5 pour le score de Rankin (cut-off thrombectomie : 1) et sur une échelle à 100 points pour le score de Barthel (cut-off thrombectomie : ≥ 90), indiquant que le patient est autonome avant son AVC (Fiehler et al., 2016).

Lors d'un AVC hémorragique, une prise en charge chirurgicale peut être envisagée notamment en cas d'une hypertension intracrânienne. Les cibles d'un traitement chirurgical sont doubles: l'ablation du caillot si nécessaire et le traitement de la cause de l'hémorragie (Cébula, Turc, & Proust, 2018). Dans le cas contraire, un traitement médical est mis en place dans le but de lutter contre l'expansion de l'hémorragie (Sztajzel & Muller, 2016; Tortuyaux & Cordonnier, 2018). Le traitement est divisé en quatre objectifs. Le premier est de mener une surveillance en soins intensifs, notamment à l'aide du score National Institutes of Health Stroke Scale (NIHSS), qui est une échelle d'évaluation des déficiences. Il est aussi nécessaire de mettre en place une surveillance des crises de convulsion et du risque de thrombose veineuse profonde. Le deuxième objectif est de gérer les médicaments antithrombotiques. Le troisième objectif est de contrôler la pression artérielle, afin de la réduire en dessous de 130/80 mmHg. Finalement, la recherche d'une étiologie est le dernier objectif du traitement.

La phase subaiguë se déroule dès le 14^{ème} jour et jusqu'au sixième mois post-AVC (Haute Autorité de Santé, 2012). L'objectif de la réhabilitation est de permettre une récupération maximale sur le plan moteur, sensitif et cognitif. Un programme de réadaptation mené de manière multidisciplinaire dans un service spécialisé permet de diminuer le taux de mortalité et de morbidité, d'améliorer l'autonomie fonctionnelle, d'augmenter la prévalence du retour à domicile et de réduire la durée du séjour hospitalier (Beer et al., 2007; Daviet et al., 2006). Il est recommandé de débiter la rééducation motrice dès que possible (Haute Autorité de Santé, 2012). La rééducation motrice actuelle comporte différentes méthodes thérapeutiques pratiquées manuellement ou à l'aide d'instruments. La plupart des méthodes s'appuient sur différents concepts, par exemple basés sur le neurodéveloppement ou la neurofacilitation proprioceptive (Haute Autorité de Santé, 2012).

La phase chronique est considérée dès le sixième mois post-AVC (Haute Autorité de Santé, 2012). La réadaptation se poursuit avec, si possible, la réinsertion professionnelle et des loisirs (Haute Autorité de Santé, 2012).

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons particulièrement à la phase de réadaptation chronique et plus spécifiquement au réentraînement à l'effort. Le chapitre suivant le définit et le décrit dans le cadre d'une prise en charge chronique post-AVC.

Réentraînement à l'effort

Suite à un AVC, les sujets présentent une diminution de la capacité à l'effort de 55 à 75 % par rapport à des personnes saines de la même tranches d'âge (Mackay-Lyons & Makrides, 2004). De plus, la marche demande un coût énergétique deux fois plus important que pour un sujet sain du même âge (Courbon et al., 2006; Leddy et al., 2016). Cette diminution de la capacité à l'effort provient notamment d'un alitement prolongé, d'une inactivité due aux séquelles motrices ou d'une pathologie cardiovasculaire ou métabolique sous-jacente. Elle est alimentée par une perte de pratique d'activité physique dans la vie quotidienne (Ramas, Courbon, Roche, Bethoux, & Calmels, 2007). Afin de pallier cette inactivité, la rééducation conventionnelle en physiothérapie est souvent proposée dans le but d'augmenter l'autonomie fonctionnelle et de raccourcir la durée d'hospitalisation (Ramas et al., 2007). Même si la rééducation conventionnelle est reconnue et établie, d'autres thérapies visant le réentraînement à l'effort existent, comme par exemple l'hydrothérapie, la marche sur tapis roulant avec ou sans harnais de suspension, le renforcement musculaire ou le réentraînement à l'effort sur cycloergomètre. Le réentraînement à l'effort a comme objectif d'améliorer le rendement et la performance fonctionnelle. Il regroupe les techniques et stratégies mises en place pour améliorer le système cardiovasculaire et respiratoire (Ramas et al., 2007). Afin de déterminer la valeur de base de la capacité physique, une recherche de la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}) est établie. Le VO_{2max} représente le volume d'oxygène maximal que l'organisme est capable de consommer lors d'un effort (Smith et al., 2012) et s'exprime en ml/min/kg. Les sujets ayant subi un AVC auraient un VO_{2max} diminué en moyenne de 53 % de la capacité normale (Cangelosi, Chotard, & Labrunée, 2015; Smith, Saunders, & Mead, 2012), expliquant la limite des capacités à un effort physique plus long (Calmels et al., 2011).

Un programme d'activité physique améliore le niveau d'indépendance dans les activités de la vie quotidienne, la vitesse de marche, la tolérance à l'effort et par conséquent la quantité d'activité physique réalisée. Il permet aussi d'améliorer les capacités d'équilibre et donc la sécurité dans les activités de vie quotidienne. Il diminue également les facteurs de risque cardiovasculaire (Ramas et al., 2007). En 2004, l'American Heart Association (AHA) a prodigué des recommandations sur la prise en charge par l'exercice post-AVC (Gordon et al., 2004), reprises par l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) en France en 2008 et par la Société Française de Médecine physique et de Réadaptation (Sofmer) en 2015 (Cangelosi et al., 2015) : trois à cinq séances d'exercice aérobie de 20 à 60 minutes associées à deux ou trois séances de renforcement musculaire léger et des exercices d'équilibre et d'assouplissement. Les séances d'exercice aérobie peuvent être de deux types, en continu ou par intervalles. Il existe actuellement peu de recommandations concernant l'utilisation d'un réentraînement par intervalles chez la personne hémiplegique, bien que cette

modalité soit largement reconnue et utilisée lors de la réadaptation cardio-vasculaire (Boyne et al., 2016; Ivey, Stookey, Hafer-Macko, Ryan, & Macko, 2015). L'avantage d'un réentraînement par intervalles réside dans une plus grande amélioration du VO_{2max} , du débit cardiaque et du volume d'éjection systolique. Ainsi, un réentraînement par intervalle amène des adaptations centrales et périphériques (Daussin et al., 2007).

Suite un AVC, la fonction musculaire est aussi atteinte (Kelly, Kilbreath, Davis, Zeman, & Raymond, 2003; Ramas et al., 2007) et le renforcement doit être intégré au programme de réentraînement. Le chapitre suivant aborde cette thématique en définissant la force et la faiblesse musculaire, en décrivant les conséquences de la dysfonction musculaire sur les capacités fonctionnelles et l'évaluation isocinétique.

Définitions de la force et de la faiblesse musculaires

La force musculaire se définit comme étant « *la tension qu'un muscle peut opposer à une résistance au cours d'un effort* » (Jones, Round, & de Haan, 2005). Des éléments structurels, mécaniques et neurologiques doivent être présents pour assurer la production d'une force normale. Lors d'un dysfonctionnement de l'un de ces éléments, la faiblesse musculaire apparaît. La faiblesse musculaire se définit alors comme « *une altération de la capacité à générer un niveau normal de force musculaire* » (Flansbjerg, Miller, Downham, & Lexell, 2008).

Fonction musculaire après un AVC

Suite à un AVC, la dysfonction musculaire est un phénomène multifactoriel engendré par une perturbation des voies afférentes et efférentes, ainsi que du recrutement musculaire (Hunnicut & Gregory, 2017). Au niveau des voies afférentes, une altération de l'association des informations sensorielle est présente. Ces dernières, essentielles pour le contrôle postural, proviennent des récepteurs musculaires, des tendons, des ligaments, de la peau, de la vision, de l'audition et du système vestibulaire. Elles modifient la réponse du cortex moteur et permettent d'adapter la séquence musculaire dans le temps et l'intensité (Canedo, 1997). Ce système est perturbé après un AVC. De plus, au niveau des voies efférentes, la lésion localisée au niveau cérébral entraîne un déficit au niveau de la commande nerveuse. Une diminution ou un arrêt de la stimulation de la plaque motrice survient et induit une absence d'activité musculaire de la zone concernée. Par conséquent, la contraction musculaire est difficile à obtenir et engendre une absence de production de force (Pak & Patten, 2008). Ce déficit moteur se nomme parésie lorsqu'il y a une perte partielle des capacités motrices du côté controlatéral à la lésion cérébrale, ou plégie lors d'une perte totale (Pak & Patten, 2008). Ces péjorations de l'activité musculaire contribuent à l'atrophie musculaire (Hunnicut & Gregory,

2017). Le contrôle musculaire sélectif peut aussi être atteint lors des mouvements volontaires et fonctionnels. Le contrôle moteur altéré se traduit par des activations anormales des muscles agonistes, antagonistes et synergistes (Pak & Patten, 2008)

La dysfonction musculaire a comme conséquences une diminution des capacités fonctionnelles, de l'activité physique et de l'installation d'un schéma moteur compensatoire (Hunnicut & Gregory, 2017; Kristensen, Stenager, & Dalgas, 2017). Elle est associée à une mortalité haute, à une augmentation des risques cardiovasculaires et des syndromes métaboliques, ainsi qu'à l'augmentation des coûts de la santé (Kristensen et al., 2017). De plus, la faiblesse musculaire du muscle lésé est fortement corrélée à une diminution de la vitesse de marche (Hunnicut & Gregory, 2017).

En effet, le schéma de marche est modifié en raison d'une asymétrie de la longueur des pas et du temps d'appui, ce qui diminue l'efficacité et la vitesse de marche (Kostka, Czernicki, Pruszyńska, & Miller, 2017). Les avis divergent à propos des groupes musculaires concernés lors de la diminution de la vitesse de marche post-AVC (Dorsch, Ada, Canning, Al-Zharani, & Dean, 2012; Kostka et al., 2017). Les premières études menées à ce sujet démontrent que la force des muscles extenseurs du genou est corrélée à la vitesse de marche (Bohannon & Andrews, 1990; Nakamura, Hosokawa, & Tsuji, 1985). Cependant, des études plus récentes mettent en avant le rôle des fléchisseurs dorsaux de la cheville. Selon l'étude de Dorsch (2012), les auteurs relèvent une association significative entre les fléchisseurs dorsaux et la vitesse de marche. Ils démontrent aussi que les groupes musculaires suivants ont une faible association avec la vitesse de marche : les extenseurs de hanche, les abducteurs et les adducteurs de hanche, les rotateurs externes de hanche, les extenseurs du genou, ainsi que les fléchisseurs plantaires (Dorsch et al., 2012). Dans une revue systématique de la littérature, il apparaît que la diminution de la force des fléchisseurs plantaires et des extenseurs du genou est corrélée à une diminution de la vitesse de marche (Hunnicut & Gregory, 2017). La faiblesse des fléchisseurs plantaires pourrait expliquer à 67 % la variance de la vitesse de marche (Hunnicut & Gregory, 2017). De plus, selon les auteurs, les personnes atteintes d'un AVC ont une masse, une force et une puissance musculaire diminuée des deux membres inférieurs en comparaison à des personnes du même âge n'ayant pas subi d'AVC (Hunnicut & Gregory, 2017).

Un programme de renforcement devrait être mis en place pour limiter la perte de force et l'atrophie musculaire des deux membres inférieurs. Un programme de renforcement réalisé deux à trois fois par semaine, à raison de 8 à 10 exercices impliquant les principaux groupes musculaires par session et comprenant une à trois séries de 10 à 15 répétitions par exercice aurait un impact favorable sur la force et l'endurance musculaire. La charge devrait se situer

entre 50 et 80 % de la charge maximale (1RM) (Cangelosi et al., 2015). Il est intéressant de savoir qu'un entraînement en endurance a des effets bénéfiques sur la puissance musculaire, mais aussi sur la force et la vitesse de marche (Pontes et al., 2018). Cependant, nous ne savons pas si cette augmentation de la force perdure dans le temps après un AVC. Chez une personne saine, l'arrêt de l'entraînement musculaire entraîne une diminution de la force acquise (Correa, Cunha, Marques, Oliveira-Reischak, & Pinto, 2016), mais la littérature ne précise pas cet aspect concernant la rééducation post-AVC.

Afin d'évaluer la force musculaire, plusieurs outils de mesure existent. Le dynamomètre isocinétique est considéré comme l'outil de référence de l'évaluation de la force musculaire (Pontes et al., 2018).

Evaluation de la force musculaire : dynamomètre isocinétique

Définition de l'isocinétisme

Pour une meilleure compréhension de cet outil de mesure, il est important de définir tout d'abord l'isocinétisme. L'isocinétisme signifie un « mouvement à vitesse constante » (Lemire, 2014). L'isocinétisme se base sur deux principes, soit la maîtrise de la vitesse et l'asservissement de la résistance (Hislop & Perrine, 1967). Grâce à la maîtrise de la vitesse, il est possible de maintenir une vitesse constante prédéfinie tout au long du mouvement (Hislop & Perrine, 1967). Quant à l'asservissement de la résistance, le dynamomètre isocinétique adapte la résistance en tout point au mouvement afin qu'elle soit égale à la force développée par le patient (Hislop & Perrine, 1967). En résumé, le dynamomètre isocinétique oppose une réaction égale à la force développée par le patient, de manière dynamique à une vitesse prédéfinie. Ce mécanisme permet le développement d'un moment de force qui sera maximum sur toute l'amplitude du mouvement (Croisier & Crielaard, 1999). Ce moment de force est exprimé en newton mètre (Nm) en fonction de la vitesse angulaire exprimée en degré par seconde ($^{\circ}/s$). Il est possible de réaliser des contractions selon deux modes : concentrique ou excentrique (Croisier & Crielaard, 1999).

Avantages et limites de l'évaluation isocinétique

L'évaluation de la force musculaire isocinétique comporte de nombreux avantages. La mesure de la force des groupes musculaires agonistes et antagonistes est considérée comme objective, fiable, quantitative, qualitative, reproductible et dynamique. Cet outil est validé chez les personnes hémiplegiques suite à un AVC et ses valeurs de fiabilité intra- et inter-utilisateurs sont très bonnes à excellentes (Kristensen et al., 2017). Grâce au contrôle de la trajectoire et

de l'amplitude articulaire du membre, elle assure une bonne reproductibilité. La quantification d'un déficit de force par rapport au côté opposé, par rapport aux muscles antagonistes ou par rapport à des normes, est possible grâce à la détermination de la vitesse angulaire. De plus, ce système assure la sécurité du patient (Edouard & Degache, 2016).

Une limite importante de l'évaluation isocinétique est que le mode de contraction n'est pas physiologique. En effet, le mouvement doit être effectué dans une position unique en chaîne cinétique ouverte (Rothstein, Lamb, & Mayhew, 1987). Cependant, l'évaluation isocinétique permet une activation de plus d'unités motrices (McArdle, Katch, & Katch, 2010) ainsi qu'une diminution de l'incidence de la spasticité (Aubry, Petrel, & Rose, 2009). De plus, il semble que les vitesses angulaires choisies sont plus représentatives du mouvement de la marche ou de celui de la montée des escaliers qu'avec une évaluation isométrique.

Problématique

Suite à un AVC, les personnes atteintes d'hémiplégie ont des capacités maximales à l'effort largement diminuées en comparaison à une population saine du même âge (Courbon et al., 2006). De plus, elles présentent une force et une puissance musculaire diminuée des deux membres inférieurs en comparaison à des personnes d'âge identique sans troubles neurologiques (Hunnicuttt & Gregory, 2017). Cette diminution de la capacité à l'effort et de la force musculaire a un impact négatif sur les activités de la vie quotidienne, sur l'indépendance et sur la qualité de vie (Kristensen et al., 2017).

Pour lutter contre ce déconditionnement, il est conseillé de mettre en place un programme de réentraînement à l'effort. Ce dernier a pour but d'améliorer les capacités d'endurance par une augmentation de la capacité aérobie (Courbon et al., 2006). Ces dernières années, de nombreuses études ont évalué les effets d'un réentraînement à l'effort aérobie suite à un AVC. Il est reconnu qu'un tel entraînement améliore de manière significative les capacités aérobie des patients (Pang, Eng, Dawson, & Gylfadóttir, 2006). Selon la méta-analyse de Pang, le VO_{2max} est ainsi augmenté de 9 à 34 %.

Bien que les résultats soient plus discutés, différents auteurs mettent en évidence une corrélation positive entre les capacités à l'effort et les capacités de marche. Les études menées par Courbon et al. (2006) et Kelly et al. (2003) rapportent des corrélations moyennes à élevées entre le test de marche de six minutes et la mesure des capacités d'effort ($r = 0.62$; $r = 0.84$) (Courbon et al., 2006; Kelly et al., 2003). Des méta-analyses plus récentes nuancent ces résultats. Pang (2006) identifie une faible corrélation ($r = 0.402$) entre les capacités aérobie et les capacités de marche (Pang et al., 2006). Outermans (2015) démontre une corrélation faible entre le VO_{2max} et la vitesse de marche ($r = 0.42$), ainsi qu'entre le VO_{2max} et la distance

de marche ($r = 0.52$) (Outermans, van de Port, Wittink, de Groot, & Kwakkel, 2015). Une autre méta-analyse, basée sur vingt études randomisées contrôlées, observe une augmentation significative de la vitesse de marche de 0.06 m/s et de 29 mètres au test de marche de six minutes suite à un entraînement aérobic (Boyne, Welge, Kissela, & Dunning, 2017). Cependant, seule la vitesse de marche a été améliorée de manière cliniquement significative (Perera, Mody, Woodman, & Studenski, 2006).

En ce qui concerne le réentraînement à l'effort et son impact sur la force musculaire chez la personne ayant subi un AVC, ce sujet est moins étudié dans la littérature. Une étude randomisée contrôlée a analysé l'effet d'un entraînement aérobic intensif avec cycloergomètre sur la force musculaire des extenseurs du genou. Il en résulte une augmentation de la force de 11 % pour le membre inférieur lésé et de 16 % pour le membre inférieur sain. Ils démontrent une corrélation positive faible entre le VO_{2max} et la force des extenseurs du genou pour le membre lésé ($r = 0.491$) et le membre sain ($r = 0.432$) (Jin, Jiang, Wei, Wang, & Ma, 2012). Une autre étude a mené une intervention sur cycloergomètre chez 12 patients AVC avec ou sans stimulation électrique (Janssen et al., 2008). La force n'a pas été améliorée de manière significative chez les deux groupes (Janssen et al., 2008). Une étude randomisée contrôlée récente compare les effets d'un entraînement aérobic seul à un entraînement aérobic combiné à un entraînement de renforcement (Marzolini et al., 2018). Les patients participant aux entraînements combinés ont vu leur force augmenter pour tous les groupes musculaires. Quant aux participants effectuant uniquement un entraînement sur cycloergomètre, ils ont gagné en force des extenseurs du genou du côté sain (Marzolini et al., 2018).

A ce jour, le nombre d'études sur les effets du réentraînement à l'effort aérobic sur la force musculaire après un AVC est limité. Les résultats sont contradictoires avec d'importantes différences entre les auteurs. De plus, les effets à long terme sur la force musculaire ne sont pas connus. Il semble important d'approfondir cette recherche.

L'objectif de notre travail est ainsi **d'évaluer les effets du réentraînement à l'effort par intervalles sur la force musculaire après un AVC. Le but est d'observer les impacts à court terme et à long terme (six mois après le réentraînement)**. Le critère de jugement principal est la force musculaire des fléchisseurs et des extenseurs du genou. Les critères de jugement secondaires sont le volume d'oxygène maximum (VO_{2max}), la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}), la fréquence cardiaque de repos (FC_{repos}), la tension artérielle diastolique (TAD) et systolique (TAS) et la capacité de marche (test de marche de 20 mètres et le test de marche de six minutes).

Méthodologie

Il s'agit d'une étude expérimentale sans groupe contrôle et sans randomisation, avec des données récoltées entre 2002 et 2003 par le Docteur Paul Calmels, le Docteur Frédéric Roche, le Docteur Isabelle Fayolle-Minon, le Docteur Pascal Giraux, le Docteur Agnès Condemine, le Docteur Bénédicte Le Quang, le Docteur Bruno Fernandez, M. Julien Ramas, M. Gérald Driot et M. Pierre Labeix, tous issus du CHU de Saint-Etienne. Ces données nous ont été fournies brutes et n'ont jamais été analysées.

Le protocole a été validé par la commission d'éthique de Saint-Etienne (France) et a obtenu le numéro 2001/29.

Sélection des patients

La sélection des patients s'est déroulée au moment de leur rééducation dans le service de Médecine Physique et de Réadaptation (MPR) du CHU de Saint-Etienne, deux à six mois après la survenue de l'AVC. Ce service participe à la filière de prise en charge des AVC, dans les suites d'une Unité Neuro-vasculaire. Les patients étaient soit hospitalisés, soit suivis en ambulatoire à l'hôpital de jour.

Procédure d'inclusion

Un médecin investigateur du service de MPR a proposé au patient de participer à l'étude après avoir vérifié les critères d'inclusion et d'exclusion (Tableau 1). Il a expliqué le protocole au patient ainsi que les risques et bénéfices. Il a ensuite distribué la notice d'information. Après un délai minimal de 24 heures de réflexion, l'investigateur a recueilli le formulaire de consentement signé si le patient était en accord avec la procédure proposée.

TABLEAU 1: CRITÈRES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION

Critères d' inclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Participant présentant une hémiplegie droite ou gauche, suite à un premier AVC (ischémique ou hémorragique). ● Participant âgé entre 18 et 70 ans, de sexe masculin ou féminin. ● Participant suivi au sein du Service de MPR, dans le cadre d'une filière de soins de l'AVC, en collaboration avec une Unité Neuro-vasculaire. ● Intervalle de temps entre l'AVC et le début du protocole de réentraînement au minimum de deux mois et au maximum de six mois. ● Participant bénéficiant d'une prise en charge classique de rééducation de l'hémiplegie vasculaire, au sein d'une unité de MPR, dans le cadre d'une filière de soins des AVC, en collaboration avec une Unité Neuro-vasculaire, ce qui définit un bilan neurologique et étiologique antérieur complet et une prise en charge thérapeutique mise en place selon les recommandations actuelles. ● Bilan étiologique réalisé selon les recommandations actuelles (scanner et/ou imagerie par résonnance magnétique (IRM), Holter électrocardiogramme (ECG) et Holter tensionnel, doppler, échographie cardiaque, etc....). ● Etat clinique considéré comme stable sur le plan cardiovasculaire, déterminé par le bilan récent (inférieur à 4 semaines) et confirmé par l'épreuve d'effort, Holter ECG et Holter tensionnel effectués après la signature du consentement de participation. ● Etat clinique considéré comme stable sur le plan neurologique, en prenant en compte le risque éventuel d'épilepsie secondaire (dont le risque est de 5 %), de récurrence d'AVC, etc. ● Traitement médical bien adapté, en particulier anti-hypertenseur, anti-coagulant ou anti-agrégant, mais aussi antidiabétique ou traitement à visée autre ou complications (épilepsie, spasticité, ...). ● Participant capable de marcher de manière autonome, c'est-à-dire sans l'aide d'une tierce personne, mais éventuellement avec l'aide d'une orthèse de type surpédieuse ou avec l'aide d'une canne simple, tripode ou d'une béquille. ● Participant capable de comprendre les instructions et l'intérêt du réentraînement. ● Participant ayant signé le formulaire de consentement de l'étude.
Critères d' exclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Existence de troubles associés à l'atteinte motrice hémiplegique : troubles de mémoire et troubles de la compréhension déterminés avec une valeur du mini-mentale state examination (MMSE) inférieure à 24, troubles de la sensibilité profonde. ● Récurrence d'AVC, indépendamment du niveau des séquelles de l'AVC antérieur. ● Existence d'une atteinte cérébelleuse ou d'une atteinte du tronc cérébral. ● Existence d'une affection respiratoire, métabolique, immunitaire, infectieuse, inflammatoire décompensée ou non stabilisée, connue ou découverte lors de l'AVC. ● Participant présentant une arythmie complète <u>et</u> ayant un stimulateur cardiaque. ● Absence de stabilité de l'état lésionnel cérébral (risque hémorragique important, risque vasculaire embolique).

Inclusion

Suite à son accord de participation, le patient devait passer un test d'effort maximal et porter un Holter tensionnel et électrocardiographique (ECG) durant 24 heures. Ces résultats ont conditionné son inclusion définitive. L'Holter tensionnel permet d'observer la régulation de la pression artérielle. L'Holter ECG détecte la présence d'arythmie supraventriculaire ou ventriculaire, et considère les variabilités sinusales suite au réentraînement. Le paragraphe suivant décrit de manière plus précise le test d'effort maximal.

Epreuve d'effort maximal

Le test d'effort réalisé détermine les capacités cardiovasculaires à l'effort, notamment la tolérance cardiaque et vasculaire qui autorisaient la participation à l'entraînement. Il définit également le VO_{2max} ou le VO_{2pic} et la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}). Ces paramètres permettent d'établir les conditions d'un entraînement personnalisé. Le VO_{2pic} , c'est-à-dire le VO_2 maximal atteint au cours du test d'effort, est plus facilement atteignable. Les conditions rigoureuses d'atteinte du VO_{2max} peuvent être difficiles chez une population âgée ou déconditionnée (Enright & Sherrill, 1998). Cette épreuve a été effectuée sous contrôle ECG et tensionnel, sous la responsabilité d'un médecin cardiologue ou médecin habilité à la pratique de cette épreuve. L'épreuve a été réalisée selon les recommandations de Astrand (Astrand PO, 1986). Une fois le patient installé sur le vélo, la hauteur de selle et du guidon ont été ajustées, le médecin a installé les électrodes servant aux mesures de l'ECG. Le patient est resté immobile sur le vélo pendant environ 3 minutes afin d'enregistrer différents paramètres (ECG et FC). Une fois ce recueil d'informations effectué, le patient a commencé son échauffement (deux minutes à 10 watts). Une fois celui-ci terminé, la puissance a été augmentée toutes les minutes de 10 watts. La puissance maximale de pédalage (P_{max}) atteinte était prise en compte. Le test d'effort a été arrêté quand le patient ne pouvait plus poursuivre l'effort pour cause d'épuisement ou si le médecin décidait de l'interrompre (problème cardiaque observé, fréquence cardiaque trop élevée, ...). La récupération s'est faite en pédalant mais sans résistance.

Seuls ont pu participer à l'étude les patients ne présentant pas d'hypertension artérielle sévère (> 240/120), de troubles du rythme ventriculaire graves (tachycardie ventriculaire), d'ischémie myocardique ou d'hypotension d'effort. L'inclusion définitive ne s'est donc faite qu'après avoir obtenu le résultat de ces trois examens.

Intervention

En plus de la prise en charge en physiothérapie conventionnelle à une fréquence de trois fois par semaine, les patients ont effectué un réentraînement à l'effort sur cycloergomètre le même jour, pendant huit semaines. Ce protocole, utilisé et décrit par Calmels et al. (2011), comprenait pour chaque patient et à chaque séance (Figure 1 : Schéma de la séance de réentraînement à l'effort par intervalles, à raison de 3 fois par semaine durant 8 semaines :

- un échauffement sur vélo pendant cinq minutes à 40 % de la charge maximale
- une séance de 30 minutes en créneaux (« pics » à 80% de la charge maximale)
- une récupération de 10 à 15 minutes.

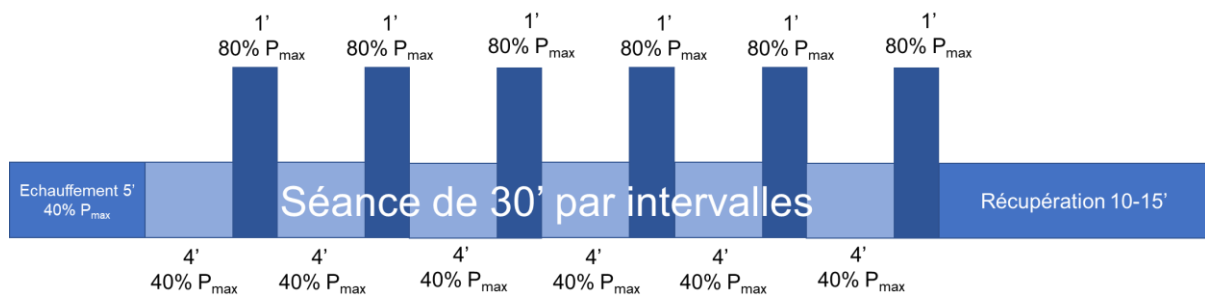


FIGURE 1 : SCHÉMA DE LA SÉANCE DE RÉENTRAÎNEMENT À L'EFFORT PAR INTERVALLES, À RAISON DE 3 FOIS PAR SEMAINE DURANT 8 SEMAINES

Une surveillance cardiovasculaire a été effectuée grâce à un cardiofréquencemètre (Polar®). Les séances ont été effectuées sous le contrôle d'un expérimentateur ainsi que sous la responsabilité d'un médecin. Les séances se sont déroulées dans le service de MPR. L'entraînement en créneaux a été réalisé pendant 30 minutes et il a été individualisé à partir des résultats obtenus lors de l'épreuve d'effort (épreuve maximale progressive). Cet entraînement a consisté à réaliser un exercice de fond de 30 minutes appelé « base » (correspondant à 40 % de la puissance maximale tenue lors de l'épreuve d'effort) sur lequel des surcharges périodiques d'une minute appelées « pics » (correspondant à 80 % de la puissance maximale théorique) ont été appliquées toutes les quatre minutes. La vitesse de pédalage devait être maintenue autour de 60 cycles par minute (Calmels et al., 2011). La charge d'entraînement a été déterminée pour obtenir à la 30^{ème} minute une fréquence cardiaque au moins équivalente à 90 % de la fréquence cardiaque maximale mesurée lors de l'épreuve d'effort progressive.

Le contrôle continu de la fréquence cardiaque lors de chaque séance d'entraînement permettait de déterminer s'il y avait lieu d'augmenter la charge d'entraînement. Si à la fin des 30 minutes, la fréquence cardiaque était inférieure de 10 pulsations par minute à celle mesurée lors de la séance précédente, la charge du « pic » était augmentée de 10 watts. Lors d'une séance suivante, s'il y avait à nouveau une amélioration de 10 pulsations par minute, la

puissance de base était augmentée de 10 watts. La puissance a été réajustée de manière alternative pour chaque amélioration de 10 pulsations par minute de la fréquence cardiaque à la fin des 30 minutes de chaque séance d'entraînement.

Evaluations

Une fois le patient inclus, trois évaluations ont été réalisées : une évaluation initiale, réalisée une semaine après l'inclusion à l'étude au maximum ; une évaluation à la fin de l'entraînement, soit après deux mois après l'inclusion et une évaluation six mois après la fin de l'entraînement. Le détail des évaluations est décrit dans le Tableau 2.

TABLEAU 2: DÉTAIL DES ÉVALUATIONS RÉALISÉES

Phase d'évaluation	Intervenant	Examen / évaluation	
Evaluation et inclusion	Médecin MPR investigateur	Recueil d'informations : âge, sexe, date de l'AVC, localisation, type d'AVC (ischémique ou hémorragique), pathologies associées, traitement en cours	
		Examen clinique : présence ou non des critères d'inclusion et présence d'aucun critère d'exclusion	
	Médecin cardiologue	Holter ECG et tensionnel	
		Test d'effort progressif sur cycloergomètre	
	Expérimentateur ou médecin MPR investigateur	Evaluation fonctionnelle de marche (tests de marche de 20 mètres et de six minutes)	
		Evaluation de la force isocinétique et isométrique des fléchisseurs et extenseurs du genou du côté sain et du côté hémiparalysé	
Fin du réentraînement	Médecin cardiologue	Holter ECG et tensionnel	
		Test d'effort progressif sur cycloergomètre	
	Expérimentateur ou médecin MPR investigateur	Evaluation fonctionnelle de marche (tests de marche de 20 mètres et de six minutes)	
		Evaluation de la force isocinétique et isométrique des fléchisseurs et extenseurs du genou du côté sain et du côté hémiparalysé	
	Six mois après la fin du réentraînement	Médecin cardiologue	Test d'effort progressif sur cycloergomètre
		Expérimentateur ou médecin MPR	Evaluation fonctionnelle de marche (tests de marche de 20 mètres et de six minutes)
Evaluation de la force isocinétique et isométrique des fléchisseurs et extenseurs du genou du côté sain et du côté hémiparalysé			

Tests de marche

La capacité de marche a été évaluée à l'aide de deux tests :

Test de vitesse de marche sur 20 mètres (Wade, 1992) : il s'agit d'un test de vitesse de marche sur terrain plat qui consiste à faire deux fois 10 mètres avec un demi-tour. Ce test se base sur celui de la vitesse de marche de 10 mètres. Ce dernier est fiable et reproductible chez une population AVC (Collen, Wade, & Bradshaw, 1990; Perera et al., 2006).

Test d'endurance de six minutes (Daniel & Battistella, 2014) : il s'agit d'un test effectué dans les conditions de marche habituelle du participant permettant d'évaluer sa capacité d'endurance, de mesurer la distance parcourue et sa vitesse de marche. Ce test est fiable et reproductible chez une population AVC (Flansbjerg, Holmbäck, Downham, Patten, & Lexell, 2005). De plus, ses instructions sont disponibles en français.

Test de force musculaire

La force musculaire a été évaluée avec un dynamomètre :

Tests musculaires isocinétique et isométrique des fléchisseurs et extenseurs du genou : il s'agit de tests de mesure de la force musculaire en mode isocinétique concentrique et isométrique sur les extenseurs et les fléchisseurs du genou du côté sain et du côté lésé. Le côté sain a été évalué en premier. Chaque côté a été évalué en mode isocinétique concentrique à 60°/s, 120°/s, 180°/s avec quatre répétitions. Le temps de repos était de 180 secondes entre chaque série. Le mode isométrique a été effectué secondairement, après 10 minutes de repos, en position d'extension du genou avec un angle de 30° et 60°, pour les fléchisseurs et extenseurs, avec une contraction maximale pendant cinq secondes. Le temps de repos entre chaque test était de 180 secondes. Le patient a été installé sur le fauteuil d'examen, la hanche stabilisée par une bande de fixation auto-agrippante à 90° de flexion, le bassin et le thorax fixés au dossier du fauteuil par des attaches réglables. L'axe articulaire du genou était aligné avec l'axe du dynamomètre permettant une amplitude de mouvement articulaire de 0° (extension complète) à 100° de flexion. Le bras de levier était fixé par une attache réglable au niveau du tiers inférieur de la jambe. Si le patient avait un problème pendant l'exécution du test, un bouton était mis à sa disposition provoquant l'arrêt instantané de la machine.

Calcul de la taille d'échantillon

Dans le protocole utilisé pour la récolte des données que nous analysons dans ce travail, les investigateurs ont calculé un nombre de participants nécessaire. A l'origine, l'étude devait comporter trois groupes (un groupe effectuant un réentraînement aérobic sur cycloergomètre, un groupe effectuant un réentraînement fonctionnel à la marche sur tapis roulant et un groupe suivant une rééducation classique). En ayant trouvé dans la littérature qu'un réentraînement sur tapis roulant permettait d'augmenter l'endurance à la marche de 110 ± 41 %, qu'un réentraînement sur cycloergomètre d'augmenter l'endurance de 70 % et la rééducation classique de 20 %, ils ont estimé une taille d'échantillon de 15 participants par groupe.

Etant donné que ce protocole n'a pas pu être appliqué comme initialement prévu, seuls 10 patients ont finalement réalisé un réentraînement aérobic sur cycloergomètre.

Analyse statistique

Une analyse descriptive est effectuée sous forme de moyenne et d'écart-type pour les variables quantitatives continues. Les variables catégorielles sont exprimées en valeur absolue ainsi qu'en pourcentage.

Les effets du réentraînement à l'effort sur la force musculaire ont été recherchés par des différences de moyennes entre les données post-réentraînement et pré-réentraînement, entre les données 6 mois post-réentraînement et post-réentraînement ainsi qu'entre les données 6 mois post-réentraînement et pré-réentraînement. Pour ce faire, nous avons procédé à une analyse de la normalité et de l'égalité des variances avec un test de Levene. Puis, selon les résultats de la normalité obtenus, nous avons utilisé une analyse des variances avec une ANOVA à mesures répétées et un test post-hoc de Bonferroni pour les données paramétriques. Pour les données non-paramétriques, nous avons utilisé un test de Skillings-Mack et un test post-hoc des rangs signés de Wilcoxon. Le seuil de significativité retenu est p inférieur à 0,05 pour Levene, ANOVA, Bonferroni et Skillings-Mack. Pour le test post-hoc des rangs signés de Wilcoxon, le seuil de significativité de p inférieur à 0,05 a été divisé par trois afin de prendre en compte le nombre de comparaisons effectuées diminuant la puissance. Le seuil alpha pour ce test est donc de p inférieur à 0,016.

De plus, des différences de force musculaire entre le côté sain et le côté lésé et des ratios de force musculaire entre les deux côtés ont été calculés.

Résultats

Population

Douze participants ont été inclus dans l'étude. Deux patients ont été exclus au cours de l'étude, en raison d'une incapacité fonctionnelle et d'une contre-indication médicale à participer à la troisième évaluation.

Dix participants (sept hommes et trois femmes) âgés de $53,8 \pm 9,55$ ans ont participé à l'étude. Deux personnes ont fait un AVC hémorragique et huit un AVC ischémique, 75 % des patients était sous bêtabloquant et cinq présentaient une hémiparésie gauche (cinq présentaient une hémiparésie droite). Le délai d'inclusion post-AVC était de $12,4 \pm 7,72$ mois. (Tableau 3)

TABLEAU 3: CARACTÉRISTIQUES DE LA POPULATION

Variable	N (%)	Moyenne \pm Ecart type
Genre		
Homme	7 (70 %)	
Femme	3 (30 %)	
Poids [kg]		$69,5 \pm 8,55$
Taille [cm]		$169,5 \pm 7,26$
Age [ans]		$53,8 \pm 9,55$
Type d'AVC		
Hémorragique	2 (20 %)	
Ischémique	8 (80 %)	
Côté hémiparésique		
Gauche	5 (50 %)	
Droite	5 (50 %)	
Traitement		
Avec bêtabloquant	7 (70 %)	
Sans bêtabloquant	3 (30 %)	
Délai avant PEC [mois]		$12,4 \pm 7,72$

AVC = accident vasculaire cérébral ; Délai avant PEC = délai depuis prise en charge initiale à la date de la première évaluation

Force musculaire

Evaluation de la force isocinétique en concentrique

Extenseurs du genou du côté sain

L'analyse statistique de la force des extenseurs du genou du côté non-atteint démontre une augmentation significative entre les évaluations pré- et post-réentraînement (19,66 %, $p = 0,036$) ainsi qu'entre pré- et 6 mois après la fin du réentraînement ($p = 0,002$) pour une vitesse angulaire de 60°/s. A 120°/s et 180°/s, une augmentation significative de la force est présente entre pré- et 6 mois après le réentraînement (21,80 %, $p = 0,0143$; 21,21 %, $p = 0,032$). La force a également été augmentée de manière significative entre les évaluations post-réentraînement et après 6 mois à 180°/s de 23,08 % ($p = 0,021$) (Tableau 4, Figure 2). Les autres données n'ont pas démontré de résultats significatifs.

Extenseurs du genou du côté lésé

En ce qui concerne la force des muscles extenseurs du genou lésé, les résultats démontrent une augmentation significative de la force entre l'évaluation pré-réentraînement et 6 mois après (58,55 % pour une vitesse de 60°/s, $p = 0,001$; 61,09 % pour une vitesse de 120°/s, $p = 0,0125$ et 71,23 % pour une vitesse de 180°/s, $p = 0,011$). Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les évaluations pré- et post-réentraînement, ainsi qu'entre les évaluations post-réentraînement et six mois après (Tableau 4, Figure 2).

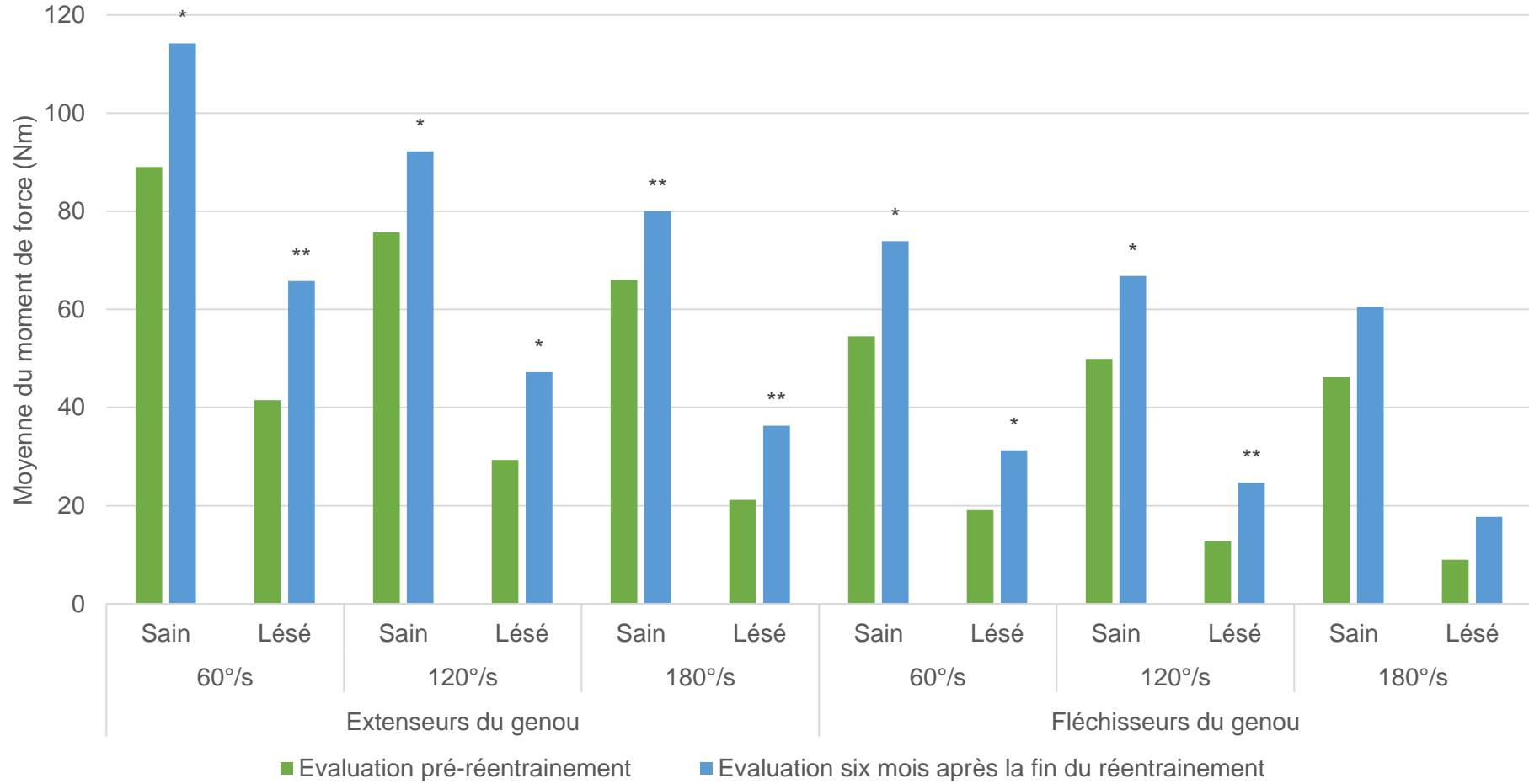
Fléchisseurs du genou du côté sain

Pour la force des fléchisseurs du genou non-atteint, une augmentation significative est présente pour toutes les vitesses angulaires testées entre pré- et 6 mois après la fin du réentraînement (35,60 % d'augmentation à 60°/s, $p = 0$; 33,87 % d'augmentation à 120°/s, $p = 0$; 30,95 % d'amélioration à 180°/s, $p = 0,009$). La force a également augmenté de manière significative entre les évaluations pré- et post-réentraînement à 60°/s de 25,69 % ($p = 0,004$) et à 120°/s de 24,05 % ($p = 0,007$) (Tableau 4, Figure 2). Il n'y a pas de différence significative entre les évaluations post-réentraînement et six mois après.

Fléchisseurs du genou du côté lésé

L'analyse statistique de la force des muscles fléchisseurs du genou lésé démontre une augmentation significative de 63,87 % à une vitesse angulaire de 60°/s entre l'évaluation pré- et 6 mois après la fin du réentraînement ($p = 0,0107$). Une augmentation significative de la force de 59,46 % est également présente entre l'évaluation post-réentraînement et six mois après à une vitesse angulaire de 180°/s ($p = 0,0107$) (Tableau 4, Figure 2).

FIGURE 2: RÉSULTATS : ÉVOLUTION DE LA FORCE ISOCINÉTIQUE DES EXTENSEURS ET FLÉCHISSEURS DU GENOU SAIN ET LÉSÉ À DIFFÉRENTES VITESSES, ÉVOLUTION ENTRE L'ÉVALUATION PRÉ-RÉENTRAÎNEMENT ET L'ÉVALUATION SIX MOIS APRÈS LA FIN DU RÉENTRAÎNEMENT



Moyenne du moment de force en newton mètre, vitesse angulaire en degré par seconde, * $p < 0,005$; ** $p < 0,016$

Evaluation de la force isométrique

Extenseurs du genou du côté sain

En isométrique, entre la première évaluation et six mois après la fin du réentraînement, la force des extenseurs du genou sain testés à 60° de flexion du genou a augmenté de 33,92 % de manière significative ($p = 0,005$) (Tableau 5). Les résultats obtenus à 30° de flexion du genou ne sont pas significatifs.

Extenseurs du genou du côté lésé

Pour les extenseurs du genou lésé, les résultats mettent en évidence une différence significative pour l'évaluation effectuée à 30° de flexion du genou entre pré- et post-réentraînement de 33,33 % ($p = 0,042$), ainsi qu'entre pré-réentraînement et six mois après (58,55 %, $p = 0$). Il n'y a pas d'amélioration significative de la force musculaire des extenseurs du genou lésé testé en isométrique à 60° de flexion (Tableau 5).

Fléchisseurs du genou du côté sain

La force des fléchisseurs du genou non-atteint testés à 30° de flexion du genou a augmenté significativement de 15,12 % ($p = 0,033$) entre l'évaluation initiale et six mois après la fin du réentraînement (Tableau 5). Il n'y a pas de différence significative avec un angle de flexion du genou de 60°.

Fléchisseurs du genou du côté lésé

Il n'y a pas de résultats significatifs pour les muscles fléchisseurs du genou lésé testés en isométrique à 30° et à 60° de flexion du genou (Tableau 5).

Différences de force du membre inférieur sain en comparaison au côté lésé

Une diminution de la différence entre les deux membres inférieurs est apparente au cours du temps. En moyenne, le ratio sain/lésé de la force isocinétique est passé de 3,29 en pré-réentraînement à 3,10 en post-réentraînement et a continué à diminuer jusqu'à 2,40 six mois après la fin du réentraînement. Pour la force isométrique, la différence de force du membre inférieur sain en comparaison au côté lésé est moins nette, passant de 1,99 en pré-réentraînement à 1,93 en post-réentraînement et a augmenté à 1,96 six mois après. Les données détaillées pour la force isocinétique se trouvent dans le Tableau 6 et celles pour la force isométrique dans le Tableau 7.

Critères de jugement secondaires

Paramètres cardiovasculaires

Les résultats mettent en avant une augmentation significative de la fréquence cardiaque de repos entre les évaluations pré- et post-réentraînement (9,67 %, $p = 0,038$), ainsi qu'entre l'évaluation pré-réentraînement et six mois après (10,85 %, $p = 0,018$) (Tableau 8).

En revanche, la FC_{max} , le VO_{2max} ainsi que la tension artérielle systolique et diastolique n'ont pas montré de changements significatifs.

Puissance maximale

Une augmentation significative de la puissance maximale a été mesurée entre les évaluations pré- et post-réentraînement (24,36 %, $p = 0,0045$) ainsi qu'entre les évaluations pré-réentraînement et après 6 mois (21,15 %, $p = 0,0102$) (Tableau 8)

Test de marche de six minutes

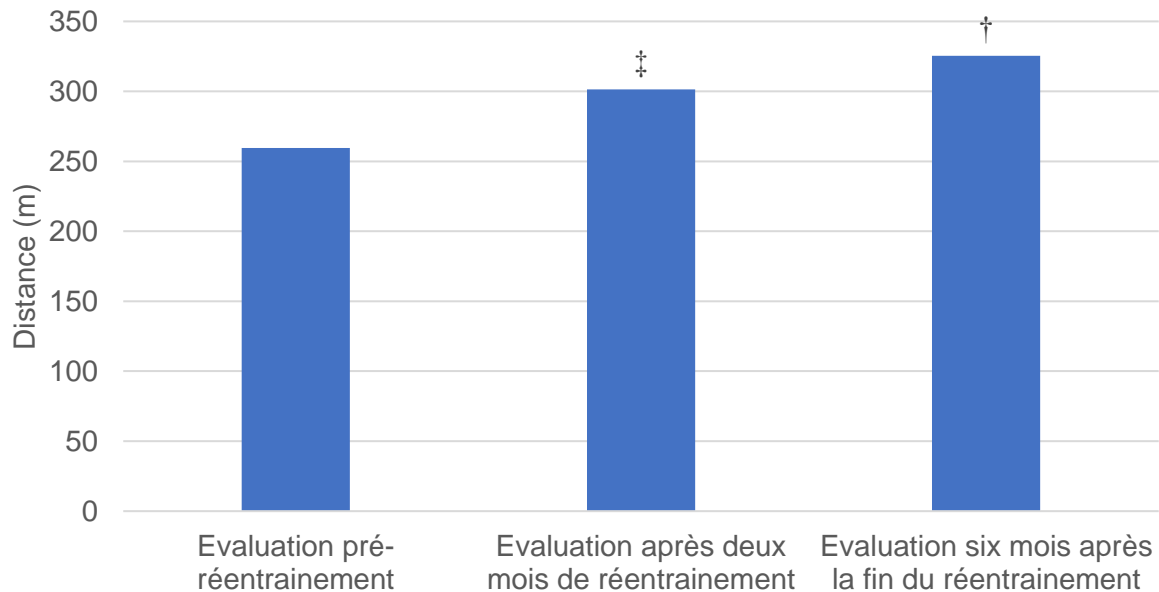
La distance de marche lors du test de six minutes a augmenté de 16,15 % de manière significative entre la première évaluation et la fin du réentraînement ($p = 0,009$), ainsi qu'entre la première évaluation et 6 mois après la fin du réentraînement (25,43 %, $p = 0$) (Tableau 8, Figure 3).

Test de marche de 20 mètres

La vitesse de marche lors du test de 20 mètres a diminué significativement entre la première et la dernière évaluation de 29,98 % ($p = 0,0051$) (Tableau 8, Figure 4).

Les tableaux de synthèse de nos résultats comprenant les valeurs de p et les pourcentages d'évolution se trouvent en annexe (Annexe I, Annexe II).

FIGURE 3: RÉSULTATS : EVOLUTION DU TEST DE MARCHÉ DE 6 MINUTES, ÉVOLUTION ENTRE L'ÉVALUATION PRÉ-RÉENTRAÎNEMENT, L'ÉVALUATION APRÈS DEUX MOIS DE RÉENTRAÎNEMENT ET L'ÉVALUATION SIX MOIS APRÈS LA FIN DU RÉENTRAÎNEMENT

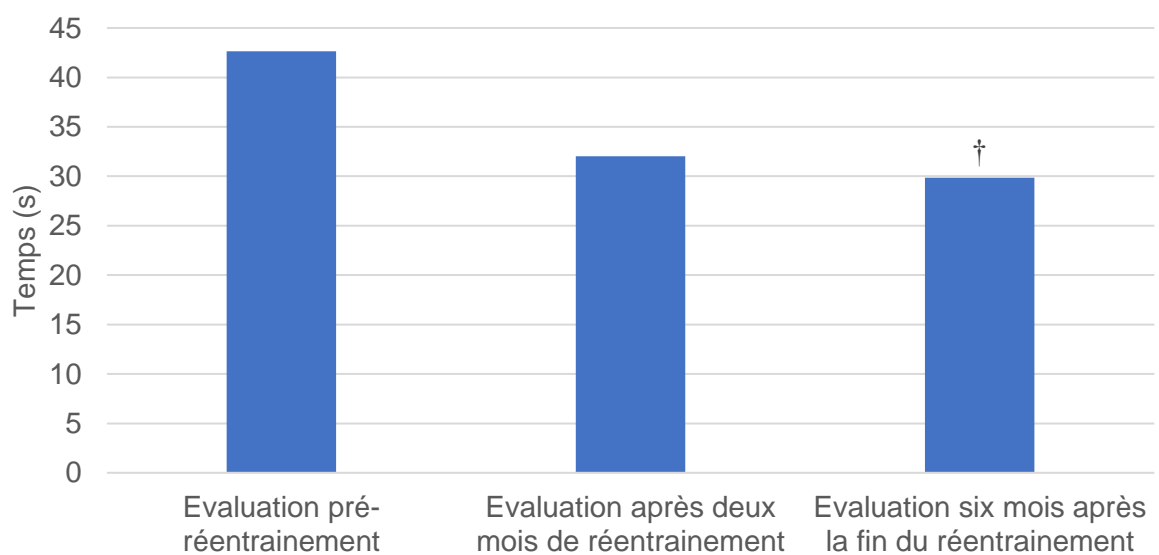


Distance parcourue lors du test de marche de 6 minutes en mètres

‡ différence significative entre l'évaluation pré-réentraînement et l'évaluation après deux mois de réentraînement, $p < 0,05$

† différence significative entre l'évaluation pré-réentraînement et six mois après la fin du réentraînement, $p < 0,05$

FIGURE 4: RÉSULTATS : EVOLUTION DU TEST DE MARCHÉ DE 20 MÈTRES, ÉVOLUTION ENTRE L'ÉVALUATION PRÉ-RÉENTRAÎNEMENT, L'ÉVALUATION APRÈS DEUX MOIS DE RÉENTRAÎNEMENT ET L'ÉVALUATION SIX MOIS APRÈS LA FIN DU RÉENTRAÎNEMENT



Temps effectué pour réaliser le test de marche de 20 mètres en secondes

† différence significative entre l'évaluation pré-réentraînement et six mois après la fin du réentraînement, $p < 0,05$

TABLEAU 4: RÉSULTATS : FORCE ISOCINÉTIQUE DES FLÉCHISSEURS ET EXTENSEURS DU GENOU DES DEUX MEMBRES INFÉRIEURS AUX TROIS TEMPS D'ÉVALUATION

Groupe musculaire	Côté évalué	Vitesse angulaire [°/s]	Pré-réentraînement [Nm]	Post-réentraînement [Nm]	6 mois post-réentraînement [Nm]	Différence post et pré-réentraînement	Différence 6 mois et pré-réentraînement	Différence 6 mois et post-réentraînement
Extenseurs	Sain	60	89 (33,19)	106,5 (27,95)	114,2 (37,52)	17,5 (10,45) *	25,2 (26,28) *	7,7 (19,55)
		120	75,7 (30,54)	83,4 (27,72)	92,2 (33,97)	7,7 (11,43)	16,5 (15,59) **	8,8 (12,05)
		180	66 (32,71)	65 (30,63)	80 (37,75)	-1 (12,05)	14 (14,25) *	15 (19,40) *
	Lésé	60	41,5 (27,12)	53,3 (32,76)	65,8 (41,31)	11,8 (11,99)	24,3 (19,99)*	12,5 (18,39)
		120	29,3 (26,83)	35,6 (26,58)	47,2 (33,97)	6,3 (8,94)	17,9 (17,18) **	11,6 (15,96)
		180	21,2 (31,18)	25,5 (28,07)	36,3 (34,07)	4,3 (17,50)	15,1 (17,18) **	10,8 (12,75)
Fléchisseurs	Sain	60	54,5 (24,27)	68,5 (20,32)	73,9 (21,40)	14 (9,02) *	19,4 (15,97) *	5,4 (8,62)
		120	49,9 (20,50)	61,9 (18,27)	66,8 (22,19)	12 (7,20) *	16,9 (12,82) *	4,9 (11,10)
		180	46,2 (22,02)	51,5 (22,71)	60,5 (22,27)	5,3 (9,38)	14,3 (13,63) *	9 (15,71)
	Lésé	60	19,1 (19,84)	23,6 (22,89)	31,3 (23,76)	4,5 (7,84)	12,2 (11,04) **	7,7 (7,62)
		120	12,8 (18,71)	14,9 (21,49)	24,7 (22,84)	2,1 (6,28)	11,9 (13,36)	9,8 (11,30)
		180	9 (19,53)	11,1 (21,74)	17,7 (26,17)	2,1 (4,33)	8,7 (11,83)	6,6 (9,96) **

Vitesse angulaire en degrés par seconde ; moyenne du moment de force en newton mètre. Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne (écart-type).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,016$

TABLEAU 5: RÉSULTATS : FORCE ISOMÉTRIQUE DES FLÉCHISSEURS ET EXTENSEURS DU GENOU DES DEUX MEMBRES INFÉRIEURS AUX TROIS TEMPS D'ÉVALUATION

Groupe musculaire	Côté évalué	Angle de flexion du genou [°]	Pré-réentraînement	Post-réentraînement	6 mois post-réentraînement	Différence post et pré-réentraînement	Différence 6 mois et pré-réentraînement	Différence 6 mois et post-réentraînement
Extenseurs	Sain	30	80,7 (21,83)	85,6 (18,43)	102,7 (28,35)	4,9 (15,26)	22 (18,57)	17,1 (23,53)
		60	113,5 (29,39)	139,8 (25,38)	152 (43,36)	26,3 (23,97)	38,5 (38,89) *	12,2 (35,05)
	Lésé	30	46,8 (24,58)	62,4 (18,67)	74,2 (31,37)	15,6 (13,92) *	27,4 (16,61) *	11,8 (22,63)
		60	84 (36,92)	95,1 (40,4)	105,1 (44,87)	11,1 (22,00)	21,1 (27,56)	10 (30,33)
Fléchisseurs	Sain	30	86 (25,61)	92,1 (32,16)	99 (36,53)	4,9 (15,26)	22 (18,57) *	17,1 (23,53)
		60	69,5 (27,72)	72,6 (27,75)	76,7 (30,68)	3,1 (22,89)	7,2 (25,11)	4,1 (10,98)
	Lésé	30	37,4 (30,71)	40,7 (34,2)	46,7 (29,55)	3,3 (10,30)	9,3 (13,36)	6 (11,31)
		60	26,7 (25,94)	27,6 (29,88)	26,5 (23,3)	0,9 (9,04)	-0,2 (9,33)	-1,1 (12,95)

Angle de flexion du genou en degrés ; moyenne du moment de force en newton mètre.

Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne (écart-type).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,016$

TABEAU 6: RÉSULTATS : DIFFÉRENCES DE FORCE ISOCINÉTIQUE DES FLÉCHISSEURS ET DES EXTENSEURS DU GENOU DU CÔTÉ SAIN EN COMPARAISON AU CÔTÉ LÉSÉ

Groupe musculaire	Vitesse angulaire [°/s]	Evaluation	Différence sain / lésé [%]	Ratio sain / lésé
Extenseurs	60	Pré-	114,46	2,14
		Post-	99,81	2,00
		6 mois	73,56	1,74
	120	Pré-	158,36	2,58
		Post-	134,27	2,34
		6 mois	95,34	1,95
180	Pré-	211,32	3,11	
	Post-	154,90	2,55	
	6 mois	120,39	2,20	
Fléchisseurs	60	Pré-	185,34	2,85
		Post-	190,25	2,90
		6 mois	136,10	2,36
	120	Pré-	289,84	3,90
		Post-	315,44	4,15
		6 mois	170,45	2,70
	180	Pré-	413,33	5,13
		Post-	363,96	4,64
		6 mois	241,81	3,42

Vitesse angulaire en degré par seconde ; différence de force entre les deux membres inférieurs en pourcentage

TABEAU 7: RÉSULTATS : DIFFÉRENCES DE FORCE ISOMÉTRIQUE DES FLÉCHISSEURS ET DES EXTENSEURS DU GENOU DU CÔTÉ SAIN EN COMPARAISON AU CÔTÉ LÉSÉ

Groupe musculaire	Angle de flexion du genou [°]	Evaluation	Différence sain / lésé [%]	Ratio sain / lésé
Extenseurs	30	Pré-	72,44	1,72
		Post-	37,18	1,37
		6 mois	38,41	1,38
	60	Pré-	35,12	1,35
		Post-	47,00	1,47
		6 mois	44,62	1,45
Fléchisseurs	30	Pré-	129,95	2,30
		Post-	126,29	2,26
		6 mois	111,99	2,12
	60	Pré-	160,30	2,60
		Post-	163,04	2,63
		6 mois	189,43	2,89

Angle de flexion du genou en degrés ; différence de force entre les deux membres inférieurs en pourcentage

TABLEAU 8: RÉSULTATS : CRITÈRES DE JUGEMENT SECONDAIRES AUX TROIS TEMPS D'ÉVALUATION

Evaluation	Pré-réentraînement	Post-réentraînement	6 mois post-réentraînement	Différence post et pré- réentraînement	Différence 6 mois et pré- réentraînement	Différence 6 mois et post- réentraînement
FC repos [bpm]	76,5 (13,56)	83,9 (11,62)	84,8 (14,89)	7,4 (8,69) *	8,3 (4,67) *	0,9 (10,78)
FC max [bpm]	138,6 (21,75)	148,1 (26,01)	150,2 (24,4)	9,5 (11,96)	11,6 (15,09)	2,1 (10,75)
VO2max [ml/min/kg]	18,66 (3,49)	19,97 (5,13)	21,13 (5,10)	1,31 (4,03)	2,47 (4,88)	1,16 (2,46)
TAS [mmHg]	127,5 (16,71)	120,9 (15,47)	124 (9,66)	-6,6 (12,65)	-3,5 (12,7)	3,1 (16,48)
TAD [mmHg]	84 (11,01)	79,9 (9,98)	80 (7,07)	-4,3 (12,07)	-4 (12,65)	0,3 (11,53)
Pmax [W]	78 (29,36)	97 (28,69)	94,5 (30,23)	19 (9,94) **	16,5 (17) **	-2,5 (9,79)
TM6 [m]	259,5 (157,29)	301,4 (154,77)	325,5 (167,04)	41,9 (24,23) *	66 (49,91) *	24,1 (36,86)
TM20 [sec]	42,64 (26,41)	32,01 (17,53)	29,86 (19,69)	-10,63 (12,54)	-12,786 (13,03) **	-2,156 (5,99)

FC_{repos} = fréquence cardiaque de repos en battements par minute ; FC_{max} = fréquence cardiaque maximale en battements par minute ; VO_{2max} = VO_{2max} en ml/min/kg ; TAS / TAD = Tension artérielle systolique / diastolique en millimètres de mercure ; P_{max} = Puissance maximale en watts ; TM6 = Test de marche de six minutes en mètres ; TM20 = Test de 20 mètres en secondes

Les résultats sont exprimés sous forme de moyenne (écart-type).

* $p < 0,05$, ** $p < 0,016$

Discussion

L'objectif primaire de notre travail était d'évaluer les effets du réentraînement à l'effort par intervalles sur la force musculaire après un AVC. Comme objectif secondaire, nous avons également étudié les paramètres cardiovasculaires et de marche. Notre but était d'observer les impacts à court terme ainsi que six mois après la fin du réentraînement.

De manière globale, la force isocinétique et les paramètres de marche ont été améliorés de manière significative entre la première évaluation et six mois après la fin du réentraînement.

Effet sur la force isocinétique

Dans notre travail, les résultats mettent en évidence une augmentation significative de la force isocinétique entre la première évaluation et six mois après la fin du réentraînement. Il est vrai que la force a augmenté entre la première et la deuxième évaluation, mais la différence n'est pas significative. Ainsi, selon nos mesures, la force des muscles du genou s'est améliorée de manière significative six mois après le réentraînement, et non pas après les huit semaines du programme de réentraînement à l'effort. A notre avis, ce résultat pourrait s'expliquer par différentes hypothèses. La première serait que les améliorations de la force et des capacités de marche engendrent une hausse de l'activité physique après le réentraînement. L'activité physique qui se définit comme *tout mouvement du corps produit par les muscles squelettiques et qui résulte en une augmentation de la dépense énergétique* (Caspersen, Powell, & Christenson, 1985). Elle se différencie de l'exercice qui est un *type d'activité physique avec des caractéristiques spécifiques*. L'exercice est planifié, structuré et effectué de manière répétée afin d'améliorer ou de maintenir l'activité physique (Caspersen et al., 1985). Cependant, à ce jour, il est difficile de valider cette hypothèse, car aucune étude n'a été menée afin de déterminer si l'entraînement aérobie augmente l'activité physique à long terme (Aguiar et al., 2018). Une étude randomisée contrôlée, dont seul le protocole a été publié, est actuellement en cours sur ce sujet (Aguiar et al., 2018). Nous pouvons émettre une seconde hypothèse sachant que les participants à l'étude étaient en début de phase chronique, avec un AVC datant en moyenne de $12,4 \pm 7,72$ mois. Cette période correspond généralement à la reprise des activités de la vie quotidienne, avec si possible la réinsertion professionnelle et des loisirs (Haute Autorité de Santé, 2012). Il est possible que la reprise des activités, avec une probable hausse de l'activité physique, permette de maintenir ou d'améliorer les gains de force obtenus lors du réentraînement. Cependant, il nous manque des informations sur l'activité physique des participants avant, durant et après le réentraînement pour soutenir cette

hypothèse. Ces hypothèses sont plausibles, mais ne permettent pas d'expliquer de manière certaine ce premier résultat.

Lors du suivi à six mois après le réentraînement, la force des extenseurs et des fléchisseurs du genou du côté non-atteint a augmenté de manière significative entre 21,2 % et 35,6 %. La force musculaire du côté atteint a augmenté significativement entre 58,6 et 71,2 %. Ces pourcentages démontrent une augmentation de la force musculaire plus élevée du membre inférieur lésé en comparaison au membre inférieur sain. Une étude randomisée contrôlée s'est intéressée aux effets du réentraînement à l'effort sur la force des membres inférieurs chez les patients atteints d'AVC en phase chronique (Jin et al., 2012). Un groupe a effectué un programme de réentraînement sur cycloergomètre durant huit semaines, à une fréquence de cinq jours par semaine. La durée de l'exercice et l'intensité ont été augmentées progressivement pour atteindre 40 minutes à une intensité de 50 à 70 % de la fréquence cardiaque de réserve ($FC_{réserve}$). Quant au groupe contrôle, les patients ont réalisé 40 minutes de marche à une intensité de 20 à 30 % de la $FC_{réserve}$, avec la même durée et un nombre identique de séances par semaine. Pour les deux groupes, des exercices d'équilibre et de stretching ont été effectués durant 50 minutes suite à la séance aérobie (Jin et al., 2012). Les auteurs ont évalué la force excentrique des muscles extenseurs du genou sain et lésé à l'aide d'un dynamomètre isocinétique et ils ont calculé la moyenne du moment de force en regroupant les trois vitesses angulaires testées (30°/s, 90°/s et 120°/s). Leurs résultats démontrent aussi une augmentation de la force pour le membre inférieur atteint et non-atteint, respectivement de 16 % et 11 %. En comparaison, le groupe contrôle ne présente pas de réelles améliorations avec une augmentation de 1,6 % de la force des extenseurs du genou lésé et de 1 % du côté sain (Jin et al., 2012). Avec une amélioration de la force isocinétique du genou plus élevée du côté lésé par rapport au côté sain, nos résultats concordent avec ceux de l'étude de Jin et al. (2012). Dans notre travail, une augmentation plus importante du côté parétique peut s'expliquer par le fait que le membre inférieur lésé était nettement plus faible que le membre inférieur sain. En effet, selon l'étude de Flansbjerg et al. (2008), les auteurs considèrent qu'une réelle faiblesse est présente si la force musculaire est inférieure de 15 % par rapport au côté opposé, lors d'une mesure de la force isocinétique à une vitesse angulaire de 60°/s. A la première évaluation, les participants à notre étude présentaient des extenseurs et des fléchisseurs du genou du côté atteint de 114,5 % à 413,3 % plus faible que le côté non-atteint. Six mois après le réentraînement, la différence de force entre les deux côtés s'atténue avec une force diminuée du côté lésé de 73,5 % à 170,45 % par rapport au côté sain. Les ratios de la force isocinétique entre le membre sain et le membre lésé ont ainsi diminué au cours du temps. Avant le réentraînement, le ratio moyen était de 3,29, il est passé à 3,10, puis à 2,40 six mois après la fin du réentraînement, toutes vitesses angulaires et groupes musculaires confondus. La diminution de ce ratio s'explique par le fait que la

différence de force musculaire entre les deux membres inférieurs décroît. Selon nous, la faiblesse élevée du membre inférieur lésé à la base pourrait expliquer son meilleur pourcentage d'amélioration.

Une étude randomisée contrôlée, datant de 2008, s'est intéressée au renforcement et à son impact sur la force de la personne atteinte d'un AVC. A notre connaissance, il s'agit d'une des seules études étudiant l'impact d'un renforcement progressif à court, moyen et long terme suite à un AVC (Flansbjerg et al., 2008). L'intervention consistait en un programme planifié de renforcement progressif sur 10 semaines, à une fréquence de deux fois par semaine, sur une machine de renforcement des extenseurs du genou *Leg extension-Curl rehab*. Les patients du groupe contrôle devaient continuer leurs activités habituelles. Les auteurs ont évalué la force des genoux de deux manières différentes : la force dynamique en évaluant la charge maximale et la force isocinétique concentrique à une vitesse angulaire de 60°/sec. Ils ont évalué les effets juste après l'intervention, puis à cinq mois (Flansbjerg et al., 2008). Concernant la force dynamique, elle a augmenté de manière significative pour les fléchisseurs et les extenseurs du genou des deux membres inférieurs (34 % à 70 % ; $p < 0,001$). La force s'est maintenue lors du suivi à cinq mois. Le groupe contrôle montre uniquement une augmentation significative du membre inférieur lésé (8 % à 9 % ; $p < 0,05$) après l'intervention. Une différence significative entre les deux groupes est présente après l'intervention et à cinq mois (Flansbjerg et al., 2008). Pour la force isocinétique, les résultats diffèrent. Il y a une augmentation significative de la force des extenseurs du genou sain, avec un maintien du gain à cinq mois (14 % à 73 % ; $p < 0,01$). Une augmentation de la force des fléchisseurs du genou sain est également mise en évidence, cependant, il n'y a pas d'amélioration significative pour le membre inférieur lésé (Flansbjerg et al., 2008).

Les résultats de l'évaluation isocinétique de l'étude menée par Flansbjerg (2008) diffèrent des nôtres. Les auteurs mettent en évidence une amélioration du membre inférieur sain, et non du membre inférieur lésé. Au contraire, dans notre étude, le membre inférieur lésé a un pourcentage d'augmentation de la force plus élevé que le membre inférieur sain. Cette différence pourrait s'expliquer par le type d'intervention utilisé, c'est-à-dire du renforcement progressif ou du réentraînement aérobie.

D'autres études pilotes se sont intéressées au renforcement progressif et à l'évaluation isocinétique (Engardt, Knutsson, Jonsson, & Sternhag, 1995; Kim, Eng, MacIntyre, & Dawson, 2001; Sharp & Brouwer, 1997; Weiss, Suzuki, Bean, & Fielding, 2000). Les auteurs observent une amélioration de la force globale entre 17 et 130 %. Contrairement à l'étude de Flansbjerg (2008), ces études mettent en évidence aussi une amélioration du membre inférieur parétique (Engardt et al., 1995; Sharp & Brouwer, 1997). Il est difficile de tirer des conclusions sur les différences des effets d'un réentraînement à l'effort ou d'un renforcement progressif sur les

membres inférieurs chez la personne atteinte d'un AVC. Les données sont peu nombreuses et présentent des résultats variables d'une étude à l'autre.

Concernant les effets à long terme, à notre connaissance, aucune étude ne s'est intéressée à l'impact d'un réentraînement aérobique sur la force des membres inférieurs à long terme. Cependant, il existe quelques données en lien avec l'impact à long terme du renforcement musculaire sur la force du membre inférieur. L'étude de Sharp (1997) a étudié les effets à long terme du renforcement progressif chez les personnes atteintes d'un AVC. Malgré les améliorations observées après six semaines d'intervention, les gains de force ne se sont pas maintenus quatre semaines plus tard (Sharp & Brouwer, 1997). Pour l'étude de Flansbjer (2008) décrite ci-dessus, les auteurs ont publié un deuxième article en 2012 avec une évaluation de la force quatre ans après l'intervention. Les résultats démontrent un maintien des gains de force (Flansbjer, Lexell, & Brogårdh, 2012).

À la vue de cette étude et de notre travail, il semble probable que les effets d'un renforcement ou d'un entraînement aérobique permettent d'améliorer la force isocinétique. Les effets sur le long terme sont plus discutables en raison du manque d'études sur cette thématique et d'informations sur l'activité physique des participants en parallèle. Il serait nécessaire de mener des études randomisées contrôlées avec une plus grande taille d'échantillon.

Effet sur la force isométrique

Nos résultats démontrent une amélioration significative de la force isométrique du membre inférieur sain pour les extenseurs du genou testés à 60° de flexion du genou et pour les fléchisseurs testés à 30° de flexion du genou entre la première et la deuxième évaluation. Marzolini et al. (2018) ont réalisé une étude randomisée contrôlée avec deux groupes : un groupe réalisait un programme aérobique et des exercices de renforcement à faire seul et un groupe uniquement le programme aérobique. Les patients débutaient le suivi entre 2,9 et 56,6 mois après leur AVC. Leurs résultats démontrent une amélioration plus importante de la force musculaire isométrique pour les deux membres inférieurs dans le groupe ayant réalisé le programme de renforcement en supplément (Marzolini et al., 2018). Une augmentation plus importante de la force des extenseurs du membre inférieur lésé est retrouvée ($3,7 \pm 4,6$ vs $4,2 \pm 4,9$) (Marzolini et al., 2018), tendance que nous voyons également dans notre travail, malgré que nos résultats ne soient pas significatifs. De plus, les ratios de force musculaire isométrique entre le membre sain et le membre lésé ont diminué entre les deux premières évaluations, signifiant une diminution de la différence entre les deux membres inférieurs (1,99 à 1,93). Cependant, ce ratio s'est stabilisé à six mois (1,96).

Stock & Mork (2009) ont évalué l'impact de deux semaines d'intervention intensive sur les paramètres de marche et sur la force des extenseurs et fléchisseurs du genou, ainsi que sur la force des fléchisseurs dorsaux et plantaires de la cheville. L'intervention comprenait six heures d'exercices intensifs par jour, cinq jours par semaine chez 12 patients ayant subi un AVC $29 \pm 14,8$ mois avant le début du suivi. Les exercices étaient orientés vers la tâche et comprenaient des exercices de renforcement, d'équilibre, de mobilité, de coordination et également le port d'une semelle incitant le patient à mettre plus de charge sur le membre inférieur lésé. Des évaluations ont été réalisées 16 et 3 jours avant le début de l'intervention, puis 3 jours et un an après la fin. Leurs résultats démontrent une amélioration significative de la force isométrique des fléchisseurs et des extenseurs du genou des deux membres inférieurs entre avant et après l'intervention, testée à environ 90° de flexion du genou. La force des extenseurs du genou est passée de $94,8 \pm 29,1$ à $112,0 \pm 35,6$ Nm ($p < 0,01$) pour le membre inférieur lésé et de $128,4 \pm 49,0$ à $151,9 \pm 56,0$ Nm ($p < 0,01$) pour le côté sain. La force des fléchisseurs du genou a augmenté également du côté lésé ($35,9 \pm 18,7$ Nm à $49,0 \pm 20,2$ Nm, $p < 0,001$) et pour le côté sain ($77,5 \pm 28,8$ Nm à $88,7 \pm 28,4$ Nm, $p < 0,001$). De plus, une augmentation de la force des fléchisseurs du genou des deux côtés a été observée entre avant l'intervention et à un an ($35,9 \pm 18,7$ Nm à $46,3 \pm 19,4$ Nm, $p < 0,001$ pour le côté atteint et $77,5 \pm 28,8$ Nm à $87,7 \pm 34,6$ Nm, $p < 0,05$ pour le côté non-atteint). Cependant, aucune différence n'est démontrée entre la fin de l'intervention et une année après pour les extenseurs du genou (Stock & Mork, 2009), signifiant un maintien des capacités de force. Des résultats similaires ont pu être observés dans notre travail : du côté de l'atteinte motrice, seule la force isométrique des extenseurs testée à 30° de flexion du genou est augmentée entre la première évaluation et le suivi à six mois de $46,8 \pm 24,58$ Nm à $74,2 \pm 31,37$ Nm (58,55 % d'augmentation, $p < 0,05$), et du côté sain, les fléchisseurs testés à 30° de flexion du genou et les extenseurs testés à 60° de flexion du genou ont été améliorés. De plus, un maintien de la force des deux membres inférieurs est présent à six mois, sauf pour les fléchisseurs du genou lésé testés à 60° . Au contraire pour ce paramètre, les résultats ne sont pas ceux attendus. La force est globalement plus faible après le réentraînement et diminue encore à six mois. Nous n'avons pas d'explication pour ce résultat étonnant, mais il s'agit de la seule mesure où deux participants ont développé une force égale à zéro lors des deux dernières évaluations. Le manque de force volontaire pourrait être expliqué par la spasticité fréquemment présente après un AVC (Newham & Hsiao, 2001). En effet, la désinhibition corticale causée par l'AVC entraîne un manque d'inhibition réciproque. Ce manque d'inhibition réciproque cause une hypertonie des fléchisseurs du membre inférieur engendrant un déséquilibre neuromusculaire. En résumé, les fléchisseurs du genou se contractent trop tôt par une co-contraction anormale et les extenseurs du genou trop tard, par manque de force (Costa, Cardoso, Rezende, Christofolletti, & Carregaro, 2018).

Des auteurs ont voulu étudier les effets de différents types d'entraînement physique sur la performance et l'équilibre afin de déterminer si une amélioration de l'équilibre est corrélée à une amélioration des performances de marche (Lund et al., 2017). Pour ce faire, ils ont réparti 43 participants en trois groupes : un groupe réalisant des entraînements sur cycloergomètre (3 fois 12 minutes à 75 % de leur FC_{max} avec 5 à 10 minutes de pause), un groupe réalisant des exercices de renforcement (trois fois huit répétitions de cinq exercices à 80 % de leur 1RM) et un groupe réalisant sept exercices pour les membres supérieurs. Pour leurs critères de jugement secondaires, ils ont évalué la force isométrique des extenseurs du genou et leurs résultats montrent une augmentation de la force des extenseurs du genou du côté sain chez le groupe ayant réalisé du renforcement musculaire des membres inférieurs (35,1 % d'amélioration, $p < 0,05$) et chez celui ayant réalisé uniquement des exercices pour les membres supérieurs (8,9 % d'amélioration, $p < 0,05$). Par contre, aucune différence n'est présente pour le côté atteint, ce qui pourrait être expliqué par le fait que la réponse neuronale du côté atteint est perturbée, en raison des lésions axonales provoquées par un AVC (Lund et al., 2017; Ouellette et al., 2004).

Une telle différence entre les deux membres inférieurs pourrait être due à une non-utilisation du membre inférieur atteint (Stock & Mork, 2009). Dans leur étude, les semelles fournies devaient permettre une prise de conscience plus importante sur la mise en charge du membre inférieur atteint, mais ce ne fut pas le cas et aucune conclusion significative n'a pu être établie. Dans le sens de notre étude, d'autres auteurs n'ont pas obtenu de résultats significatifs sur la force musculaire isométrique. Leur protocole a duré six semaines, à raison de deux entraînements par semaine au cours desquels les 12 participants réalisaient trois exercices sur cycloergomètre pour une durée totale de 25 à 30 minutes. Un groupe avait en plus de l'électrostimulation sur le quadriceps, les fessiers et les ischio-jambiers du membre inférieur lésé pendant les exercices. Ils ont évalué la force maximale isométrique des extenseurs du genou et ont trouvé une différence de $61,5 \pm 30$ % entre la jambe saine et la jambe lésée avant le réentraînement. Cependant, aucune amélioration notable de la force isométrique n'a pu être objectivée, avec ou sans électrostimulation (Janssen et al., 2008).

D'autres études ont été menées sur d'autres modes de réadaptation pouvant améliorer la force isométrique des membres inférieurs, comme Tung et al. (2010) avec un programme de physiothérapie classique comprenant des exercices d'équilibre, de marche, de force pour les membres inférieurs, des exercices fonctionnels ainsi que l'ajout d'un programme *Sit-to-Stand*. Dans cette étude randomisée, un groupe réalisait uniquement de la physiothérapie classique et l'autre ajoutait 15 minutes d'exercices spécifiques du mouvement assis-debout, avec plusieurs angles de flexion du genou / de la hanche. La force isométrique des extenseurs du genou, des extenseurs de hanche ainsi que des fléchisseurs plantaires a été augmentée pour les deux membres inférieurs dans le groupe ayant réalisé les exercices spécifiques *Sit-to-*

Stand, sauf pour les fléchisseurs plantaires du côté lésé. Dans le groupe contrôle, la seule différence en termes de force réside dans l'amélioration des extenseurs du genou du côté sain de $30,1 \pm 8,6 \%$ à $34,8 \pm 10,8 \%$, $p < 0,05$ (données normalisées en fonction du poids corporel des participants), testés à 90° de flexion de la hanche et du genou (Tung et al., 2010). Dans le protocole d'Akbari et Karimi (2006), 34 participants ayant eu un AVC il y a plus d'une année étaient randomisés en deux groupes, les deux groupes ayant participé à 12 sessions d'exercices, à raison de trois fois par semaine durant quatre semaines. Les sessions d'exercices, durant trois heures en moyenne, comprenaient, pour le groupe expérimental, des exercices fonctionnels, d'équilibre et de renforcement, et pour le groupe contrôle, uniquement des exercices fonctionnels et d'équilibre. Les exercices de renforcement étaient ciblés sur les principaux muscles utilisés lors de la marche et des contractions à 70 % de la 1RM étaient réalisées. La force isométrique des fléchisseurs de la hanche et du genou, des extenseurs de hanche et du genou, des fléchisseurs dorsaux et plantaires de cheville ainsi que des abducteurs de hanche des deux membres inférieurs a été augmentée ($p < 0,0001$) dans le groupe intervention. Dans le deuxième groupe, seule la force des extenseurs de hanche et du genou ($p < 0,0001$) et des fléchisseurs dorsaux de cheville ($p = 0,008$) du côté sain et les extenseurs de hanche ($p = 0,003$) et du genou ($p < 0,0001$) du côté lésé a été augmentée. Nos résultats ne démontrent pas d'augmentation de la force isométrique aussi évidente qu'avec un programme de renforcement musculaire, bien qu'une tendance à la hausse soit visible.

De manière générale, le ratio du membre sain est plus élevé que celui du membre lésé, ce qui est également le cas dans une autre étude évaluant la force isométrique de 12 participants au cours des six mois post-AVC. Cependant, l'évolution des ratios de cette étude n'a pas montré de résultats significatifs (Newham & Hsiao, 2001). Nos résultats suggèrent que la diminution du ratio provient de l'augmentation de la force ou de la rapidité de contraction des extenseurs du genou (Costa et al., 2018).

Le peu de résultats significatifs de notre étude pourrait s'expliquer premièrement par la faible taille d'échantillons dont nous disposons. De plus, le réentraînement réalisé ne ciblant pas la force musculaire directement et le fait qu'aucun exercice de type renforcement pouvant amener de l'hypertrophie était demandé, il peut apparaître normal de ne pas avoir une grande augmentation de la force musculaire isométrique (Janssen et al., 2008).

Effets sur les paramètres cardiovasculaires

Concernant les paramètres cardiovasculaires, le seul résultat significatif que nous avons obtenu est l'augmentation de la FC_{repos} . Cependant, ce résultat n'est pas celui présumé. En effet, une augmentation significative de la FC_{repos} entre post-réentraînement et six mois plus tard ainsi qu'entre pré-réentraînement et six mois après ne coïncident pas avec la littérature actuelle. De manière globale, plus le patient est entraîné et plus sa FC_{repos} et le risque de problèmes cardiovasculaires diminuent (Fassbind, Yerly, & Nanchen, 2016). Une première hypothèse expliquant ces résultats serait que les patients sous bêtabloquants aient arrêté leur traitement, induisant une augmentation de la FC_{repos} . Une seconde hypothèse pourrait être le moment de la prise de mesure. Est-ce que le patient était réellement au repos depuis plusieurs minutes avant la prise de mesure ? Finalement, une dernière hypothèse, pourrait être que notre protocole est trop court pour induire un changement au niveau de la FC_{repos} . Marzolini et al. (2018), dont leur étude consistait en six mois de réentraînement à raison de cinq séances par semaine, ont obtenu des résultats significatifs sur la diminution de la FC_{repos} . Elle a diminué de $2,9 \pm 7,8$ ($p = 0,04$) bpm dans le groupe ayant réalisé uniquement des exercices aérobie, et de $3,7 \pm 8,0$ ($p = 0,02$) bpm dans le groupe ayant réalisé en plus un entraînement de renforcement à domicile (Marzolini et al., 2018). Afin d'obtenir une diminution significative de la FC_{repos} , un protocole de réentraînement plus long et plus intensif que celui qui a été utilisé dans notre étude semble approprié.

Nous n'avons pas obtenu de résultats significatifs concernant la FC_{max} . La physiopathologie voudrait que l'entraînement amène une augmentation de la FC_{max} , ce qui est uniquement une tendance dans notre étude. De plus, dans le protocole utilisé, l'intensité de l'exercice a été augmentée régulièrement, chaque fois que la FC_{max} augmentait de 10 battements par minute. Globalement, la FC_{max} a donc évolué avec les sessions de réentraînement.

Nous avons participé à la rédaction d'un article soumis pour publication portant également sur une étude évaluant la modification des paramètres cardiovasculaires après un réentraînement suivant le même protocole que notre étude actuelle. Dans cette étude, après le programme sur cycloergomètre de huit semaines, aucune modification significative de la FC_{repos} n'a été observée, alors qu'une augmentation significative de la FC_{max} a été constatée. Ce résultat signifie que suivre un tel programme de réentraînement permet aux patients de prolonger l'effort à la charge de travail maximale avant l'entraînement, ce qui confirme que tous les patients ont augmenté leurs capacités cardiovasculaires. Dans notre étude actuelle, la FC_{repos} a augmenté, ce qui ne suit pas de logique physiologique et la FC_{max} n'a pas démontré de différences.

Dans notre travail, aucune différence significative concernant le $VO_{2\text{pic}}$ n'a été observée, bien qu'une légère tendance à l'augmentation se dessine dans nos résultats. Des auteurs ont pu

mettre en avant qu'un patient ayant subi un AVC avait un VO_{2pic} entre 72 et 26 % inférieur à celui attendu chez une population saine (Kelly et al., 2003; Smith et al., 2012). Cependant le délai de prise en charge entre l'AVC et le début du protocole a été très variable dans les études incluses, pouvant aller de quelques semaines à plusieurs années (Smith et al., 2012). Contrairement à notre travail, deux études ayant un protocole identique montrent une augmentation significative du VO_{2pic} (2,5 ml/min/kg d'augmentation en moyenne pour l'une et 15,5 ml/min/kg d'augmentation, 95 % CI : 6,0 ; 25,0 pour l'autre) chez le groupe ayant réalisé, durant 12 semaines, trois séances par semaine de cycloergomètre à raison de trois fois 15 minutes à 75 % $FC_{réserve}$ (Severinsen, Jakobsen, Pedersen, Overgaard, & Andersen, 2014; Lund et al., 2017). Par contre, une diminution significative du VO_{2max} une année après a été mise en évidence (2,2 ml/min/kg de diminution en moyenne) (Severinsen et al., 2014) alors qu'elle a continué à augmenter après six mois dans notre travail. Ceci pourrait être dû également à la reprise des activités quotidiennes et du travail (Haute Autorité de Santé, 2012). Une étude de Tang et al. (2009) visait à évaluer les effets de l'ajout d'un réentraînement aérobie sur cycloergomètre à la thérapie classique chez une population ayant fait un AVC il y a moins de trois mois. La thérapie conventionnelle était réalisée quatre à cinq fois par semaine et le réentraînement aérobie trois fois 30 minutes par semaine, pour une durée totale de cinq semaines. Un groupe contrôle réalisant uniquement la thérapie classique était pris en compte. Les deux groupes ont amélioré leur VO_{2pic} , mais le groupe aérobie a vu une plus grande différence après cinq semaines de réentraînement ($12,6 \pm 5,3$ % d'amélioration pour le groupe intervention et $8,3 \pm 4,5$ % d'amélioration pour le groupe contrôle ; $p = 0,002$). Tout comme pour Jin et al. (2012) chez qui le VO_{2pic} a été augmenté de 24 % dans le groupe intervention contre 3 % dans le groupe contrôle ($p < 0,001$). Nos résultats montrent des pourcentages plus faibles d'amélioration, bien qu'ils ne soient pas significatifs (7,02 % d'augmentation de la VO_{2max} entre avant et après le réentraînement). Cependant, une seconde étude de Tang et al. (2014) ayant un protocole aérobie à haute intensité (30 à 40 minutes entre 40 et 80 % de la $FC_{réserve}$, sur vélo, tapis ou à travers divers exercices) comparé avec un programme à basse intensité, n'a montré aucune amélioration de la VO_{2max} dans aucun des groupes (Tang et al., 2014).

Une revue systématique menée par Pang et al. (2006) comportant cinq études primaires portant sur le VO_{2max} a révélé qu'un programme aérobie, basé sur les recommandations de l'American College of Sports Medicine (ACSM) à savoir un réentraînement trois à cinq fois par semaine durant 20 à 30 minutes, entre 55 et 90 % de la FC_{max} ou entre 40 et 85 % de la $FC_{réserve}$, permettait d'augmenter le VO_{2max} de 9 à 34 %. Ces cinq études comprenaient des participants avec tout stade d'AVC, des déficits légers à modérés et également des méthodes de réentraînement différentes (cycloergomètre, tapis de marche, hydrothérapie et divers exercices en aérobie) (Pang et al., 2006). Idem pour la revue systématique de Boyne et al.

(2017) qui analyse 20 études et obtient une différence de 2,2 ml/min/kg (95 % CI : 1,3 ; 3,1) du VO_{2pic} entre les groupes interventions aérobie et les groupes contrôles. De plus, une méta-régression a permis de mettre en évidence que plus le VO_{2pic} est élevé à la base, plus l'augmentation sera importante, tout comme plus l'intensité des exercices demandés est élevée, plus le VO_{2pic} sera amélioré (Boyne et al., 2017). Dans notre travail, les participants avaient un VO_{2pic} de base de $18,66 \pm 3,49$ ml/min/kg, alors que la norme pour une population saine est de 28 à 35 ml/min/kg pour les hommes et de 20 à 24 ml/min/kg pour les femmes de plus de 70 ans (Wilmore, Costill, & Kenney, 2008). Nos participants ont vu leur VO_{2max} augmenter de 13,24 % (non significatif) en moyenne entre le pré-réentraînement et six mois après. Le fait qu'ils présentent un VO_{2pic} largement plus bas que la norme à la base peut expliquer le faible pourcentage d'amélioration.

Il apparaît également qu'un réentraînement sur tapis roulant à 85-90 % du VO_{2pic} à raison de cinq fois cinq minutes par entraînement pendant trois mois, trois fois par semaine, aurait un impact positif sur le VO_{2pic} (augmentation de $4,6 \pm 3,66$ ml/min/kg, $p = 0,025$) (Munari et al., 2018). Les 11 sujets analysés ont montré une amélioration significative du VO_{2pic} (augmentation de 20 %, $p < 0,05$) et de la FC_{max} (augmentation de 7 %, $p < 0,05$), mais aucune différence concernant la tension artérielle ou la FC_{repos} n'a pu être mise en évidence (Munari et al., 2018). Notre travail démontre également que la tension artérielle n'a pas diminué après le réentraînement à l'effort. Dans la littérature, certaines études ont aussi montré qu'une augmentation de la capacité aérobie ne coïncidait pas avec une réduction de la pression artérielle (Grant, Aitchison, Pettigrew, & Orrell, 1992; Sedgwick, Thomas, Davies, Baghurst, & Rouse, 1989).

Finalement, tous les sujets présentaient une réponse normale de la tension artérielle lors du test d'effort, sans modification de la réponse systolique ou diastolique au cours de la séance d'entraînement et lors du suivi à plus long terme. Aucun patient ne souffrait d'hypertension pendant les séances d'entraînement ou lors des tests d'effort. Il semble que le test d'effort et le réentraînement proposés soient réalisables sans danger ni complications cardiovasculaires. L'article, pour lequel nous avons participé à la rédaction amène les mêmes conclusions. Les participants ont effectué le même programme de réentraînement à l'effort durant huit semaines. Aucune modification significative de la tension artérielle de repos ou durant l'effort n'a été démontrée. Les résultats d'une étude randomisée contrôlée, avec 40 participants, sont identiques aux nôtres. Les patients ont effectué un programme de réentraînement mixte progressif comprenant des exercices d'endurance, de renforcement, d'équilibre et d'étirements durant 19 semaines à une fréquence de trois fois par semaine. Les patients du groupe contrôle ont fait uniquement des exercices d'étirements. Les paramètres

hémodynamiques n'ont pas démontré de changements significatifs chez les deux groupes (Moore, Jakovljevic, Ford, Rochester, & Trenell, 2016). A ce jour, peu de publication ont étudié cette thématique et de futures recherches pourraient être menées.

Effets sur la puissance maximale

Dans notre travail, les participants ont amélioré de manière significative leur puissance maximale de 24,36 % après le réentraînement et ils ont maintenu cette amélioration après six mois. L'article que nous avons en partie rédigé met aussi en avant une amélioration significative de la P_{\max} (de 81.3 ± 26.8 à 104.5 ± 24.2 W, $p < 0,001$). Ces résultats concordent avec la littérature actuelle. Une étude randomisée comprenant 92 participants a investigué les effets de l'entraînement à l'effort sur les capacités aérobie et fonctionnelles chez les personnes en phase subaiguë après un AVC. L'intervention consistait en un réentraînement de huit semaines sur cycloergomètre, à une fréquence de trois à cinq fois par semaine, durant 20 à 30 minutes (Katz-Leurer, Carmeli, & Shochina, 2003). Les résultats sont en accord avec notre travail avec une augmentation significative de la P_{\max} ($p < 0,01$). Une méta-analyse confirme ces résultats (Pang, Charlesworth, Lau, & Chung, 2013). Les auteurs ont analysé 25 études randomisées contrôlées en lien avec les effets du réentraînement aérobie sur différents indicateurs de la santé. Les auteurs concluent à un effet significatif sur la P_{\max} ($p < 0,001$) (Pang et al., 2013).

Effets sur les paramètres de marche

Dans notre travail, les paramètres de marche évalués démontrent une amélioration significative. En effet, lors du test de six minutes, les participants ont augmenté leur périmètre de marche de $41,9 \pm 24,23$ ($p = 0,009$) mètres après le réentraînement et de $66 \pm 49,91$ ($p = 0$) mètres six mois après le réentraînement. Selon la littérature, le changement minimal détectable est une augmentation du périmètre de marche de 36,6 m ou une augmentation de 13,5 % chez les personnes atteintes d'un AVC (Flansbjer et al., 2005). Selon d'autres auteurs, le seuil d'une différence minimale cliniquement significative est une augmentation de 50 mètres du périmètre de marche, pour une population âgée de $69,8 \pm 10,3$ ans en phase chronique d'un AVC (Perera et al., 2006). Les résultats de notre étude sont ainsi statistiquement et cliniquement significatifs, avec une augmentation de 16,15 % ($p = 0,009$) entre pré- et post-réentraînement ainsi que de 24,43 % ($p = 0$) entre pré-réentraînement et après six mois.

A propos du test des 20 mètres, les participants de ce travail ont aussi amélioré de manière significative leur vitesse de marche entre pré-réentraînement et six mois après. Ils ont augmenté leur vitesse de marche de 0,2 mètres par seconde (m/s), passant de 0,47 m/s à

0,67 m/s. Dans la littérature, il est admis qu'une amélioration comprise entre 0,06 m/s et 0,14 m/s est la différence minimale cliniquement significative pour le test des 10 mètres (Perera et al., 2006). Ces chiffres pourraient démontrer une différence clinique importante pour les participants de notre étude. Cependant, il est nécessaire de rester prudent, car ces seuils sont validés uniquement pour le test de 10 mètres. Le test de 20 mètres se base sur celui des 10 mètres, mais il est peu utilisé dans la littérature actuelle et il comporte un demi-tour supplémentaire.

Une méta-analyse récente étudie l'efficacité des exercices aérobies sur la capacité de marche à la suite d'un AVC. Les auteurs ont analysé 20 études, qui comprenaient un programme d'exercices aérobies pour des participants atteints d'un AVC (Boyne et al., 2017). Les résultats sont similaires à notre travail, démontrant une amélioration significative du test des six minutes et de la vitesse de marche (Boyne et al., 2017). Une autre méta-analyse a analysé les effets du réentraînement cardiovasculaire précoce suite à un AVC (Stoller, de Bruin, Knols, & Hunt, 2012). Ils ont inclus 11 études, dont 10 études randomisées contrôlées, avec au total 423 participants avec des déficits légers à modérés jusqu'à six mois post-AVC. Concernant le test des six minutes, les résultats sont identiques en démontrant une amélioration significative. Les auteurs mettent en évidence une amélioration plus importante des interventions spécifiques à la marche (Stoller et al., 2012). Pour la vitesse de marche, il n'y a pas d'amélioration significative suite à une intervention cardiovasculaire, ce qui est contraire à nos résultats (Stoller et al., 2012).

D'autres études ont analysé la capacité de marche suite à une intervention de type aérobie sur cycloergomètre. Notamment, une étude prospective avec un groupe contrôle a mis en place un réentraînement à l'effort durant la réadaptation conventionnelle chez des participants ayant subi un AVC il y a moins de trois mois. Quarante-cinq participants ont pris part à l'étude. Le groupe participant à l'intervention a pédalé 30 minutes, à une fréquence de trois fois par semaine, durant cinq semaines. Ces séances s'ajoutaient au programme de réadaptation. Les participants du groupe contrôle ont continué les thérapies conventionnelles (Tang et al., 2009). Les résultats ne mettent pas en avant d'amélioration significative pour la capacité de marche (Tang et al., 2009). L'étude menée par Jin (2012) mène à une conclusion identique pour le test de six minutes. L'étude de Lund (2017) démontre une amélioration de la distance parcourue au test de six minutes et de la vitesse de marche, mais de manière identique dans les trois groupes testés (réentraînement aérobie, renforcement progressif et groupe contrôle) (Lund et al., 2017). Contrairement à notre travail, ces études ne mettent pas en avant une amélioration des capacités de marche suite à un réentraînement aérobie sur cycloergomètre. Stoller (2012) évoque une différence de l'amélioration de la capacité de marche selon le type d'intervention aérobie. Il précise que les interventions sur un tapis de marche ou spécifique à la marche sont probablement plus efficaces que les autres interventions (Stoller et al., 2012).

Cependant, il semble que le pédalage puisse améliorer l'activité et la coordination des muscles phasiques des patients hémiparétiques, et pourrait ainsi améliorer la marche (Fujiwara, Liu, & Chino, 2003). Mais il est possible que les patients en phase chronique augmentent la vitesse et la résistance de pédalage en utilisant toujours les mêmes schémas moteurs altérés, ce qui ne permettrait pas d'améliorer la coordination locomotrice (Kautz, Duncan, Perera, Neptune, & Studenski, 2005). La différence de ces résultats reste difficile à expliquer en raison du petit nombre d'études sur le sujet et des modalités variables de réentraînement.

Limites

Plusieurs limites importantes sont apparues lors de la rédaction de ce travail de Master. Dans ce chapitre, les limites méthodologiques sont exposées.

Limites méthodologiques

Une des limites de notre travail est l'origine de la base de données analysée. En effet, cette dernière date de 2002-2003 et a été récoltée par une équipe française. Nous ne connaissons pas l'équipe qui a travaillé sur ce projet et nous n'avons pas été en contact avec elle. Heureusement, notre directeur de travail de Master, Monsieur Francis Degache, a pris part à ce projet et a pu répondre à nos questions sur le protocole ou la mise en œuvre.

Malgré cette aide précieuse, nous sommes conscientes qu'il s'agit de données anciennes avec des informations manquantes. Il est parfois difficile de s'approprier des données de cette façon, sans avoir pris part à l'élaboration du protocole et à la mise en place de l'intervention. De plus, le protocole validé à la commission d'éthique a été modifié lors de la mise en œuvre avec les participants. A l'origine, l'étude devait comporter trois groupes distincts, soit deux groupes effectuant des types de réentraînement à l'effort différents et un groupe contrôle. Il a finalement été inclus uniquement un groupe réalisant un réentraînement sur cycloergomètre. Il est vrai que nous ne connaissons pas les raisons de ce changement, mais nous pouvons imaginer que l'équipe de recherche a été confrontée à des difficultés de recrutement. Le calcul de la taille d'échantillon obtenu indiquait qu'un minimum de 15 participants par groupe était nécessaire pour obtenir une puissance significative. A notre avis, différentes raisons peuvent expliquer la complexité d'inclure 45 patients dans cette étude. Premièrement, la population concernée est considérée comme vulnérable. Les personnes ayant subi un AVC sont atteintes dans leur santé et peuvent avoir de nombreuses comorbidités. Il est difficile de trouver des patients correspondant à tous les critères d'inclusion. De plus, l'intervention demandait un investissement personnel considérable par rapport à la durée de l'étude et à la fréquence des séances sur cycloergomètre. Nous pouvons concevoir que des éventuels participants soient récalcitrant à prendre part au projet.

En raison de l'absence du groupe contrôle, de la randomisation manquante et du petit nombre de patients, nous sommes conscientes que cette étude perd en qualité et peut comporter un plus grand nombre de biais. Cependant, en raison du nombre restreint d'études sur le sujet, cette étude amène des premiers résultats intéressants. Il serait nécessaire d'investiguer plus profondément dans cette direction.

Depuis l'élaboration du protocole, la littérature scientifique sur le réentraînement à l'effort et la marche après un AVC s'est enrichie. De nombreuses études ont été publiées sur cette

thématique ces dernières années. De ce fait, si nous devions rédiger le protocole aujourd'hui, nous aurions un autre regard sur certains éléments, notamment sur les choix des groupes musculaires testés et les tests d'évaluation des paramètres de marche. Concernant les groupes musculaires, l'équipe de recherche a décidé d'analyser les extenseurs et les fléchisseurs du genou. Dans les années 2000-2005, il était reconnu et validé que la force musculaire du genou était corrélée à la vitesse de marche (Bohannon & Andrews, 1990; Nakamura et al., 1985). Depuis, les avis divergent et d'autres groupes musculaires semblent aussi être impliqués, notamment les fléchisseurs plantaires et dorsaux de la cheville (Dorsch et al., 2012; Hunnicutt & Gregory, 2017). Il serait ainsi intéressant d'inclure d'autres groupes musculaires pour une investigation plus précise des effets du réentraînement à l'effort sur la marche. Pour l'évaluation, un test de marche de 20 mètres a également été utilisé comme outil de mesure. Bien que ce test soit pertinent d'un point de vue clinique, très peu d'études le décrivent et nous n'avons retrouvé aucune norme ou valeur seuil pour une population neurologique. Un test de marche de 10 mètres, largement décrit dans la littérature, fiable et valide chez une population AVC (Perera et al., 2006), serait plus judicieux dans le but de calculer une vitesse de marche, indice représentatif de la capacité de marche. L'idée de prendre en compte un demi-tour lors du test de 20 mètres était bonne, mais un *Timed Up and Go*, également mieux décrit, plus fréquemment utilisé en recherche et en clinique, fiable et validé après un AVC (Flansbjerg et al., 2005), aurait été une bonne solution. Ce test comprend un transfert assis-debout, un aller-retour sur une distance de trois mètres ainsi qu'un demi-tour. La durée pour réaliser ces trois tâches est chronométrée. Il permet d'évaluer la force globale des membres inférieurs, la capacité de marche, d'équilibre et le demi-tour (Morris, Morris, & Iansek, 2001; Podsiadlo & Richardson, 1991; Schoppen et al., 1999).

Dans le protocole ayant servi à la récolte des données que l'on nous a fournies, l'évaluation de la spasticité grâce à une moyenne des résultats de l'échelle Ashworth ainsi qu'un test de Fugl-Meyer étaient prévus. Le test de Fugl-Meyer évalue l'équilibre, la fonction motrice, la sensibilité et la douleur post-AVC (Fugl-Meyer, Jääskö, Leyman, Olsson, & Steglind, 1975; Gladstone, Danells, & Black, 2002). Cependant, nous avons ces résultats uniquement pour la première évaluation, ce qui nous a empêchées de les exploiter. Nous n'avons pas réussi à connaître la raison de l'abandon de ces mesures, mais le temps de passation des 155 items de ce test, estimés à 58 minutes (Malouin, Pichard, Bonneau, Durand, & Corriveau, 1994), pourrait l'expliquer. Néanmoins, nous aurions trouvé pertinent d'inclure ces deux tests dans l'analyse de nos résultats.

Une limite importante de notre travail réside dans le manque de significativité de nos données dû à la petite taille d'échantillons à disposition. De plus, nous avons dû extraire deux patients de notre analyse car trop peu de données avaient été récoltées à leur sujet. Le premier a quitté l'étude entre la première et la deuxième évaluation pour contre-indication médicale et le

second n'a pas complété l'évaluation post-réentraînement à cause d'une incapacité fonctionnelle. En outre, il était prévu de réaliser un suivi à plus long terme, soit jusqu'à 12 mois après la fin du réentraînement avec une dernière évaluation identique aux autres. Cependant, des valeurs pour seuls trois voire quatre patients ont été récoltées, rendant ces résultats non-analysables. Nous n'avons pas d'informations concernant la perte de vue des autres participants à une année.

Par ailleurs, nous manquons également de renseignements sur les activités physiques, les loisirs ou la vie quotidienne réalisées par les participants à côté du réentraînement. Il est difficile d'affirmer si le réentraînement effectué était à lui seul efficace ou si la reprise des activités habituelles a eu un effet positif sur les paramètres de force et de marche. De même, il aurait été intéressant de savoir comment les participants ont perçu les effets du réentraînement dans leur vie quotidienne. Pour ce faire, une échelle de qualité de vie, telle que la *Stroke Impact Scale* aurait pu être intéressante (Edwards & O'Connell, 2003).

Dans les résultats et la discussion, nous avons présenté les différences de force musculaire sous forme de ratios. Il est intéressant d'y voir la progression, mais nous n'avons pas réalisé d'analyse statistique sur l'évolution de ces ratios. La raison principale est que ces résultats n'étant pas un critère de jugement initialement prévu et que la littérature à ce sujet est encore faible, nous n'avons pas jugé nécessaire de le faire. De plus, le grand nombre de mesures de la force musculaire à différentes vitesses angulaires ou différents angles de flexion du genou rendent les résultats peu généralisables. Cependant, il aurait pu être intéressant de voir si des différences significatives seraient apparues, même avec un petit échantillon.

Il aurait également été intéressant d'avoir des valeurs de force musculaire excentrique dans notre travail, comme prévu initialement. De ce fait, nous aurions pu calculer le ratio fonctionnel des fléchisseurs / extenseurs du genou. Il peut être calculé en prenant en compte la force excentrique des fléchisseurs du genou et la force concentrique des extenseurs du genou. Ce dernier est intéressant, car les fléchisseurs et extenseurs du genou ne se contractent pas simultanément de manière concentrique dans la vie quotidienne (Costa et al., 2018).

Finalement, les résultats de notre étude ne sont pas généralisables. En effet, une personne présentant des séquelles plus sévères (faiblesse musculaire sévère, troubles cognitifs, comorbidités importantes, etc.) ne pourrait pas forcément participer à un programme de réentraînement sur cycloergomètre.

Travail préalable

Dans le cadre ce travail de Master, nous avons été confrontées à de nombreuses problématiques et remises en question. En effet, nous avons travaillé sur un premier projet durant trois semestres. Ce travail était un projet pilote sur les effets d'un réentraînement physique par intervalles personnalisé sur la fatigue et la récupération après un AVC mineur, en collaboration avec le Centre hospitalier universitaire vaudois (CHUV). Nous avons travaillé avec l'équipe de recherche à la rédaction puis à la correction du protocole envoyé à la Commission cantonale vaudoise d'éthique de la recherche sur l'être humain (CER-VD).

Nous avons notamment ajouté des items en lien avec la douleur. Suite à la première soumission à la CER-VD, nous avons effectué les corrections demandées. De plus, nous avons créé le formulaire de récoltes des données, manquant lors du premier envoi. En parallèle, nous nous sommes formées à l'utilisation des outils de mesure nécessaires à l'évaluation de la force musculaire isométrique maximale, c'est-à-dire le dynamomètre, la stimulation électrique et l'électromyogramme. Pour ce faire, nous avons fait de nombreuses lectures et nous avons participé à des stages pratiques à l'Université de Lausanne (UNIL) et au laboratoire de physiothérapie de la Haute École de Santé Vaud (HESAV).

Pour compléter notre travail de Master, nous avons participé à la rédaction et à la correction d'un article dont l'ébauche a été rédigée par Francis Degache et ses collaborateurs, afin de le soumettre à une publication. Cet article s'intéresse aux impacts d'un réentraînement à l'effort par intervalles sur les paramètres cardiovasculaires après un AVC. Nous avons fait une première démarche de soumission de publication au *Journal of Physical Activity and Health*. De manière générale, tout le travail effectué en amont nous a permis de comprendre, d'apprendre et de réaliser toutes les étapes nécessaires lors d'un projet d'études. Il nous a aussi permis d'approfondir la thématique du réentraînement à l'effort après un AVC. Cependant, nous avons aussi pris conscience des difficultés en lien avec le monde de la recherche.

Conclusion

Au travers de ce travail, nous avons pu mettre en évidence l'impact positif qu'à le réentraînement à l'effort sur la force musculaire et les paramètres de marche dans la phase chronique après un AVC. Nous avons aussi pu démontrer que ces résultats se maintiennent au cours des six mois suivant le réentraînement. Malgré les recommandations actuelles, ce type de réentraînement à l'effort est sous-utilisé par les professionnels de la santé (Billinger, Boyne, Coughenour, Dunning, & Mattlage, 2015). Cependant, un programme tel que celui réalisé dans cette étude est faisable et ne présente pas de danger ni de risque de complications cardiovasculaires. Les effets bénéfiques sont multiples : amélioration du niveau d'indépendance, de la vitesse de marche, de la tolérance à l'effort, de l'équilibre et de la diminution des risques cardiovasculaires (Ramas et al., 2007). C'est pourquoi un programme de réentraînement aérobique devrait être proposé plus systématiquement et indépendamment du temps écoulé après un AVC. Actuellement, la physiothérapie conventionnelle s'effectue principalement sur des concepts basés sur le neurodéveloppement ou la neurofacilitation proprioceptive (Haute Autorité de Santé, 2012), mais peu d'établissements proposent un programme spécifique de renforcement progressif ou de réentraînement aérobique.

Nous souhaitons rendre attentifs toutes les personnes travaillant à la rééducation de personnes ayant subi un AVC. Un programme de réentraînement à l'effort comprenant des exercices aérobiques par intervalles est efficace dans le but d'améliorer les capacités d'endurance et de marche. De plus, un tel programme est faisable et sécuritaire qu'il soit réalisé lors de la phase subaigüe ou chronique et il permet d'atteindre le plus haut niveau d'autonomie possible.

Bien que l'amélioration de la force musculaire après un programme de renforcement soit établie, il est vrai que peu d'études évaluent la force musculaire lors d'un réentraînement à l'effort sur cycloergomètre uniquement. De plus, les modalités de réentraînement aérobique sont encore hétérogènes, c'est pourquoi une recherche plus approfondie de cette thématique est nécessaire.

Pistes futures

Notre travail permet de faire ressortir quelques pistes de recherche pour des études futures.

Premièrement, il apparaît intéressant de suivre les participants sur un plus long terme (plusieurs années) après la fin d'un programme de réentraînement afin d'établir si les progrès réalisés sont maintenus. L'ajout d'une composante de l'évaluation des activités de la vie quotidienne pourrait amener des résultats intéressants.

Deuxièmement, un programme établi sur une durée plus longue serait à investiguer afin d'évaluer les impacts sur les paramètres cardiovasculaires ou de marche.

Puis, l'ajout d'un groupe contrôle pour la réalisation d'une étude randomisée contrôlée permettrait d'établir si un programme de réentraînement est réellement bénéfique ou si les améliorations font suite à une évolution normale après un AVC.

Ensuite, il pourrait être intéressant de réaliser une étude comparative entre un réentraînement sur tapis de marche et un réentraînement sur cycloergomètre afin de voir la différence des effets sur la marche et la force musculaire.

Finalement, une analyse plus détaillée selon le stade post-AVC, la sévérité de l'AVC ainsi que des paramètres de réentraînement (intensité, durée, fréquence) serait pertinente, les paramètres utilisés dans la littérature étant très hétérogènes.

Bibliographie

- Aguiar, L. T., Nadeau, S., Britto, R. R., Teixeira-Salmela, L. F., Martins, J. C., & Faria, C. D. C. de M. (2018). Effects of aerobic training on physical activity in people with stroke: protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, *19*(1), 446.
<https://doi.org/10.1186/s13063-018-2823-0>
- Akbari, A., & Karimi, H. (2006). The Effect of Strengthening Exercises on Exaggerated Muscle Tonicity in Chronic Hemiparesis Following Stroke. *Journal of Medical Sciences*, *6*(3), 382-388. <https://doi.org/10.3923/jms.2006.382.388>
- Astrand PO, R. K. (1986). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise*. (3rd Edition). New York: McGraw-Hill Publisher.
- Aubry, J.-F., Petrel, K., & Rose, E. (2009). Évaluation et renforcement musculaire isocinétique en neurologie centrale. *Kinésithérapie, la Revue*, *9*(89), 45-50.
[https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(09\)70841-1](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(09)70841-1)
- Bartels, M., Duffy, C., & Beland, E. (2016). Pathophysiology, Medical Management, and Acute Rehabilitation of Stroke Survivors. In G. Gillen, *Stroke Rehabilitation - A Function-Based Approach* (5^e éd., p. 2-45). St. Louis, Missouri 63043: Elsevier.
- Beer, S., Clarke, S., Diserens, K., Engelter, S., Müri, R., Schnider, A., & Urscheler, N. (2007). Neuroréhabiliter après accident vasculaire cérébral. *Forum Médical Suisse – Swiss Medical Forum*, *7*(12). <https://doi.org/10.4414/fms.2007.06150>
- Béjot, Y., Touzé, E., Jacquin, A., Giroud, M., & Mas, J.-L. (2009). [Epidemiology of stroke]. *Medecine Sciences: M/S*, *25*(8-9), 727-732. <https://doi.org/10.1051/medsci/2009258-9727>
- Billinger, S. A., Boyne, P., Coughenour, E., Dunning, K., & Mattlage, A. (2015). Does aerobic exercise and the FITT principle fit into stroke recovery? *Current Neurology and Neuroscience Reports*, *15*(2), 519. <https://doi.org/10.1007/s11910-014-0519-8>

- Bohannon, R. W., & Andrews, A. W. (1990). Correlation of knee extensor muscle torque and spasticity with gait speed in patients with stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 71(5), 330-333.
- Boulois, G., Tourdias, T., & Oppenheim, C. (2018). Imagerie de l'infarctus cérébral aigu. In J.-L. Mas & D. Leys, *Accidents vasculaires cérébraux* (doin, p. 65-74).
- Boyne, P., Dunning, K., Carl, D., Gerson, M., Khoury, J., Rockwell, B., ... Kissela, B. (2016). High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training in Ambulatory Chronic Stroke: Feasibility Study. *Physical Therapy*, 96(10), 1533-1544. <https://doi.org/10.2522/ptj.20150277>
- Boyne, P., Welge, J., Kissela, B., & Dunning, K. (2017). Factors Influencing the Efficacy of Aerobic Exercise for Improving Fitness and Walking Capacity After Stroke: A Meta-Analysis With Meta-Regression. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(3), 581-595. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.08.484>
- Brugerolle, B. (2002). Les accidents vasculaires cérébraux. In *Déficiences motrices et situations de handicaps* (2e édition, p. 170-175). France: APF.
- Calmels, P., Degache, F., Courbon, A., Roche, F., Ramas, J., Fayolle-Minon, I., & Devillard, X. (2011). The faisability and the effects of cycloergometer interval-training on aerobic capacity and walking performance after stroke. Preliminary study. *Ann Phys Rehabil Med*, 54(1), 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2010.09.009>
- Canedo, A. (1997). PRIMARY MOTOR CORTEX INFLUENCES ON THE DESCENDING AND ASCENDING SYSTEMS. *Progress in Neurobiology*, 51(3), 287-335. [https://doi.org/10.1016/S0301-0082\(96\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0301-0082(96)00058-5)
- Cangelosi, A., Chotard, C., & Labrunée, M. (2015). Reconditionnement à l'effort après un AVC. Consulté 21 février 2019, à l'adresse <https://www.edimark.fr/actualites-mpr/reconditionnement-a-effort-apres-accident-vasculaire-cerebral>
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126-131.

- Cébula, H., Turc, G., & Proust, F. (2018). Traitement chirurgical des hémorragies cérébrales. In J.-L. Mas & D. Leys, *Accidents vasculaires cérébraux* (doin, p. 153-164).
- Collen, F. M., Wade, D. T., & Bradshaw, C. M. (1990). Mobility after stroke: reliability of measures of impairment and disability. *International Disability Studies*, 12(1), 6-9.
- Correa, C. S., Cunha, G., Marques, N., Oliveira-Reischak, Ã., & Pinto, R. (2016). Effects of strength training, detraining and retraining in muscle strength, hypertrophy and functional tasks in older female adults. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 36(4), 306-310. <https://doi.org/10.1111/cpf.12230>
- Costa, R. R. G., Cardoso, J. R., Rezende, C. B., Christofolletti, G., & Carregaro, R. L. (2018). Do functional hamstring to quadriceps ratio differ between men and women with and without stroke? *Topics in Stroke Rehabilitation*, 1-7. <https://doi.org/10.1080/10749357.2018.1499302>
- Courbon, A., Calmels, P., Roche, F., Ramas, J., Rimaud, D., & Fayolle-Minon, I. (2006). Relationship between maximal exercise capacity and walking capacity in adult hemiplegic stroke patients. *Am J Phys Med Rehabil*, 85(5), 436-442. <https://doi.org/10.1097/01.phm.0000214359.94735.c8>
- Croisier, J. L., & Crielaard, J. M. (1999). Méthodes d'exploration de la force musculaire: Une analyse critique. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 42(6), 311-322. [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(99\)80069-5](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(99)80069-5)
- Daniel, C. R., & Battistella, L. R. (2014). Using the six minute walk test to evaluate walking capacity in patients with stroke. *Acta Fisiátrica*, 21(4), 195-200. <https://doi.org/10.5935/0104-7795.20140038>
- Daussin, F. N., Ponsot, E., Dufour, S. P., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., Geny, B., ... Richard, R. (2007). Improvement of VO₂max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 377-383. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0499-3>

- Daviet, J.-C., Dudognon, P.-J., Salle, J.-Y., Munoz, M., Lissandre, J.-P., Rebeyrotte, I., & Borie, M.-J. (2006). Rééducation des accidentés vasculaires cérébraux. Bilan et prise en charge. *EMC - Kinésithérapie - Médecine physique - Réadaptation*, 1(1), 1-24.
[https://doi.org/10.1016/S1283-0887\(05\)74376-0](https://doi.org/10.1016/S1283-0887(05)74376-0)
- Deplanque, D., & Bordet, R. (2018). Physiopathologie de l'ischémie cérébrale et cibles thérapeutiques. In J.-L. Mas & D. Leys, *Accidents vasculaires cérébraux* (p. 53-64). doin.
- Dorsch, S., Ada, L., Canning, C. G., Al-Zharani, M., & Dean, C. (2012). The strength of the ankle dorsiflexors has a significant contribution to walking speed in people who can walk independently after stroke: an observational study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(6), 1072-1076.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.01.005>
- Edouard, P., & Degache, F. (2016). Caractéristiques de l'évaluation musculaire isocinétique. In *Guide d'isocinétisme, L'évaluation isocinétique des concepts aux conditions sportives et pathologiques* (p. 35-37). Issy les Moulineaux cedex: Elsevier Masson.
- Edwards, B., & O'Connell, B. (2003). Internal consistency and validity of the Stroke Impact Scale 2.0 (SIS 2.0) and SIS-16 in an Australian sample. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, 12(8), 1127-1135.
- Ekker, M. S., Boot, E. M., Singhal, A. B., Tan, K. S., Debette, S., Tuladhar, A. M., & de Leeuw, F.-E. (2018). Epidemiology, aetiology, and management of ischaemic stroke in young adults. *The Lancet. Neurology*, 17(9), 790-801.
[https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(18\)30233-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(18)30233-3)
- Engardt, M., Knutsson, E., Jonsson, M., & Sternhag, M. (1995). Dynamic muscle strength training in stroke patients: effects on knee extension torque, electromyographic activity, and motor function. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(5), 419-425.

- Enright, P. L., & Sherrill, D. L. (1998). Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med*, 158(5 Pt 1), 1384-1387.
- Fassbind, M., Yerly, P., & Nanchen, D. (2016). Fréquence cardiaque de repos : quelle utilité pour la prévention cardiovasculaire ? *Revue Médicale Suisse*, 12(508), 454-459.
- Fiehler, J., Cognard, C., Gallitelli, M., Jansen, O., Kobayashi, A., Mattle, H. P., ... Schellinger, P. D. (2016). European Recommendations on Organisation of Interventional Care in Acute Stroke (EROICAS). *International Journal of Stroke: Official Journal of the International Stroke Society*, 11(6), 701-716.
<https://doi.org/10.1177/1747493016647735>
- Flansbjerg, U.-B., Holmbäck, A. M., Downham, D., Patten, C., & Lexell, J. (2005). Reliability of gait performance tests in men and women with hemiparesis after stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 37(2), 75-82. <https://doi.org/10.1080/16501970410017215>
- Flansbjerg, U.-B., Lexell, J., & Brogårdh, C. (2012). Long-term benefits of progressive resistance training in chronic stroke: a 4-year follow-up. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 44(3), 218-221. <https://doi.org/10.2340/16501977-0936>
- Flansbjerg, U.-B., Miller, M., Downham, D., & Lexell, J. (2008). Progressive resistance training after stroke: effects on muscle strength, muscle tone, gait performance and perceived participation. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 40(1), 42-48.
<https://doi.org/10.2340/16501977-0129>
- Fondation Suisse de Cardiologie. (s. d.). Campagne sur l'attaque cérébrale. Consulté 7 mars 2019, à l'adresse <https://www.swissheart.ch/fr/qui-sommes-nous/campagnes/campagne-sur-lattaque-cerebrale.html>
- Fugl-Meyer, A. R., Jääskö, 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(1), 13-31.
- Fujiwara, T., Liu, M., & Chino, N. (2003). Effect of pedaling exercise on the hemiplegic lower limb. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 82(5), 357-363.
<https://doi.org/10.1097/01.PHM.0000064722.01940.E4>

- Gladstone, D. J., Danells, C. J., & Black, S. E. (2002). The fugl-meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 16(3), 232-240.
<https://doi.org/10.1177/154596802401105171>
- Gordon, N. F., Gulanick, M., Costa, F., Fletcher, G., Franklin, B. A., & Roth, E. J. (2004). Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors. *Circulation*, 109(16), 2031-2041. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000126280.65777.A4>
- Grant, S., Aitchison, T., Pettigrew, A. R., & Orrell, J. M. (1992). The effects of a university fitness programme on health-related variables in previously sedentary males. *Br J Sports Med*, 26(1), 39-44. (1600453).
- Groupe suisse de travail pour les maladies cérébrovasculaires et Fondation suisse de cardiologie. (2000). *Epidémiologie de l'accident vasculaire cérébral*. Consulté à l'adresse
https://saez.ch/de/resource/jf/journal/file/download/article/saez/de/saez.2000.07606/2000_37_616.pdf
- Grysiewicz, R. A., Thomas, K., & Pandey, D. K. (2008). Epidemiology of ischemic and hemorrhagic stroke: incidence, prevalence, mortality, and risk factors. *Neurologic Clinics*, 26(4), 871-895, vii. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2008.07.003>
- Haute Autorité de Santé. (2012). *Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte*. Consulté à l'adresse https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-11/11irp01_reco_avc_methodes_de_reeducation.pdf
- Hislop, H. J., & Perrine, J. J. (1967). The isokinetic concept of exercise. *Physical Therapy*, 47(2), 114-117.
- Hunnicut, J. L., & Gregory, C. M. (2017). Skeletal muscle changes following stroke: a systematic review and comparison to healthy individuals. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 24(6), 463-471. <https://doi.org/10.1080/10749357.2017.1292720>

- Ivey, F. M., Stookey, A. D., Hafer-Macko, C. E., Ryan, A. S., & Macko, R. F. (2015). Higher Treadmill Training Intensity to Address Functional Aerobic Impairment after Stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases: The Official Journal of National Stroke Association*, 24(11), 2539-2546.
<https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2015.07.002>
- Janssen, T. W., Beltman, J. M., Elich, P., Koppe, P. A., Konijnenbelt, H., de Haan, A., & Gerrits, K. H. (2008). Effects of electric stimulation-assisted cycling training in people with chronic stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 89(3), 463-469.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.09.028>
- Jin, H., Jiang, Y., Wei, Q., Wang, B., & Ma, G. (2012). Intensive aerobic cycling training with lower limb weights in Chinese patients with chronic stroke: discordance between improved cardiovascular fitness and walking ability. *Disability and Rehabilitation*, 34(19), 1665-1671. <https://doi.org/10.3109/09638288.2012.658952>
- Jones, D., Round, J., & de Haan, A. (2005). *Physiologie du muscle squelettique : De la structure au mouvement*. Paris : Elsevier.
- Katz-Leurer, M., Carmeli, E., & Shochina, M. (2003). The effect of early aerobic training on independence six months post stroke. *Clin Rehabil*, 17(7), 735-741. (14606739).
- Kautz, S. A., Duncan, P. W., Perera, S., Neptune, R. R., & Studenski, S. A. (2005). Coordination of hemiparetic locomotion after stroke rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 19(3), 250-258. <https://doi.org/10.1177/1545968305279279>
- Kelly, J. O., Kilbreath, S. L., Davis, G. M., Zeman, B., & Raymond, J. (2003). Cardiorespiratory fitness and walking ability in subacute stroke patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(12), 1780-1785.
- Kim, C. M., Eng, J. J., MacIntyre, D. L., & Dawson, A. S. (2001). Effects of isokinetic strength training on walking in persons with stroke: a double-blind controlled pilot study. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases: The Official Journal of National Stroke Association*, 10(6), 265-273. <https://doi.org/10.1053/jscd.2001.123775>

- Kostka, J., Czernicki, J., Pruszyńska, M., & Miller, E. (2017). Strength of knee flexors of the paretic limb as an important determinant of functional status in post-stroke rehabilitation. *Neurologia I Neurochirurgia Polska*, 51(3), 227-233.
<https://doi.org/10.1016/j.pjnns.2017.03.004>
- Kristensen, O. H., Stenager, E., & Dalgas, U. (2017). Muscle Strength and Poststroke Hemiplegia: A Systematic Review of Muscle Strength Assessment and Muscle Strength Impairment. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(2), 368-380. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.05.023>
- Kulcsar, Z., Carrera, E., & Michel, P. (2017). Prise en charge endovasculaire de l'AVC aigu. *Revue Médicale Suisse*, (13), 886-889.
- Leddy, A. L., Connolly, M., Holleran, C. L., Hennessy, P. W., Woodward, J., Arena, R. A., ... Hornby, T. G. (2016). Alterations in Aerobic Exercise Performance and Gait Economy Following High-Intensity Dynamic Stepping Training in Persons With Subacute Stroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy: JNPT*, 40(4), 239-248.
<https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000147>
- Lemire, P. (2014). Historique et fondamentaux de la technologie isocinétique appliquée au mouvement humain. *Movement Sport Sciences*, n° 85(3), 7-14.
- Lund, C., Dalgas, U., Grønborg, T. K., Andersen, H., Severinsen, K., Riemenschneider, M., & Overgaard, K. (2017). Balance and walking performance are improved after resistance and aerobic training in persons with chronic stroke. *Disability and Rehabilitation*, 40(20), 2408-2415. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1336646>
- Mackay-Lyons, M. J., & Makrides, L. (2004). Longitudinal changes in exercise capacity after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(10), 1608-1612.
- Malouin, F., Pichard, L., Bonneau, C., Durand, A., & Corriveau, D. (1994). Evaluating motor recovery early after stroke: comparison of the Fugl-Meyer Assessment and the Motor Assessment Scale. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 75(11), 1206-1212.

- Marzolini, S., Brooks, D., Oh, P., Jagroop, D., MacIntosh, B. J., Anderson, N. D., ... Corbett, D. (2018). Aerobic With Resistance Training or Aerobic Training Alone Poststroke: A Secondary Analysis From a Randomized Clinical Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 32(3), 209-222. <https://doi.org/10.1177/1545968318765692>
- Mazighi, M., & Bracard, S. (2018). Thrombectomie mécanique. In J.-L. Mas & D. Leys, *Accidents vasculaires cérébraux* (doin, p. 111-118).
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins.
- Morris, S., Morris, M. E., & Iansek, R. (2001). Reliability of measurements obtained with the Timed « Up & Go » test in people with Parkinson disease. *Physical Therapy*, 81(2), 810-818. <https://doi.org/10.1093/ptj/81.2.810>
- Munari, D., Pedrinolla, A., Smania, N., Picelli, A., Gandolfi, M., Saltuari, L., & Schena, F. (2018). High-intensity treadmill training improves gait ability, VO₂peak and cost of walking in stroke survivors: preliminary results of a pilot randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54(3), 408-418. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.16.04224-6>
- Nakamura, R., Hosokawa, T., & Tsuji, I. (1985). Relationship of muscle strength for knee extension to walking capacity in patients with spastic hemiparesis. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 145(3), 335-340.
- Newham, D. J., & Hsiao, S. F. (2001). Knee muscle isometric strength, voluntary activation and antagonist co-contraction in the first six months after stroke. *Disability and Rehabilitation*, 23(9), 379-386.
- OMS. (2019). *Accident vasculaire cérébral (AVC)*. Consulté à l'adresse https://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/fr/
- Ouellette, M. M., LeBrasseur, N. K., Bean, J. F., Phillips, E., Stein, J., Frontera, W. R., & Fielding, R. A. (2004). High-Intensity Resistance Training Improves Muscle Strength, Self-Reported Function, and Disability in Long-Term Stroke Survivors. *Stroke*, 35(6), 1404-1409. <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000127785.73065.34>

- Outermans, J., van de Port, I., Wittink, H., de Groot, J., & Kwakkel, G. (2015). How strongly is aerobic capacity correlated with walking speed and distance after stroke? Systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy, 95*(6), 835-853.
<https://doi.org/10.2522/ptj.20140081>
- Pak, S., & Patten, C. (2008). Strengthening to promote functional recovery poststroke: an evidence-based review. *Topics in Stroke Rehabilitation, 15*(3), 177-199.
<https://doi.org/10.1310/tsr1503-177>
- Pang, Charlesworth, S. A., Lau, R. W. K., & Chung, R. C. K. (2013). Using aerobic exercise to improve health outcomes and quality of life in stroke: evidence-based exercise prescription recommendations. *Cerebrovascular Diseases (Basel, Switzerland), 35*(1), 7-22. <https://doi.org/10.1159/000346075>
- Pang, Eng, J. J., Dawson, A. S., & Gylfadóttir, S. (2006). The use of aerobic exercise training in improving aerobic capacity in individuals with stroke: a meta-analysis, The use of aerobic exercise training in improving aerobic capacity in individuals with stroke: a meta-analysis. *Clinical Rehabilitation, 20*(2), 97-111.
<https://doi.org/10.1191/0269215506cr926oa>
- Perera, S., Mody, S. H., Woodman, R. C., & Studenski, S. A. (2006). Meaningful change and responsiveness in common physical performance measures in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society, 54*(5), 743-749. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2006.00701.x>
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed « Up & Go »: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society, 39*(2), 142-148.
- Pontes, S. S., de Carvalho, A. L. R., Almeida, K. de O., Neves, M. P., Ribeiro Schindler, I. F. S., Alves, I. G. N., ... Gomes-Neto, M. (2018). Effects of isokinetic muscle strengthening on muscle strength, mobility, and gait in post-stroke patients: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation, 269215518815220*.
<https://doi.org/10.1177/0269215518815220>

- Ramas, J., Courbon, A., Roche, F., Bethoux, F., & Calmels, P. (2007). Effect of training programs and exercise in adult stroke patients: literature review. *Ann Readapt Med Phys*, 50(6), 438-444, 430-437. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2007.04.006>
- Rothstein, J. M., Lamb, R. L., & Mayhew, T. P. (1987). Clinical Uses of Isokinetic MeasurementsCritical Issues. *Physical Therapy*, 67(12), 1840-1844. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.12.1840>
- Schoppen, T., Boonstra, A., Groothoff, J. W., de Vries, J., Göeken, L. N., & Eisma, W. H. (1999). The Timed « up and go » test: reliability and validity in persons with unilateral lower limb amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(7), 825-828.
- Sedgwick, A. W., Thomas, D. W., Davies, M., Baghurst, K., & Rouse, I. (1989). Cross-sectional and longitudinal relationships between physical fitness and risk factors for coronary heart disease in men and women: « the Adelaide 1000 ». *J Clin Epidemiol*, 42(3), 189-200. (2785164).
- Severinsen, K., Jakobsen, J. K., Pedersen, A. R., Overgaard, K., & Andersen, H. (2014). Effects of resistance training and aerobic training on ambulation in chronic stroke. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 93(1), 29-42. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3182a518e1>
- Sharp, S. A., & Brouwer, B. J. (1997). Isokinetic strength training of the hemiparetic knee: effects on function and spasticity. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78(11), 1231-1236.
- Smith, A. C., Saunders, D. H., & Mead, G. (2012). Cardiorespiratory fitness after stroke: a systematic review. *International Journal of Stroke: Official Journal of the International Stroke Society*, 7(6), 499-510. <https://doi.org/10.1111/j.1747-4949.2012.00791.x>
- Stock, R., & Mork, P. J. (2009). The effect of an intensive exercise programme on leg function in chronic stroke patients: a pilot study with one-year follow-up. *Clinical Rehabilitation*, 23(9), 790-799. <https://doi.org/10.1177/0269215509335291>

- Stoller, O., de Bruin, E. D., Knols, R. H., & Hunt, K. J. (2012). Effects of cardiovascular exercise early after stroke: systematic review and meta-analysis. *BMC Neurology*, 12, 45. <https://doi.org/10.1186/1471-2377-12-45>
- Sztajzel, R., & Muller, H. (2016). *Stroke in the pocket*. Consulté à l'adresse https://www.hugge.ch/sites/interhug/files/structures/neurologie/documents/stroke_in_the_pocket_last_version_update_2016.pdf
- Tang, A., Eng, J. J., Krassioukov, A. V., Madden, K. M., Mohammadi, A., Tsang, M. Y. C., & Tsang, T. S. M. (2014). Exercise-induced changes in cardiovascular function after stroke: a randomized controlled trial. *International Journal of Stroke: Official Journal of the International Stroke Society*, 9(7), 883-889. <https://doi.org/10.1111/ijss.12156>
- Tang, A., Sibley, K. M., Thomas, S. G., Bayley, M. T., Richardson, D., McIlroy, W. E., & Brooks, D. (2009). Effects of an aerobic exercise program on aerobic capacity, spatiotemporal gait parameters, and functional capacity in subacute stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(4), 398-406. <https://doi.org/10.1177/1545968308326426>
- Thom, T., Haase, N., Rosamond, W., Howard, V. J., Rumsfeld, J., Manolio, T., ... American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. (2006). Heart disease and stroke statistics--2006 update: a report from the American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. *Circulation*, 113(6), e85-151. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.171600>
- Tortuyaux, R., & Cordonnier, C. (2018). Traitement médical des hémorragies cérébrales. In J.-L. Mas & D. Leys, *Accidents vasculaires cérébraux* (p. 143-152). doin.
- Tung, F.-L., Yang, Y.-R., Lee, C.-C., & Wang, R.-Y. (2010). Balance outcomes after additional sit-to-stand training in subjects with stroke: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 24(6), 533-542. <https://doi.org/10.1177/0269215509360751>
- Wade, D. T. (1992). Measurement in neurological rehabilitation. In *Curr Opin Neurol Neurosurg* (Oxford Medical Publications, Vol. 5, p. 682-686). Consulté à l'adresse <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1392142>

Weiss, A., Suzuki, T., Bean, J., & Fielding, R. A. (2000). High intensity strength training improves strength and functional performance after stroke. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 79(4), 369-376; quiz 391-394.

Wilmore, J. H., Costill, D. L., & Kenney, W. L. (2008). *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics.

Annexes

Annexe I : Tableau de significativité des résultats paramétriques et non-paramétriques

Annexe II : Tableau des pourcentages d'évolution

Annexe I

Tableau de significativité des résultats paramétriques et non-paramétriques

COMPARAISON DES VARIABLES PARAMÉTRIQUES AUX TROIS TEMPS D'ÉVALUATION (ANOVA) ET DIFFÉRENCES (BONFERRONI)

Variable	ANOVA		Bonferroni		p-valeur 6 mois - post $\alpha < 0,05$
	F	p-valeur $\alpha < 0,05$	p-valeur post-pré $\alpha < 0,05$	p-valeur 6 mois-pré $\alpha < 0,05$	
Isoc Ext 60 Sain	8,47	0,0026	0,036	0,002	0,707
Isoc Ext 180 Sain	5,83	0,0112	1	0,032	0,021
Isoc Ext 60 Lésé	10,05	0,0012	0,129	0,001	0,1
Isoc Fle 60 Sain	14,65	0,0002	0,004	0	0,485
Isoc Fle 120 sain	13,37	0,0003	0,007	0	0,487
Isoc Fle 180 Sain	6,02	0,0099	0,659	0,009	0,133
Isom Ext 60 Sain	7,01	0,0056	0,067	0,005	0,783
Isom Ext 30 Lésé	11,54	0,0006	0,042	0	0,162
Isom Ext 60 Lésé	3,09	0,0702	NS		
Isom Flé 30 Sain	4,01	0,0364	0,603	0,033	0,452
Isom Flé 60 Sain	0,61	0,5522	NS		
Isom Flé 30 Lésé	3,23	0,0631	NS		
Isom Flé 60 Lésé	0,06	0,9408	NS		
FC repos	5,82	0,0112	0,038	0,018	1
VO2max	1,99	0,1657	NS		
PAS	1,1	0,3533	NS		
6 min (m)	15,09	0,0001	0,009	0	0,189
Significatif					

COMPARAISON DES VARIABLES NON-PARAMÉTRIQUES AUX TROIS TEMPS D'ÉVALUATION (SKILLINGS-MACK TEST) ET DIFFÉRENCES (TEST DES RANGS SIGNÉS DE WILCOXON)

Variable	Skillings-Mack test		Test des rangs signés de Wilcoxon	
	p-valeur $\alpha < 0,05$	p-valeur post-pré $\alpha < 0,016$	p-valeur 6 mois-pré $\alpha < 0,016$	p-valeur 6 mois - post $\alpha < 0,016$
Isoc Ext 120 Sain	0,036	0,0655	0,0143	0,059
Isoc Ext 120 Lésé	0,0136	0,0811	0,0125	0,059
Isoc Ext 180 Lésé	0,0486	0,1519	0,011	0,063
Isoc Fle 60 Lésé	0,0253	0,1255	0,0107	0,0181
Isoc Fle 120 Lésé	0,0247	0,5046	0,0247	0,0165
Isoc Fle 180 Lésé	0,036	0,152	0,0353	0,0107
Isom Ext 30 Sain	0,0623	NS		
FC max	0,0885	NS		
PAD	0,7225	NS		
Pmax	0,0033	0,0045	0,0102	0,3938
20 m (sec)	0,0033	0,0217	0,0051	0,2845
Significatif				

Annexe II

Tableau des pourcentages d'évolution de la force musculaire concentrique et isométrique des extenseurs et fléchisseurs du genou ainsi que des paramètres de marche, des paramètres cardiovasculaires et de la puissance maximale entre la première évaluation avant le réentraînement, à la fin du réentraînement et six mois après la fin du réentraînement à l'effort

Groupe musculaire testé	Côté testé	Vitesse angulaire / angle	Différence pré- post-réentraînement	Différence 6 mois – pré-réentraînement	Différence 6 mois-post-réentraînement		
Isocinétique concentrique	Extenseurs	Sain	60	19,66 %	28,31 %	7,23 %	
			120	10,17 %	21,80 %	10,55 %	
			180	-1,52 %	21,21 %	23,08 %	
		Lésé	60	28,43 %	58,55 %	23,45 %	
			120	21,50 %	61,09 %	32,58 %	
			180	20,28 %	71,23 %	42,35 %	
	Fléchisseurs	Sain	60	25,69 %	35,60 %	7,88 %	
			120	24,05 %	33,87 %	7,92 %	
			180	11,47 %	30,95 %	17,48 %	
		Lésé	60	23,56 %	63,87 %	32,63 %	
			120	16,41 %	92,97 %	65,77 %	
			180	23,33 %	96,67 %	59,46 %	
Isométrique	Extenseurs	Sain	30	6,07 %	27,26 %	19,98 %	
			60	23,17 %	33,92 %	8,73 %	
		Lésé	30	33,33 %	58,55 %	18,91 %	
			60	13,21 %	25,12 %	10,52 %	
		Fléchisseurs	Sain	30	7,09 %	15,12 %	7,49 %
				60	4,46 %	10,36 %	5,65 %
	Lésé		30	8,82 %	24,87 %	14,74 %	
			60	3,37 %	-0,75 %	-3,99 %	
	Critères de jugement secondaires		FC repos	9,67 %	10,85 %	1,07 %	
			FC max	6,85 %	8,37 %	1,42 %	
			VO2 max	7,02 %	13,24 %	5,81 %	
			PAS	-5,18 %	-2,75 %	2,56 %	
		PAD	-5,12 %	-4,76 %	0,38 %		
		Pmax	24,36 %	21,15 %	-2,58 %		
		6 min (m)	16,15 %	25,43 %	8,00 %		
		20 m (sec)	-24,93 %	-29,98 %	-6,73 %		

Significatif