

# Effets à court et à long terme d'un réentraînement à l'effort par intervalles sur la force musculaire des membres inférieurs après un accident vasculaire cérébral

## Short- and long-term effects of interval training on lower limb muscular strength after a stroke

Marie Glannaz<sup>\*1</sup> (PT, Msc), Aurélie Paley<sup>\*2</sup> (PT, Msc), Emmanuelle Opsommer<sup>3</sup> (PT, PhD), Francis Degache<sup>4</sup> (Maître de sport, PhD)

\* Ces auteurs ont contribué de manière équivalente à la réalisation de cet article.

Comité d'éthique: Commission d'éthique de Saint-Etienne (France) (numéro 2001/29).

Le financement de cette étude a été assuré par l'unité PPEH, la fondation l'Avenir, Medimex et Bourse « aide à la recherche médicale Ondaine et environs » 2004/2005.

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêt en rapport avec cet article.

Article reçu en juin 2020, accepté en août 2020.

### MOTS-CLÉS

AVC / force / isocinétique / isométrique / capacité de marche / cycloergomètre / réentraînement à l'effort par intervalles

### KEYWORDS

Stroke / strength / isokinetic / isometric / walking pace parameters / cycloergometer / interval training

### RÉSUMÉ

**Introduction:** A la suite d'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. 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, les paramètres de marche 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.

**Discussion et 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, walking ability, and lower limb strength are considerably diminished. Only a few studies have investigated the outcome of aerobic training on muscular strength and its long-term impact. 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 participated in three training sessions per week on an ergocycle over a period of 8 weeks. The main criterion of assessment was based on the isokinetic and isometric strength of knee flexors and extensors. Secondary criteria included cardiovascular parameters, walking pace parameters, and maximal power output.

**Results:** For both knees and both muscular groups, the isokinetic strength was observed to have significantly increased (between 21.21% and 63.87% amelioration;  $p < 0.05$ ) 6 months after the end of the training period. The walking pace parameters had also improved.

**Discussion and conclusion:** The present study highlights 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 improvements persist for 6 months after the end of training.

Mains Libres 2020; 3:165-174  
En ligne sur: [www.mainslibres.ch](http://www.mainslibres.ch)

<sup>1</sup> Cabinet de physiothérapie Tes Physios, Morges, Suisse

<sup>2</sup> Département des neurosciences cliniques, Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV), Lausanne, Suisse

<sup>3</sup> Haute école de sante Vaud (HESAV), Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO), Lausanne, Suisse

<sup>4</sup> Département Recherche et Développement, Therapeutic and Performance Sport Institute MotionLab, Le Mont-sur-Lausanne, Suisse

## INTRODUCTION

A la suite de multiples séquelles d'un accident vasculaire cérébral (AVC) et d'un alitement prolongé en phase précoce, les personnes atteintes d'hémiplégie ont des capacités maximales à l'effort diminuées de 55 à 75 % en comparaison à une population saine du même âge<sup>(1,2)</sup>. Ils présentent une force et une puissance musculaire des deux membres inférieurs diminuées en comparaison à des personnes d'âge identique sans troubles neurologiques<sup>(3)</sup>. Ce déconditionnement est associé à une diminution de l'autonomie et entraîne une mortalité élevée, une augmentation des risques cardiovasculaires et des syndromes métaboliques, ainsi que l'augmentation des coûts de santé<sup>(4)</sup>. En outre, la faiblesse musculaire du côté parétique, ainsi que la limitation des capacités cardiovasculaires, sont fortement corrélées à une diminution des capacités de marche<sup>(3,5)</sup>. Bien que 60 à 70 % des personnes atteintes d'un AVC récupèrent la marche, uniquement 7 % d'entre elles ont des capacités de marche suffisantes pour marcher seule à l'extérieur<sup>(6)</sup>.

Pour lutter contre ce déconditionnement, la mise en place d'un programme de réentraînement à l'effort adapté peut présenter un intérêt pour ces patients. Ce dernier a comme objectif d'améliorer les capacités fonctionnelles par une augmentation de la capacité aérobie grâce à la marche sur tapis roulant, le renforcement musculaire, le cycloergomètre ou l'hydrothérapie<sup>(1,7)</sup>. Selon l'American College of Sports Medicine (ACSM), il est recommandé, pour une personne en bonne santé, de faire trois à cinq séances d'exercices aérobies de 20 à 60 minutes par semaine associées à deux ou trois séances de renforcement musculaire léger et des exercices d'équilibre et d'assouplissement<sup>(8)</sup>. Actuellement, les séances d'exercices aérobies sont généralement effectuées de façon continue, c'est-à-dire à une intensité constante située entre 50 à 80 % de la fréquence cardiaque maximale durant au moins dix minutes, contrairement à un réentraînement par intervalles qui est constitué de pics à plus haute intensité suivi d'une courte période de récupération. Différents types de protocoles existent et se différencient par la durée des intervalles, ainsi que par le type de récupération proposé<sup>(9)</sup>. La récupération peut se faire de manière active ou passive, c'est-à-dire avec le maintien de l'activité à bas volume ou non. La récupération active permettrait de diminuer la sensation de vertiges secondaires à des changements de tension<sup>(9)</sup>. Il existe peu de recommandations concernant l'utilisation d'un réentraînement par intervalles chez la personne ayant eu un AVC, bien que cette modalité soit utilisée notamment lors de la réadaptation cardio-vasculaire<sup>(10,11)</sup>. Les avantages seraient une plus grande amélioration de la consommation maximale d'oxygène ( $VO_{2max}$ ), ainsi qu'une adaptation centrale et périphérique du transport en oxygène<sup>(12)</sup>. Dans le contexte d'un AVC, les intervalles pourraient améliorer la neuroplasticité et la capacité de marche<sup>(9)</sup>.

Ces dernières années, de nombreuses études ont évalué les effets d'un réentraînement à l'effort aérobie à la suite d'un AVC. Il est reconnu qu'un tel entraînement augmente significativement les capacités aérobies des patients de 9 à 34 %, basé sur le  $VO_{2pic}$ <sup>(13)</sup>. Différents auteurs mettent en évidence une corrélation positive entre les capacités à l'effort et les capacités de marche, bien que les résultats soient discutés. En effet, les études menées par Courbon *et al.*<sup>(1)</sup> et Kelly *et al.*<sup>(6)</sup> rapportent des corrélations moyennes à élevées entre la

capacité de marche (test de marche de six minutes) et la mesure des capacités d'effort ( $VO_{2max}$ ) ( $r = 0.62$ ;  $r = 0.84$ )<sup>(1,6)</sup>. Une méta-analyse observe une augmentation statistiquement et cliniquement significative de la vitesse de marche de 0.06 m/s et de 29 mètres au test de marche de six minutes à la suite d'un entraînement aérobie<sup>(14)</sup>. Il a aussi été démontré que la force des extenseurs du genou est corrélée à la vitesse de marche<sup>(15,16)</sup>. Bien que ces résultats soient nuancés à ce jour par la mise en avant d'autres groupes musculaires, il est pertinent de s'intéresser à l'impact d'un réentraînement à l'effort sur la force<sup>(3,17)</sup>.

En ce qui concerne l'impact sur la force musculaire des membres inférieurs après un AVC, ce sujet est moins abordé dans la littérature. Deux études randomisées démontrent une augmentation de la force des extenseurs du genou du membre inférieur sain suite à un entraînement sur cycloergomètre<sup>(18,19)</sup>. La force du membre inférieur lésé a été augmentée de manière statistiquement significative dans une seule des deux études<sup>(18)</sup>. Contredisant ces résultats, une autre étude randomisée contrôlée ne démontre pas d'amélioration de force des extenseurs des deux genoux après un entraînement sur cycloergomètre<sup>(20)</sup>. La disparité des durées et de l'intensité des interventions pourrait expliquer la différence de résultats.

A ce jour, le nombre d'études sur les effets du réentraînement à l'effort aérobie sur la force musculaire après un AVC est limité. Les résultats sont contradictoires entre ces études. Ces différences peuvent s'expliquer par l'hétérogénéité des études, tels que la précocité de prise en charge en phase subaigüe ou chronique, la durée des interventions, ainsi que les modalités utilisées. De plus, les effets à long terme sur la force musculaire ne sont pas connus. L'objectif de ce travail est d'évaluer les effets d'un réentraînement à l'effort par intervalles sur la force musculaire après un AVC et 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  $VO_{2max}$ , 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 (vitesse de marche avec le test de 20 mètres et endurance avec le test de marche de six minutes).

## MÉTHODE

Nous avons réalisé une étude expérimentale sans groupe contrôle et sans randomisation, avec des données récoltées entre 2002 et 2003<sup>(21)</sup>. Durant la durée de l'étude, le nombre de participants ayant pu être contacté étant trop faible, le groupe contrôle a été supprimé de la procédure. Ces données brutes nous ont été fournies pour l'analyse des critères primaires et secondaires.

### 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 (France), deux à six mois après la survenue de l'AVC, durant la phase subaigüe. La phase aigüe concerne les deux premières semaines suivant un AVC et la phase chronique est considérée après le

Tableau 1

## Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
<ul style="list-style-type: none"> <li>Participant présentant une hémiparésie droite ou gauche, suite à un premier AVC (ischémique ou hémorragique).</li> <li>Participant âgé entre 18 et 70 ans, de sexe masculin ou féminin.</li> <li>Participant suivi au sein du Service de Médecine Physique et de Réadaptation (MPR), dans le cadre d'une filière de soins de l'AVC, en collaboration avec une Unité Neuro-Vasculaire.</li> <li>Intervalle de temps entre l'AVC et le début du protocole de réentraînement au minimum de deux mois et au maximum de six mois.</li> <li>Participant bénéficiant d'une prise en charge en physiothérapie conventionnelle de rééducation de l'hémiplégie 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.</li> <li>Bilan étiologique réalisé selon les recommandations actuelles (scanner et/ou imagerie par résonance magnétique (IRM), Holter électrocardiogramme (ECG) et Holter tensionnel, doppler, échographie cardiaque, etc.).</li> <li>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.</li> <li>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.</li> <li>Traitement médical adapté selon le médecin, en particulier anti-hypertenseur, anti-coagulant ou anti-agrégant, mais aussi antidiabétique ou traitement à visée autre ou complications (épilepsie, spasticité...).</li> <li>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 suro-pédieuse ou avec l'aide d'une canne simple, tripode ou d'une béquille.</li> <li>Participant capable de comprendre les instructions et l'intérêt du réentraînement.</li> <li>Participant ayant signé le formulaire de consentement de l'étude.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Existence de troubles associés à l'atteinte motrice hémiplégique: 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.</li> <li>Récidive d'AVC, indépendamment du niveau des séquelles de l'AVC antérieur.</li> <li>Existence d'une atteinte cérébelleuse ou d'une atteinte du tronc cérébral.</li> <li>Existence d'une affection respiratoire, métabolique, immunitaire, infectieuse, inflammatoire décompensée ou non stabilisée, connue ou découverte lors de l'AVC.</li> <li>Participant présentant une arythmie complète et ayant un stimulateur cardiaque.</li> <li>Absence de stabilité de l'état lésionnel cérébral (risque hémorragique important, risque vasculaire embolique).</li> </ul>

sixième mois<sup>(22)</sup>. Les patients recrutés devaient être adulte et présenter une hémiparésie à la suite d'un premier AVC. Ils devaient être capables de marcher seuls avec ou sans moyens auxiliaires. Les critères d'inclusion et d'exclusion sont présentés dans le Tableau 1.

### Inclusion

Après avoir donné son accord de participation, le patient devait passer un test d'effort maximal et porter un Holter tensionnel et électrocardiographique (ECG) durant 24 heures. Seuls ont pu participer à l'étude les patients ne présentant pas d'hypertension artérielle sévère (> 240/120 mmHg), de troubles du rythme ventriculaire (tachycardie ventriculaire), d'ischémie myocardique ou d'hypotension d'effort. Ces résultats ont conditionné l'inclusion définitive de ces patients dans l'étude.

### Epreuve d'effort maximal

Le test d'effort permet de déterminer les capacités cardiovasculaires et respiratoires à l'effort, notamment la tolérance cardiaque et vasculaire, à l'aide de mesures des échanges gazeux. Il définit également les paramètres permettant d'établir un entraînement personnalisé, tels que le  $VO_{2max}$  ou le  $VO_{2picr}$ , la  $FC_{max}$  ou la puissance maximale de pédalage ( $P_{max}$ )<sup>(5)</sup>. Historiquement, le test d'effort n'était pas considéré comme sécuritaire chez les patients post-AVC. C'est pourquoi le test était adapté à cette population et se basait sur des critères variables, tels que la fréquence cardiaque théorique ou une atteinte du  $VO_2$  inférieure à celle recommandée aujourd'hui<sup>(23)</sup>.

Cette épreuve a été effectuée sur un cycloergomètre sous la responsabilité d'un médecin cardiologue et selon les recommandations de Astrand, avec un contrôle ECG et tensionnel<sup>(24)</sup>. Une fois installé sur le vélo, le patient est resté immobile pendant 3 minutes afin d'enregistrer les paramètres nécessaires (FC et ECG). Après l'échauffement (deux minutes à 10 watts), 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 se terminait 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 par rapport à la  $FC_{max}$  théorique...) ou si le patient en ressentait le besoin ou avait des symptômes en lien. La récupération de 10 à 15 minutes s'est faite en pédalant mais sans résistance.

### Evaluations

Une fois le patient définitivement inclus dans l'étude, trois évaluations ont été réalisées: une évaluation initiale réalisée une semaine après l'inclusion (pré-réentraînement), une évaluation à la fin du réentraînement soit deux mois après l'inclusion (post-réentraînement) et une évaluation six mois après la fin du réentraînement. Le détail des évaluations réalisées est présenté dans le Tableau 2.

Le critère de jugement principal, la force musculaire, a été évaluée à l'aide de 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

Tableau 2

Détail des évaluations réalisées

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

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<sup>(25,26)</sup>. Le mode isométrique a été effectué secondairement, en position d'extension du genou avec un angle de 30° et 60°<sup>(5)</sup>, pour les fléchisseurs et extenseurs. L'évaluation de force par un dynamomètre isocinétique et isométrique est validée chez les personnes hémiplegiques suite à un AVC et ses valeurs de fiabilité intra- et inter-utilisateurs sont très bonnes à excellentes<sup>(4)</sup>.

Pour les critères de jugements secondaires, les paramètres cardiovasculaires ont été évalués lors de l'épreuve d'effort maximal et la capacité de marche a été évaluée à l'aide d'un test de vitesse de marche sur 20 mètres, basé sur celui des 10 mètres<sup>(27)</sup> et un test d'endurance de six minutes<sup>(28)</sup>. Le test des 10 mètres et de six minutes sont fiables et reproductibles chez une population AVC<sup>(27,29,30)</sup>.

**Intervention**

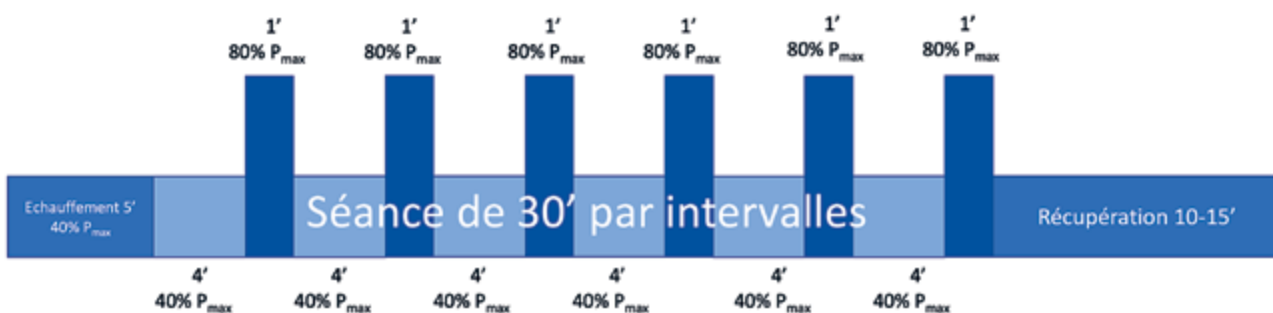
En plus de la prise en charge en physiothérapie conventionnelle à une fréquence de trois fois par semaine durant 45 minutes comprenant notamment du renforcement

musculaire et des techniques neuro-facilitatrices, les patients ont effectué un réentraînement à l'effort sur cycloergomètre les mêmes jours, pendant huit semaines.

Dans le service de MPR, l'entraînement par intervalles à haute intensité était réalisé pendant 30 minutes et les intensités adaptées en fonction des résultats obtenus lors de l'épreuve d'effort maximal. Cet entraînement se base sur un programme d'intervalles à bas volume. Le temps de récupération est actif avec une durée plus longue que celui du pic d'activité. Plus précisément, le protocole consistait à réaliser un exercice de fond de 30 minutes appelé « base » (correspondant à 40% de la P<sub>max</sub> tenue lors de l'épreuve d'effort) sur lequel des surcharges périodiques d'une minute appelées « pics » (correspondant à 80% de la P<sub>max</sub> obtenue lors du test d'effort) ont été appliquées toutes les quatre minutes. La vitesse de pédalage devait être maintenue autour de 60 cycles par minute<sup>(5)</sup>. La charge d'entraînement a été déterminée pour obtenir à la 30ème minute une fréquence cardiaque au moins équivalente à 90% de la FC<sub>max</sub> mesurée lors de l'épreuve d'effort progressive. Le contrôle continu de la fréquence cardiaque (Polar®, Kempele, Finlande) lors de chaque séance d'entraînement permettait de déterminer s'il y avait lieu d'augmenter la

Figure 1

Schéma de la séance de réentraînement à l'effort par intervalles, à raison de 3 fois par semaine durant 8 semaines



charge d'entraînement. La Figure 1 représente schématiquement la séance de réentraînement à l'effort par intervalles.

### Calcul de la taille d'échantillon

A l'origine, l'étude devait comparer trois types de réentraînement (cycloergomètre, marche sur tapis roulant, physiothérapie conventionnelle). Une taille d'échantillon de 15 sujets par groupe a été calculée<sup>(21)</sup>. Cependant, ce protocole n'a pas pu être appliqué comme initialement prévu et seuls 12 patients ont finalement réalisé un réentraînement aérobie sur cycloergomètre.

### Analyse statistique

Les effets du réentraînement à l'effort sur la force musculaire ont été recherchés par des différences de moyennes entre les données récoltées lors des trois temps de l'évaluation (pré-réentraînement, post-réentraînement et six mois après la fin du réentraînement). Après l'analyse de la normalité, un test d'ANOVA à mesures répétées et un test post-hoc de Bonferroni ont été utilisés 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 (test d'égalité des variances), 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 qui diminuent la puissance. Le seuil alpha pour ce test est donc de  $p$  inférieur à 0,016.

## 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. Les caractéristiques anthropométriques et cliniques sont présentées dans le Tableau 3.

### Force musculaire : évaluation de la force isocinétique concentrique

Le Tableau 4 représente les résultats concernant la force isocinétique des extenseurs et des fléchisseurs du genou des deux membres inférieurs.

#### Extenseurs du genou du côté sain

La force des extenseurs du genou du côté non parétique augmente significativement entre les évaluations pré- et post-réentraînement (19,66%,  $p = 0,036$ ) ainsi qu'entre pré-réentraînement et 6 mois après la fin du réentraînement (28,31%,  $p = 0,002$ ) à une vitesse angulaire de 60°/s. À 120°/s et 180°/s, une augmentation significative de la force est présente entre pré- et 6 mois après le réentraînement (à 120°/s: 21,80%,  $p = 0,0143$ ; à 180°/s: 21,21%,  $p = 0,032$ ), ainsi qu'entre les évaluations post-réentraînement et après 6 mois à 180°/s (23,08%,  $p = 0,021$ ).

#### Extenseurs du genou du côté lésé

La force des muscles extenseurs du côté lésé augmente significativement entre l'évaluation pré-réentraînement et 6 mois après (58,55% à une vitesse de 60°/s,  $p = 0,001$ ; 61,09% à une vitesse de 120°/s,  $p = 0,0125$  et 71,23% à une vitesse de 180°/s,  $p = 0,011$ ).

Tableau 3

#### Caractéristiques de la population

Variable	N (%)	Moyenne ± Ecart type
Genre		
Homme	7 (70%)	
Femme	3 (30%)	
Poids [kg]		69,5 ± 8,5
Taille [cm]		169,5 ± 7,3
Age [année]		53,8 ± 9,5
Type d'AVC		
Hémorragique	2 (20%)	
Ischémique	8 (80%)	
Côté hémiparétique		
Gauche	5 (50%)	
Droite	5 (50%)	
Traitement		
Avec bêtabloquant	7 (70%)	
Sans bêtabloquant	3 (30%)	
Délai avant prise en charge [mois]		12,4 ± 7,7

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

### Fléchisseurs du genou du côté sain

Les fléchisseurs du côté non-atteint présentent une augmentation significative de la force à toutes les vitesses angulaires testées entre pré-réentraînement et 6 mois après la fin du réentraînement (35,60% d'augmentation à 60°/s,  $p < 0,01$ ; 33,87% d'augmentation à 120°/s,  $p < 0,01$ ; 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% ( $p = 0,007$ ).

### Fléchisseurs du genou du côté lésé

La force des muscles fléchisseurs du côté lésé augmente significativement de 63,87% à une vitesse angulaire de 60°/s entre l'évaluation pré-réentraînement 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 ( $p = 0,0107$ ).

### Force musculaire : évaluation de la force isométrique

Le Tableau 5 représente les résultats concernant la force isométrique des extenseurs et des fléchisseurs du genou des deux membres inférieurs.

#### 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 4**

Résultats : force isocinétique des extenseurs et fléchisseurs 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 (33,2)	106,5 (27,9)	114,2 (37,5)	17,5 (10,4)*	25,2 (26,3)*	7,7 (19,5)
		120	75,7 (30,5)	83,4 (27,7)	92,2 (34)	7,7 (11,4)	16,5 (15,6)**	8,8 (12,1)
		180	66 (32,7)	65 (30,6)	80 (37,8)	-1 (12,1)	14 (14,2)*	15 (19,4)*
	Lésé	60	41,5 (27,1)	53,3 (32,8)	65,8 (41,3)	11,8 (12)	24,3 (20)*	12,5 (18,4)
		120	29,3 (26,8)	35,6 (26,6)	47,2 (34)	6,3 (8,9)	17,9 (17,2)**	11,6 (16)
		180	21,2 (31,2)	25,5 (28,1)	36,3 (34,1)	4,3 (17,5)	15,1 (17,2)**	10,8 (12,7)
Fléchisseurs	Sain	60	54,5 (24,3)	68,5 (20,3)	73,9 (21,4)	14 (9)*	19,4 (16)*	5,4 (8,6)
		120	49,9 (20,5)	61,9 (18,3)	66,8 (22,2)	12 (7,2)*	16,9 (12,8)*	4,9 (11,1)
		180	46,2 (22)	51,5 (22,7)	60,5 (22,3)	5,3 (9,4)	14,3 (13,6)*	9 (15,7)
	Lésé	60	19,1 (19,8)	23,6 (22,9)	31,3 (23,8)	4,5 (7,8)	12,2 (11)**	7,7 (7,6)
		120	12,8 (18,7)	14,9 (21,5)	24,7 (22,8)	2,1 (6,3)	11,9 (13,4)	9,8 (11,3)
		180	9 (19,5)	11,1 (21,7)	17,7 (26,2)	2,1 (4,3)	8,7 (11,8)	6,6 (10)**

\* p < 0,05; \*\* p < 0,016; vitesse angulaire en degré par seconde [°/s]; moyenne (écart-type) du moment de force en newton mètre [Nm].

**Tableau 5**

Résultats : force isométrique des extenseurs et fléchisseurs du genou des deux membres inférieurs aux trois temps d'évaluation

Groupe musculaire	Côté évalué	Angle de flexion du genou [°]	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	30	80,7 (21,8)	85,6 (18,4)	102,7 (28,3)	4,9 (15,3)	22 (18,6)	17,1 (23,5)
		60	113,5 (29,4)	139,8 (25,4)	152 (43,4)	26,3 (24)	38,5 (38,9)*	12,2 (35,1)
	Lésé	30	46,8 (24,6)	62,4 (18,7)	74,2 (31,4)	15,6 (13,9)*	27,4 (16,6)*	11,8 (22,6)
		60	84 (36,9)	95,1 (40,4)	105,1 (44,9)	11,1 (22)	21,1 (27,6)	10 (30,3)
Fléchisseurs	Sain	30	86 (25,6)	92,1 (32,2)	99 (36,5)	4,9 (15,3)	22 (18,6)*	17,1 (23,5)
		60	69,5 (27,7)	72,6 (27,7)	76,7 (30,7)	3,1 (22,9)	7,2 (25,1)	4,1 (11)
	Lésé	30	37,4 (30,7)	40,7 (34,2)	46,7 (29,5)	3,3 (10,3)	9,3 (13,4)	6 (11,3)
		60	26,7 (25,9)	27,6 (29,9)	26,5 (23,3)	0,9 (9)	-0,2 (9,3)	-1,1 (12,9)

\* p < 0,05; \*\* p < 0,016; angle de flexion du genou en degré [°]; moyenne (écart-type) du moment de force en newton mètre [Nm].

**Extenseurs du genou du côté lésé**

Pour les extenseurs du côté 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 < 0,01).

**Fléchisseurs du genou du côté sain**

La force des fléchisseurs du côté 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 6

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 <sub>repos</sub> [bpm]	76,5 (13,6)	83,9 (11,6)	84,8 (14,9)	7,4 (8,7)*	8,3 (4,7)*	0,9 (10,8)
FC <sub>max</sub> [bpm]	138,6 (21,7)	148,1 (26)	150,2 (24,4)	9,5 (12)	11,6 (15,1)	2,1 (10,7)
VO <sub>2max</sub> [ml/min/kg]	18,66 (3,5)	19,97 (5,1)	21,13 (5,1)	1,31 (4)	2,47 (4,9)	1,16 (2,5)
TAS [mmHg]	127,5 (16,7)	120,9 (15,5)	124 (9,7)	-6,6 (12,7)	-3,5 (12,7)	3,1 (16,5)
TAD [mmHg]	84 (11)	79,9 (10)	80 (7,1)	-4,3 (12,1)	-4 (12,7)	0,3 (11,5)
P <sub>max</sub> [W]	78 (29,4)	97 (28,7)	94,5 (30,2)	19 (9,9)**	16,5 (17)**	-2,5 (9,8)
TM6 [m]	259,5 (157,3)	301,4 (154,8)	325,5 (167)	41,9 (24,2)*	66 (49,9)*	24,1 (36,9)
TM20 [sec]	42,64 (26,4)	32,01 (17,5)	29,86 (19,70)	-10,63 (12,5)	-12,786 (13)**	-2,156 (6)

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ . FC<sub>repos</sub> = fréquence cardiaque de repos en battements par minute ; FC<sub>max</sub> = fréquence cardiaque maximale en battements par minute ; VO<sub>2max</sub> = VO<sub>2max</sub>, en ml/min/kg ; TAS / TAD = Tension artérielle systolique / diastolique en millimètres de mercure ; P<sub>max</sub> = 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 moyennes (écart-types).

### 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

### Critères de jugement secondaires

Le Tableau 6 représente les résultats des critères de jugement secondaires aux trois temps d'évaluation.

#### Paramètres cardio-vasculaires

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%,  $p = 0,018$ ). En revanche, la FC<sub>max</sub>, le VO<sub>2max</sub> ainsi que les tensions artérielles 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%,  $p = 0,0102$ ).

#### 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 six mois après la fin du réentraînement (25,43%,  $p = 0$ ).

#### Test de marche de 20 mètres

La vitesse de marche lors du test de 20 mètres a augmenté significativement entre la première et la dernière évaluation à six mois de 29,98% ( $p = 0,0051$ ).

## DISCUSSION

### Effet sur la force isocinétique

Les résultats de cette étude mettent en évidence une augmentation significative de la force isocinétique entre la première évaluation et six mois après la fin du réentraînement. Ce résultat pourrait s'expliquer par un changement global de l'activité physique des individus durant cette période. Notre hypothèse serait que les améliorations de la force et des capacités de marche favorisent une augmentation de l'activité physique quotidienne après le réentraînement<sup>(22)</sup>. Cependant, les informations sur l'activité physique des participants manquent pour soutenir cette hypothèse. De plus, à notre connaissance, aucune étude n'a été menée afin de déterminer si l'entraînement aérobique augmente l'activité physique à long terme. Une étude randomisée contrôlée, dont seul le protocole a été publié, est actuellement en cours sur ce sujet<sup>(31)</sup>.

Par ailleurs, six mois après le réentraînement, la force des extenseurs et des fléchisseurs du genou a augmenté de manière significative avec une augmentation de la force musculaire plus élevée du membre inférieur lésé par rapport au membre inférieur sain. Un essai contrôlé randomisé démontre aussi une augmentation de la force pour le membre inférieur atteint et non-atteint, respectivement de 16% et 11%<sup>(18)</sup>. 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 Jin *et al.*<sup>(18)</sup>. Dans notre étude, 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<sup>(31)</sup>.

D'autres études pilotes se sont intéressées au renforcement progressif et à l'évaluation isocinétique<sup>(32-35)</sup>. Les auteurs observent une amélioration de la force globale entre 17 et

130%. Ces études mettent aussi en évidence une amélioration de 10 à 154% du membre inférieur parétique<sup>(32,34)</sup>. En raison du nombre d'études restreint, 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. Toutefois, ces résultats démontrent qu'un réentraînement à l'effort ou un renforcement progressif peut améliorer la force isocinétique.

Aucune étude ne s'est intéressée à l'impact d'un réentraînement aérobie sur la force des membres inférieurs à long terme. Cependant, l'étude de Sharp<sup>(34)</sup> 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. Pour l'étude de Flansbjer<sup>(36)</sup>, 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, alors que les participants n'ont pas été suivis pendant quatre ans<sup>(37)</sup>.

Les résultats de cette étude<sup>(36)</sup> et nos résultats semblent démontrer que les effets d'un renforcement ou d'un entraînement aérobie permettent d'améliorer la force isocinétique de manière indirecte. Il serait judicieux d'étudier si l'aptitude aérobie augmentée grâce au réentraînement permet une amélioration de l'autonomie fonctionnelle quotidienne et donc une capacité plus importante à réaliser des tâches sollicitant les muscles des membres inférieurs permettant ainsi un renforcement musculaire.

### Effet sur la force isométrique

Globalement, malgré une tendance à la hausse, nos résultats ne démontrent pas une augmentation significative de la force isométrique des fléchisseurs et extenseurs du genou après un réentraînement aérobie. En accord avec nos résultats, une étude randomisée contrôlée n'obtient pas d'amélioration significative de la force maximale isométrique des extenseurs du genou après un programme sur cycloergomètre, malgré l'utilisation de l'électrostimulation<sup>(20)</sup>. Cependant, la force isométrique du genou semble augmenter significativement à la suite de programmes combinant aérobie et renforcement<sup>(19)</sup>. Une autre étude randomisée contrôlée démontre une augmentation de la force des extenseurs du genou du côté sain chez le groupe ayant réalisé du renforcement musculaire des membres inférieurs, mais pas après le programme sur cycloergomètre. Aucune différence n'est présente pour le côté atteint, ce qui pourrait s'expliquer par le fait que la réponse neuronale est perturbée, en raison des lésions axonales provoquées par un AVC<sup>(38,39)</sup>. Le membre inférieur lésé peut démontrer une co-contraction des muscles agonistes et antagonistes, ainsi qu'une co-activation des muscles synergiques. Ce trouble de motricité sélective pourrait expliquer le manque de force isométrique<sup>(40)</sup>.

Nos résultats peu significatifs pour l'effet d'une augmentation de la force isométrique pourraient s'expliquer par le fait que l'entraînement aérobie a un faible impact sur la force isométrique du genou<sup>(20)</sup>. En effet, sans exercice de type renforcement pouvant produire de l'hypertrophie, il semble normal de ne pas avoir une grande augmentation de la force musculaire isométrique<sup>(20)</sup>.

### Effet sur les paramètres cardiovasculaires

Une augmentation significative de la  $FC_{\text{repos}}$  entre post-réentraînement et six mois après la fin du réentraînement ainsi qu'entre pré-réentraînement et six mois après ne coïncident pas avec la littérature actuelle. Il est généralement admis que plus le patient est entraîné et plus sa  $FC_{\text{repos}}$  diminue (41). L'arrêt ou la réduction des bêtabloquants, une prise de mesure différente lors des évaluations ou la durée trop courte du protocole sont des hypothèses pour expliquer ce résultat. En effet, un protocole de réentraînement plus long que celui présenté ici serait nécessaire pour obtenir une diminution significative de la  $FC_{\text{repos}}$ <sup>(19)</sup>.

Nous n'avons pas obtenu de résultats significatifs concernant la  $FC_{\text{max}}$  bien que la physiopathologie voudrait que l'entraînement amène une augmentation de la  $FC_{\text{max}}$ . De même, aucune différence significative concernant le  $VO_{2\text{pic}}$  n'a été observée. Contrairement à cette étude, la littérature démontre une amélioration significative du  $VO_{2\text{pic}}$  ou du  $VO_{2\text{max}}$  après un réentraînement aérobie sur cycloergomètre après un AVC (38,42). Deux revues systématiques démontrent une augmentation du  $VO_{2\text{max}}$  de 9 à 34% suite à des programmes aérobies basés sur les recommandations de l'ACSM (13,43). De plus, Carl *et al.* (2017) obtiennent une différence de 2,2 ml/min/kg (95% CI: 1,3; 3,1) du  $VO_{2\text{pic}}$  entre les groupes interventions aérobie et les groupes contrôles<sup>(43)</sup>.

Cependant, une méta-régression a mis en évidence que plus le  $VO_{2\text{pic}}$  est élevé à la base, plus son augmentation sera importante après un réentraînement<sup>(10)</sup>. Dans cette étude, les participants avaient un  $VO_{2\text{pic}}$  de base de 18,66 ± 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<sup>(44)</sup>. Le fait qu'ils présentent un  $VO_{2\text{pic}}$  largement plus bas que la norme au préalable pourrait expliquer le faible pourcentage d'amélioration.

L'analyse des résultats de cette étude ne démontre pas de changement significatif de la tension artérielle 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 (45). Cependant, une méta-analyse récente démontre qu'un réentraînement à l'effort peut diminuer la pression sanguine s'il est proposé dans les six mois suivant l'AVC<sup>(46)</sup>.

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. Les résultats de cette étude semblent démontrer que le test d'effort et le réentraînement proposés soient réalisables sans danger ni complications cardiovasculaires. Cette conclusion est confirmée par d'autres auteurs dans la littérature actuelle<sup>(5)</sup>.

### Effet sur la puissance maximale

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. Ces résultats concordent avec ceux présents dans la littérature<sup>(47,48)</sup>.

## Effet sur les paramètres de marche

Avec une amélioration du périmètre de marche supérieure à 50 mètres et une augmentation de la vitesse de marche supérieure à 0,06 m/s, les résultats de cette étude sont statistiquement et cliniquement significatifs pour la capacité de marche<sup>(30)</sup>. Cependant, il est nécessaire de rester prudent pour la vitesse de marche, car ces seuils sont validés uniquement pour le test de 10 mètres. Le test de 20 mètres se base sur celui des 10 mètres (validé chez une population AVC) 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 résultats sont similaires à ce travail, démontrant une amélioration significative du test des six minutes et de la vitesse de marche<sup>(10)</sup>. Une autre méta-analyse a analysé les effets du réentraînement cardiovasculaire précoce suite un AVC<sup>(49)</sup>. Concernant le test des six minutes, les résultats sont identiques et démontrent une amélioration significative. Les auteurs mettent en évidence une amélioration plus importante des interventions spécifiques à la marche<sup>(49)</sup>. Pour la vitesse de marche, il n'y a pas d'amélioration significative suite à un réentraînement à l'effort, ce qui est contraire à nos résultats<sup>(49)</sup>. 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<sup>(42)</sup>. Toutefois, il est possible que les patients en phase chronique augmentent la vitesse et la résistance<sup>(50)</sup> de pédalage en utilisant toujours les mêmes schémas moteurs altérés, ce qui ne permettrait pas d'améliorer la coordination locomotrice<sup>(51)</sup>. 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. En effet, il semble que le type d'intervalles proposé pourrait avoir un impact sur la capacité de marche<sup>(9)</sup>.

## LIMITES

Les limites de cette étude résident principalement dans l'absence du groupe contrôle, la randomisation manquante et le petit nombre de patients. Toutefois, au vu de la littérature encore peu disponible sur ce sujet, les résultats apportent de nouveaux éléments permettant de faire avancer l'état actuel des connaissances, notamment sur la faisabilité d'un réentraînement par intervalles et son impact sur la force musculaire du genou et sur la marche. Il serait ainsi intéressant de mener des études à plus large échelle, avec notamment l'ajout d'un groupe contrôle et l'analyse de l'activité physique durant et après

l'intervention. De plus, il serait pertinent d'évaluer l'impact des modalités de réentraînement en continu ou par intervalles (temps d'effort, temps de récupération active ou passive) sur les paramètres cardio-vasculaires, les capacités de marche ou la neuroplasticité. L'impact de l'utilisation d'un cycloergomètre ou d'un tapis de marche pourrait également être évalué.

## Conclusion

Nos résultats mettent en évidence l'impact positif du réentraînement à l'effort par intervalles à haute intensité sur la force musculaire du genou et sur les paramètres de marche dans la phase chronique après un AVC, avec un maintien des gains au cours des six mois suivant le réentraînement. En raison des limites de cette étude, les résultats doivent être interprétés avec précaution. Cependant, en raison du nombre restreint d'études sur le sujet, celle-ci amène des premiers résultats intéressants qui ne demandent qu'à être investigués lors de prochaines études.

### IMPLICATION POUR LA PRATIQUE

- À la suite d'un AVC, un réentraînement par intervalles à haute intensité pourrait être faisable et sécuritaire en phase subaiguë ou chronique.
- Un réentraînement par intervalles à haute intensité avec des pics d'une minute à 80% de la P<sub>max</sub>, toutes les quatre minutes, durant 30 minutes, permettrait d'améliorer la force musculaire.
- Un programme de réentraînement augmenterait les capacités de marche (TM6, vitesse de marche) du patient.

## Remerciements

Nous remercions chaleureusement le Docteur Paul Calmels, M<sup>me</sup> Annabelle Courbon et tous leurs collaborateurs ainsi que le CHU de Saint-Etienne pour les données fournies.

Cet article est basé sur les résultats d'un Travail de Master réalisé dans le cadre du Master of Science en Sciences de la santé, conjoint de la HES-SO (Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale) et de l'Université de Lausanne (UNIL), orientation en physiothérapie, à HES-SO Master.

## Contact

Francis DEGACHE

Tél. : +33 6 48 95 19 66

E-mail : fdegache@motion-lab.ch

## Références

1. Courbon A, Calmels P, Roche F, Ramas J, Rimaud D, Fayolle-Minon I. Relationship between maximal exercise capacity and walking capacity in adult hemiplegic stroke patients. *Am J Phys Med Rehabil.* mai 2006;85(5):436-42.
2. Mackay-Lyons MJ, Makrides L. Longitudinal changes in exercise capacity after stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* oct 2004;85(10):1608-12.
3. Hunnicutt JL, Gregory CM. Skeletal muscle changes following stroke: a systematic review and comparison to healthy individuals. *Top Stroke Rehabil.* 2017;24(6):463-71.
4. Kristensen OH, Stenager E, Dalgas U. Muscle Strength and Poststroke Hemiplegia: A Systematic Review of Muscle Strength Assessment and Muscle Strength Impairment. *Arch Phys Med Rehabil.* févr 2017;98(2):368-80.
5. Calmels P, Degache F, Courbon A, Roche F, Ramas J, Fayolle-Minon I, et al. The faisabilité and the effects of cycloergometer interval-training on aerobic capacity and walking performance after stroke. Preliminary study. *Ann Phys Rehabil Med.* févr 2011;54(1):3-15.
6. Kelly JO, Kilbreath SL, Davis GM, Zeman B, Raymond J. Cardiorespiratory fitness and walking ability in subacute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil.* déc 2003;84(12):1780-5.
7. Ramas J, Courbon A, Fayolle-Minon I, Calmels P. [Training programs in stroke patients: literature review]. *Ann Readapt Med Phys.* janv 2007;50(1):28-41.
8. Gordon NF, Gulanick M, Costa F, Fletcher G, Franklin BA, Roth EJ, et al. Physical activity and exercise recommendations for stroke survivors. *Circulation.* 27 avr 2004;109(16):2031-41.

9. Crozier J, Roig M, Eng JJ, MacKay-Lyons M, Fung J, Ploughman M, *et al.* High-Intensity Interval Training After Stroke: An Opportunity to Promote Functional Recovery, Cardiovascular Health, and Neuroplasticity. *Neurorehabil Neural Repair.* 2018;32(6-7):543-56.
10. Boyne P, Welge J, Kissela B, Dunning K. Factors Influencing the Efficacy of Aerobic Exercise for Improving Fitness and Walking Capacity After Stroke: A Meta-Analysis With Meta-Regression. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(3):581-95.
11. Ivey FM, Stookey AD, Hafer-Macko CE, Ryan AS, Macko RF. Higher Treadmill Training Intensity to Address Functional Aerobic Impairment after Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis Off J Natl Stroke Assoc.* nov 2015;24(11):2539-46.
12. Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Geny B, *et al.* Improvement of VO<sub>2</sub>max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol.* oct 2007;101(3):377-83.
13. Pang, Eng JJ, Dawson AS, Gylfadóttir S. 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.* *Clin Rehabil.* 1 févr 2006;20(2):97-111.
14. Boyne P, Dunning K, Carl D, Gerson M, Khoury J, Rockwell B, *et al.* High-Intensity Interval Training and Moderate-Intensity Continuous Training in Ambulatory Chronic Stroke: Feasibility Study. *Phys Ther.* oct 2016;96(10):1533-44.
15. Bohannon RW, Andrews AW. Correlation of knee extensor muscle torque and spasticity with gait speed in patients with stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* avr 1990;71(5):330-3.
16. Nakamura R, Hosokawa T, Tsuji I. Relationship of muscle strength for knee extension to walking capacity in patients with spastic hemiparesis. *Tohoku J Exp Med.* mars 1985;145(3):335-40.
17. Dorsch S, Ada L, Canning CG, Al-Zharani M, Dean C. The strength of the ankle dorsiflexors has a significant contribution to walking speed in people who can walk independently after stroke: an observational study. *Arch Phys Med Rehabil.* juin 2012;93(6):1072-6.
18. Jin H, Jiang Y, Wei Q, Wang B, Ma G. Intensive aerobic cycling training with lower limb weights in Chinese patients with chronic stroke: discordance between improved cardiovascular fitness and walking ability. *Disabil Rehabil.* 2012;34(19):1665-71.
19. Marzolini S, Brooks D, Oh P, Jagroop D, MacIntosh BJ, Anderson ND, *et al.* Aerobic With Resistance Training or Aerobic Training Alone Poststroke: A Secondary Analysis From a Randomized Clinical Trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2018;32(3):209-22.
20. Janssen TW, Beltman JM, Elich P, Koppe PA, Konijnenbelt H, de Haan A, *et al.* Effects of electric stimulation-assisted cycling training in people with chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* mars 2008;89(3):463-9.
21. Calmels P, Roche F, Fayolle-Minon I, Giraud P, Condemine A, Le Quang B, *et al.* Commission d'éthique de Saint-Etienne (France). (Numéro 2001/29).
22. Haute Autorité de Santé. Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte [Internet]. 2012 [cité 21 févr 2019]. Disponible sur: [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-11/111rp01\\_reco\\_avc\\_methodes\\_de\\_reeducation.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-11/111rp01_reco_avc_methodes_de_reeducation.pdf)
23. A T, Km S, Sg T, We M, D B. Maximal exercise test results in subacute stroke [Internet]. Vol. 87, Archives of physical medicine and rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil;* 2006 [cité 3 août 2020]. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16876556/>
24. Astrand PO RK. Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise. 3rd Edition. New York: McGraw-Hill Publisher; 1986.
25. Calmels PM, Nellen M, van der Borne I, Jourdin P, Minaire P. Concentric and eccentric isokinetic assessment of flexor-extensor torque ratios at the hip, knee, and ankle in a sample population of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* nov 1997;78(11):1224-30.
26. Bernard P-L, Amato M, Degache F, Edouard P, Ramdani S, Blain H, *et al.* Reproducibility of the time to peak torque and the joint angle at peak torque on knee of young sportsmen on the isokinetic dynamometer. *Ann Phys Rehabil Med.* mai 2012;55(4):241-51.
27. Wade DT. Evaluating outcome in stroke rehabilitation (quality control and clinical audit). *Scand J Rehabil Med Suppl.* 1992;26:97-104.
28. Daniel CR, Battistella LR. Using the six minute walk test to evaluate walking capacity in patients with stroke. *Acta Fisiátrica.* 9 déc 2014;21(4):195-200.
29. Collen FM, Wade DT, Bradshaw CM. Mobility after stroke: reliability of measures of impairment and disability. *Int Disabil Stud.* mars 1990;12(1):6-9.
30. Perera S, Mody SH, Woodman RC, Studenski SA. Meaningful change and responsiveness in common physical performance measures in older adults. *J Am Geriatr Soc.* mai 2006;54(5):743-9.
31. Aguiar LT, Nadeau S, Britto RR, Teixeira-Salmela LF, Martins JC, Faria CDC de M. Effects of aerobic training on physical activity in people with stroke: protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 17 août 2018;19(1):446.
32. Engardt M, Knutsson E, Jonsson M, Sternhag M. Dynamic muscle strength training in stroke patients: effects on knee extension torque, electromyographic activity, and motor function. *Arch Phys Med Rehabil.* mai 1995;76(5):419-25.
33. Kim CM, Eng JJ, MacIntyre DL, Dawson AS. Effects of isokinetic strength training on walking in persons with stroke: a double-blind controlled pilot study. *J Stroke Cerebrovasc Dis Off J Natl Stroke Assoc.* déc 2001;10(6):265-73.
34. Sharp SA, Brouwer BJ. Isokinetic strength training of the hemiparetic knee: effects on function and spasticity. *Arch Phys Med Rehabil.* nov 1997;78(11):1231-6.
35. Weiss A, Suzuki T, Bean J, Fielding RA. High intensity strength training improves strength and functional performance after stroke. *Am J Phys Med Rehabil.* août 2000;79(4):369-76; quiz 391-4.
36. Flansbjerg U-B, Miller M, Downham D, Lexell J. Progressive resistance training after stroke: effects on muscle strength, muscle tone, gait performance and perceived participation. *J Rehabil Med.* janv 2008;40(1):42-8.
37. Flansbjerg U-B, Lexell J, Brogårdh C. Long-term benefits of progressive resistance training in chronic stroke: a 4-year follow-up. *J Rehabil Med.* mars 2012;44(3):218-21.
38. Lund C, Dalgas U, Grønberg TK, Andersen H, Severinsen K, Riemenschneider M, *et al.* Balance and walking performance are improved after resistance and aerobic training in persons with chronic stroke. *Disabil Rehabil.* 2017;40(20):2408-15.
39. Ouellette MM, LeBrasseur NK, Bean JF, Phillips E, Stein J, Frontera WR, *et al.* High-Intensity Resistance Training Improves Muscle Strength, Self-Reported Function, and Disability in Long-Term Stroke Survivors. *Stroke.* 1 juin 2004;35(6):1404-9.
40. Horstman AM, Beltman MJ, Gerrits KH, Koppe P, Janssen TW, Elich P, *et al.* Intrinsic muscle strength and voluntary activation of both lower limbs and functional performance after stroke. *Clin Physiol Funct Imaging.* juill 2008;28(4):251-61.
41. Fassbind M, Yerly P, Nanchen D. Fréquence cardiaque de repos : quelle utilité pour la prévention cardiovasculaire ? *Rev Médicale Suisse.* 2016;12(508):454-9.
42. Severinsen K, Jakobsen JK, Pedersen AR, Overgaard K, Andersen H. Effects of resistance training and aerobic training on ambulation in chronic stroke. *Am J Phys Med Rehabil.* janv 2014;93(1):29-42.
43. Carl DL, Boyne P, Rockwell B, Gerson M, Khoury J, Kissela B, *et al.* Preliminary safety analysis of high-intensity interval training (HIIT) in persons with chronic stroke. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appl Nutr Metab.* mars 2017;42(3):311-8.
44. Wilmore JH, Costill DL, Kenney WL. Physiology of Sport and Exercise. *Human Kinetics;* 2008. 604 p.
45. Grant S, Aitchison T, Pettigrew AR, Orrell JM. The effects of a university fitness programme on health-related variables in previously sedentary males. *Br J Sports Med.* mars 1992;26(1):39-44.
46. Wang C, Redgrave J, Shafizadeh M, Majid A, Kilner K, Ali AN. Aerobic exercise interventions reduce blood pressure in patients after stroke or transient ischaemic attack: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 9 mai 2018;
47. Katz-Leurer M, Carmeli E, Shochina M. The effect of early aerobic training on independence six months post stroke. *Clin Rehabil.* nov 2003;17(7):735-41.
48. Pang, Charlesworth SA, Lau RWK, Chung RCK. Using aerobic exercise to improve health outcomes and quality of life in stroke: evidence-based exercise prescription recommendations. *Cerebrovasc Dis Basel Switz.* 2013;35(1):7-22.
49. Stoller O, de Bruin ED, Knols RH, Hunt KJ. Effects of cardiovascular exercise early after stroke: systematic review and meta-analysis. *BMC Neurol.* 22 juin 2012;12:45.
50. Fujiwara T, Liu M, Chino N. Effect of pedaling exercise on the hemiplegic lower limb. *Am J Phys Med Rehabil.* mai 2003;82(5):357-63.
51. Kautz SA, Duncan PW, Perera S, Neptune RR, Studenski SA. Coordination of hemiparetic locomotion after stroke rehabilitation. *Neurorehabil Neural Repair.* sept 2005;19(3):250-8.