



Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et Réadaptation

Pays de la Loire.

54, rue de la Baugerie - 44230 SAINT- SÉBASTIEN SUR LOIRE

Répercussions de l'entraînement croisé sur les activités du patient post-AVC en phase subaigüe et chronique

Une revue systématique de la littérature

Evane SEIGNOUX

Mémoire UE28

Semestre 10

Année scolaire : 2023-2024

RÉGION DES PAYS DE LA LOIRE



AVERTISSEMENT

Les mémoires, comptes-rendus et autres écrits des étudiants de l'Institut Régional de Formation aux Métiers de la Rééducation et de la Réadaptation sont des travaux réalisés au cours de leur formation.

Ils ne constituent pas nécessairement un modèle. Les opinions exprimées n'engagent que les auteurs. Ces travaux ne peuvent faire l'objet d'une publication, en tout ou partie, sans l'accord des auteurs et de l'IFM3R.

Engagement de Non Plagiat

Je, soussignée, Evane SEIGNOUX, déclare être pleinement consciente que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce mémoire.

Fait à Carquefou

Le 02 mai 2024



Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier vivement mon directeur de mémoire pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son accompagnement global tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Son encadrement m'a été indispensable pour construire les étapes de ce travail.

Un grand merci à toute l'équipe de l'IFM3R, mes professeurs, qui m'ont appris ce beau métier qu'est la kinésithérapie !

Merci à mon copain, pour le temps qu'il a accordé à la relecture de mon mémoire et pour ses conseils pertinents. Merci pour son soutien au quotidien durant ces presque quatre années.

Je remercie vivement ma famille, qui a toujours été d'un grand soutien à tout point de vue, dans ma vie. Merci maman pour la relecture afin de traquer les fautes d'orthographe.

Un grand merci à ma colocataire, ma meilleure amie, qui m'a tant fait rire durant ces années de kiné : cette amitié nous m'a permis de grandir ensemble.

Enfin, j'ai une profonde gratitude envers la Vie qui a placé sur mon chemin de nombreux amis ; ils me régaleront de bonheur ! Pourvu que la route soit longue ...

Résumé

Suite à un accident vasculaire cérébral (AVC), l'atteinte de la commande motrice centrale provoque un syndrome de parésie spastique déformante pouvant altérer la motricité de l'hémicorps du patient, mais également toutes les activités du patient telles que la marche, l'équilibre, la préhension. Malgré une récupération de la commande motrice, une faiblesse musculaire est souvent retrouvée. Au même titre qu'un renforcement musculaire du côté parétique, l'entraînement croisé (renforcement du côté non parétique) commence à montrer sa pertinence clinique pour augmenter la force du côté parétique. Cependant, nous nous sommes demandé si l'entraînement croisé (EC) améliore significativement l'activité des patients hémiplegiques en phase subaigüe/chronique, lorsque le renforcement du côté parétique n'est pas possible.

PubMed, PEDro et ScienceDirect ont été consultés jusqu'à janvier 2024 afin de trouver les essais contrôlés randomisés remplissant les critères d'inclusion de cette revue systématique.

Huit études portant sur 334 participants ont été incluses dans la revue. L'entraînement croisé a eu un effet statistiquement et cliniquement significatif sur les évaluations de la marche dans 3 études sur 4, de l'équilibre dans 1 étude sur 3, de la préhension dans 2 études sur 2 par rapport à la réalisation de physiothérapie neurologique générale seule. Aucune différence statistique n'a été mise en évidence dans toutes les évaluations d'activité lorsque le groupe contrôle réalisait le même renforcement musculaire du côté parétique que l'EC (3 études sur 3).

En revanche, d'autres investigations doivent être menées afin de déterminer avec plus de pertinence l'intérêt de l'EC, notamment sur un potentiel transfert dans la participation du patient post-AVC.

L'EC semble être une option intéressante pour améliorer l'activité à court terme, notamment pour la marche et la préhension, des patients présentant une faiblesse unilatérale sévère, les empêchant de s'entraîner de manière optimale directement du côté parétique.

Mots Clés

- Accident vasculaire cérébral
- Activité
- Entraînement croisé
- Force musculaire
- Parésie spastique déformante

Abstract

Following a stroke, damage to voluntary central motor command results in a syndrome of deforming spastic paresis. This can impair motor control of the patient's own hemisphere as well as all the patient's activities, such as walking, balancing and grasping. Despite recovery of motor command, muscle weakness is often found. In the same way as muscle strengthening on the paretic side, cross-training (i.e. strengthening on the non-paretic side) is starting to show its clinical relevance in increasing strength on the paretic side. However, we asked ourselves whether cross-training can significantly improve activity in hemiplegic patients in the subacute/chronic phase, when strengthening on the paretic side is not possible.

PubMed, PEDro and ScienceDirect were searched up to January 2024 to find randomized controlled trials meeting the inclusion criteria for this systematic review.

Eight studies capturing 334 participants were included in the review. Cross-training had a statistically and clinically significant effect on gait assessments in 3 studies out of 4, balance in 1 study out of 3, prehension in 2 studies out of 2 compared with performing general neurological physiotherapy alone. There was no statistical difference in any of the activity assessments when the control group performed the same muscle strengthening on the paretic side as the cross-training (3 studies out of 3).

However, further investigations need to be carried out to determine the relevance of cross-training, particularly in terms of its potential transfer to post-stroke patient participation.

Cross-training appears to be an interesting option for improving short-term activity, particularly walking and grasping, in patients with severe unilateral weakness, preventing them from training optimally directly on that side.

Keywords

- Activity
- Cross-training
- Deforming spastic paresis
- Muscular strength
- Stroke

Glossaire

- 10MWT : Test de marche de 10 mètres
- 6-MWT : Test de marche de 6 minutes
- APTA : American Physical Therapy Association
- AVC : Accident vasculaire cérébral
- AVQ : Activités de la vie quotidienne
- BBS : Berg Balance Scale
- BBT : Box and Block Test
- CIF : Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé
- CSA : Cross-sectional area
- DGI : Dynamic Gait Index
- DMCI : Différence minimale cliniquement importante
- EC : Entraînement croisé
- ED : Entraînement direct
- ECR : Essai contrôlé randomisé
- FRT : Functional reach test
- GC : Groupe contrôle
- GE : Groupe expérimental
- HAS : Haute Autorité de Santé
- IHI : Inhibition interhémisphérique
- M1 : Aire motrice primaire
- MI : Membres inférieurs
- MS : Membres supérieurs
- NHPT : Nine-Hole Peg Test
- OLST : One-leg stance test
- PNG : Physiothérapie neurologique générale
- PPT : Purdue Pegboard Test
- RM : Renforcement musculaire
- RS : Revue systématique
- TCIM : Thérapie par contrainte induite du mouvement
- TUG : Time up and go test
- UM : Unités motrices
- WMFT : Test modifié de la fonction motrice de Wolf

Sommaire

Introduction	1
Cadre Conceptuel.....	2
I. L’Accident Vasculaire Cérébral (AVC).....	2
II. La physiopathologie de la parésie spastique.....	3
III. Les conséquences fonctionnelles de la parésie spastique	6
IV. Les recommandations de prise en charge de la parésie et des activités du patient AVC ...	7
V. Le renforcement musculaire (RM)	8
VI. L’entraînement croisé (EC).....	13
VII. Problématisation.....	16
Méthodologie.....	18
Résultats	21
I. Présentation générale des ECR.....	21
II. Entraînement croisé et marche	25
A. Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du renforcement musculaire.....	25
B. Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique.....	26
III. Entraînement croisé et équilibre.....	27
A. Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du renforcement musculaire.....	27
B. Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique.....	28
IV. Entraînement croisé et préhension	28
A. Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du renforcement musculaire.....	28
B. Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique.....	29
Discussion	30
I. Interprétation des résultats	30
A. Taille d’effet.....	30
B. Ratio bénéfice/risque.....	37
C. Ratio coût/efficacité.....	37
II. Confrontation à la littérature scientifique sur le sujet	38
III. Limites de la synthèse de la littérature.....	40
IV. Perspectives de recherche et pratique clinique	41
Conclusion.....	42
Bibliographie.....	
Annexes.....	I
Annexe I : Critères d’évaluation Pedro.....	I
Annexe II : Score PEDro détaillé des ECR retenues dans la revue systématique	II
Annexe III : Présentation générale détaillée des études retenues pour la revue systématique	III
Annexe IV : Présentation détaillée des résultats des études incluses dans la revue systématique (partie MI).....	VIII
Annexe V : Présentation détaillée des résultats des études incluses dans la revue systématique (partie MS)	XI

Cet écrit utilise la norme Vancouver

Introduction

L'accident vasculaire cérébral (AVC) est la première cause de handicap acquise dans le monde et ses victimes conservent dans 40 % des cas des séquelles de gravité diverse après un an (1). Cela engendre un coût de plusieurs milliards d'euros chaque année en France pour la collectivité, ne se résumant pas qu'à la prise en charge initiale des patients (2). Une prise en charge efficiente du patient hémiparétique post-AVC de la phase aiguë à chronique constitue donc un enjeu majeur de santé publique.

L'AVC engendre de nombreuses conséquences cliniques en fonction des zones du cerveau lésées et notamment une atteinte de la commande motrice centrale (3).

Selon une étude prospective de Gadidi et al., les limitations d'activité restent très répandues jusqu'à 4 ans après l'AVC, avec 24% de patients limités pour la marche et 29% dans les transferts (4). La restauration de ces limitations fonctionnelles est le véritable enjeu de notre rééducation en tant que kinésithérapeutes afin de ne pas trop impacter la qualité de vie des patients.

Nous devons nous adapter aux différentes phases de l'AVC en utilisant les outils les plus pertinents pour un patient singulier. En effet, la phase subaiguë (de 15 jours à 6 mois) est un moment critique pour la plasticité neuronale, comprenant de nombreuses réorganisations corticales (5). C'est un moment cible pour la récupération des fonctions, notamment motrices (6). La phase chronique, quant à elle, est une période de réadaptation à la vie quotidienne et d'optimisation des fonctions récupérées.

De multiples techniques pour la rééducation de la fonction motrice sont décrites dans les recommandations de bonne pratique comme les exercices de renforcement musculaire (3,5). Cependant, l'entraînement croisé (EC) ou le renforcement volontaire d'un côté du corps afin d'augmenter la force du côté opposé n'en fait pas partie faute de littérature scientifique et donc de preuves.

Dans leur revue systématique de 2023, Smyth et al. mettent en évidence des gains de force et de fonction motrice du membre supérieur après un EC (7). Cependant, nous pouvons nous demander si ce gain de force suite à l'EC se répercute dans les activités du patient. Pour cela, nous verrons d'abord les grandes thématiques définissant notre mémoire, ensuite la méthodologie de notre revue, ses résultats et leur interprétation, et les limites de celle-ci.

Cadre Conceptuel

I. L'Accident Vasculaire Cérébral (AVC)

Selon le consensus d'experts de l'American Heart Association/American Stroke Association, l'infarctus du système nerveux central est défini comme « la mort de cellules du cerveau, attribuable à une ischémie, sur la base de preuves neuropathologiques, neuro-imagerie et/ou cliniques de lésions permanentes [...] L'AVC comprend également l'hémorragie intracérébrale et l'hémorragie sous-arachnoïdienne » (8). En d'autres termes, l'AVC est l'interruption brutale du débit sanguin cérébral, soit par un blocage dans une artère cérébrale (AVC ischémique), soit par la rupture d'une artère cérébrale (AVC hémorragique). Les AVC ischémiques sont les plus fréquents et concernent 80 % des cas contre 20% pour les AVC hémorragiques. L'interruption de la circulation sanguine provoque une lésion cérébrale, à l'origine de la perte soudaine d'une ou de plusieurs fonctions cérébrales (9).

De nombreuses conséquences cliniques peuvent être retrouvées chez la personne ayant eu un AVC, en fonction des zones du cerveau atteintes. Les principaux signes et symptômes sont la parésie et la perte de sensibilité de l'hémicorps contro-latéral à la lésion cérébrale, les troubles du langage (aphasie, dysarthrie, ...), de la vision (hémianopsie, diplopie, ...) et les troubles cognitifs (mémoire, troubles exécutifs, héli-négligence, ...) (3). Cela se répercute sur l'activité et la participation avec des troubles de la préhension, de l'équilibre, de la marche ...

De nombreuses études ont mis en lumière des facteurs de risque d'AVC sur lesquels nous pouvons agir. L'étude mondiale INTERSTROKE nous montre que 10 facteurs de risque sont responsables de 90 % de tous les AVC (10). Parmi ceux-là, nous retrouvons principalement l'hypertension artérielle pour les AVC hémorragiques, et le tabagisme, le diabète, la dyslipidémie et le terrain cardiaque pour les AVC ischémiques. De plus, les AVC dus aux facteurs environnementaux prennent une place de plus en plus importante, comme la pollution ambiante par les particules (11). A l'inverse, l'activité physique régulière est, elle, un facteur protecteur. C'est surtout l'association de ces facteurs qui augmenterait le risque d'AVC.

Cette pathologie fréquente (un AVC toutes les quatre minutes en France) survient à tout âge, bien que la moyenne d'apparition soit de 74 ans (12). L'AVC est la deuxième cause de mortalité en France et son incidence est 1,5 fois plus élevée chez les hommes que chez les

femmes. L'incidence mondiale des AVC est en forte hausse, due à l'augmentation et au vieillissement de la population mondiale, malgré une certaine efficacité des actions de prévention mises en place dans les pays développés. Le nombre de survivants d'AVC a donc, logiquement, lui aussi augmenté de manière significative ces dernières années (il a presque doublé entre 1990 et 2010) (13), faisant de l'AVC la première cause de handicap acquis dans le monde. Ceci est un vrai enjeu de Santé Publique avec des projections épidémiologiques montrant une forte hausse du nombre de survivants d'ici 2030, conservant dans 40 % des cas des séquelles de gravités diverses après 1 an (1).

II. La physiopathologie de la parésie spastique

L'atteinte de la commande motrice centrale lors d'un AVC est responsable d'un syndrome de parésie spastique déformante (14). Cette atteinte du premier motoneurone de la voie corticospinale donne lieu à 3 symptômes principaux liés entre eux : la parésie, la rétraction des tissus mous et l'hyperactivité musculaire (15) que nous allons décrire ci-dessous.

Selon Graciès et al. (2005), la commande motrice volontaire centrale peut être perturbée à différents niveaux lors d'une atteinte du système nerveux central (niveau supérieur, moyen et inférieur). La réalisation d'un mouvement volontaire est un phénomène complexe. Tout d'abord, le niveau supérieur de la commande motrice permet à la fois la représentation mentale et le guidage spatio-temporel du mouvement (zones pariétales postérieures, préfrontale latérale...), ainsi que la motivation à réaliser celui-ci (voies limbiques spécifiques, en particulier le cortex cingulaire antérieur). Ensuite, le niveau moyen (la partie antérieure de l'aire motrice supplémentaire, les ganglions de la base, le cervelet) permet la planification et la préparation du mouvement imaginé au niveau supérieur, dans l'espace et le temps (l'intensité, la durée de chaque contraction musculaire). Enfin, le niveau inférieur, l'aire motrice primaire (M1), permet l'exécution du mouvement. Les axones de ces neurones forment le tractus cortico-spinal, passant dans la capsule interne jusqu'à la synapse au niveau de la corne antérieure de la moelle épinière. Le motoneurone (faisant partie du système nerveux périphérique) se prolonge jusqu'à la jonction neuromusculaire du muscle à contracter. La parésie est due à l'altération du niveau inférieur de la commande motrice volontaire centrale (15).

La parésie ou la « réduction du recrutement volontaire des unités motrices (UM) squelettiques » est l'effet immédiat après la lésion centrale (15). Celle-ci est présente chez

environ 88% des personnes une semaine après avoir subi leur AVC, dans au moins l'un des membres (16). La parésie est associée à une diminution d'UM fonctionnelles dans la moelle épinière, ainsi qu'à une réduction de la fréquence de déclenchement et du taux de décharge moyen et maximal des UM volontaires dans les muscles parétiques. Tout cela mène donc à la réalisation d'un effort intense pour produire un mouvement volontaire et donc à une fatigue centrale. La diminution de la force maximale chez un patient ayant eu un AVC est en grande partie attribuable à la perte de la commande neurale centrale vers l'ensemble de motoneurones agonistes (17).

Plusieurs stratégies compensatoires se mettent en place dans les centres supérieurs afin de compenser ces déficits de la voie corticospinale et contribuer à la récupération motrice du côté parétique. Les principales compensations sont :

- une augmentation de l'activation des régions cérébrales qui ne sont normalement pas impliquées dans l'exécution directe du mouvement (aires motrices supplémentaires et cingulaires, le cortex prémoteur, le cortex pariétal postérieur et inférieur, et le cervelet)
- une activation supplémentaire des zones motrices controlatérales à la lésion (de manière plus générale après un AVC, le cortex controlatéral à la lésion est plus excitable)
- un bourgeonnement collatéral des fibres corticospinales intactes (15)

Rapidement apparaît la conséquence de la parésie : l'immobilisation des muscles en position courte entraîne une réduction de la tension longitudinale des muscles et leur rétraction. Cette myopathie se caractérise notamment par une atrophie musculaire (diminution significative du volume musculaire dès trois semaines), une accumulation de tissu conjonctif et de graisse en intramusculaire (18) et une perte de sarcomères. La longueur de repos des muscles étant réduite, une perte des sarcomères a donc lieu afin que ceux restant se chevauchent de manière optimale pour développer une tension maximale (15). Un changement de type de fibre musculaire est également observé avec une augmentation des fibres rapides et intermédiaires de type IIx et IIa et une diminution des fibres lentes de type I chez des patients ayant subi un AVC (18,19). Ces changements structurels tels que le changement de propriétés musculaires contractiles plus rapide et la rétraction musculaire contribuent à la fatigabilité du patient. En effet, la tension musculaire donnée pour un certain angle est plus importante, et nous savons qu'un muscle se fatigue plus rapidement lorsqu'il se contracte dans une position initialement tendue (15).

Enfin, l'augmentation de la raideur passive (favorisée par l'accumulation de tissus conjonctifs) est responsable d'une facilitation de la transmission des forces de tractions aux fuseaux neuro-musculaires. Elle entraîne donc un renforcement des réflexes d'étirement et le développement progressif de réponses anormales/d'hyperactivité musculaire sensible à l'étirement dans la partie parétique du corps (20).

Des réarrangements supraspinaux et spinaux progressifs (notamment avec une réduction de l'inhibition spinale) ont ensuite lieu au cours des premières semaines, à l'origine de l'apparition de l'hyperactivité musculaire (21). Celle-ci se définit par une augmentation du recrutement involontaire des unités motrices avec des réponses réflexes anormales et souvent excessives à des stimuli, que ce soit dans des situations de repos volontaire complet ou au cours d'actions impliquant normalement d'autres muscles. La capacité du système moteur central à relâcher le muscle lorsqu'il n'est pas impliqué dans un effort volontaire est donc altérée (20).

L'hyperactivité spastique involontaire peut consister en différentes formes. La spasticité stricto sensu n'apparaît qu'à l'étirement musculaire rapide ; la dystonie spastique est présente au repos et la cocontraction spastique est une activation musculaire antagoniste indésirable lors de la réalisation d'une contraction volontaire de l'agoniste (21,22). Cette dernière, lorsqu'elle est présente, est un facteur critique de limitation d'amplitude du mouvement actif (14).

Pour résumer, la parésie spastique déformante comprend deux troubles autour de chaque articulation : un trouble neuronal avec la parésie chez les agonistes et l'hyperactivité spastique chez les antagonistes (limitant le mouvement actif) ; et un trouble des tissus mous : la myopathie spastique, combinant le raccourcissement et la perte d'extensibilité chez les antagonistes (limitant le mouvement actif et passif) (14,21,22). De plus, la spasticité post-AVC a une incidence significativement plus élevée chez les patients ayant subi un AVC et présentant une parésie (23). Ces trois symptômes principaux de la parésie spastique déformante forment un véritable cercle vicieux représenté dans la *Figure 1*.

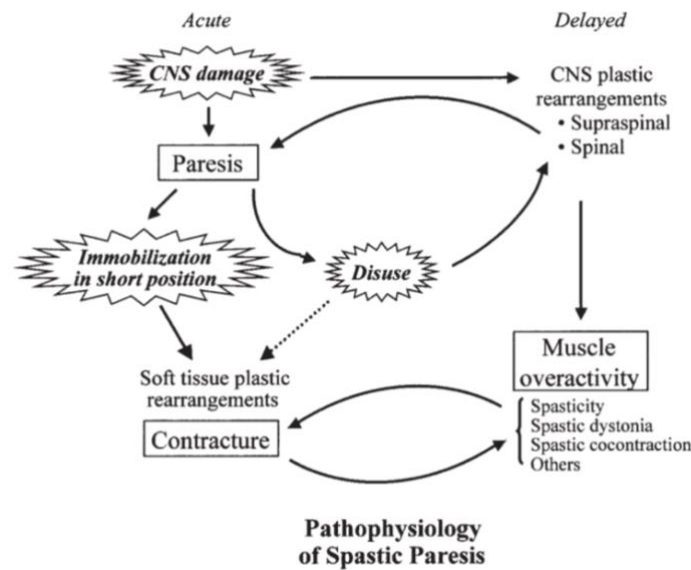


Figure 1 : Les trois mécanismes de déficience motrice après une perturbation de l'exécution centrale de la commande motrice : parésie, contracture des tissus mous et hyperactivité musculaire (20).

Suite à un AVC, les muscles parétiques présentent donc des déficits de force par rapport au côté sain/non parétique, indépendamment du groupe musculaire, du mode de contraction et de la vitesse de contraction (24). Cependant, le côté non parétique présente également des déficits en volume, en force musculaire et même au niveau de la fonction et de la performance du mouvement par rapport aux données de sujets témoins correspondant à la même tranche d'âge (25–27). Cette faiblesse due aux effets centraux de l'immobilisation peut commencer à se développer dès 48 heures après le début de l'AVC (15,25), ce qui entraîne un déconditionnement global des patients.

III. Les conséquences fonctionnelles de la parésie spastique

La perte de force musculaire liée à la gravité de la parésie spastique contribue fortement aux limitations d'activité et de participation de la vie quotidienne des patients, influençant ainsi négativement leur qualité de vie (24,28,29). Ces limitations fonctionnelles ne sont cependant pas exclusivement liées à l'atteinte motrice centrale mais également aux troubles de la sensibilité, de la vision, cognitifs... L'un des objectifs principaux de la prise en charge des patients post-AVC est de restaurer leur indépendance dans les activités de la vie quotidienne (3).

Selon le modèle de la Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF), l'activité signifie « l'exécution d'une tâche ou d'une action par une

personne » et se différencie de la participation qui concerne les situations de vie réelle (30). L'activité d'un patient se réfère à ses capacités, c'est-à-dire à ce qu'il peut faire, dans un environnement standard.

Les limitations d'activité peuvent toucher de nombreux domaines. Pour les patients atteints de parésie spastique suite à un AVC, on retrouve notamment des difficultés motrices dans la réalisation de la marche, de l'équilibre, des transferts et de l'utilisation des membres supérieurs (MS) pour des tâches générales ou pour de la motricité fine (30).

En effet, l'altération de l'équilibre est présente pour 48,1% des patients post-AVC (31). Cela est dû en partie à l'asymétrie entre le côté hémiparétique et le côté sain, augmentant ainsi le risque de chute. De plus, cette asymétrie peut entraîner des schémas anormaux de la marche, limitant d'autant plus les performances de marche (32). Nous retrouvons souvent une diminution de la vitesse, de la cadence, de la longueur de la foulée et de la période d'appui sur le membre parétique, ainsi qu'une augmentation de la période de double appui. Des compensations dynamiques sont également souvent présentes, comme par exemple une élévation du bassin parétique (33). Enfin, les limitations dans la dextérité des MS chez les patients post-AVC sont fréquentes. Selon une étude de cohorte de Kong et al. portant sur 100 patients, seulement 31,6% ont retrouvé la dextérité des MS un an après l'AVC (34). Il existe donc un véritable enjeu pour la qualité de vie de ces patients dans la récupération des fonctions motrices du MS parétique en kinésithérapie.

IV. Les recommandations de prise en charge de la parésie et des activités du patient AVC

Les principes de base de récupération motrice et fonctionnelle chez le patient ayant eu un AVC sont la répétition, l'intensité et la tâche orientée (c'est-à-dire ayant un objectif fonctionnel) des exercices (3,35).

Les recommandations de bonne pratique de l'American Physical Therapy Association (APTA) de 2016 et de la Haute Autorité de Santé (HAS) en 2012, nous décrivent de multiples techniques kinésithérapiques pour la rééducation de la fonction motrice pour les patients hémiparétiques post-AVC. Parmi celles-ci, nous retrouvons pour le membre inférieur (MI) et principalement pour la marche : la rééducation tâche orientée pour la marche, l'utilisation d'une orthèse plantaire, l'entraînement à la marche (sur sol ou sur tapis roulant), l'intégration d'exercices

cardiovasculaires et de **renforcement** musculaire, la thérapie de groupe avec entraînement en circuit, l'entraînement au mouvement assisté par robot (3,5).

Quant au MS, nous retrouvons l'entraînement spécifique à la tâche, la méthode de contrainte induite du membre supérieur, la thérapie robotique, la pratique mentale et les **exercices de renforcement** comme un complément (3,5), ainsi que la thérapie miroir (36). De plus, l'entraînement bilatéral simultané, consistant à effectuer des activités identiques avec les deux bras simultanément, peut être utile pour le MS mais il existe peu d'études de qualité (37).

V. Le renforcement musculaire (RM)

L'entraînement contre résistance ou le RM peut être défini par « des contractions musculaires volontaires répétées contre une résistance supérieure à celle normalement rencontrée dans les activités de la vie quotidienne, afin d'améliorer une ou plusieurs composantes de la condition physique » (38).

Le principe de renforcement musculaire (RM) est un processus complexe mettant en jeu de nombreux médiateurs et mécanismes, avec des adaptations à la fois nerveuse et structurelle, physiologique au niveau du tissu musculaire.

L'augmentation initiale de la force musculaire lors de l'entraînement contre résistance est principalement due aux adaptations neurales (*Figure 3*). Celles-ci ont lieu dans les 2-4 premières semaines d'un entraînement musculaire chronique (39,40). L'observation d'adaptations neuronales explique notamment l'augmentation disproportionnée de la force musculaire par rapport à la taille du muscle durant les premiers stades de l'entraînement (41).

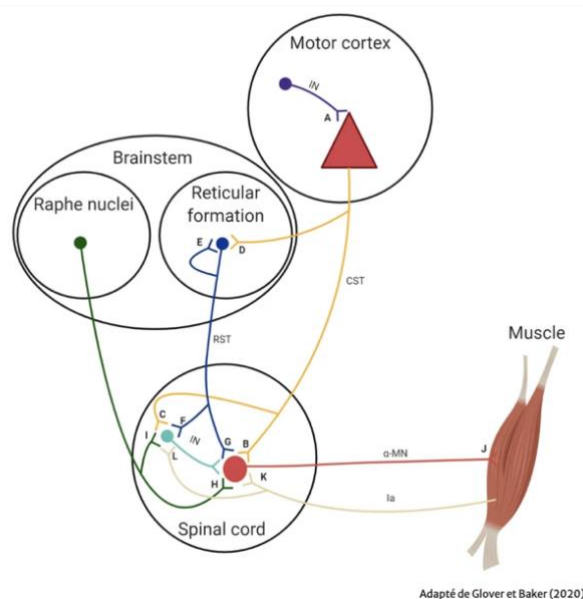
L'entraînement contre résistance induit initialement une plasticité au niveau du cortex moteur, de la moelle épinière et des changements dans l'activation des UM (42) (*Figure 2*).

L'un des premiers mécanismes de cet entraînement serait donc l'augmentation de l'activation des motoneurons du muscle entraîné. Cela correspond à une augmentation du recrutement et du taux d'allumage des unités motrices, une diminution du seuil de recrutement des UM, une augmentation du taux de décharge de l'UM et une augmentation de la synchronisation des UM (39,40,43).

En amont des changements de l'activité de l'unité motrice, plusieurs sites de l'adaptation neuronale sont proposés dans la littérature (40).

L'un de ces sites est le cortex moteur primaire avec des modifications dans le niveau d'excitation et d'inhibition dans les circuits moteurs. En effet, on retrouve dans l'entraînement contre résistance une augmentation de l'excitabilité cortico-spinale, une diminution de l'inhibition intra-corticale et cortico-spinale dans les voies motrices descendantes (42,44).

Les adaptations corticales et sous-corticales au RM augmentent donc l'activation des motoneurones et des UM, contribuant ainsi à l'augmentation de la force musculaire liée à l'entraînement (42).



Adapté de Glover et Baker (2020)

Figure 2 : Sites possibles d'adaptation neuronale à l'entraînement en résistance (interneurones inhibiteurs intracorticaux (IN ; A) ; tractus corticospinal (CST) ; unités motrices (J) ; ...) (40)

Les adaptations au renforcement musculaire ont ensuite lieu au niveau structurel des muscles et au niveau physiologique (voir Figure 3).

On retrouve une hypertrophie musculaire, mais également une augmentation de la concentration enzymatique et des adaptations de la composition des protéines contractiles, qui contribuent à l'augmentation de la force observée dans le muscle entraîné (45). Une augmentation significative de la surface transversale musculaire (CSA : « cross-sectional area ») est observable dès 8 à 12 semaines d'entraînement (43,45). L'augmentation de la CSA est le résultat de la biosynthèse (l'anabolisme est supérieur au catabolisme) et de l'accumulation de nouveaux myofilaments contractiles, surtout dans les fibres à contraction rapide de type II (46). La force musculaire est positivement corrélée, entre autres, à la CSA, elle-même déterminée par une augmentation de l'angle de pennation des fibres musculaires (41).

L'augmentation des contractions musculaires pendant un entraînement peut induire l'activation et la prolifération des cellules satellites. Celles-ci sont des cellules quiescentes permettant la régénération musculaire en réponse à des lésions micro-traumatiques ou traumatiques (46). De plus, au niveau vasculaire, la croissance capillaire suit la production des fibres musculaires (46).

Cette adaptation musculaire et notamment cette hypertrophie est due entre autres à la mécanotransduction. En effet, cette tension musculaire induite par l'exercice vient déclencher des stimuli mécaniques qui vont être convertis en stimuli biochimiques régulant le taux de synthèses des protéines. Le stress mécanique induit également la libération de facteurs de croissance (46). De plus, l'exercice de haute intensité et de haut volume peut également augmenter le stress métabolique et ainsi stimuler des voies de synthèse des protéines, augmentant notamment le nombre total de sarcomères (41,46).

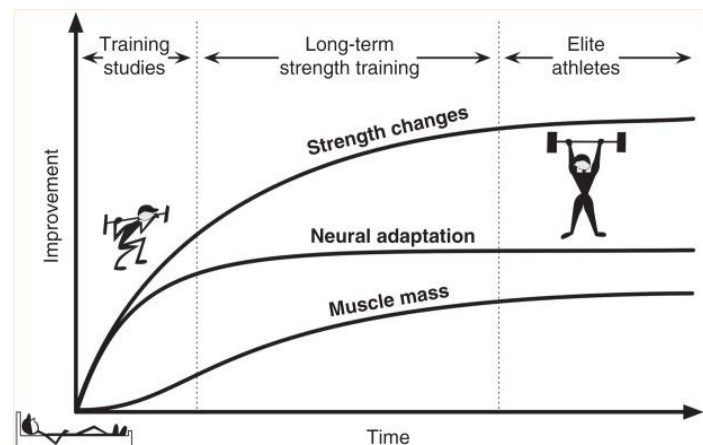


Figure 3 : Modifications de la force, de la masse musculaire et des adaptations neurales dû à l'entraînement contre résistance au fil du temps (47).

La notion de progression dans un programme de renforcement musculaire est très importante pour avancer vers un objectif spécifique au fil du temps. Pour une progression efficace, il est important que celle-ci respecte les principes de surcharge progressive, de spécificité et de variation des modalités d'exercice (48). Le "principe de surcharge progressive" du renforcement musculaire est basé sur le stress physiologique provoqué par les exercices perturbant l'homéostasie cellulaire. Ainsi, les cellules s'adaptent graduellement à ce stress répété en modifiant la structure et la fonction des tissus musculaires afin de s'ajuster aux contraintes mécaniques et métaboliques de l'entraînement contre résistance (46,49).

Nous pouvons agir sur différentes variables de réalisation des exercices et de l'entraînement afin de créer une surcharge progressive :

- La charge de l'exercice (position, résistances externes, ...)

- Le type de contraction (isométrique, concentrique, excentrique, pliométrique)
- L'exécution (vitesse, rythme, amplitude, focus)
- Le nombre total de répétition
- Le nombre de séries / le volume d'entraînement
- Les périodes de repos

Ces variables d'entraînement vont avoir une influence directe sur les adaptations neurales et structurelles chroniques ultérieures (46). Par exemple, les contractions excentriques (les unités musculo-tendineuses s'allongent pendant la contraction) induisent une plus grande tension mécanique sur les fibres musculaires que l'exercice concentrique ou isométrique. Celles-ci sont les stimuli les plus efficaces pour promouvoir une plus grande hypertrophie musculaire, une plus grande activité neuronale et une plus grande production de force (41).

Lors d'un entraînement contre résistance, différentes qualités musculaires peuvent être travaillées telles que la force, la puissance, l'hypertrophie, l'explosivité et l'endurance, en fonction des différentes variables d'entraînement choisies (38).

Le guide de recommandation de l'APTA montre que le renforcement musculaire graduel du côté hémiparétique provoque une augmentation de la force, de la vitesse de marche et des résultats fonctionnels, ainsi qu'une amélioration de la qualité de vie chez les survivants d'AVC (3). L'HAS recommande également le RM pour améliorer la force musculaire à la phase chronique de l'AVC (5). L'entraînement contre résistance a montré de nombreux autres bénéfices, notamment sur la santé mentale avec l'amélioration des capacités cognitives et de l'estime de soi, ... (32,50,51).

Le lien entre renforcement musculaire et activité du patient a plus été abordé pour les MI dans la littérature. Une méta-analyse de 2016 regroupant 355 patients a expérimenté les effets du RM sur la vitesse et l'endurance de marche, la force et l'équilibre des patients post-AVC. Les tests de marche n'ont pas donné de résultats statistiquement significatifs contrairement à la force et le Time up and go test (TUG). Cependant, les groupes contrôles (GC) de cette revue systématique (RS) incluaient de la thérapie active des MI, alors que des différences significatives ont été mises en évidence pour les tests de marche dans d'autres RS lorsque le GC était l'absence de traitement (52). En général, les études relevant des augmentations de la vitesse de marche et de l'équilibre montrent que la fréquence et la durée de l'entraînement contre résistance contribuent fortement à cette augmentation (entraînement musculaire 2 à 3 fois par semaine pendant au moins 6 mois) (32).

De plus, d'autres RS et études ont mis en évidence la corrélation positive modérée de la force de certains groupes musculaires du MI avec la vitesse, l'endurance de marche et l'équilibre (29,31,53). La force de flexion dorsale semble avoir la corrélation la plus significative avec la vitesse de marche et la performance au TUG car elle entraîne une phase d'oscillation efficace du MI parétique (54,55). La force musculaire des MI semble être un prédicteur intéressant pour les capacités de marche et d'équilibre, bien que celle-ci ne soit pas le seul facteur influençant ces capacités (31) et que cette association soit remise en cause dans d'autres études (56).

Il a donc été prouvé que le RM augmente la force chez les patients post-AVC. Cependant, le lien entre RM et activités pour cette population n'est pas unanime. Une RS de 2018 comprenant 11 études et 314 patients a mis en évidence une absence de répercussion de l'augmentation de la force sur l'activité du patient post-AVC, après un RM avec une charge correspondant à 8-12 répétitions maximales au moins 2 jours/semaine (57).

Pour conclure, l'entraînement contre résistance semble donc être un outil intéressant pour lutter contre les symptômes de la parésie spastique déformante dans le cadre d'un AVC. En effet, nous avons vu précédemment que le RM favorise une plasticité au niveau du cortex moteur et notamment de M1 qui est la partie du cortex responsable de la parésie. De plus, le RM permet l'augmentation de l'excitabilité cortico-spinale et la diminution de l'inhibition intracorticale, favorisant l'activation des motoneurons fonctionnels. Tout cela augmente le recrutement volontaire des unités motrices, contribuant à lutter contre la diminution de synchronisation et du nombre d'UM engendré par la parésie.

Les constituants de la myopathie spastique déformante tels que la raideur, l'atrophie, la perte de sarcomères, et donc de la force musculaire sont réversibles à partir du moment où l'on lève la non-utilisation en utilisant activement le membre parétique (14). Le RM permet également de lutter contre la myopathie spastique en induisant des adaptations structurelles telles que l'hypertrophie musculaire, les adaptations de la composition des protéines contractiles, ... Enfin, le RM ne diminue pas mais n'augmente pas les hyperactivités musculaires, qui peuvent être un frein au mouvement (5,58).

Cependant, le RM fonctionne notamment parce qu'il y a un stress métabolique au niveau du muscle, ce qui ne peut arriver si le muscle est trop faible pour se contracter, pour réaliser un mouvement actif dans une certaine amplitude, d'où notre intérêt pour l'entraînement croisé.

VI. L'entraînement croisé (EC)

L'entraînement croisé ou éducation croisée est le fait de renforcer volontairement un côté du corps afin d'augmenter la force musculaire et/ou l'habileté motrice du côté opposé non entraîné (59,60). Cet effet est généralement mesuré dans des muscles homologues et il semble plus important lorsqu'il est réalisé sur le membre dominant (61).

On retrouve ce type de rééducation au début de prise en charge orthopédique ou post-chirurgicale afin de limiter la perte de fonction motrice du membre impotent (62). Mais on trouve également dans la littérature son intérêt potentiel pour les pathologies neurologiques centrales unilatérales ainsi que pour des pathologies rhumatismales (7,63).

Les mécanismes sous-jacents de l'entraînement croisé ne sont pas clairement compris à ce jour. Le transfert de force dans l'entraînement croisé serait dû à des adaptations neuronales et non structurelles musculaires (64,65). En effet, aucun changement histologique n'est retrouvé au niveau musculaire (pas d'hypertrophie, de modification des concentrations d'enzymes musculaires, de modification de la composition des protéines contractiles) ni même au niveau vasculaire (60). Cependant, les méthodes utilisées manquent de sensibilité pour détecter les adaptations des petits muscles, ce qui ne nous permet pas d'exclure totalement cette piste. D'autant plus qu'une préservation de la taille du muscle homologue a été observée à court terme lors de l'EC (66).

Plusieurs modèles et mécanismes concernant le système nerveux tentent d'expliquer ce phénomène. Ceux-ci sont distincts mais ne s'excluent pas nécessairement.

Tout d'abord, une des explications possibles est le débordement de l'activité corticomotrice facilitatrice de l'hémisphère entraîné vers l'hémisphère non entraîné via les voies interhémisphériques (60,67,68) ((1) *Figure 4*). Cette théorie est nommée « l'activation croisée » et soutient que le cortex moteur primaire (M1) des deux hémisphères interagit pendant l'entraînement chronique unilatéral par l'intermédiaire des voies du corps calleux (64,69). Selon Calvert et al (2022), les projections transcallosales et thalamocorticales sont les médiateurs potentiels de l'EC les plus probants (70). Nous retrouvons plus précisément dans le M1 lésé, ipsilatéral au membre d'entraînement, une augmentation de l'excitabilité corticospinale, une diminution de l'inhibition corticospinale (diminution de l'excitabilité des interneurons inhibiteurs GABAergiques) ainsi qu'une réduction de l'inhibition interhémisphérique (IHI) du

cortex non lésé (71). L'IHI est un mécanisme neurologique par lequel un hémisphère inhibe l'hémisphère opposé via le corps calleux en excitant des circuits inhibiteurs locaux dans le M1 cible (71). Pour les patients en post-AVC, l'exercice musculaire à haute intensité du côté le moins affecté peut donc favoriser la plasticité corticale ipsilésionnelle, accroissant ainsi l'efficacité de la commande motrice afin de favoriser la récupération motrice du membre parétique (72). Cependant, le manque de preuve et les autres données de la littérature nous montrent que le M1 ipsilatéral au membre d'entraînement ne peut pas être le seul médiateur de l'EC (70).

Des adaptations lors de l'EC ont également été rapportées dans des régions motrices non primaires. En effet, les projections interhémisphériques transcallosales sont les plus importantes dans ces régions du cortex telles que le cortex prémoteur dorsal et l'aire motrice supplémentaire (70). Ces régions motrices non primaires sont impliquées notamment dans l'apprentissage moteur et dans la planification des mouvements, et pourraient expliquer en partie les gains de force propres au phénomène d'EC (68).

Une seconde théorie nommée « l'accès bilatéral » (60) propose que l'entraînement répété unilatéral donne lieu à l'élaboration d'"engrammes moteurs" stockés dans le système nerveux central, auxquels les circuits des deux hémisphères moteurs cérébraux peuvent accéder (68,70). Ces engrammes moteurs sont la trace biologique de la mémoire des mouvements, stockés et programmés pour être reproduits par le système moteur.

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle a révélé une activation bilatérale du tractus corticospinal lors de contractions unilatérales (73). Dans le cadre de séquelles d'AVC, l'entraînement croisé peut donc également s'expliquer par l'utilisation accrue des voies ipsilatérales conservées de l'hémisphère non lésionnel vers le membre parétique (74) ((2) Figure 4). En effet, environ 10% des fibres corticospinales vont rester du côté homolatéral et ne vont pas décrosser dans la moelle épinière.

Un autre mécanisme possible pour l'entraînement croisé serait l'activation des circuits spinaux vers le membre non entraîné (67) ((3) Figure 4).

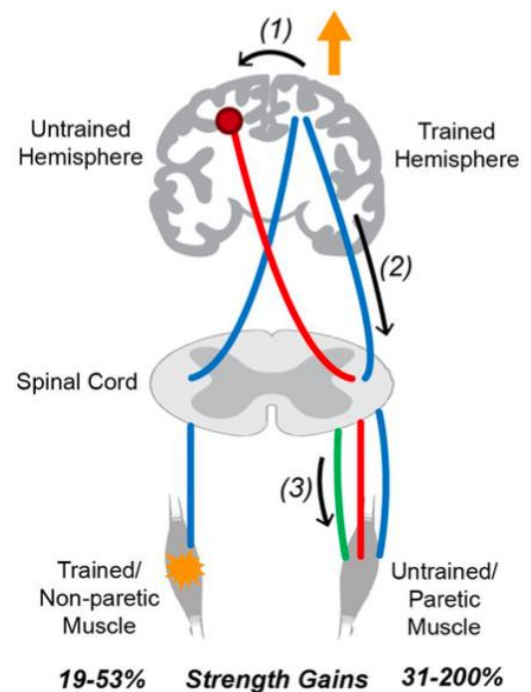


Figure 4 : Mécanismes potentiels de l'effet de l'EC dans l'AVC (67)

Selon une méta-analyse de 2018 regroupant 96 études, nous constatons que l'entraînement croisé a permis un gain de force de 15 à 18 % au membre opposé chez des adultes sains à la suite d'un renforcement musculaire du côté homolatéral (64). Ce transfert d'un membre à l'autre représente 52 % de la force acquise du côté entraîné (60). Il semble que les séances d'entraînement croisé comportant 3-5 séries excentriques rapides de 8-15 répétitions et des intervalles de repos modéré (1 à 2 minutes) inclus dans un protocole d'au moins 4 à 6 semaines, sont les modalités de volume d'entraînement permettant d'optimiser le transfert de force (59,75). En effet, les contractions excentriques de haute intensité sont les variables d'entraînement les plus efficaces pour augmenter l'excitabilité du M1 (76). Des stratégies maximisant le transfert de force de l'EC ont été identifiées telles que l'entraînement à haute intensité (77) (environ 75 % de la contraction maximale volontaire (72)), les contractions excentriques (78) (produisant un effet d'EC de 77% contre 30% pour les contractions concentriques) et l'utilisation de la thérapie miroir (59).

En 2016, Ehrensberger et al. (79) ont réalisé une revue systématique sur l'EC sur les fonctions motrices du patient post-AVC comprenant seulement deux essais contrôlés randomisés (ECR). Les résultats étaient encourageants malgré un risque de biais assez élevé.

Selon une revue de la portée récente (à mi-chemin entre les revues narratives et les revues systématiques), pour le membre non entraîné/parétique, un effet significatif de l'EC sur le gain de force a été rapporté dans cinq études sur sept, allant de 31 à 200 % (67). Cependant, ces résultats peuvent être remis en cause au vu de la qualité méthodologique des articles sélectionnés : seulement 4 ont un score de Pedro égal ou supérieur à 6.

Enfin en 2023, Smyth et al ont publié une revue systématique de 5 ECR portant sur 226 patients ayant subi un AVC (7). Cette étude récente a confirmé les effets bénéfiques de l'EC sur la force et la fonction motrice du membre supérieur. En effet, d'après la méta-analyse de 3 ECR, l'EC a un effet statistiquement et cliniquement significatif sur la force et la fonction motrice du MS chez les patients post-AVC, par rapport aux groupes contrôles pratiquant de la physiothérapie neurologique générale (PNG) seulement. Malgré les résultats encourageants de cette RS, ces résultats sont à prendre avec prudence au vu du petit nombre d'études et des preuves évaluées comme étant de "faible" qualité (7).

Cependant, il y a un manque dans la littérature quant à l'effet thérapeutique de l'EC sur les activités du patient post-AVC comme la marche, l'équilibre et la préhension.

Pour résumer, au vu de la littérature, nous pouvons supposer que l'EC, permettant un gain de force du côté non entraîné par différents mécanismes supposés, peut être intéressant pour améliorer les capacités fonctionnelles, les activités du patient hémiparétique.

En effet, les adaptations neuronales dues à l'EC telles que l'augmentation de l'excitabilité corticospinale et la diminution de l'IHI de M1, l'activation des régions motrices non primaires et la stimulation des fibres corticospinales non décussées du côté controlatéral participent à contrer la parésie en accentuant les stratégies compensatoires déjà mises en place naturellement. Néanmoins, l'EC ne crée pas d'adaptation structurelle au niveau musculaire. Or nous savons qu'une partie de la faiblesse musculaire dans cette pathologie est liée à une désadaptation des propriétés musculaires intrinsèques, telle que l'atrophie (28). Cependant, Nozoe et al. (2024) ont mis en évidence que la faiblesse musculaire est un indicateur pronostic ayant une plus forte association avec les résultats fonctionnels du patient que la sarcopénie et la perte de masse musculaire trois mois après l'AVC (80).

Enfin, nous avons vu que les patients post-AVC avaient également une faiblesse musculaire du côté non parétique par rapport à une population saine. Un RM de ce côté-là permet une augmentation de la force musculaire du côté non parétique, lui-même étant un facteur prédictif indépendant pour le gain fonctionnel à court terme (81).

VII. Problématisation

La mise en place du renforcement musculaire du membre parétique est conseillée dans la rééducation du patient post-AVC afin de diminuer le déficit musculaire (5). Les recommandations de bonnes pratiques montrent qu'il ne faut pas se limiter à une seule approche pour récupérer la fonction motrice, mais plutôt combiner les techniques de rééducation (3,5). Nous avons vu précédemment que l'entraînement bilatéral simultané des MS est étudié et comparé dans la littérature afin de démontrer son efficacité (37). Cependant, par manque de littérature et donc de preuves scientifiques, l'entraînement croisé ne fait pas partie de ces recommandations datant de 2016. En effet, la moitié des articles retrouvés sur PubMed concernant ce type de renforcement a été publiée durant les dix dernières années, ce qui montre l'intérêt récent et en plein essor de ce domaine.

Nous avons pu observer que l'entraînement croisé semble améliorer la force ainsi que la fonction motrice du côté parétique (7). Cependant, comme nous l'avons montré plus haut,

l'amélioration de la force ne se traduit pas systématiquement par un transfert dans les activités (57). Il est donc intéressant de nous demander si « **l'entraînement croisé permet d'améliorer significativement l'activité des patients hémiplegiques en phase subaigüe/chronique** ? L'augmentation de la force se répercute-t-elle sur l'activité du patient ? ».

En effet, l'intérêt clinique de l'EC plutôt que du RM du côté parétique serait pertinent dans le cas d'un patient ayant une faiblesse musculaire importante, d'une douleur non supportable à la mobilisation active et/ou d'une fatigue musculaire élevée limitant la durée de l'entraînement.

Dans cette revue systématique, nous nous intéressons donc aux effets de l'EC sur les activités du MI et du MS telles que la marche, l'équilibre, la préhension, ... car ce sont ces données qui nous manquent actuellement dans la littérature et que cela reflète mieux les capacités du patient en situation de vie quotidienne.

Notre principale hypothèse est que le gain de force musculaire sur le membre parétique lors de l'EC se transfère dans les activités du patient, lorsque les patients n'ont pas beaucoup d'hyperactivité spastique (type co-contraction spastique) ou d'autres troubles associés.

L'hypothèse secondaire est que l'EC est moins efficace pour améliorer les activités du patient post-AVC par rapport à la réalisation de RM directement du côté parétique, lorsque cela est faisable.

Méthodologie

Afin de répondre à cette question de recherche, une revue de la littérature a été réalisée en se basant sur les lignes directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (82). Ce choix méthodologique repose d'une part sur le fait que cette méthodologie n'a pas été faite pour cette problématique et d'autres parts, sur la difficulté d'isoler l'effet seul de l'entraînement croisé dans la clinique (par exemple pour interroger des patients sur leurs activités depuis qu'ils ont fait de l'EC).

Trois bases de données scientifiques ont été explorées de Janvier 2023 à Janvier 2024 : PubMed qui est la référence concernant la recherche biomédicale, Science Direct, ainsi que PEDro, plus spécifique à la rééducation et à la kinésithérapie.

Afin de définir les mots-clés du cadre de la recherche, le modèle PICO a été utilisé.

Modèle PICO :

Population : Patient hémiplegique en phase subaigüe/chronique d'un AVC

Intervention : Renforcement musculaire du coté non parétique (Entraînement croisé)

Comparateur : Physiothérapie neurologique générale (Intervention classique kinésithérapique) comprenant du renforcement musculaire du côté pathologique

Outcome : Échelle d'activité (MI : Time up and go Test, Test des 10m de marche, Berg Balance Scale, ... ; MS : Box and block test, ...)

Type de question : Évaluative

Figure 5 : Modèle PICO définissant notre cadre de recherche

Les critères d'inclusion de notre étude sont ceux explicités dans le modèle PICO (Figure 5). Les patients ayant une autre pathologie neurologique centrale en sont donc exclus et l'intervention testée est l'EC seul, non associé à une autre technique/traitement. De plus, les publications doivent être rédigées en français ou en anglais, et le schéma de l'étude doit être un essai contrôlé randomisé, ayant une qualité méthodologique \geq 4 sur l'échelle de PEDro (83).

Par conséquent, les critères d'exclusion sont donc les articles ne rentrant pas dans les critères PICO comme par exemple les critères d'évaluation portant sur la participation et la fonction des membres, les articles comparant le renforcement bilatéral simultané versus le renforcement unilatéral du membre parétique, ... Ainsi que les textes n'étant pas rédigés en français ou en anglais, et ne correspondant pas à un ECR ayant un score de PEDro \geq à 4. Notre mémoire appartenant au domaine de l'intervention, le choix de ne sélectionner que des ECR nous a paru pertinent afin d'avoir un plus haut niveau de preuve scientifique (84).

Afin d'éviter le silence documentaire, nous sommes allés chercher les MeshTerms des mots clés afin de trouver une multitude de synonymes pour notre équation de recherche (*Tableau I*). Seules la population et l'intervention ont été citées dans l'équation de recherche, toujours dans un objectif de réduction du silence documentaire.

Tableau I : Équations de recherche en fonction des différentes bases de données.

Moteur de recherche	Équation de recherche	Filtre appliqué
PubMed	(« cross education » OR « cross-education » OR « crossed education » OR « cross training » OR « cross-training » OR « cross transfer » OR « cross-transfer » OR « interlimb transfer » OR « inter limb transfer » OR « inter-limb transfer » OR « strength transfer » OR « strength-transfer » OR « skill transfer » OR « skill-transfer » OR « intermanual transfer » OR « unilateral training » OR « unilateral strength training » OR « contralateral strength transfer ») AND (« stroke » OR « post-stroke » OR « cerebral infarction » OR « brain attack » OR « brain aneurysm » OR « brain ischemia » OR « brain hemorrhage » OR « apoplexy » OR « brain vascular accident » OR « brain vascular accidents » OR « cerebral stroke » OR « cerebral strokes » OR « cerebrovascular accident » OR « cerebrovascular accidents » OR « cerebrovascular apoplexy » OR « cerebrovascular stroke » OR « cva » OR « vascular accident » OR « vascular accidents » OR « hemiplegia » OR « hemiparesis » OR « hemipareses » OR « pareses » OR « hemiparetic stroke »)	/
Science Direct	(« cross education » OR « cross training » OR « cross transfer » OR « interlimb transfer » OR « strength transfer » OR « unilateral strength training » OR « contralateral strength transfer ») AND (« stroke » OR « hemiplegia »)	Research articles
PEDro	Stroke, cross-training	clinical trial

La première étape d'identification a permis de mettre en évidence un total de 330 articles sur les trois bases de données (*Figure 6*). Après suppression des doublons à l'aide du logiciel

Zotero, 315 articles restaient en lice. L'étape suivante de sélection des articles sur la lecture du titre et du résumé nous a permis de sélectionner 12 articles. 303 articles ont donc été exclus sur la base des critères d'exclusion du modèle PICO. Enfin, après lecture intégrale de chaque article, 8 articles ont été inclus dans la revue systématique. 2 ont été exclus à cause d'un score PEDro inférieur à 4 et 2 du fait de critères de jugement ne relevant pas de l'activité. Les raisons d'inclusion ou d'exclusion des études de l'équation de recherche ont été justifiées individuellement pour chaque étude.

L'échelle PEDro permet d'évaluer la validité interne et les informations statistiques fournies dans les ECR (83). Son score total est sur dix : le premier item n'est pas pris en compte car il est le seul se référant à la validité externe de l'article. Un score PEDro supérieur ou égal à 4 définit généralement une qualité d'essai adéquate (de "moyenne" à "excellente") (85,86).

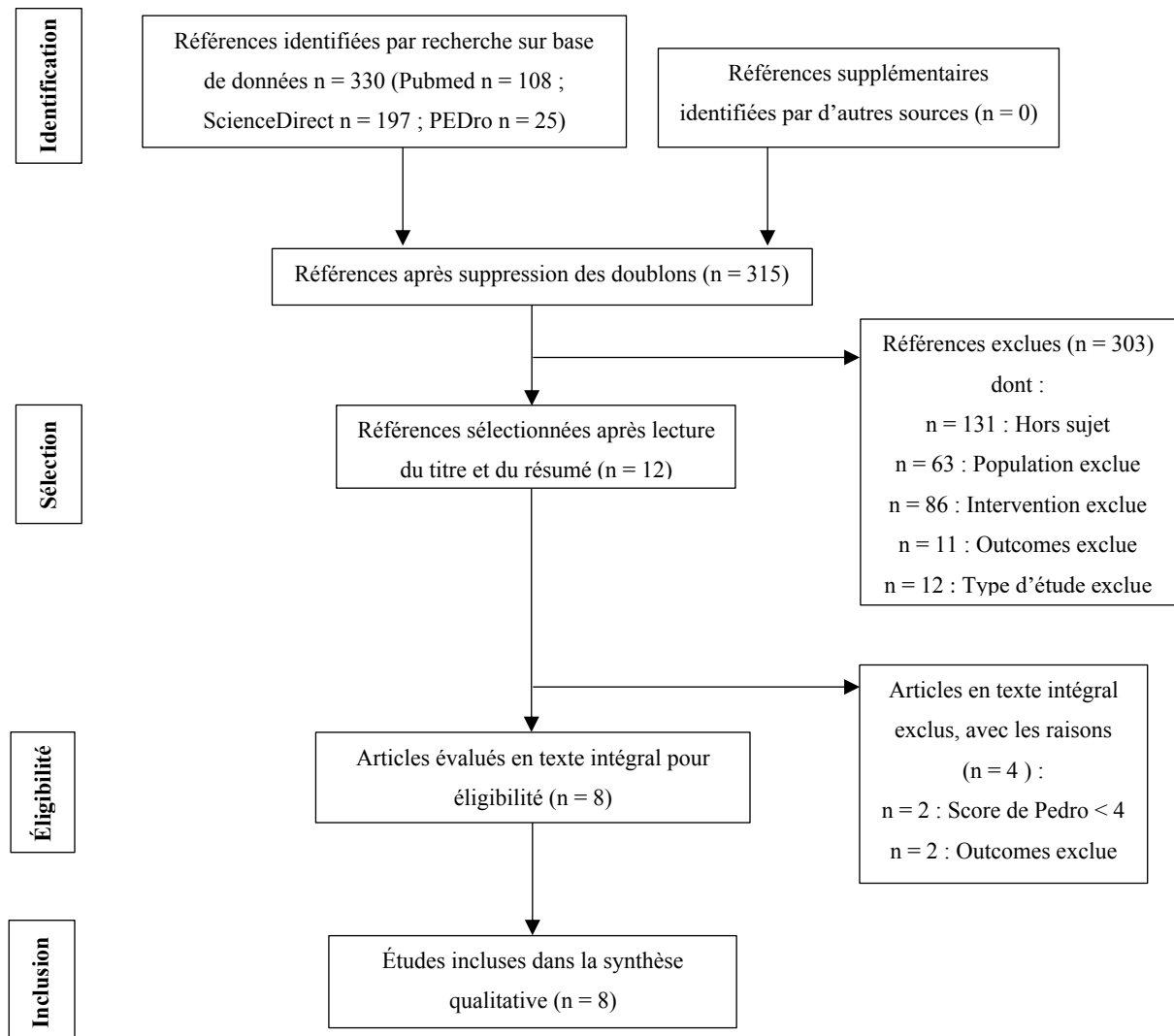


Figure 6 : Diagramme de flux PRISMA pour l'inclusion d'articles dans la revue systématique.

Résultats

I. Présentation générale des ECR

L'ensemble de nos huit études regroupe un total de 334 sujets atteints d'AVC, dont 138 femmes et 196 hommes. 4 études s'intéressent à une population atteinte d'AVC subaiguë (de 15 jours à 6 mois) et 4 aux AVC chroniques (supérieurs à 6 mois). L'âge moyen de la population incluse dans les études s'étend de 51,5 à 72,4 ans. Au niveau de l'état initial des patients, ceux-ci n'ont en général pas de troubles importants de la cognition, de la communication et de la vision. Au niveau moteur, ils peuvent réaliser les entraînements du côté parétique mais avec une fonction dans les activités quotidiennes plus ou moins bonne, et n'ont pas de spasticité excessive. Les interventions ont duré de 1 à 6 semaines ; la moitié des études en comprend 6. La fréquence de l'entraînement varie de 3 à 7 fois par semaine pour une durée comprise entre 20 et 45 minutes. Pour 6 études, les groupes contrôle pratiquent de la physiothérapie neurologique générale, dont du renforcement des membres parétiques. Pour 3 études, les groupes contrôle réalisent un renforcement du côté parétique, similaire au groupe expérimental du côté non parétique. Les parties du corps sollicitées durant l'entraînement croisé concernent le MS pour 3 des ECR et le MI pour 5 (voir détails dans l'*Annexe III*).

Concernant la qualité méthodologique des ECR inclus, celle-ci oscille entre 5 et 8 sur l'échelle PEDro (*Tableau II*) avec une moyenne de 7,4/10 : ce qui correspond à un bon niveau de qualité méthodologique (85). Les deux principaux critères non respectés dans ces ECR sont les sujets et thérapeutes en aveugle (*Annexes I et II*).

Tableau II : Score PEDro des ECR retenues dans la revue systématique.

Étude	Park C et al. (87)	Park SC et al. (88)	Kumagai et al. (89)	Rezaei et al. (90)	Harjpal et al. (91)	Kim et al. (92)	Shao et al. (93)	Kim et al. (94)
Score PEDro	8/10	8/10	8/10	7/10	8/10	8/10	7/10	5/10

Une méta-analyse n'a pas pu être réalisée au vu de l'hétérogénéité des huit ECR sur de nombreux paramètres cités ci-dessous. Tout d'abord, les échelles n'évaluent pas les mêmes critères et il n'y a pas assez d'études qui évaluent le même paramètre. De plus, les interventions réalisées ne sont pas forcément similaires et peuvent diverger notamment sur l'intensité et les

modalités de l'entraînement musculaire du groupe expérimental et contrôle. Enfin, les résultats ne sont pas présentés de la même façon. En effet, on retrouve des tests statistiques différents tel que des tests ANOVA, de Student, de Mann-Whitney U, ... avec des résultats ayant des unités différentes comme des moyennes, des médianes, ...

Les résultats sont disponibles ci-dessous sous forme de moyenne ou de moyenne (écart-type) ou de moyenne [Intervalle de confiance 95%] sauf exceptions qui seront alors précisées (médiane, statistique de test de Mann-Whitney U, coefficient de corrélation r).

Certaines différences intergroupes dans les tableaux ne représentent pas uniquement la différence entre les deux groupes cités car il peut y avoir un ou deux autres groupes compris dans cette différence. Si tel est le cas comme pour les ECR de Rezaei (2023), Kim (2018) et Kim (2015), une phrase l'indiquera dans le texte.

Nous avons calculé les résultats de la différence intergroupe d'Harjpal (2022) car ceux-ci n'étaient pas écrits. L'opération a été réalisée en suivant les recommandations du Cochrane Handbook (95).

Tableau III : Présentation générale synthétique des études retenues pour la revue systématique.

Étude	Type	Échantillon moyenne (écart-type)	Partie du corps solicitée	Groupe expérimental (GE)	Groupe contrôle	Échelle d'évaluation
Park C et al. (87) (2021)	ECR en double aveugle	N = 52 (GC1 n=19 ; GC2 n=15 ; GE n=18) Sexe = 19 femmes / 33 hommes Âge = GC1 : 60,79 (6,75) ; GC2 : 58,07 (7,14) ; GE : 58,11 (7,15) Temps depuis AVC = après 3 mois ; Chronique	Fin d'amplitude de flexion de hanche et de genou	Durée : 4 semaines Fréquence : 2x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour EC	Durée : 4 semaines Fréquence : 2x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour ED	TUG ; 10MWT ; Biofeedback : analyse des limites de stabilité
Park SC et al. (88) (2021)	ECR en simple aveugle	N = 21 (GE n=11 ; GC n=10) Sexe = 9 femmes / 12 hommes Âge = GE : 59,1 (11,2) ; GC : 65,6 (6,7) Temps depuis AVC = après 6 mois ; Chronique	Releveurs du pied	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour EC	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour ED	10MWT ; TUG
Kumagai et al. (89) (2022)	ECR en simple aveugle	N = 24 (GE n=12 ; GC n=12) Sexe = 16 femmes / 8 hommes Âge = GE : 72,4 (17,6) ; GC : 70,3 (12,1) Temps depuis AVC = après 2 mois ; Subaiguë	Main et MS	Durée : 1 semaine Fréquence : 1x /j, 7x /sem pour PNG, ED et EC	Durée : 1 semaine Fréquence : 1x /j, 7x /sem pour PNG et ED	NHPT ; PPT ; BBT
Rezaei et al. (90) (2023)	ECR en simple aveugle	N = 20 (GE n=10 ; GC n=10) (+2 groupes non inclus) Sexe = 8 femmes / 12 hommes Âge = GE : 59,7 (5,65) ; GC : 53,9 (13,06) Temps depuis AVC = entre 1 et 6 mois ; Subaiguë	Main	Durée : 10 séances Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG et EC	Durée : 10 séances Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG	BBT
Harjpal et al. (91) (2022)	ECR en simple aveugle	N = 40 (GE n=20 ; GC n=20) Sexe = 17 femmes / 23 hommes Âge = GE : 51,5 (8,40) ; GC : 51,75 (7,06) Temps depuis AVC = entre 1 sem et 6 mois ; Subaiguë	Fléchisseurs de hanche, abducteurs et extenseurs de hanche,	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 4x /sem pour EC	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG	FRT ; OLST ; 10MWT ; BBS ; DGI

			extenseurs du genou et releveurs de cheville			
Kim et al. (92) (2018)	ECR en double aveugle	N = 30 (GE n=15 ; GC n=15) (+1 groupe non inclus) Sexe = 16 femmes / 14 hommes Âge = GE : 58,44 (9,01) ; GC : 60,41 (5,84) Temps depuis AVC = entre 6 et 12 mois ; Chronique	MS	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG et EC	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG	WMFT
Shao et al. (93) (2023)	ECR en simple aveugle	N = 127 (GE n=63 ; GC n=64) Sexe = 43 femmes / 84 hommes Âge = GE : 64,56 (7,08) ; GC : 65,72 (5,95) Temps depuis AVC = dans les 6 semaines ; Subaiguë	Iliopsoas, quadriceps et biceps brachial	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG et EC	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG	BBS ; 6-MWT
Kim et al. (94) (2015)	ECR en simple aveugle	N = 20 (GE n=10 ; GC n=10) (+1 groupe non inclus) Sexe = 10 femmes / 10 hommes Âge = GE : 58,53 (11,83) ; GC : 61,24 (8,73) Temps depuis AVC = entre 3 et 9 mois ; Chronique	MI	Durée : 3 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG et EC	Durée : 3 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG	Paramètres de la marche à l'aide du système GAITRite/10MWT

EC : Entraînement croisé ; ED : Entraînement direct ; PNG : Physiothérapie neurologique générale ; MBI : modified Barthel index ; MMSE : mini mental state examination ; FMA-UE : Fugl-Meyer Assessment for the upper extremity ; EHI : Edinburgh Handedness Inventory ; NIHSS : National Institute of Health Stroke Scale ; MAS : Modified Ashworth Spasticity scale ; EVA : Echelle visuelle analogique ; 10MWT : Test de marche de 10 mètres ; TUG : Time up and go test ; NHPT : Nine-Hole Peg Test ; BBT : Box and Block Test ; PPT : Purdue Pegboard Test ; FRT : Functional reach test ; OLST : One-leg stance test (Test d'équilibre unipodal) ; BBS : Berg Balance Scale ; DGI : Dynamic Gait Index ; 6-MWT : Test de marche de 6 minutes ; WMFT : Test modifié de la fonction motrice de Wolf.

Physiothérapie neurologique générale comprend des exercices de renforcement musculaire du côté parétique, et peut comprendre des exercices d'étirement, de mobilité, d'équilibre, de marche, de contrôle postural, de facilitation neuromusculaire proprioceptive, d'entraînement spécifique à la tâche (comprenant des techniques pour les activités de la vie quotidienne (AVQ)), d'entraînement aérobie et de stimulation électrique fonctionnelle.

II. Entraînement croisé et marche

Les résultats détaillés des études sont présents dans l'*Annexe IV*. Différentes échelles d'évaluation de la marche ont été retrouvées dans ces études telles que le TUG, le 10MWT, le 6-MWT et des systèmes d'analyse du biofeedback de la marche.

Les résultats ci-dessous sont séparés en fonction du groupe contrôle : d'un côté la physiothérapie neurologique générale (PNG) comprenant du renforcement musculaire global et de l'autre, le RM du côté parétique, similaire à l'entraînement croisé du côté sain.

A. Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du renforcement musculaire

Quatre ECR de notre revue remplissent ces critères (*Tableau IVa*).

Dans l'étude de Park C (87), le GE réalise des séries de répétitions de contraction isométrique en fin d'amplitude de flexion de genou et de hanche en plus de la PNG que réalise seulement le GC1, 3 fois par semaine pendant 4 semaines. Cette ECR ne met pas en évidence de différence significative ($p>0.05$) entre le groupe expérimental (GE) et le GC1, bien que le GE ait une différence statistique intra-groupe significative contrairement au GC1.

Dans son étude, Harjpal et al (91) a fait suivre un protocole d'entraînement en force de différents muscles du MI à l'aide d'une manchette de poids attachée à la cheville. La fréquence de cet entraînement était de 4 fois par semaine pendant 6 semaines. Le 10MWT pour le GE est significativement différent du GC, avec $p<0.01$ pour les trois paramètres de la marche.

Dans l'étude de Shao (93), le GE réalise un entraînement contre résistance du quadriceps, de l'ilio-psoas et du biceps brachial du côté sain, contrairement au GC qui réalise de la PNG. Cet entraînement est réalisé 5 fois par semaine pendant 6 semaines. La différence intergroupe du 6-MWT est statistiquement significative entre le GE et le GC, avec $p<0.01$ en faveur du GE.

L'étude de Kim (94), quant à elle, réalise dans le GE un entraînement croisé progressif axé sur la tâche, tel que le kick ball avec le MI sain sur table de verticalisation, 5 fois par semaine pendant 3 semaines. Les résultats pour le GE du système d'analyse du biofeedback de la marche lors du 10MWT sont statistiquement différents du GC avec $p<0.05$ pour la vitesse, la cadence et la symétrie de la marche et $p<0.01$ pour la longueur de la foulée et la période de double appui. Ces différences intergroupes moyennes des paramètres de la marche comprennent un troisième groupe qui n'a pas été inclus dans la RS. En effet, celui-ci ne comprenait pas de véritable entraînement contre résistance du membre non parétique. Cependant, les p-value cités correspondent bien à l'écart entre le GC et le GE.

Tableau IVa : Présentation des résultats des études ayant comme évaluation des échelles de marche.

Étude	Échantillon/ Phase AVC	Échelle d'évaluation	Différence intergroupe
			moyenne ou moyenne (écart-type) ou moyenne [IC95]
Park C et al. (2021)	N=52 Chronique	TUG (en s)	0,842 p=0.437
		10MWT (en s)	0,597 p=0.544
Harjpal et al. (2022)	N=40 Subaiguë	10MWT (Vitesse de marche (m/sec) ; Longueur de la foulée (cm) ; Cadence (pas/min))	Vitesse de marche : 0,14 (0,02) p=0.0001** Longueur de la foulée : 9,85 (1,27) p=0.0001** Cadence : 14,8 (2,25) p=0.0001**
Shao et al. (2023)	N=127 Subaiguë	6-MWT (en m)	50,32 [40,58-60,05], p<0,001**
Kim et al. (2015)	N=20 Chronique	10MWT avec le système GAITRite (vitesse (en cm/s), cadence (en pas/min), longueur de la foulée du côté affecté (en cm), symétrie de la marche et période de double appui (en % cycle))	Vitesse de marche : 30,05 p=0.03* Cadence : 17,29 p=0.02* Longueur de la foulée : 14,23 p=0.00** Symétrie de la marche : 7,45 p=0.03* Période de double appui : 10,99 p=0.00**

* p<0.05 ; ** p<0.01.

B. Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique

Deux études de notre revue ont comparé l'effet d'un entraînement musculaire croisé versus un entraînement direct sur des tests de marche (*Tableau IVb*). Les ECR de Park C (87) et Park SC (88) ont comme échelle d'évaluation le TUG et le 10MWT.

Dans l'étude de Park C (87), les deux groupes GC2 et GE réalisent des séries de répétitions de contraction isométrique en fin d'amplitude de flexion de genou et de hanche, 3 fois par semaine pendant 4 semaines. Le TUG et le 10MWT à la fin du protocole n'étaient pas significativement différents entre les deux groupes (p>0.05).

L'étude de Park SC consiste en la réalisation d'un entraînement croisé des muscles de la dorsiflexion pour le GE et un entraînement direct pour le GC, comprenant les trois modalités de renforcement (concentrique, isométrique et excentrique), 3 fois par semaine pendant 6 semaines. Aucune différence statistique intergroupe n'a été retrouvée pour les deux échelles à la fin des 6 semaines d'entraînement (p>0.05).

Tableau IVb : Présentation des résultats des études ayant comme évaluation des échelles de marche.

Étude	Échantillon/ Phase AVC	Échelle d'évaluation	Différence intergroupe moyenne sauf exception précisée
Park C et al. (2021)	N=52 Chronique	TUG (en s)	0,842 p=0.437
		10MWT (en s)	0,597 p=0.544
Park SC et al. (2021)	N=21 Chronique	10MWT (en s)	-0,352 p>0.05 (résultat sous forme de médiane)
		TUG (en s)	-0,211 p>0.05 (résultat sous forme de médiane)

III. Entraînement croisé et équilibre

Les résultats détaillés des études sont présents dans l'*Annexe IV*. Le BBS, le FRT, le DGI, l'OLST et les systèmes d'analyse du biofeedback pour la stabilité sont les différentes évaluation retrouvés dans les études pour mesurer l'équilibre des sujets.

A. Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du renforcement musculaire

Trois études ont évalué l'effet de l'entraînement croisé sur l'équilibre des sujets par rapport à de la PNG (*Tableau Va*).

L'étude de Park C (87) n'a pas mis en évidence de différence statistique entre le GC1 et le GE. Cependant, les études de Harjpal (91) et Shao (93) ont toutes les deux obtenu, indépendamment, des différences statistiquement significatives en faveur du GE pour les tests suivants : FRT, BBS, OLST et DGI.

Tableau Va : Présentation des résultats des études ayant comme évaluation des échelles d'équilibre.

Étude	Échantillon/ Phase AVC	Échelle d'évaluation	Différence intergroupe moyenne ou moyenne (écart-type) ou moyenne [IC95]
Park C et al. (2021)	N=52 Chronique	Système d'analyse du biofeedback pour mesurer les limites de la stabilité (en mm ²)	Du côté parétique : 1,681 p=0.197 Du côté sain : 0,395 p=0.676 En avant : 0,530 p=0.592 En arrière : 1,562 p=0.220 Globalement : 0,852 p=0.433
Harjpal et al.	N=40 Subaiguë	FRT (en cm)	2,7 (2,61) p=0.030*
		OLST (en sec)	1,15 (0,66) p=0.0001**
		BBS (/56)	3,2 (6,12) p=0.020*

(2022)		DGI (/24)	1,1 (0,27) p=0.030*
Shao et al. (2023)	N=127 Subaigué	BBS (/56)	6,83 [4,71-8,94], p<0.001**

* p<0.05 ; ** p<0.01.

B. Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique

Dans l'étude de Park C (87), aucune différence significative n'a été retrouvée entre le GC2 faisant de l'entraînement direct sur le membre hémiparétique et le GE, sur les limites de stabilité mesurées par biofeedback (*Tableau Vb*).

Tableau Vb : Présentation des résultats des études ayant comme évaluation des échelles d'équilibre.

Étude	Échantillon/ Phase AVC	Échelle d'évaluation	Différence intergroupe moyenne
Park C et al. (2021)	N=52 Chronique	Système d'analyse du biofeedback pour mesurer les limites de la stabilité (en mm ²)	Du côté parétique : 1,681 p=0.197 Du côté sain : 0,395 p=0.676 En avant : 0,530 p=0.592 En arrière : 1,562 p=0.220 Globalement : 0,852 p=0.433

IV. Entraînement croisé et préhension

Les résultats détaillés des études sont présents dans l'*Annexe V*.

A. Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du renforcement musculaire

Deux études montrent une différence statistique significative sur l'activité du membre supérieur en faveur de l'entraînement croisé (*Tableau VIa*).

Dans l'étude de Rezaei (90), le GE a réalisé pendant 10 séances, 3 fois par semaine, des contractions isométriques à 60-70% de leur force maximale de préhension. Le GE a obtenu une différence significative du GC pour le BBT avec une p-value<0.01. N.B. : la médiane de la différence intergroupe pour le BBT de cette étude est la différence entre quatre groupes. En effet, deux groupes de l'ECR ont été exclus car l'intervention n'est pas de l'EC pour l'un des groupes et l'EC est associé à une autre technique pour l'autre groupe.

Les sujets de l'étude de Kim (92) étaient installés sur une table de verticalisation et le GE a effectué des lancements de balles sur des cibles avec le MS sain en respectant le principe de charge progressive, 3 fois par semaine pendant 6 semaines. Le GE a obtenu des résultats significativement différents du GC pour le WMFT. La p-value citée pour la différence

intergroupe correspond bien à celle entre le GE et le GC malgré le fait que la taille d'effet prenne en compte un troisième groupe. Celui-ci a été exclu de la revue car il ne comprenait pas de véritable entraînement contre résistance du membre sain.

Tableau VIa : Présentation des résultats des études ayant comme évaluation des échelles de dextérité.

Étude	Échantillon/ Phase AVC	Échelle d'évaluation	Différence intergroupe moyenne sauf exception précisée
Rezaei et al. (2023)	N=20 Subaiguë	BBT (nb de blocs)	15,761 p=0.0001** (résultat sous forme de médiane)
Kim et al. (2018)	N=30 Chronique	WMFT (/75)	14,32 p=0.001**

** p<0.01.

B. Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique

L'étude de Kumagai (89) est la seule regroupant ces caractéristiques (Tableau VIb).

Dans cette étude, les participants ont réalisé tous les jours pendant une semaine un entraînement au NHPT. En fin de protocole et une semaine après, les résultats ne montrent pas de différence statistique entre les deux groupes pour le NHPT, le PPT et le BBT.

Tableau VIb : Présentation des résultats des études ayant comme évaluation des échelles de dextérité.

Étude	Échantillon/ Phase AVC	Échelle d'évaluation	Différence intergroupe U, r
Kumagai et al. (2022)	N=24 Subaiguë	NHPT (en s)	1 j après l'entraînement : U = 68,0, p = 0.843, r = 0,05 1 sem après l'entraînement : U = 70,0, p = 0.932, r = 0,02
		PPT (nb de chevilles)	1 j après l'entraînement : U = 62,0, p = 0.590, r = 0,12 1 sem après l'entraînement : U = 62,5, p = 0.590, r = 0,11
		BBT (nb de blocs)	1 j après l'entraînement : U = 73,5, p = 0.932, r = 0,02 1 sem après l'entraînement : U = 83,0, p = 0.551, r = 0,13

U : statistique de test de Mann-Whitney ; r : coefficient de corrélation de rang de Somers

Discussion

I. Interprétation des résultats

A. Taille d'effet

Les tailles d'effet de l'entraînement croisé pour les différents critères d'évaluation de la marche, de l'équilibre et de la préhension ont été déterminées en partant respectivement du *Tableau IVa et IVb*, du *Tableau Va et Vb* et du *Tableau VIa et VIb (ci-dessus)* et des différences minimales cliniquement importantes (DMCI) retrouvées dans la littérature.

a) Entraînement croisé et marche

Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du RM (*Tableau IVa*)

L'ECR de Shao (2023) utilise le **test de marche de 6 minutes** (6-MWT) comme l'un de ses critères de jugement. Ce test présente une fiabilité test-retest élevée lorsqu'il est utilisé pour les personnes victimes d'un AVC (96). Le GE de cet ECR a obtenu de meilleurs résultats que le GC après l'intervention, avec une différence moyenne ajustée de 50,32 mètres [40,58-60,05], $p < 0,001$. Cette taille d'effet est supérieure à la différence clinique minimale de 44 mètres pour ce même test (97). Cela suggère que l'EC est **cliniquement significatif** à court terme pour promouvoir la capacité de marche chez les patients post-AVC.

La fiabilité test-retest du **Time up and go test** (TUG) pour la population post-AVC est très élevée (98). Ce test permet d'évaluer les capacités de marche mais également d'équilibre du patient. La DMCI retrouvée pour cette population dans la littérature pour le TUG est de 3,5 secondes (98,99).

Dans l'étude de Park C (2021), la différence intergroupe pour le TUG de 0,842 seconde est **statistiquement non significative**. Par conséquent, dans cet ECR, l'EC ne met pas en évidence de gain au niveau de la marche et de l'équilibre par rapport à la PNG seule. Toutefois, la différence intragroupe entre le début et la fin des 4 semaines du GC n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$) contrairement à celle du GE ($p < 0,01$).

Le **test de marche de 10 mètres** (10MWT) présente une excellente fiabilité inter-juges, test-retest et une excellente validité écologique pour mesurer différents paramètres de la marche chez les personnes victimes d'un AVC. Ce test est réalisé avec une vitesse de marche confortable pour le patient, reflétant de façon fidèle son ambulation dans le monde réel.

En moyenne, la vitesse de marche chez les patients parétiques post-AVC se situe entre 0,23 et 0,73 m/s, alors qu'elle est de 1,3 m/s chez les personnes en bonne santé (32). Pour juger de l'efficacité des interventions thérapeutiques, il est nécessaire d'interpréter les résultats en fonction de la vitesse de marche initiale de la personne. En effet, les valeurs de la DMCI sont plus importantes lorsque la vitesse de marche initiale est plus élevée (100). La différence minimale cliniquement importante retrouvée pour le 10MWT est de 2,83 sec ou de 0,11-0,15 m/s pour un groupe à vitesse modérée (92)(100).

Dans l'étude de Park C (2021), la différence intergroupe trouvée pour le 10MWT est de 0,597 seconde, $p=0.544$; elle n'est **pas significative statistiquement**. Cependant, la différence intragroupe entre le début et la fin des 4 semaines du GC n'est pas statistiquement significative ($p>0.05$) contrairement à celle du GE ($p<0.05$).

L'étude de Harjpal (2022) a mis en évidence une différence intergroupe significative de 0,14 m/s (0,02), $p=0.0001$. De plus cette différence est supérieure à la DCMI ($>0,11$ m/s) ce qui rend cette différence **cliniquement significative**, d'autant plus que la vitesse initiale des participants était très faible (0,03-0,04 m/s) (100).

L'étude de Kim (2015) a utilisé le système GAITRite pour réaliser le 10MWT à vitesse confortable. La différence intergroupe retrouvée pour la vitesse de marche en cm/s est de 30,05 (soit 0,3 m/s), $p=0.03$. Cette taille d'effet est donc **cliniquement significative** car supérieure à la DCMI de ce test (0,11-0,15 m/s).

Quant à la longueur de la foulée du côté parétique, on retrouve dans la littérature une DCMI de 6,75 cm (101).

L'étude de Harjpal (2022) montre une différence intergroupe statistiquement significative de 9,85 (1,27), $p=0.0001$. Celle-ci est donc **cliniquement significative** car supérieure à 6,75 cm.

L'étude de Kim (2015) quant à elle, montre une différence intergroupe significative pour la longueur de foulée de 14,23 cm, $p=0.00$. Cette taille d'effet est donc également supérieure à la DCMI de ce paramètre de marche et donc **cliniquement pertinente**.

Enfin, un changement minimum détectable de 4,2% du cycle de marche est nécessaire pour mettre en évidence une différence clinique pour la période de double appui (101).

Dans l'étude de Kim (2015) qui étudie la période de double appui, la différence intergroupe retrouvée est de 10,99%, $p=0.00$. Celle-ci est donc bien **cliniquement significative** car supérieure à la DCMI de ce paramètre.

La DCMI de la cadence de pas et de la symétrie de la marche ne sont pas présentes dans la littérature. Cependant, la vitesse de marche est significativement corrélée à la cadence, la longueur de foulée et la période de double appui (102). Une corrélation semble donc présente

entre les différents paramètres de marche. Nous pouvons donc supposer au vu des différences intergroupes statistiquement significatives pour la cadence et la symétrie de la marche, que celles-ci le sont aussi cliniquement dans l'étude de Harjpal (2022) et de Kim (2015).

Trois études sur quatre ont donc mis en évidence, indépendamment l'une de l'autre, une amélioration statistiquement et cliniquement significative des critères d'évaluation de la marche lorsqu'un EC était réalisé en plus de la PNG. De plus, l'étude n'ayant pas mis en évidence de différence intergroupe a toutefois montré une différence intragroupe pour le GE contrairement au GC. Au vu de ces résultats, l'EC semble être une technique pertinente afin d'améliorer à court terme les paramètres de marche (6-MWT, TUG, 10MWT).

Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique (Tableau IVb)

Ces deux études n'ont pas mis en évidence, individuellement, de différences statistiques significatives pour le TUG et le 10MWT.

Dans l'étude de Park C, la différence intergroupe trouvée pour le TUG est de 0,842, $p=0.437$. Cette différence n'est donc **pas statistiquement significative**. La différence intergroupe retrouvée pour le 10MWT est de 0,597, $p=0.544$, ce qui est **non significatif**.

Quant à l'ECR de Park SC, la différence intergroupe pour le TUG est de 0,211, $p>0.05$. Cette différence n'est donc **pas pertinente statistiquement**. De plus, la différence intergroupe pour le 10MWT est de 0,352, $p>0.05$, ce qui n'est **pas significatif**.

Les résultats de ces deux études montrent donc que le RM des muscles parétiques n'est pas différent en termes d'efficacité que l'EC sur le TUG et le 10MWT à court terme. L'efficacité/l'effet positif des entraînements dans ces deux études peut être apprécié par la différence intragroupe statistiquement et cliniquement significative ($p<0.05$ et \geq DCMI) retrouvée dans les GC et GE de ces études (voir Annexe IV).

b) Entraînement croisé et équilibre

Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du RM (Tableau Va)

La fiabilité test-retest ainsi que la réactivité du **Dynamic Gait Index (DGI)** pour l'évaluation de la marche, de l'équilibre et du risque de chute sont très élevées pour la population post-AVC. La différence minimale cliniquement importante pour cette population retrouvée dans la littérature pour le DGI est de 1,9 point (sur 24 points au maximum) (98).

Harjpal et al. dans leur ECR ont trouvé une différence intergroupe de 1,1 (0,27), $p=0.030$. Cette taille d'effet n'est donc **pas assez grande pour être cliniquement significative**.

La fiabilité test-retest du **Berg Balance Scale** (BBS) pour la population post-AVC est très élevée (103). La DMCI estimée pour le BBS est de 5 points (104,105).

Dans l'ECR d'Harjpal et al., la différence intergroupe trouvée est de 3,2 (6,12), $p=0.020$. Cette différence est donc inférieure à la DMCI du BBS et cette différence statistique n'est donc **pas transférable à la clinique**.

Dans l'étude de Shao et al., la différence intergroupe est de 6,83 [4,71-8,94], $p<0.001$. L'EC dans le GE a donc un effet **cliniquement significatif** à court terme sur le BBS et donc sur l'équilibre statique et dynamique des patients post-AVC.

Le **Functional reach test** (FRT) permet d'évaluer de manière fiable l'équilibre semi-statique et le risque de chute chez les patients ayant subi un AVC (106). La DMCI du FRT reste inconnue. Cependant, une corrélation modérée à bonne a été rapportée entre le FRT et le BBS en post-AVC (107). Nous pouvons donc supposer pour l'étude de Harjpal (2022) que la différence intergroupe statistique n'est pas transférable cliniquement comme pour le BBS.

Le **test d'équilibre unipodal ou one-leg stance test** (OLST) est un test valide du contrôle postural statique debout pour les deux membres inférieurs chez les patients ayant subi un AVC (108). Il existe une corrélation forte entre le BBS et l'OLST pour le patient post-AVC en phase chronique. Cependant, la DCMI pour l'OLST sur le membre parétique est de 27% du score initial sur 24 points (108). Dans l'étude de Harjpal et al., la différence intergroupe est de 1,15 seconde (0,66) $p=0.0001$; elle est donc supérieure à la DCMI de 0,96 (3,55 x 0,27) et donc **cliniquement significative**.

Pour évaluer les **limites de stabilité** du patient en position debout semi-statique, les systèmes d'analyse du biofeedback de l'étude de Park C et al. n'ont **pas montré de différence statistique** intergroupe ($p>0.05$) entre le groupe réalisant de l'EC et celui faisant seulement de la PNG.

Sur les trois études évaluant l'effet de l'EC sur l'équilibre du patient par rapport à de la PNG, un seul ECR a montré une différence intergroupe statistiquement et cliniquement significative. Les différences entre ces trois ECR sont tout d'abord le nombre de participants à

l'étude. En effet, l'étude de Shao regroupait 127 participants contre 40 pour Harjpal et 52 pour 3 groupes dans l'étude de Park C. De plus, l'étude de Shao réalise un renforcement global, une tâche orientée contrairement aux deux autres ECR faisant un renforcement analytique, comprenant une seule fonction musculaire.

Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique (Tableau Vb)

Les systèmes d'analyse du biofeedback pour évaluer les limites de stabilité du patient en position debout semi-statique n'ont **pas montré non plus de différence statistique** intergroupe ($p>0.05$) par rapport au GC2 réalisant le même RM du côté parétique.

Cette étude seule ne montre pas de différence statistique et clinique sur la stabilité semi-statique, entre l'EC et le même RM sur les muscles parétiques.

c) Entraînement croisé et préhension

Groupe contrôle consistant à de la PNG comprenant du RM (Tableau VIa)

Le **Box and Block Test (BBT)** s'est avéré d'une grande fiabilité test-retest chez les patients atteints d'un AVC (109). Le GE de l'ECR de Rezaei et al. a obtenu de meilleurs résultats que le GC après l'intervention, avec une différence de nombre de blocs de 15,761, $p=0.0001$ pour le BBT. Cette taille d'effet est supérieure à la DMCI de 6 blocs (109,110). Cela suggère que l'EC est **cliniquement significatif** à court terme pour promouvoir la préhension chez les patients post-AVC.

La fiabilité test-retest du **test modifié de la fonction motrice de Wolf (WMFT)** a été vérifiée chez des patients ayant subi un AVC dans la littérature (111). Le score moyen de changement d'un groupe d'AVC sur le WMFT doit atteindre 1,2 point sur 75 pour être considéré comme un changement cliniquement important (112). Dans l'étude de Kim et al. (2018), la différence intergroupe retrouvée de 14,32 points, $p=0.001$ est donc **cliniquement significative** en faveur de l'EC.

Ces deux études montrent donc toutes les deux, indépendamment, une amélioration statistiquement et cliniquement significative à court terme des échelles de préhension et de dextérité que sont le BBT et WMFT. L'EC semble donc être plus pertinent pour améliorer les activités du MS par rapport à de la PNG.

Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique (Tableau VIb)

L'étude de Kumagai est la seule remplissant ces conditions. Cet ECR n'a **pas montré de différence intergroupe** statistiquement significative à l'issue de l'entraînement et une semaine après pour le BBT, le NHPT et le PPT. Aucune différence n'a donc été mise en évidence entre l'EC et le RM du côté parétique pour la dextérité du MS.

d) Conclusion des tailles d'effet sur les activités du patient post-AVC

Pour conclure sur l'interprétation de ces résultats, l'EC semble être une option intéressante pour les patients présentant une faiblesse unilatérale sévère afin d'améliorer certaines de leurs limitations d'activité (voir *Tableau VII*).

Plus précisément, l'EC a eu un effet statistiquement et cliniquement significatif sur les critères d'évaluation de la marche dans 3 études sur 4 par rapport à la réalisation de PNG seule. De plus, l'étude de Park C et al. a cependant montré une différence intragroupe pour le GE que n'a pas montré le GC, malgré l'absence de différences intergroupe. Ces résultats sont donc encourageants pour intégrer dans certains cas de l'EC pour améliorer la marche des patients.

Ensuite, seule 1 étude sur 3 a relevé un effet statistiquement et cliniquement significatif de l'EC sur l'équilibre des patients post-AVC par rapport à la réalisation de PNG seule. Notre revue n'a donc pas mis en évidence de réel intérêt de réaliser cet entraînement sur l'équilibre.

Les 2 études cherchant à connaître l'effet de l'EC sur la dextérité du patient post-AVC par rapport à de la PNG ont toutes les deux mises en évidence, indépendamment, une amélioration statistiquement et cliniquement significative de celle-ci. L'EC semble donc intéressant pour les activités du MS.

Enfin, aucune différence n'a été mise en évidence que ce soit statistiquement ou cliniquement dans toutes les évaluations d'activité lorsque le groupe contrôle réalisait le même renforcement musculaire du côté parétique (3 études sur 3). D'après ces résultats, réaliser de l'EC ou un RM directement du côté parétique ne changera pas l'effet bénéfique sur les activités du patient.

Au vu de ces résultats, le fait que le patient soit en phase subaiguë ou chronique de son AVC et l'âge ne semblent pas être des facteurs influençant l'effet de l'EC.

Tableau VII : Présentation synthétique de l'interprétation des résultats en fonction des différentes caractéristiques des études incluses.

Étude	Groupe contrôle et évaluations	Groupe contrôle consistant à de la physiothérapie neurologique générale comprenant du renforcement musculaire			Groupe contrôle consistant en un entraînement direct du côté parétique		
		Marche	Équilibre	Dextérité	Marche	Équilibre	Dextérité
Phase subaiguë	Kumagai et al. (2022)						RG NHPT ; PPT ; BBT
	Rezaei et al. (2023)			RA BBT			
	Harjpal et al. (2022)	RA 10MWT	RA FRT ; OLST ; BBS ; DGI				
	Shao et al. (2023)	<u>RG</u> <u>6-MWT</u>	<u>RG</u> <u>BBS</u>				
Phase chronique	Park C et al. (2021)	RA TUG ; 10MWT	RA Limites de stabilité		RA TUG ; 10MWT	RA Limites de stabilité	
	Park SC et al. (2021)				RA 10MWT ; TUG		
	Kim et al. (2018)			RG WMFT			
	Kim et al. (2015)	RG 10MWT					

RG : Renforcement global/tâche orientée, plusieurs muscles sont renforcés en même temps ; RA : Renforcement analytique, muscle par muscle ; 10MWT : Test de marche de 10 mètres ; TUG : Time up and go test ; NHPT : Nine-Hole Peg Test ; BBT : Box and Block Test ; PPT : Purdue Pegboard Test ; FRT : Functional reach test ; OLST : One-leg stance test ; BBS : Berg Balance Scale ; DGI : Dynamic Gait Index ; 6-MWT : Test de marche de 6 minutes ; WMFT : Test modifié de la fonction motrice de Wolf.

Rouge : pas de différence intergroupe statistiquement significative ; **Orange** : différence intergroupe statistiquement significative mais non cliniquement significative ; **Vert** : différence intergroupe statistiquement et cliniquement significative. Pertinence de l'étude : **élevée** : score PEDro 6-10 (haute qualité) et gros effectif de participants (>100) ; **bonne** : score PEDro 6-10 (haute qualité) et petit effectif de participants (<100) ; **modérée** : score PEDro 4-5 (qualité moyenne) et petit effectif de participants (<100).

B. Ratio bénéfice/risque

L'entraînement croisé correspond donc à du RM du côté non parétique chez les patients en post-AVC. Nous avons apprécié précédemment les nombreux bénéfices du renforcement musculaire, que ce soit sur une population saine ou pathologique. De plus, le RM permet d'améliorer et de prévenir certains facteurs de risque cardio-vasculaire tels que l'hypertension artérielle, le diabète, la dyslipidémie et ainsi diminuer le risque de récurrence d'AVC (113).

Dans la littérature sur les patients post-AVC, aucune preuve n'a mis en évidence que le RM entraîne plus significativement des événements cardiovasculaires, de la douleur, de la raideur ou d'autres effets indésirables (113,114). Cette absence d'effets négatifs retrouvée dans la littérature lors du RM correspond avec l'absence de mention d'effets indésirables dans les 8 ECR inclus dans notre revue lors de l'EC.

De plus, nous avons vu que le RM ne présente pas de risque d'augmenter la spasticité dans cette population (58).

Au vu de ces informations, cette revue met en lumière les modestes bénéfices de l'EC ; celui-ci ne semble pas présenter de risques pour le patient post-AVC.

C. Ratio coût/efficacité

L'EC semble donc avoir une certaine efficacité sur les activités des patients post-AVC comme démontré ci-dessus. Cependant, celle-ci présente également des coûts, que ce soit en termes de temps, de fatigue ou financier.

En effet, l'entraînement contre résistance nécessite du temps pour être efficace car il faut un nombre important de répétitions dans l'entraînement pour créer des adaptations structurelles et/ou fonctionnelles. Nous avons vu dans le cadre conceptuel que pour optimiser le transfert de force vers le membre controlatéral, un protocole d'au moins 4 à 6 semaines regroupant plusieurs séances par semaine est nécessaire (59,75).

De plus, pour qu'un EC soit optimal, l'entraînement doit être réalisé à haute intensité et avec des contractions excentriques (77,78) (environ 75 % de la contraction maximale volontaire (72)), ce qui entraîne une forte fatigue musculaire et générale. Ce temps important consacré à l'EC ne peut donc pas permettre une séance de PNG aussi intense et longue que sans EC. Il est donc important de déterminer si cet entraînement est prioritaire dans la rééducation du patient à un instant donné. Ce coût de fatigue globale est d'autant plus important que les survivants d'AVC ont une fatigue globale plus importante que la population générale (3).

Enfin, la réalisation de l'EC nécessite du petit matériel, ce qui entraîne un certain investissement financier. Dans un premier temps, les patients post-AVC pourraient réaliser ces

entraînements en toute sécurité sous la supervision du masseur-kinésithérapeute (MK) (113). Cependant, il est dans l'intérêt du patient ayant une pathologie chronique de réaliser également sa rééducation au domicile. En effet, cette rééducation concerne les membres non-parétiques et donc présente moins de risques pour la sécurité du patient, avec ou sans supervision de la famille par rapport à des exercices des membres parétiques (115). À coût réduit, les programmes d'EC peuvent nécessiter des élastiques ou des petits poids, en allant jusqu'à des machines de renforcement ayant un prix vraiment plus conséquent. En effet, si l'on veut se rapprocher du travail à 75% de la force maximale, cela peut nécessiter des charges externes lourdes.

Par rapport à notre hypothèse principale, l'EC semble donc montrer un intérêt clinique plutôt pertinent dans le cas d'une faiblesse musculaire importante, d'une douleur non supportable à la mobilisation active, et/ou d'une fatigue musculaire élevée limitant la durée de l'entraînement par rapport au RM du côté parétique. De plus, l'EC ne semble pas présenter de risques pour le patient post-AVC et le coût financier comme en termes de temps et de fatigue semblent minimales et surmontables en fonction des situations et de la motivation des patients.

II. Confrontation à la littérature scientifique sur le sujet

Une autre variable semble influencer l'effet de l'EC sur l'activité du patient post-AVC (voir *Tableau VII*). En effet, les études incluant un renforcement global, tâche orientée, où plusieurs muscles sont mis en jeu durant la contraction, semblent plus pertinentes que celles réalisant un renforcement analytique. 3 ECR sur les 4 ayant mis en évidence une différence intergroupe statistiquement et cliniquement significative pour chacun des critères d'évaluation de l'activité par rapport à la réalisation de PNG seule, réalisent du renforcement global. Cela correspond assez bien avec les recommandations de la prise en charge des patients post-AVC qui se doit d'être orientée sur la tâche et donc spécifique à l'activité que l'on veut améliorer (3). De plus, un ECR de 2018 démontre que le gain de force lors de l'EC est spécifique au muscle entraîné mais n'est pas spécifique à un seul type de contractions musculaires (66). Ainsi, il semble donc plus pertinent pour améliorer les activités d'un patient que celui-ci réalise des exercices plus globaux d'EC, mettant en jeu plusieurs articulations.

La stratégie de rééducation de l'entraînement croisé va à l'encontre d'une méthode plus souvent utilisée et ayant montrée ses preuves pour le MS qu'est la thérapie par contrainte induite du mouvement (TCIM). Elle est une stratégie où l'on force le patient à utiliser le côté parétique en contraignant le côté non parétique (116). Le principe repose sur le fait que le meilleur moyen d'inverser la tendance de non-utilisation apprise des membres parétiques est de forcer les patients à les utiliser (15).

Bien que nos résultats obtenus n'aillent pas dans ce sens, le RM du côté sain permet des adaptations autres que celles du système nerveux avec notamment une adaptation structurelle du muscle, et nous savons que l'atrophie musculaire est modérément corrélée à des limitations au niveau de la marche (19).

L'EC peut donc être intéressant lorsque la faiblesse musculaire du côté parétique est trop importante pour réaliser des mouvements actifs dans une certaine amplitude. Ainsi, l'EC pourrait permettre dans un second temps d'utiliser le membre parétique avec de la TCIM par exemple. L'EC peut également être utile en complément du TCIM lorsque le côté parétique a déjà de bonnes capacités motrices mais fatigue beaucoup (117).

Nous avons donc observé dans cette revue que le RM réalisé sur le membre parétique ne semble pas montrer de bénéfices supérieurs par rapport à l'EC sur les activités du patient. De plus, nous savons que le côté non parétique d'une personne en post-AVC est plus faible que pour la population non pathologique. Cela peut donc être intéressant, en fonction des priorités de la rééducation, de réaliser de l'EC et du RM du côté parétique si cela est possible.

Cependant, Richardson et al. dans sa RS de 2021, comparant des études réalisant de l'entraînement bilatéral simultané à de l'entraînement unilatéral du côté parétique, n'a pas mis en évidence de supériorité d'une technique par rapport à l'autre sur des évaluations de la fonction motrice du MS (118). La même conclusion quant à l'absence de différence entre ces deux groupes a été trouvée dans un ECR pour les résultats du BBT pour le MS (119). Toutefois, l'entraînement bilatéral symétrique semble pouvoir améliorer significativement la fonction motrice du MS par rapport à l'entraînement unilatéral en fonction de l'emplacement de la lésion cérébrale (37).

Pour le MI, l'amélioration des activités comme la marche et l'équilibre est plus liée à la force des deux MI, fonctionnant plus simultanément que les MS (32). Le RM du membre « sain » est également important pour limiter l'atrophie de ce membre, celle-ci étant associée aux limitations de la marche du patient post-AVC comme le montre Nozoe et al. dans son étude en 2020 (120).

III. Limites de la synthèse de la littérature

Cette revue de la littérature présente des points forts comme le fait que les études incluses soient récentes et donc en accord avec les savoirs actuels scientifiques. De plus, le fait de n'avoir sélectionné que des ECR ayant un score PEDro \geq à 4/10, excluant ainsi les ECR de faible qualité méthodologique, a permis d'augmenter la pertinence des preuves de cette revue. Néanmoins, concernant l'interprétation des tailles d'effet retrouvées, cette revue princeps sur le sujet ne permet pas de véritable consensus sur l'effet bénéfique significatif de l'EC sur les activités du patient post-AVC. En effet, même si une tendance vers son intérêt clinique se dégage, le peu d'études présentent et l'échantillon de personnes restant faible par critère d'évaluation ne permet pas d'être représentatif de cette population.

La forte hétérogénéité entre les études, que ce soit au niveau de l'intervention avec des modalités de contraction, des intensités et volumes différents ou des multiples échelles d'évaluation de l'activité, ne permet pas de réaliser une méta-analyse et d'en tirer des conclusions solides. Les protocoles d'entraînement des ECR s'éloignent parfois des recommandations pour l'EC (78) comme notamment le fait qu'un seul des 8 ECR réalise des contractions excentriques (*voir Annexe III*).

De plus, aucune mesure à distance des protocoles n'a été réalisé dans ces études, excepté une seule qui l'a fait une semaine après (89). Les effets à long termes de ces études n'ont donc pas été évalués.

Enfin, le principal biais de cette revue est lié à l'état initial des patients post-AVC et donc à la population incluse. En effet, afin de pouvoir comparer les GC et GE lors des mesures de l'activité, les patients étaient en capacité de réaliser les activités et avaient donc des capacités motrices et fonctionnelles à minima modérées. Cela ne correspond pas à notre population visée avec l'EC qui a une faiblesse musculaire importante la limitant dans sa vie quotidienne. De plus, nous savons qu'il existe une relation entre le changement de force et l'activité, liée à l'importance de la force de base (57). Le RM des patients post-AVC permet de meilleurs gains sur la performance de marche (vitesse, ...) si leur force initiale est faible, plutôt que lorsque qu'elle est suffisante pour effectuer l'activité (121).

L'EC ne semble pas adapté pour tous les patients ayant un AVC et une faiblesse/fatigue musculaire importante. Certains symptômes de l'AVC tels que les troubles cognitifs, les troubles de la compréhension verbale, l'héminégligence, les hyperactivités musculaires en font partie et nécessiteront d'autres rééducations plus pertinentes que l'EC. En effet, l'AVC est une

pathologie complexe pouvant comprendre de nombreuses déficiences et des symptômes interagissant entre-eux. Les activités telles que la marche, l'équilibre et la préhension sont liés à de nombreux facteurs et ne peuvent se limiter à la force musculaire (31,56).

Une atteinte des niveaux supérieur et moyen du système nerveux centrale peut également être un frein à la récupération motrice de la parésie et limite la capacité d'entraînement. En effet, une atteinte de ces deux niveaux peut donner une altération de la motivation aux mouvements, une apraxie, des déficits de la mémoire motrice ainsi qu'une altération de la planification des mouvements (15).

Notre revue systématique peut présenter quelques biais sur sa qualité méthodologique. En effet, en nous aidant de la grille AMSTAR 2, un outil pour évaluer de manière critique les RS des ECR, le principal manque provient du fait que la sélection des études et l'extraction des données n'a été réalisé que par une seule personne (122). Nous n'avons trouvé personne pour effectuer cette seconde lecture, faute de temps.

IV. Perspectives de recherche et pratique clinique

Afin d'être plus spécifique à notre population d'intérêt, il serait pertinent que de futures études soit réalisées sur des patients présentant des déficits de force importants. Ainsi, les résultats seraient plus interprétable dans la clinique. Cependant, dans ce cas l'intervention contrôlée ne pourra pas être le RM du côté parétique.

De plus, bien que les restrictions de participation soient associées aux limitations d'activité, il serait intéressant que des ECR s'interrogent directement sur l'effet de l'EC sur la participation des patients post-AVC (4). En effet, des échelles comme la Mesure de l'Indépendance Fonctionnelle/MIF partie motrice, ayant des items comme les soins d'apparence, l'habillement, les transferts (123) fourniraient plus d'informations sur la qualité de vie des patients.

Nous avons donc vu que l'EC pouvait être une rééducation pertinente pour des patients spécifiques. Une étude qualitative de 2018 portant sur les croyances des cliniciens, les facilitateurs et les obstacles à l'utilisation de l'EC, a révélé que les rééducateurs se sentent démunis d'interventions adaptées pour les patients souffrant de graves déficiences des MS (115). La mise en place clinique de l'EC peut soulever certaines interrogations. En effet, cette

stratégie de traitement risque d'être contre-intuitive pour le patient et sa famille. La phase éducative sur l'utilité de l'EC constitue donc un prérequis indispensable à sa mise en place (115). Sans compréhension de l'EC, le patient ne pourra pas adhérer au traitement et ainsi ne sera pas motivé pour réaliser celui-ci. La motivation du patient est pourtant essentielle pour réaliser un programme rigoureux d'EC.

Conclusion

Pour conclure sur notre problématique, l'EC semble être une option intéressante à court terme pour améliorer les activités de préhension et de marche des patients présentant une faiblesse unilatérale sévère, les empêchant de s'entraîner de manière optimale directement du côté parétique. L'EC ne montre cependant pas de meilleurs résultats que le RM du côté parétique et ne doit pas remplacer le paradigme de la TCIM, mais peut être un complément utile à la rééducation et la réadaptation.

D'autres études sur la thématique seront nécessaires afin d'apporter des preuves de meilleures qualités et plus adaptés à la population visée.

Il serait également intéressant d'analyser la mise en place clinique de cette stratégie et l'adhérence des patients à ce traitement.

Bibliographie

1. Haute Autorité de Santé. Parcours de rééducation réadaptation des patients après la phase initiale de l'AVC. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/p_3200362/fr/parcours-de-reeducation-readaptation-des-patients-apres-la-phase-initiale-de-l-avc
2. de Pourville G. Coût de la prise en charge des accidents vasculaires cérébraux en France. *Arch Cardiovasc Dis Suppl.* 1 févr 2016;8(2):161-8.
3. Winstein CJ, Stein J, Arena R, Bates B, Cherney LR, Cramer SC, et al. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* juin 2016;47(6):e98-169.
4. Gadidi V, Katz-Leurer M, Carmeli E, Bornstein NM. Long-term outcome poststroke: predictors of activity limitation and participation restriction. *Arch Phys Med Rehabil.* nov 2011;92(11):1802-8.
5. Haute Autorité de Santé. Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. Disponible sur: https://www.has-sante.fr/jcms/c_1334330/fr/accident-vasculaire-cerebral-methodes-de-reeducation-de-la-fonction-motrice-chez-l-adulte
6. Steiner CM, Lang CE, Zeiler S, Byblow WD. Advances and challenges in stroke rehabilitation. *Lancet Neurol.* avr 2020;19(4):348-60.
7. Smyth C, Broderick P, Lynch P, Clark H, Monaghan K. To assess the effects of cross-education on strength and motor function in post stroke rehabilitation: a systematic literature review and meta-analysis. *Physiotherapy.* juin 2023;119:80-8.
8. Sacco RL, Kasner SE, Broderick JP, Caplan LR, Connors JJB, Culebras A, et al. An updated definition of stroke for the 21st century: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* juill 2013;44(7):2064-89.
9. Édition professionnelle du Manuel MSD. Revue générale des accidents vasculaires cérébraux - Troubles neurologiques. Disponible sur: <https://www.merckmanuals.com/fr-ca/professional/troubles-neurologiques/accident-vasculaire-c%C3%A9r%C3%A9bral/revue-g%C3%A9n%C3%A9rale-des-accidents-vasculaires-c%C3%A9r%C3%A9braux>
10. O'Donnell MJ, Chin SL, Rangarajan S, Xavier D, Liu L, Zhang H, et al. Global and regional effects of potentially modifiable risk factors associated with acute stroke in 32 countries (INTERSTROKE): a case-control study. *Lancet Lond Engl.* 20 août 2016;388(10046):761-75.
11. Feigin VL, Stark BA, Johnson CO, Roth GA, Bisignano C, Abady GG, et al. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Neurol.* oct 2021;20(10):795-820.
12. Inserm. Accident vasculaire cérébral (AVC) · Inserm, La science pour la santé. Disponible sur: <https://www.inserm.fr/dossier/accident-vasculaire-cerebral-avc/>
13. Béjot Y, Daubail B, Giroud M. Epidemiology of stroke and transient ischemic attacks: Current knowledge and perspectives. *Rev Neurol (Paris).* janv 2016;172(1):59-68.
14. Gracies JM. Coefficients of impairment in deforming spastic paresis. *Ann Phys Rehabil Med.* juin 2015;58(3):173-8.
15. Gracies JM. Pathophysiology of spastic paresis. I: Paresis and soft tissue changes.

Muscle Nerve. mai 2005;31(5):535-51.

16. Bonita R, Beaglehole R. Recovery of motor function after stroke. *Stroke*. déc 1988;19(12):1497-500.
17. Cs K, Ga P, D B, Cl R. Neural and muscular determinants of dorsiflexor weakness in chronic stroke survivors. *Motor Control*. juill 2013;17(3). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23761424/>
18. Scherbakov N, Sandek A, Doehner W. Stroke-related sarcopenia: specific characteristics. *J Am Med Dir Assoc*. avr 2015;16(4):272-6.
19. Beckwée D, Cuypers L, Lefeber N, De Keersmaecker E, Scheys E, Van Hees W, et al. Skeletal Muscle Changes in the First Three Months of Stroke Recovery: A Systematic Review. *J Rehabil Med*. 4 oct 2022;54:jrm00308.
20. Gracies JM. Pathophysiology of spastic paresis. II: Emergence of muscle overactivity. *Muscle Nerve*. mai 2005;31(5):552-71.
21. Dressler D, Bhidayasiri R, Bohlega S, Chana P, Chien HF, Chung TM, et al. Defining spasticity: a new approach considering current movement disorders terminology and botulinum toxin therapy. *J Neurol*. avr 2018;265(4):856-62.
22. Baude M, Nielsen JB, Gracies JM. The neurophysiology of deforming spastic paresis: A revised taxonomy. *Ann Phys Rehabil Med*. 1 nov 2019;62(6):426-30.
23. Cheng H, Fang X, Liao L, Tao Y, Gao C. Prevalence and factors influencing the occurrence of spasticity in stroke patients: a retrospective study. *Neurol Res*. févr 2023;45(2):166-72.
24. 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.
25. Carin-Levy G, Greig C, Young A, Lewis S, Hannan J, Mead G. Longitudinal changes in muscle strength and mass after acute stroke. *Cerebrovasc Dis Basel Switz*. 2006;21(3):201-7.
26. Hunnicutt JL, Gregory CM. Skeletal muscle changes following stroke: a systematic review and comparison to healthy individuals. *Top Stroke Rehabil*. sept 2017;24(6):463-71.
27. Maenza C, Good DC, Winstein CJ, Wagstaff DA, Sainburg RL. Functional Deficits in the Less-Impaired Arm of Stroke Survivors Depend on Hemisphere of Damage and Extent of Paretic Arm Impairment. *Neurorehabil Neural Repair*. janv 2020;34(1):39-50.
28. 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.
29. Mentiplay BF, Adair B, Bower KJ, Williams G, Tole G, Clark RA. Associations between lower limb strength and gait velocity following stroke: a systematic review. *Brain Inj*. 2015;29(4):409-22.
30. Organisation mondiale de la Santé, éditeur. Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé: CIF. Genève; 2001. 304 p.
31. Khan F, Chevidikunnan MF. Prevalence of Balance Impairment and Factors Associated with Balance among Patients with Stroke. A Cross Sectional Retrospective Case Control Study. *Healthc Basel Switz*. 13 mars 2021;9(3):320.
32. Mwansa R, Himalowa S, Kunda R. Functional Gait of Patients with Stroke after Strength Training: A Systematic Review of Randomised Controlled Trials. *Int J Health Sci Res*. 12 juill 2021;11:144-58.

33. Burnfield JM, Perry J. Gait Analysis: Normal and Pathological Function. *J Sports Sci Med.* 1 juin 2010;9(2):353.
34. Kong KH, Lee J. Temporal recovery and predictors of upper limb dexterity in the first year of stroke: a prospective study of patients admitted to a rehabilitation centre. *NeuroRehabilitation.* 2013;32(2):345-50.
35. Rensink M, Schuurmans M, Lindeman E, Hafsteinsdóttir T. Task-oriented training in rehabilitation after stroke: systematic review. *J Adv Nurs.* avr 2009;65(4):737-54.
36. Overview | Stroke rehabilitation in adults | Guidance |. NICE; 2023. Disponible sur: <https://www.nice.org.uk/guidance/ng236>
37. Renner CIE, Brendel C, Hummelsheim H. Bilateral Arm Training vs Unilateral Arm Training for Severely Affected Patients With Stroke: Exploratory Single-Blinded Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil.* juill 2020;101(7):1120-30.
38. Saunders DH, Sanderson M, Hayes S, Kilrane M, Greig CA, Brazzelli M, et al. Physical fitness training for stroke patients. *Cochrane Database Syst Rev.* 2016;(3). Disponible sur: <https://www.cochranelibrary.com/cdsr/doi/10.1002/14651858.CD003316.pub6/full>
39. Del Vecchio A, Casolo A, Negro F, Scorcelletti M, Bazzucchi I, Enoka R, et al. The increase in muscle force after 4 weeks of strength training is mediated by adaptations in motor unit recruitment and rate coding. *J Physiol.* avr 2019;597(7):1873-87.
40. Škarabot J, Brownstein CG, Casolo A, Del Vecchio A, Ansdell P. The knowns and unknowns of neural adaptations to resistance training. *Eur J Appl Physiol.* mars 2021;121(3):675-85.
41. Hedayatpour N, Falla D. Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training. *BioMed Res Int.* 2015;2015:193741.
42. Siddique U, Rahman S, Frazer AK, Pearce AJ, Howatson G, Kidgell DJ. Determining the Sites of Neural Adaptations to Resistance Training: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ.* juin 2020;50(6):1107-28.
43. Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med Auckl NZ.* 2006;36(2):133-49.
44. Gómez-Feria J, Martín-Rodríguez JF, Mir P. Corticospinal adaptations following resistance training and its relationship with strength: A systematic review and multivariate meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev.* 1 sept 2023;152:105289.
45. Folland JP, Williams AG. The adaptations to strength training: morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med Auckl NZ.* 2007;37(2):145-68.
46. Ahtiainen JP. Physiological and Molecular Adaptations to Strength Training. Schumann M, Rønnestad BR, éditeurs. 2019;51-73.
47. Hughes DC, Ellefsen S, Baar K. Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harb Perspect Med.* juin 2018;8(6):a029769.
48. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* avr 2004;36(4):674-88.
49. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* mars 2009;41(3):687-708.
50. O'Donovan G, Blazevich AJ, Boreham C, Cooper AR, Crank H, Ekelund U, et al. The ABC of Physical Activity for Health: a consensus statement from the British Association of Sport and Exercise Sciences. *J Sports Sci.* avr 2010;28(6):573-91.

51. Westcott WL. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Curr Sports Med Rep.* 2012;11(4):209-16.
52. Wist S, Clivaz J, Sattelmayer M. Muscle strengthening for hemiparesis after stroke: A meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med.* avr 2016;59(2):114-24.
53. Pradon D, Roche N, Enette L, Zory R. Relationship between lower limb muscle strength and 6-minute walk test performance in stroke patients. *J Rehabil Med.* janv 2013;45(1):105-8.
54. 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.
55. Ng SSM, Hui-Chan CWY. Ankle dorsiflexor, not plantarflexor strength, predicts the functional mobility of people with spastic hemiplegia. *J Rehabil Med.* juin 2013;45(6):541-5.
56. Wagatsuma M, Kim T, Sitagata P, Lee E, Vrongistinos K, Jung T. The biomechanical investigation of the relationship between balance and muscular strength in people with chronic stroke: a pilot cross-sectional study. *Top Stroke Rehabil.* avr 2019;26(3):173-9.
57. Dorsch S, Ada L, Alloggia D. Progressive resistance training increases strength after stroke but this may not carry over to activity: a systematic review. *J Physiother.* avr 2018;64(2):84-90.
58. Abal del Blanco J, Taboada-Iglesias Y. Effects of resistance exercise in patients with spasticity: Systematic review. *Apunts Sports Med.* 1 oct 2021;56(212):100356.
59. Manca A, Hortobágyi T, Carroll TJ, Enoka RM, Farthing JP, Gandevia SC, et al. Contralateral Effects of Unilateral Strength and Skill Training: Modified Delphi Consensus to Establish Key Aspects of Cross-Education. *Sports Med Auckl NZ.* janv 2021;51(1):11-20.
60. Carroll TJ, Herbert RD, Munn J, Lee M, Gandevia SC. Contralateral effects of unilateral strength training: evidence and possible mechanisms. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. nov 2006;101(5):1514-22.
61. Farthing JP. Cross-education of strength depends on limb dominance: implications for theory and application. *Exerc Sport Sci Rev.* oct 2009;37(4):179-87.
62. Magnus CRA, Arnold CM, Johnston G, Dal-Bello Haas V, Basran J, Krentz JR, et al. Cross-education for improving strength and mobility after distal radius fractures: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* juill 2013;94(7):1247-55.
63. Bowen W, Frazer AK, Tallent J, Pearce AJ, Kidgell DJ. Unilateral Strength Training Imparts a Cross-Education Effect in Unilateral Knee Osteoarthritis Patients. *J Funct Morphol Kinesiol.* 28 sept 2022;7(4):77.
64. Green LA, Gabriel DA. The effect of unilateral training on contralateral limb strength in young, older, and patient populations: a meta-analysis of cross education. *Phys Ther Rev.* 3 sept 2018;23(4-5):238-49.
65. Hendy AM, Spittle M, Kidgell DJ. Cross education and immobilisation: Mechanisms and implications for injury rehabilitation. *J Sci Med Sport.* 1 mars 2012;15(2):94-101.
66. Andrushko JW, Lanovaz JL, Björkman KM, Kontulainen SA, Farthing JP. Unilateral strength training leads to muscle-specific sparing effects during opposite homologous limb immobilization. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 1 avr 2018;124(4):866-76.
67. Lim H, Madhavan S. Effects of Cross-Education on Neural Adaptations Following Non-Paretic Limb Training in Stroke: A Scoping Review with Implications for Neurorehabilitation. *J Mot Behav.* 2023;55(1):111-24.

68. Ruddy KL, Carson RG. Neural pathways mediating cross education of motor function. *Front Hum Neurosci.* 2013;7:397.
69. Perez MA, Cohen LG. Mechanisms Underlying Functional Changes in the Primary Motor Cortex Ipsilateral to an Active Hand. *J Neurosci.* 28 mai 2008;28(22):5631-40.
70. Calvert GHM, Carson RG. Neural mechanisms mediating cross education: With additional considerations for the ageing brain. *Neurosci Biobehav Rev.* 1 janv 2022;132:260-88.
71. Frazer AK, Pearce AJ, Howatson G, Thomas K, Goodall S, Kidgell DJ. Determining the potential sites of neural adaptation to cross-education: implications for the cross-education of muscle strength. *Eur J Appl Physiol.* 1 sept 2018;118(9):1751-72.
72. Andrushko JW, Gould L, Renshaw DW, Forrester S, Kelly ME, Linassi G, et al. Ipsilesional Motor Cortex Activation with High-force Unimanual Handgrip Contractions of the Less-affected Limb in Participants with Stroke. *Neuroscience.* 10 févr 2022;483:82-94.
73. Stinear CM, Walker KS, Byblow WD. Symmetric facilitation between motor cortices during contraction of ipsilateral hand muscles. *Exp Brain Res.* juill 2001;139(1):101-5.
74. Barker RN, Brauer SG, Barry BK, Gill TJ, Carson RG. Training-induced modifications of corticospinal reactivity in severely affected stroke survivors. *Exp Brain Res.* août 2012;221(2):211-21.
75. Cirer-Sastre R, Beltrán-Garrido JV, Corbi F. Contralateral Effects After Unilateral Strength Training: A Meta-Analysis Comparing Training Loads. *J Sports Sci Med.* juin 2017;16(2):180-6.
76. Colomer-Poveda D, Romero-Arenas S, Keller M, Hortobágyi T, Márquez G. Effects of acute and chronic unilateral resistance training variables on ipsilateral motor cortical excitability and cross-education: A systematic review. *Phys Ther Sport Off J Assoc Chart Physiother Sports Med.* nov 2019;40:143-52.
77. Urbin MA, Harris-Love ML, Carter AR, Lang CE. High-Intensity, Unilateral Resistance Training of a Non-Paretic Muscle Group Increases Active Range of Motion in a Severely Paretic Upper Extremity Muscle Group after Stroke. *Front Neurol.* 2015;6:119.
78. Tseng WC, Nosaka K, Tseng KW, Chou TY, Chen TC. Contralateral Effects by Unilateral Eccentric versus Concentric Resistance Training. *Med Sci Sports Exerc.* févr 2020;52(2):474-83.
79. Ehrensberger M, Simpson D, Broderick P, Monaghan K. Cross-education of strength has a positive impact on post-stroke rehabilitation: a systematic literature review. *Top Stroke Rehabil.* avr 2016;23(2):126-35.
80. Nozoe M, Kubo H, Yamamoto M, Ikeji R, Seike H, Majima K, et al. Muscle weakness is more strongly associated with functional outcomes in patients with stroke than sarcopenia or muscle wasting: an observational study. *Aging Clin Exp Res.* 23 janv 2024;36(1):4.
81. Yi Y, Shim JS, Oh BM, Seo HG. Grip Strength on the Unaffected Side as an Independent Predictor of Functional Improvement After Stroke. *Am J Phys Med Rehabil.* sept 2017;96(9):616-20.
82. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS Med.* 21 juill 2009;6(7):e1000097.
83. Brosseau L, Laroche C, Sutton A, Guitard P, King J, Poitras S, et al. Une version franco-canadienne de la Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale : L'Échelle PEDro.

Physiother Can. août 2015;67(3):232-9.

84. [etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf](https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf). Disponible sur: https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-06/etat_des_lieux_niveau_preuve_gradation.pdf

85. Cashin AG, McAuley JH. Clinimetrics: Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *J Physiother.* 1 janv 2020;66(1):59.

86. da Costa BR, Hilfiker R, Egger M. PEDro's bias: summary quality scores should not be used in meta-analysis. *J Clin Epidemiol.* janv 2013;66(1):75-7.

87. Park C, Son H, Yeo B. The effects of lower extremity cross-training on gait and balance in stroke patients: a double-blinded randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* févr 2021;57(1):4-12.

88. Park SC, Ryu JN, Oh SJ, Cha YJ. Cross training effects of non-paralytic dorsiflexion muscle strengthening exercise on paralytic dorsiflexor muscle activity, gait ability, and balancing ability in patients with chronic stroke: A randomized, controlled, pilot trial. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 1 mars 2021;21(1):51-8.

89. Kumagai M, Uehara S, Kurayama T, Kitamura S, Sakata S, Kondo K, et al. Effects of Alternating Bilateral Training Between Non-Paretic and Paretic Upper Limbs in Patients with Hemiparetic Stroke: A Pilot Randomized Controlled Trial. *J Rehabil Med.* 1 nov 2022;54:jrm00336.

90. Rezaei K, Kordi Yoosefinejad A, Moslemi Haghighi F, Razeghi M. Evaluation of Contralateral Limb Cross Education and High-Frequency Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation on Functional Indices of the Affected Upper Limb in Subacute Phase of Stroke. *Stroke Res Treat.* 2023;2023:4387667.

91. Harjpal P, Qureshi MI, Kovala RK, Jain M. Efficacy of Bilateral Lower-Limb Training Over Unilateral Lower-Limb Training To Reeducate Balance and Walking in Post-Stroke Survivors: A Randomized Clinical Trial. *Cureus.* oct 2022;14(10):e30748.

92. Kim CY, Kim HD. Effect of crossed-education using a tilt table task-oriented approach in subjects with post-stroke hemiplegia: A randomized controlled trial. *J Rehabil Med.* 28 sept 2018;50(9):792-9.

93. Shao C, Wang Y, Gou H, Xiao H, Chen T. Strength Training of the Nonhemiplegic Side Promotes Motor Function Recovery in Patients With Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 1 févr 2023;104(2):188-94.

94. Kim CY, Lee JS, Kim HD, Kim JS. The effect of progressive task-oriented training on a supplementary tilt table on lower extremity muscle strength and gait recovery in patients with hemiplegic stroke. *Gait Posture.* 1 févr 2015;41(2):425-30.

95. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Disponible sur: <https://training.cochrane.org/handbook/current>

96. Macchiavelli A, Giffone A, Ferrarello F, Paci M. Reliability of the six-minute walk test in individuals with stroke: systematic review and meta-analysis. *Neurol Sci Off J Ital Neurol Soc Ital Soc Clin Neurophysiol.* janv 2021;42(1):81-7.

97. Fulk GD, He Y. Minimal Clinically Important Difference of the 6-Minute Walk Test in People With Stroke. *J Neurol Phys Ther JNPT.* oct 2018;42(4):235-40.

98. Alghadir AH, Al-Eisa ES, Anwer S, Sarkar B. Reliability, validity, and responsiveness of three scales for measuring balance in patients with chronic stroke. *BMC Neurol.* 13 sept 2018;18(1):141.

99. Chan PP, Si Tou JI, Tse MM, Ng SS. Reliability and Validity of the Timed Up and Go

Test With a Motor Task in People With Chronic Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* nov 2017;98(11):2213-20.

100. Lewek MD, Sykes R. Minimal Detectable Change for Gait Speed Depends on Baseline Speed in Individuals With Chronic Stroke. *J Neurol Phys Ther JNPT.* avr 2019;43(2):122-7.

101. Kesar TM, Binder-Macleod SA, Hicks GE, Reisman DS. Minimal detectable change for gait variables collected during treadmill walking in individuals post-stroke. *Gait Posture.* 1 févr 2011;33(2):314-7.

102. Ej R, C M, K M, Sa D, Ww S. Hemiplegic gait. Relationships between walking speed and other temporal parameters. *Am J Phys Med Rehabil.* avr 1997;76(2). Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9129519/>

103. Miyata K, Tamura S, Kobayashi S, Takeda R, Iwamoto H. Berg Balance Scale is a Valid Measure for Plan Interventions and for Assessing Changes in Postural Balance in Patients with Stroke. *J Rehabil Med.* 9 déc 2022;54:jrm00359.

104. Tamura S, Miyata K, Kobayashi S, Takeda R, Iwamoto H. The minimal clinically important difference in Berg Balance Scale scores among patients with early subacute stroke: a multicenter, retrospective, observational study. *Top Stroke Rehabil.* sept 2022;29(6):423-9.

105. Hiengkaew V, Jitree K, Chaiyawat P. Minimal detectable changes of the Berg Balance Scale, Fugl-Meyer Assessment Scale, Timed « Up & Go » Test, gait speeds, and 2-minute walk test in individuals with chronic stroke with different degrees of ankle plantarflexor tone. *Arch Phys Med Rehabil.* juill 2012;93(7):1201-8.

106. Yoo YJ, Lim SH. Assessment of Lower Limb Motor Function, Ambulation, and Balance After Stroke. *Brain NeuroRehabilitation.* juill 2022;15(2):e17.

107. Tyson SF, DeSouza LH. Reliability and validity of functional balance tests post stroke. *Clin Rehabil.* déc 2004;18(8):916-23.

108. Flansbjerg UB, Blom J, Brogårdh C. The reproducibility of Berg Balance Scale and the Single-leg Stance in chronic stroke and the relationship between the two tests. *PM R.* mars 2012;4(3):165-70.

109. Chen HM, Chen CC, Hsueh IP, Huang SL, Hsieh CL. Test-retest reproducibility and smallest real difference of 5 hand function tests in patients with stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* juin 2009;23(5):435-40.

110. Connell LA, Tyson SF. Clinical reality of measuring upper-limb ability in neurologic conditions: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.* févr 2012;93(2):221-8.

111. Whittall J, Savin DN, Harris-Love M, Waller SM. Psychometric properties of a modified Wolf Motor Function test for people with mild and moderate upper-extremity hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil.* mai 2006;87(5):656-60.

112. Lang CE, Edwards DF, Birkenmeier RL, Dromerick AW. Estimating Minimal Clinically Important Differences of Upper-Extremity Measures Early After Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 1 sept 2008;89(9):1693-700.

113. Paluch AE, Boyer WR, Franklin BA, Laddu D, Lobelo F, Lee DC, et al. Resistance Exercise Training in Individuals With and Without Cardiovascular Disease: 2023 Update: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation.* 16 janv 2024;149(3):e217-31.

114. Salter K, Musovic A, F Taylor N. In the first 3 months after stroke is progressive resistance training safe and does it improve activity? A systematic review. *Top Stroke Rehabil.* oct 2016;23(5):366-75.

115. Russell W, Pritchard-Wiart L, Manns PJ. Clinician perspectives on cross-education in stroke rehabilitation. *Disabil Rehabil.* nov 2018;40(22):2644-9.
116. Kwakkel G, Veerbeek JM, van Wegen EEH, Wolf SL. Constraint-induced movement therapy after stroke. *Lancet Neurol.* févr 2015;14(2):224-34.
117. Lee Y, Kim MY, Park JH, Park HY. Comparison of the effects of bilateral and unilateral training after stroke: A meta-analysis. *NeuroRehabilitation.* 2017;40(3):301-13.
118. Richardson MC, Tears C, Morris A, Alexanders J. The Effects of Unilateral Versus Bilateral Motor Training on Upper Limb Function in Adults with Chronic Stroke: A Systematic Review. *J Stroke Cerebrovasc Dis Off J Natl Stroke Assoc.* avr 2021;30(4):105617.
119. Han KJ, Kim JY. The effects of bilateral movement training on upper limb function in chronic stroke patients. *J Phys Ther Sci.* août 2016;28(8):2299-302.
120. Nozoe M, Kanai M, Kubo H, Yamamoto M, Shimada S, Mase K. Non-paretic lower limb muscle wasting during acute phase is associated with dependent ambulation in patients with stroke. *J Clin Neurosci Off J Neurosurg Soc Australas.* avr 2020;74:141-5.
121. Flansbjer UB, 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.
122. Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *The BMJ.* 21 sept 2017;358:j4008.
123. Hamilton BB, Laughlin JA, Fiedler RC, Granger CV. Interrater reliability of the 7-level functional independence measure (FIM). *Scand J Rehabil Med.* sept 1994;26(3):115-9.

Annexes

Annexe I : Critères d'évaluation Pedro (83)

(Item 1 : Les critères d'admissibilité ont été spécifiés)

Item 2 : Les participants ont été assignés de façon aléatoire dans les groupes

Item 3 : L'assignation des participants à un groupe a été dissimulée

Item 4 : Au début de l'étude, les groupes étaient similaires en ce qui concerne les indicateurs pronostiques les plus importants

Item 5 : Les participants ignoraient le groupe auquel ils avaient été assignés

Item 6 : Les intervenants ignoraient le groupe auquel les participants avaient été assignés

Item 7 : Les évaluateurs ayant mesuré au moins un résultat clé ignoraient le groupe auquel les participants avaient été assignés

Item 8 : Les mesures d'au moins un résultat clé ont été obtenues chez plus de 85 % des participants initialement assignés aux groupes

Item 9 : Tous les participants pour qui des mesures de résultats étaient disponibles ont reçu l'intervention assignée. Lorsque ce n'était pas le cas, les données d'au moins un résultat clé ont été analysées selon l'« intention de traiter »

Item 10 : Les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont fournis pour au moins un résultat clé

Item 11 : L'étude fournit à la fois une mesure de l'ampleur de l'effet et une mesure de dispersion pour au moins un résultat clé

Annexe II : Score PEDro détaillé des ECR retenues dans la revue systématique

Étude	(Item 1)	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Item 7	Item 8	Item 9	Item 10	Item 11	Score total
Park C et al. (2021)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	8/10
Park SC et al. (2021)	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	8/10
Kumagai et al. (2022)	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	8/10
Rezaei et al. (2023)	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	7/10
Harjpal et al. (2022)	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	8/10
Kim et al. (2018)	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Oui	8/10
Shao et al. (2023)	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	7/10
Kim et al. (2015)	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	5/10

Annexe III : Présentation générale détaillée des études retenues pour la revue systématique

Étude	Type	Échantillon moyenne (écart-type)	Partie du corps sollicitée	Groupe expérimental	Groupe contrôle	Échelle d'évaluation
Park C et al. (2021)	ECR en double aveugle	N = 52 (GC1 n=19 ; GC2 n=15 ; GE n=18) Sexe = 19 femmes / 33 hommes Âge = GC1 : 60,79 (6,75) ; GC2 : 58,07 (7,14) ; GE : 58,11 (7,15) Temps depuis AVC = après 3 mois (GC1 : 13,2 ; GC2 : 8,7 ; GE : 13,5) ; Chronique État initial des patients = - /	Fin d'amplitude de flexion de hanche et de genou	Durée : 4 semaines Fréquence : 2x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour EC GE : PNG 30 min + Entraînement croisé 30 min au lieu d'une PNG : 10 secondes de contraction isométrique volontaire maximale sur la jambe saine. 5 séries de 4~5 réps Progression : entraînements effectués dans différentes positions (assis, debout, décubitus dorsal)	Durée : 4 semaines Fréquence : 2x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour ED GC1 : PNG 30 min GC2 : PNG 30 min + Entraînement direct 30 min au lieu d'une PNG : 10 secondes de contraction isométrique volontaire maximale sur la jambe parétique. 5 séries de 4~5 réps Progression : entraînements effectués dans différentes positions (assis, debout, décubitus dorsal)	TUG ; 10MWT ; Système d'analyse du biofeedback : analyse des limites de stabilité
Park SC et al. (2021)	ECR en simple aveugle	N = 21 (GE n=11 ; GC n=10) Sexe = 9 femmes / 12 hommes Âge = GE : 59,1 (11,2) ; GC : 65,6 (6,7)	Releveurs du pied	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour EC	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 3x /sem pour ED	10MWT ; TUG

		<p>Temps depuis AVC = après 6 mois (GE : 25,7 ; GC : 24,1) ; Chronique</p> <p>État initial des patients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - MBI = GE : 50 (12,1) ; GC : 44,6 (11,3) - MMSE = GE : 25,7 (3,8) ; GC : 24,3 (5,0) 		<p>PNG 60 min + Entraînement croisé des muscles de la dorsiflexion sains 30 min :</p> <p>2 sec d'exercice de résistance à contraction concentrique, 2 sec isométrique et 2 sec excentrique.</p> <p>5 séries de 10 réps</p> <p>Intensité : 5-6 (selon l'échelle de Borg de l'effort perçu)</p> <p>Progression : entraînements effectués dans différentes positions (décubitus dorsal puis assis puis debout)</p>	<p>PNG 60 min + Entraînement direct des muscles de la dorsiflexion parétiques 30 min :</p> <p>2 sec d'exercice de résistance à contraction concentrique, 2 sec isométrique et 2 sec excentrique.</p> <p>5 séries de 10 réps</p> <p>Intensité : 5-6 (selon l'échelle de Borg de l'effort perçu)</p> <p>Progression : entraînements effectués dans différentes positions (décubitus dorsal puis assis puis debout)</p>	
Kumagai et al. (2022)	ECR pilote en simple aveugle	<p>N = 24 (GE n=12 ; GC n=12)</p> <p>Sexe = 16 femmes / 8 hommes</p> <p>Âge = GE : 72,4 (17,6) ; GC : 70,3 (12,1)</p> <p>Temps depuis AVC = après 2 mois (GE : 98 j ; GC : 93 j) ; Subaiguë</p> <p>État initial des patients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - FMA-UE (partie motrice) = GE : 63,0 (7,0) ; GC : 62,5 (7,0) - EHI = GE : 100 (13) ; GC : 100 (10) 	Main et MS	<p>Durée : 1 semaine</p> <p>Fréquence :</p> <p>1x /j, 7x /sem pour PNG, ED et EC</p> <p>PNG 60 min + Entraînement croisé de 10 essais du NHPT avec le membre sain + Entraînement direct de 10 essais du NHPT avec le membre parétique</p> <p>Intensité : le plus rapidement et précisément possible</p>	<p>Durée : 1 semaine</p> <p>Fréquence :</p> <p>1x /j, 7x /sem pour PNG et ED</p> <p>PNG 60 min + Entraînement direct de 10 essais du NHPT avec le membre parétique (9 chevilles à mettre dans un trou et à remettre dans un récipient, une par une)</p>	<p>Outcomes primaire : NHPT ;</p> <p>Outcomes secondaire : PPT ;</p> <p>BBT</p>

Rezaei et al. (2023)	ECR en simple aveugle	<p>N = 20 (GE n=10 ; GC n=10) (plus deux autres groupes ne rentrant pas dans les critères d'inclusion)</p> <p>Sexe = 8 femmes / 12 hommes</p> <p>Âge = GE : 59,7 (5,65) ; GC : 53,9 (13,06)</p> <p>Temps depuis AVC = entre 1 et 6 mois (GE : 2,3 ; GC : 3,2) ; Subaiguë</p> <p>État initial des patients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - FMA-UE = GE : 33,00 (6,99) ; GC : 36,7 (7,71) - BBT = GE : 14,7 (9,12) ; GC : 23,2 (16,47) - Force de préhension = GE : 5,25 (5,63) ; GC : 4,67 (3,89) - Force de pincement = GE : 2,40 (1,45) ; GC : 5,44 (2,97) 	Main	<p>Durée : 10 séances</p> <p>Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG et EC</p> <p>PNG + Entraînement croisé à 60-70% de contraction volontaire maximale de force de préhension isométrique pendant 5 sec du côté sain 24,50 min (20,06)</p> <p>6 séries de 5 réps</p>	<p>Durée : 10 séances</p> <p>Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG</p> <p>PNG 28 min (27,40)</p>	BBT
Harjpal et al. (2022)	ECR en simple aveugle	<p>N = 40 (GE n=20 ; GC n=20)</p> <p>Sexe = 17 femmes / 23 hommes</p> <p>Âge = GE : 51,5 (8,40) ; GC : 51,75 (7,06)</p> <p>Temps depuis AVC = entre 1 sem et 6 mois ;</p> <p>Subaiguë</p> <p>État initial des patients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - / 	Fléchisseurs de hanche, abducteurs et extenseurs de hanche, extenseurs du genou et releveurs	<p>Durée : 6 semaines</p> <p>Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG 1x /j, 4x /sem pour EC</p> <p>PNG 20 min + Entraînement croisé du MI sain 20 min :</p> <p>Entraînement de force à l'aide d'une manchette/chaussure de poids attachée à la cheville (DeLorme).</p> <p>Par muscle, pendant 3 min (30 réps) :</p>	<p>Durée : 6 semaines</p> <p>Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG</p> <p>PNG 20 min</p>	<p>FRT ;</p> <p>OLST ;</p> <p>10MWT (Vitesse de marche (m/sec) ; Longueur de la foulée (cm) ; Cadence (pas/min)) ;</p>

			de la cheville	1 série de 10 réps à 50% de la 10RM 1 série de 10 réps à 75% de la 10RM 1 série de 10 réps à la 10RM Progression : principe de charge progressive		BBS ; DGI
Kim et al. (2018)	ECR en double aveugle	N = 30 (GE n=15 ; GC n=15) (plus un autre groupe ne rentrant pas dans les critères d'inclusion) Sexe = 16 femmes / 14 hommes Âge = GE : 58,44 (9,01) ; GC : 60,41 (5,84) Temps depuis AVC = entre 6 et 12 mois (GE : 8,46 ; GC : 6,34) ; Chronique État initial des patients : - MMSE = GE : 26,67 (4,79) ; GC : 26,74 (2,54) - MAS = GE : 2,12 (0,54) ; GC : 1,97 (0,07) - EVA = GE : 2,30 (0,13) ; GC : 2,09 (0,31)	MS	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG et EC PNG 30 min + Table de verticalisation 20 min : Entraînement croisé progressif axé sur la tâche, tel que des exercices adaptés à la cible et le lancement d'une balle, en utilisant le MS sain, pendant la station debout sur le MI sain. 5 séries de 10 réps Progression : Principe de charge progressive avec l'atteinte de cibles plus éloignées, l'augmentation de la vitesse et l'entraînement au lancer de charges plus lourdes (26 à 253 g).	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 3x /sem pour PNG PNG 30 min + Table de verticalisation en immobilisation avec des ceintures au niveau thoracique, pelvienne et aux genoux 20 min	WMFT
Shao et al. (2023)	ECR en simple aveugle	N = 127 (GE n=63 ; GC n=64) Sexe = 43 femmes / 84 hommes Âge = GE : 64,56 (7,08) ; GC : 65,72 (5,95) Temps depuis AVC = dans les 6 semaines (GE : 21,78 j ; GC : 21,5 j) ; Subaiguë État initial des patients :	Iliopsoas, quadriceps et biceps brachial	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG et EC Sur la base de la PNG en rajoutant : Entraînement croisé à la traction des MS sains à l'aide d'un élastique debout, ainsi qu'en	Durée : 6 semaines Fréquence : 1x /j, 5x /sem pour PNG PNG 45 min + Entraînement aux AVQ, sur bicyclette dynamométrique, de	Outcomes primaire : BBS Outcomes secondaire : 6-MWT

		<ul style="list-style-type: none"> - NIHSS = GE : 16,25 (3,69) ; GC : 15,97 (3,30) - MBI = GE : 35,30 (5,58) ; GC : 35,84 (5,93) - BBS = GE : 23,37 (4,95) ; GC : 24,98 (5,67) - 6-MWT = GE : 56,31 (25,67) ; GC : 60,51 (21,99) 		<p>modifiant avec un élastique l'entraînement des MI sains à la marche en avant de manière répétée 45 min.</p> <p>3 séries de 10~15 réps</p> <p>Progression : l'élastique (rouge, verte ou bleue) a été choisie en fonction de l'état du patient.</p> <p>+ Entraînement aux AVQ, sur bicyclette dynamométrique, de fonctionnement des mains et électrothérapie 1h45</p>	<p>fonctionnement des mains et électrothérapie 1h45</p>	
Kim et al. (2015)	ECR en simple aveugle	<p>N = 20 (GE n=10 ; GC n=10) (plus un autre groupe ne rentrant pas dans les critères d'inclusion)</p> <p>Sexe = 10 femmes / 10 hommes</p> <p>Âge = GE : 58,53 (11,83) ; GC : 61,24 (8,73)</p> <p>Temps depuis AVC = entre 3 et 9 mois (GE : 7,99 ; GC : 6,71) ; Chronique</p> <p>État initial des patients :</p> <ul style="list-style-type: none"> - MMSE = GE : 26,09 (4,28) ; GC : 25,91 (3,74) 	MI	<p>Durée : 3 semaines</p> <p>Fréquence :</p> <p>1x /j, 5x /sem pour PNG et EC</p> <p>PNG 30 min + Table de verticalisation 20 min : Entraînement croisé progressif axé sur la tâche, tel que le kick ball et des exercices adaptés à la cible avec le MI sain</p>	<p>Durée : 3 semaines</p> <p>Fréquence :</p> <p>1x /j, 5x /sem pour PNG</p> <p>PNG 30 min + Table de verticalisation en immobilisation avec des ceintures au niveau thoracique, pelvienne et aux genoux 20 min</p>	<p>Paramètres de la marche à l'aide du système GAITRite (tapis avec des capteurs placé au milieu d'un couloir de 10m) (vitesse, cadence, longueur de la foulée du côté affecté, symétrie de la marche et pourcentage de double appui) /10MWT</p>

EC : Entraînement croisé ; ED : Entraînement direct ; PNG : Physiothérapie neurologique générale ; MBI : modified Barthel index ; MMSE : mini mental state examination ; FMA-UE : Fugl-Meyer Assessment for the upper extremity ; EHI : Edinburgh Handedness Inventory ; NIHSS : National Institute of Health Stroke Scale ; MAS : Modified Ashworth Spasticity scale ; EVA : Echelle visuelle analogique ; 10MWT : Test de marche de 10 mètres ; TUG : Time up and go test ; NHPT : Nine-Hole Peg Test ; BBT : Box and Block Test ; PPT : Purdue Pegboard Test ; FRT : Functional reach test ; OLST : Test d'équilibre unipodal ; BBS : Berg Balance Scale ; DGI : Dynamic Gait Index ; 6-MWT : Test de marche de 6 minutes ; WMFT : Test modifié de la fonction motrice de Wolf.

Physiothérapie neurologique générale (PNG) comprend des exercices de renforcement musculaire du côté parétique, et peut comprendre des exercices d'étirement, de mobilité, d'équilibre, de marche, de contrôle postural, de facilitation neuromusculaire proprioceptive, d'entraînement spécifique à la tâche (comprenant des techniques pour les AVQ), d'entraînement aérobie et de stimulation électrique fonctionnelle.

Annexe IV : Présentation détaillée des résultats des études incluses dans la revue systématique (partie MI)

Étude et échantillon	Échelle d'évaluation	Résultats pré-entraînement moyenne (écart-type) sauf exception précisée	Résultats post-entraînement moyenne (écart-type) sauf exception précisée	Différence intragroupe moyenne ou moyenne (écart-type) sauf exception précisée	Différence intergroupe moyenne ou moyenne (écart-type) ou moyenne [IC95] sauf exception précisée
Park C et al. (2021) N=52	TUG (en s)	GC1 : 17,56 (6,22) GC2 : 16,77 (5,60) GE : 18,68 (5,27)	GC1 : 17,13 (6,06) GC2 : 14,73 (4,82) GE : 16,74 (5,79)	GC1 : 0,981 p=0.339 GC2 : 3,566 p=0.003** GE : 3,985 p=0.001**	0,842 p=0.437
	10MWT (en s)	GC1 : 14,26 (6,16) GC2 : 14,34 (5,96) GE : 15,49 (5,65)	GC1 : 13,79 (6,58) GC2 : 12,13 (4,36) GE : 14,22 (5,66)	GC1 : 1,150 p=0.265 GC2 : 2,922 p=0.011* GE : 2,699 p=0.015*	0,597 p=0.544
	Système d'analyse du biofeedback pour mesurer les	Du côté parétique : GC1 : 1028,79 (755,23) GC2 : 1185,87 (955,29)	Du côté parétique : GC1 : 1504,11 (975,00) GC2 : 2243,40 (1108,27)	Du côté parétique : GC1 : -3,553 p=0.002** GC2 : -4,447 p=0.001**	Du côté parétique : 1,681 p=0.197

	limites de la stabilité (en mm ²)	<p>GE : 1100,50 (1034,92)</p> <p>Du côté sain :</p> <p>GC1 : 1341,95 (1026,32)</p> <p>GC2 : 1244,13 (1056,67)</p> <p>GE : 1273,17 (945,76)</p> <p>En avant :</p> <p>GC1 : 1506,95 (1147,75)</p> <p>GC2 : 1578,93 (1355,18)</p> <p>GE : 1518,78 (1295,99)</p> <p>En arrière :</p> <p>GC1 : 863,79 (632,92)</p> <p>GC2 : 851,07 (608,01)</p> <p>GE : 854,89 (732,02)</p> <p>Global :</p> <p>GC1 : 2370,74 (1708,23)</p> <p>GC2 : 2430,00 (1913,27)</p> <p>GE : 2373,67 (1922,69)</p>	<p>GE : 1813,72 (1383,21)</p> <p>Du côté sain :</p> <p>GC1 : 1980,63 (1485,32)</p> <p>GC2 : 2396,60 (1414,93)</p> <p>GE : 2376,72 (1800,33)</p> <p>En avant :</p> <p>GC1 : 2216,79 (1670,69)</p> <p>GC2 : 2744,40 (1375,22)</p> <p>GE : 2717,17 (2029,68)</p> <p>En arrière :</p> <p>GC1 : 1267,95 (791,46)</p> <p>GC2 : 1895,60 (1038,29)</p> <p>GE : 1473,28 (1245,63)</p> <p>Global :</p> <p>GC1 : 3484,74 (2364,95)</p> <p>GC2 : 4640,00 (2186,65)</p> <p>GE : 4190,44 (3135,59)</p>	<p>GE : -5,105 p=0.000**</p> <p>Du côté sain :</p> <p>GC1 : -2,817 p=0.011*</p> <p>GC2 : -5,118 p=0.000**</p> <p>GE : -3,669 p=0.002**</p> <p>En avant :</p> <p>GC1 : -2,840 p=0.011*</p> <p>GC2 : -4,816 p=0.000**</p> <p>GE : -5,187 p=0.000**</p> <p>En arrière :</p> <p>GC1 : -3,585 p=0.002**</p> <p>GC2 : -5,472 p=0.000**</p> <p>GE : -2,759 p=0.013*</p> <p>Global :</p> <p>GC1 : -3,364 p=0.003**</p> <p>GC2 : -6,417 p=0.000**</p> <p>GE : -4,310 p=0.000**</p>	<p>Du côté sain : 0,395 p=0.676</p> <p>En avant : 0,530 p=0.592</p> <p>En arrière : 1,562 p=0.220</p> <p>Globalement : 0,852 p=0.433</p>
Park SC et al. (2021)	10MWT (en s) <i>résultats sous forme de médiane (percentile 25-75%)</i>	<p>GC : 20,5 (12,7-52,6)</p> <p>GE : 23,6 (13,9-42,8)</p>	<p>GC : 15,7 (12,2-46,6)</p> <p>GE : 19,4 (9,3-33,8)</p>	<p>GC : -3,9 (-10,0- -0,6) p<0.05*</p> <p>GE : -3,1 (-4,6- -1,1) p<0.05*</p>	-0,352 p>0.05
	TUG (en s) <i>résultats sous forme de médiane (percentile 25-75%)</i>	<p>GC : 23,6 (13,9-49,7)</p> <p>GE : 29,0 (14,7-48,2)</p>	<p>GC : 19,1 (12,6-44,6)</p> <p>GE : 26,1 (10,8-33,4)</p>	<p>GC : -4,8 (-11,2- -2,7) p<0.05*</p> <p>GE : -5,6 (-10,1- -2,7) p<0.05*</p>	-0,211 p>0.05
Harjpal et al. (2022)	FRT (en cm)	<p>GC : 11,55 (1,84)</p> <p>GE : 12,65 (2,13)</p>	<p>GC : 28,20 (3,56)</p> <p>GE : 32 (3,74)</p>	<p>GC : 16,65 (4,14) p=0.0001**</p> <p>GE : 19,35 (3,39) p=0.0001**</p>	2,7 (2,61) p=0.030*
	OLST (en s)	<p>GC : 0,85 (0,36)</p> <p>GE : 0,90 (0,44)</p>	<p>GC : 4,40 (0,59)</p> <p>GE : 5,60 (0,75)</p>	<p>GC : 3,55 (0,60) p=0.0001**</p> <p>GE : 4,70 (0,80) p=0.0001**</p>	1,15 (0,66) p=0.0001**

N=40	10MWT (Vitesse de marche (m/sec) ; Longueur de la foulée (cm) ; Cadence (pas/min))	Vitesse de marche : GC : 0,03 (0,01) GE : 0,04 (0,01) Longueur de la foulée : GC : 19 (2,80) GE : 21,60 (3,58) Cadence : GC : 24,60 (3,16) GE : 26,15 (3,95)	Vitesse de marche : GC : 0,21 (0,05) GE : 0,35 (0,07) Longueur de la foulée : GC : 56,40 (8,50) GE : 68,85 (7,12) Cadence : GC : 46,30 (5,33) GE : 62,65 (9,17)	Vitesse de marche : GC : 0,17 (0,05) p=0.0001** GE : 0,31 (0,07) p=0.0001** Longueur de la foulée : GC : 37,40 (9,27) p=0.0001** GE : 47,25 (7,98) p=0.0001** Cadence : GC : 21,70 (6,39) p=0.0001** GE : 36,50 (8,65) p=0.0001**	Vitesse de marche : 0,14 (0,02) p=0.0001** Longueur de la foulée : 9,85 (1,27) p=0.0001** Cadence : 14,8 (2,25) p=0.0001**
	BBS (/56)	GC : 23,85 (3,99) GE : 29,80 (6,62)	GC : 39,45 (4,68) GE : 46,60 (3,05)	GC : 13,60 (3,63) p=0.0001** GE : 16,80 (6,92) p=0.0001**	3,2 (6,12) p=0.020*
	DGI (/24)	GC : 7,65 (1,53) GE : 8,55 (1,98)	GC : 17,30 (2) GE : 19,30 (1,71)	GC : 9,65 (2,05) p=0.0001** GE : 10,75 (2,02) p=0.0001**	1,1 (0,27) p=0.030*
Shao et al. (2023) N=127	BBS (/56)	GC : 24,98 (5,67) GE : 23,37 (4,95)	GC : 34,44 (8,82) GE : 39,33 (8,56) Ajusté aux valeurs pré-entraînement : GC : 33,47 (0,74) GE : 40,30 (0,75)	GC : p<0.05* GE : p<0.05*	6,83 [4,71-8,94], p<0,001**
	6-MWT (en m)	GC : 60,51 (21,99) GE : 56,31 (25,67)	GC : 149,16 (41,91) GE : 194,13 (43,05) Ajusté aux valeurs pré-entraînement : GC : 146,45 (3,45) GE : 196,82 (3,48)	GC : / GE : /	50,32 [40,58-60,05], p<0,001**
Kim et al. (2015) N=20	Système GAITRite : Vitesse (en cm/s), Cadence (en pas/min), Longueur de la foulée du	Vitesse de marche : GC : 77,91 (14,33) GE : 84,01 (12,71) Cadence :	Vitesse de marche : GC : 77,72 (15,49) GE : 92,59 (13,57) Cadence :	Vitesse de marche : GC : 0,94 p=0.88 GE : -10,11 p=0.00** Cadence :	Vitesse de marche : 30,05 p=0.03* Cadence :

côté affecté (en cm), Symétrie de la marche, Période de double appui (en % cycle)	GC : 97,29 (5,43)	GC : 98,44 (5,90)	GC : -0,91 p=0.39	17,29 p=0.02*
	GE : 97,42 (10,20)	GE : 105,78 (9,21)	GE : -9,15 p=0.00**	
Longueur de la foulée :	GC : 110,29 (12,87)	GC : 111,20 (11,09)	GC : -0,91 p=0.45	Longueur de la foulée :
	GE : 104,65 (29,65)	GE : 113,29 (29,85)	GE : -10,10 p=0.00**	14,23 p=0.00**
Symétrie de la marche :	GC : 2,59 (1,12)	GC : 2,46 (1,35)	GC : 0,82 p=0.07	Symétrie de la marche :
	GE : 2,87 (1,09)	GE : 1,03 (0,32)†, ‡	GE : 7,10 p=0.00**	7,45 p=0.03*
Période de double appui :	GC : 57,72 (7,61)	GC : 56,91 (8,74)	GC : 0,89 p=0,11	Période de double appui :
	GE : 59,64 (9,71)	GE : 42,91 (10,23)†, ‡	GE : 15,49 p=0.00**	10,99 p=0.00**

* p<0.05 ; ** p<0.01 ; † significativement différent du GC ; ‡ significativement différent du GE1.

Annexe V : Présentation détaillée des résultats des études incluses dans la revue systématique (partie MS)

Etude et échantillon	Échelle d'évaluation	Résultats pré-entraînement moyenne (écart-type) sauf exception précisée	Résultats post-entraînement moyenne (écart-type) sauf exception précisée	Différence intragroupe moyenne sauf exception précisée	Différence intergroupe moyenne ou U : , r : sauf exception précisée
Kumagai et al. (2022) N=24	NHPT (en s)	GC : 43,8 (9,3) GE : 43,7 (8,5)	1 j après l'entraînement : GC : 35,9 (7,2) GE : 34,9 (6,9) 1 sem après l'entraînement : GC : 35,7 (5,6)	GC : / GE : /	1 j après l'entraînement : U = 68,0, p = 0,843, r = 0,05 1 sem après l'entraînement : U = 70,0, p = 0,932, r = 0,02

			GE : 35,8 (7,5)		
	BBT (nb de blocs)	GC : 32,5 (9,7) GE : 36,0 (8,9)	1 j après l'entraînement : GC : 35,6 (10,3) GE : 39,7 (8,5) 1 sem après l'entraînement : GC : 39,0 (9,4) GE : 40,1 (7,7)	GC : / GE : /	1 j après l'entraînement : U = 73,5, p = 0,932, r = 0,02 1 sem après l'entraînement : U = 83,0, p = 0,551, r = 0,13
	PPT (nb de chevilles)	GC : 5,7 (1,9) GE : 6,3 (2,0)	1 j après l'entraînement : GC : 6,2 (1,8) GE : 7,1 (1,9) 1 sem après l'entraînement : GC : 6,3 (1,2) GE : 7,1 (2,3)	GC : / GE : /	1 j après l'entraînement : U = 62,0, p = 0,590, r = 0,12 1 sem après l'entraînement : U = 62,5, p = 0,590, r = 0,11
Rezaei et al. (2023) N=20	BBT (nb de blocs) <i>résultats sous forme de médiane</i>	GC : 23,5 GE : 12,0	GC : 25,0 GE : 19,5	GC : 2,0 p=0.007** GE : 9,0 p=0.005**	15,761 p=0,0001**
Kim et al. (2018) N=30	WMFT (/75)	GC : 40,17 (16,23) GE : 39,17 (16,91)	GC : 41,03 (15,87) GE : 53,74 (17,05)	GC : -0.91 p=0.45 GE : -10,10 p=0,003**	14,32 p=0,001**

* p<0.05 ; ** p<0.01

