

Institut Limousin de FOrmation aux MÉtiers de la
Réadaptation

Ergothérapie

**Les exosquelettes de rééducation du membre supérieur : leur
impact sur la récupération motrice des patients ayant subi un
Accident Vasculaire Cérébral**

Identification de l'impact des exosquelettes de rééducation du membre supérieur sur
la plasticité cérébrale des patients AVC

Mémoire présenté et soutenu par
BREGAUD Léo

En juin 2022



Mémoire dirigé par
ANDRIEUX Lise

Ergothérapeute dans le Service de Médecine Physique et de Réadaptation à
l'Hôpital Jean REBEYROL

Remerciements

Je tiens à adresser mes sincères remerciements aux personnes m'ayant aidé à réaliser ce mémoire de fin d'étude.

Je remercie ma directrice de mémoire, Lise ANDRIEUX, ergothérapeute, de m'avoir conseillé, encadré et qui a pris du temps afin de m'orienter dans ce travail.

Je tiens également à remercier Stéphane MANDIGOUT, Maître de conférences à l'ILFOMER qui, par son expérience a su nous donner confiance en notre travail et s'est rendu disponible pour nous fournir des conseils durant ce travail.

Je remercie l'ensemble de l'équipe pédagogique de la filière ergothérapie de l'ILFOMER à savoir Thierry SOMBARDIER, Patrick TOFFIN et Lydia DARSY pour leur accompagnement durant ces trois années de formation.

Je remercie mes camarades de promotion qui m'ont permis de vivre des moments inoubliables durant trois années remplies d'imprévus.

Enfin, je tiens à remercier ma famille, mes amis et ma copine pour leur soutien sans faille et leurs encouragements.

Droits d'auteurs

Cette création est mise à disposition selon le Contrat :

« **Attribution-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de modification 3.0 France** »

disponible en ligne : <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>



Charte anti-plagiat

La Direction Régionale de la Jeunesse, des Sports et de la Cohésion Sociale délivre sous l'autorité du Préfet de région les diplômes du travail social et des auxiliaires médicaux et sous l'autorité du Ministre chargé des sports les diplômes du champ du sport et de l'animation.

Elle est également garante de la qualité des enseignements délivrés dans les dispositifs de formation préparant à l'obtention de ces diplômes.

C'est dans le but de garantir la valeur des diplômes qu'elle délivre et la qualité des dispositifs de formation qu'elle évalue que les directives suivantes sont formulées à l'endroit des étudiants et stagiaires en formation.

Article 1 :

Tout étudiant et stagiaire s'engage à faire figurer et à signer sur chacun de ses travaux, deuxième de couverture, l'engagement suivant :

Je, soussigné BREGEAUD Léo

Atteste avoir pris connaissance de la charte anti plagiat élaborée par la DRDJSCS NA – site de Limoges et de m'y être conformé.

Et certifie que le mémoire/dossier présenté étant le fruit de mon travail personnel, il ne pourra être cité sans respect des principes de cette charte.

Fait à LIMOGES, Le mercredi 25 mai 2022

Suivi de la signature.



Article 2 :

« Le plagiat consiste à insérer dans tout travail, écrit ou oral, des formulations, phrases, passages, images, en les faisant passer pour siens. Le plagiat est réalisé de la part de l'auteur du travail (devenu le plagiaire) par l'omission de la référence correcte aux textes ou aux idées d'autrui et à leur source ».

Article 3 :

Tout étudiant, tout stagiaire s'engage à encadrer par des guillemets tout texte ou partie de texte emprunté(e) ; et à faire figurer explicitement dans l'ensemble de ses travaux les références des sources de cet emprunt. Ce référencement doit permettre au lecteur et correcteur de vérifier l'exactitude des informations rapportées par consultation des sources utilisées.

Article 4 :

Le plagiaire s'expose aux procédures disciplinaires prévues au règlement intérieur de l'établissement de formation. Celles-ci prévoient au moins sa non-présentation ou son retrait de présentation aux épreuves certificatives du diplôme préparé.

En application du Code de l'éducation et du Code pénal, il s'expose également aux poursuites et peines pénales que la DRJSCS est en droit d'engager. Cette exposition vaut également pour tout complice du délit.

Vérification de l'anonymat

Mémoire DE Ergothérapeute
Session de juin 2022
Attestation de vérification d'anonymat

Je soussignée(e) BREGEAUD Léo

Etudiant.e de 3ème année

Atteste avoir vérifié que les informations contenues dans mon mémoire respectent strictement l'anonymat des personnes et que les noms qui y apparaissent sont des pseudonymes (corps de texte et annexes).

Si besoin l'anonymat des lieux a été effectué en concertation avec mon Directeur de mémoire.

Fait à :LIMOGES

Le : mercredi 25 mai 2022

Signature de l'étudiant.e



Table des abréviations

| | |
|-------------|---|
| AROM | Active Range Of Motion |
| AVC | Accident Vasculaire Cérébral |
| BS | Brunnstorm Stage |
| CIF | Classification Internationnal de Fonctionnement |
| EEG | ElectroEncéphalogramme |
| FMA | Flugl-Meyer Assesment |
| IB | Indice de Barthel |
| MAS | Modified Ashword Assesment |
| PEM | Potentiel Evoqué Moteur |
| PSC | Période de Silence Cortical |
| rPAS | Stimulation Associative Appariée rapide |
| SMA | Seuil Motor Actif |
| SMR | Seuil Motor de Repos |
| SMT | Stimulation Magnétique Transcrannienne |
| SSR | Soins de Suites et de Réadaptation |

Table des matières

| | |
|---|----|
| Introduction..... | 11 |
| Etat de l'art | 12 |
| 1. Accident Vasculaire Cérébral | 12 |
| 1.1. Définition..... | 12 |
| 1.2. Epidémiologie | 12 |
| 1.3. Facteurs de risque | 13 |
| 1.4. Conséquences..... | 13 |
| 1.5. Parcours de soin..... | 14 |
| 1.6. L'ergothérapeute..... | 15 |
| 1.7. La Classification Internationale de Fonctionnement (CIF)..... | 16 |
| 1.8. Rééducation et récupération motrice..... | 17 |
| 2. Plasticité cérébrale | 19 |
| 2.1. Définition..... | 19 |
| 2.2. Méthodes de mesure de la plasticité cérébrale | 20 |
| 2.3. Plasticité et AVC | 20 |
| 3. La thérapie assistée par robot | 22 |
| 3.1. La technologie | 22 |
| 3.2. La robotique..... | 22 |
| 3.3. Les exosquelettes..... | 23 |
| Problématisation..... | 25 |
| Méthodologie..... | 26 |
| 1. Étape 1 : Objectif et question de recherche | 26 |
| 2. Étape 2 : Sources d'informations pertinentes..... | 26 |
| 3. Étape 3 : Faire la sélection des articles..... | 27 |
| 4. Étape 4 : Analyse des données à l'aide d'une grille | 28 |
| 5. Étape 5 : Rassembler, résumer et présenter les résultats | 29 |
| Résultats | 30 |
| 1. Synthèse..... | 32 |
| 2. Population..... | 36 |
| 3. Intervention..... | 37 |
| 4. Evaluations | 38 |
| 4.1. Tests excitabilité corticale / Plasticité | 38 |
| 4.2. Tests Cliniques | 39 |
| 5. Synthèse narrative..... | 41 |
| Discussion | 43 |
| 1. Réorganisation corticale mesurée | 43 |
| 2. Corrélation avec les tests mesurant la récupération motrice..... | 44 |
| 2.1. Tests cliniques | 44 |
| 2.2. Tests fonctionnels..... | 45 |
| 3. Limites | 46 |
| 4. Perspectives | 46 |
| Conclusion..... | 48 |
| Références bibliographiques..... | 49 |

Table des illustrations

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Classification Internationale de Fonctionnement | 17 |
| Figure 2 : Mécanismes Plasticité Cérébrale..... | 21 |
| Figure 3 : Synthèse des données concernant la population | 36 |
| Figure 4 : Synthèse des données concernant l'intervention | 37 |

Table des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Critère PICO..... | 26 |
| Tableau 2 : Liste des mots-clés de recherche | 27 |
| Tableau 3 : Critères d'inclusion et d'exclusion des articles | 28 |
| Tableau 4 : Récapitulatif résultats..... | 35 |
| Tableau 5 : Synthèse des test utilisés pour mesurer la plasticité cérébrale | 38 |
| Tableau 6 : Synthèse des tests cliniques et fonctionnels utilisés..... | 40 |

Introduction

L'accident vasculaire cérébral (AVC) est un enjeu de santé publique car il est la 3ème cause de mortalité chez l'homme et la 2ème chez la femme. On dénombre environ 500 000 personnes vivant avec des séquelles de ces AVC. La question de la récupération motrice post-AVC est primordiale pour pouvoir favoriser une autonomie et une indépendance des patients dans leur environnement.

C'est dans ce contexte qu'intervient l'ergothérapeute et il était important de questionner son rôle dans la prise en charge de l'AVC. L'ergothérapeute va par le biais d'outils qui lui sont propres (mises en situation, visite à domicile...) ou communs avec d'autres professionnels (mobilisation, exercice de répétition...) permettre d'optimiser la récupération des patients dans la pratique de ses activités quotidiennes.

La plupart des exercices d'ergothérapie visant à favoriser la récupération motrice des patients AVC, s'appuie sur le phénomène de plasticité cérébrale. La recherche concernant cette plasticité cérébrale est de plus en plus importante mais ce mécanisme laisse place à de nombreuses zones d'ombre. Néanmoins, il est intéressant de se demander le rôle des interventions de rééducation sur cette plasticité.

De plus, avec l'émergence des nouvelles technologies, la rééducation se réinvente avec de nouvelles techniques, de nouveaux supports ainsi que du matériel qui évolue. Parmi ces nouvelles techniques, il y a les exosquelettes de rééducation. Les exosquelettes de rééducation vont permettre de travailler la répétition de mouvements, en réduisant la pesanteur afin de faciliter le travail actif du patient dans différents degrés de liberté. Ce moyen de rééducation est récent et il peut être difficile qu'un centre ou un hôpital ait ce genre d'installation coûteuse. Néanmoins, l'utilisation de ces exosquelettes est en augmentation et les articles scientifiques traitants de ce sujet sont de plus en plus nombreux. Il est intéressant de se questionner sur le potentiel apport de cette technologie.

A la suite de mes expériences de stage dans un service de Médecine Physique et de Réadaptation, je me suis questionné sur les exosquelettes de rééducation du membre supérieur. Je me suis demandé si cette rééducation apportait une réelle plus-value en terme de récupération post-AVC.

L'objectif de cette étude est d'identifier les impacts de la rééducation par exosquelette des membres supérieurs sur la récupération motrice des patients ayant subi un AVC en mettant l'accent sur son action sur la plasticité cérébrale. L'intérêt va être de comprendre par la suite en quoi l'ergothérapeute va avoir un rôle dans l'utilisation de cette technique et comment il peut apporter une expertise en complément de cette dernière.

Etat de l'art

1. Accident Vasculaire Cérébral

1.1. Définition

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) définit l'AVC comme : « résultant de l'interruption de la circulation sanguine dans le cerveau, en général quand un vaisseau sanguin éclate ou est bloqué par un caillot. L'apport en oxygène et en nutriments est stoppé, ce qui endommage les tissus cérébraux ».(1)

Il existe 2 types d'AVC :

- L'AVC Ischémique (80%)
- L'AVC Hémorragique (20%)

Le terme « accident ischémique cérébral (AIC) » comprend l'AVC causé par un infarctus cérébral et l'accident ischémique transitoire (AIT). L'AIT est un dysfonctionnement neurologique transitoire causé par une ischémie focale cérébrale ou rétinienne. Les symptômes cliniques durent généralement moins d'une heure. Il n'y a aucun signe d'infarctus aigu sur l'imagerie cérébrale. Les plus courants sont les diagnostics rétrospectifs, qui représentent 10 % de tous les AIC, mais ils sont largement sous-estimés. Cependant, ils sont des signes avant-coureurs d'une récurrence d'ischémie à court terme. Le risque d'AVC après un AIT est le plus élevé dans les 48 premières heures et est de 10 à 20 % dans les 3 mois.

Les AVC hémorragiques regroupent les hémorragies primitivement intracérébrales (environ 15% des AVC) et les hémorragies cérébro-méningées (environ 5% des AVC). Ils résultent de la rupture d'une malformation vasculaire ou d'une petite artère et sont favorisés par l'hypertension artérielle et les traitements antithrombotiques.(2)

1.2. Epidémiologie

D'après Santé Publique France, on dénombre plus de 140 000 AVC par an en France ce qui fait de l'AVC une des plus grande cause de décès en France et dans le monde. De plus, 75% des personnes ayant eu un AVC ont des séquelles physiques.(3) En effet, un AVC sur deux entraîne des séquelles motrices ou un trouble du langage, ce qui permet de mieux comprendre pourquoi seulement 40 % des personnes reprennent une activité professionnelle à plein temps (3). C'est la première cause de handicap acquis de l'adulte.(4)

La prévention et la prise en charge des patients AVC sont de vrais problèmes de santé publique. En effet, la proportion de patients transférés en soins de suite ou de réadaptation (SSR) à la suite d'une hospitalisation pour AVC a été estimée à 36,3 % en 2014.(3) D'importants efforts d'organisation ont été réalisés afin de répondre aux besoins de la population, par exemple, le développement des unités neuro-vasculaires, mais la majorité des patients n'y sont pas hospitalisés.(5) La proportion de patients hospitalisés en SSR a légèrement augmenté entre 2010 et 2014 (+1,6 % par an).

1.3. Facteurs de risque

D'après le Larousse, un facteur de risque est : « un facteur qui augmente le risque d'apparition de maladies ». (6) Lorsque les facteurs s'additionnent, le risque lui se multiplie et c'est le cas pour l'AVC. Le ministère des solidarités et de la santé présente dix facteurs de risques déterminés par le mode de vie à la survenue de 90% des AVC :

- « L'antécédent d'hypertension artérielle, qui contribue à 40% au risque d'AVC.
- Le tabagisme, qui triple le risque d'AVC.
- L'obésité abdominale, évaluée par le rapport du tour de taille/tour de hanche, qui contribue à hauteur de 36% à l'AVC.
- Une alimentation non équilibrée contribue à hauteur de 33% au risque d'AVC.
- Le manque d'activité physique.
- La consommation d'alcool.
- La fibrillation atriale, qui est le premier facteur de risque d'origine cardiaque, avec un risque multiplié par quatre.
- Les facteurs psychosociaux (stress, dépression, isolement social...).
- Un diabète, pour l'AVC ischémique.
- Une concentration trop élevée d'un ou plusieurs lipides présents dans le sang (cholestérol, triglycérides...) ». (7)

1.4. Conséquences

De nombreuses séquelles peuvent survenir à la suite d'un AVC. En fonction de la zone artérielle liée à cet accident, des manifestations cliniques peuvent apparaître. Plusieurs causes sont à l'origine de déficits: la circulation antérieure pouvant entraîner une aphasia, un déficit moteur, une hémiplegie et la circulation postérieure pouvant entraîner une hémianopsie, un syndrome cérébelleux par exemple. (2)

Les séquelles langagières et l'héminégligence spatiale

Des troubles du langage existent chez 15 à 46% des patients à la phase aiguë de l'AVC. (8) Ceci peut correspondre à ce que l'on appelle l'aphasie, qui est un trouble de la communication qui peut se manifester dans l'expression et/ou la compréhension orale ou écrite. Cet ensemble est à l'origine de perturbation de diverses activités; comme la lecture, l'écriture et d'autres gestes du quotidien en plus de la parole. Plusieurs prises en charge peuvent être proposées, mais la plus optimale reste l'orthophonie. (9)

Les séquelles cognitives et dépressives

Les personnes ayant subi un AVC peuvent être séquellaires de ce que l'on appelle les troubles cognitifs. Ils regroupent différents domaines : mémoire, langage, praxies, fonctions

visuo-spatiales, gnosies, fonctions exécutives et attention.(10) Les différents facteurs de l'apparition de ces troubles ont été étudiés mais ces derniers restent encore partiellement connus (troubles cognitifs post-AVC, âge élevé, sexe féminin, niveau d'éducation, facteurs de risques vasculaires, localisation de la lésion...).(11) Pour traiter ces troubles cognitifs, la méthode la plus optimale reste la rééducation sur la base de la stimulation cognitive.(12) A cela peuvent s'ajouter des troubles du comportement et des troubles dépressifs. Pour traiter ces troubles, des outils psychologiques et neuropsychologiques vont être utilisés.(11)

Séquelles motrices

Ce sont ces séquelles qui nous intéressent le plus dans le cadre de ce mémoire. Environ 40% des patients hospitalisés dans les suites d'un AVC présenteraient une déficience motrice.(13) Prenons l'exemple de l'hémiplégie; celle-ci constitue la perte partielle ou totale des mouvements volontaires. Elle est due à un trouble de la commande motrice de l'hémicorps opposé à la lésion cérébrale. Les voies motrices et sensitives sont croisées de telle sorte que la commande volontaire des mouvements soit controlatérale. De ce fait, les ordres d'exécution du cerveau ne sont plus transmis aux muscles effecteurs des membres controlatéraux. Il en découle une paralysie d'une ou de plusieurs parties d'une même moitié du corps (bras, jambe, visage).

Cette séquelle motrice peut se traduire de différentes manières. Le déficit moteur peut toucher différentes parties du corps et entraîner différents types de dommages comme une paralysie faciale avec des troubles de la parole et des troubles de la déglutition associés, un déficit de tonus du tronc et des fonctions vésico-sphinctériennes, un déficit du membre supérieur avec des difficultés de préhension, une atteinte du membre inférieur ayant un impact sur la marche et les déplacements.

Environ la moitié des patients qui présentent une hémiplégie vont garder une atteinte du membre supérieur.(14)

La majeure partie des patients vont avoir une récupération au niveau de cette hémiplégie. Celle-ci n'est pas toujours complète mais il est possible d'améliorer certains mouvements après l'AVC. De plus, le chemin de récupération est différent selon les patients. Pour favoriser cette récupération, une prise en charge rééducative sera mise en place.

Avec ce déficit de motricité peut s'accompagner un phénomène appelé la spasticité, définie par Lance comme étant « un désordre moteur caractérisé par une exagération vitesse-dépendante du tonus musculaire, associé à des saccades tendineuses, résultant d'une hyperexcitabilité du réflexe d'étirement. Il s'agit donc d'une exagération du réflexe myotatique ou composante tonique du réflexe d'étirement, dont la fonction physiologique est de maintenir le segment du membre dans une posture donnée ».(15)

1.5. Parcours de soin

Lorsqu'une personne fait un AVC, une prise en charge immédiate est nécessaire. Cette dernière commence dès l'entrée aux urgences où un diagnostic sera fait grâce à une imagerie médicale afin de réaliser une exploration du parenchyme cérébral et des vaisseaux. Cette dernière indique aux médecins si une thrombolyse doit être effectuée. A la suite de cela, une hospitalisation en Unité NeuroVasculaire (UNV) débute. Ces unités permettent de coordonner la filière de soin avec les autres services hospitaliers.(16) Le patient est hospitalisé notamment

pour surveiller son état de santé puisqu'environ 30% des AVC s'aggravent dans les premières heures. En fonction de l'état de santé du patient, les UNV vont orienter les patients vers :

- Leur domicile (avec plus ou moins d'aide : SSIAD, HAD, HEMIPASS, rééducateurs libéraux...)
- Une institution (MAS, EHPAD, FAM...)
- SSR

D'après le syndicat des SSR, « l'activité de Soins de Suite et de Réadaptation (SSR) a pour objet de prévenir ou de réduire les conséquences fonctionnelles, physiques, cognitives, psychologiques ou sociales des déficiences et des limitations de capacité des patients et de promouvoir leur réadaptation et leur réinsertion ». (17) Pour assurer ces soins, il y a une équipe pluriprofessionnelle qui se coordonne afin d'avoir des objectifs communs notamment le retour à domicile. Une équipe pluriprofessionnelle peut être composée de plusieurs intervenants avec notamment l'orthophoniste, la neuropsychologue, la psychologue, la diététicienne, le kinésithérapeute, l'ergothérapeute, l'infirmière, l'aide soignant, l'assistante sociale, le médecin...

Pour cela, trois grands moyens sont mis en oeuvre :

- La rééducation qui consiste en la récupération optimale d'un organe lésé.
- La réadaptation pour accompagner un patient dont les limitations d'activités sont irréversibles ainsi que la prévention.
- La réinsertion pour garantir une autonomie et une indépendance complète du patient.

L'objectif à atteindre est la sortie d'hospitalisation du patient avec la plus grande indépendance possible notamment dans les actes de la vie quotidienne. Le professionnel paramédical spécialisé dans l'autonomie et l'indépendance des activités de vie quotidienne est l'ergothérapeute.

1.6. L'ergothérapeute

L'Association Nationale Française des Ergothérapeutes (ANFE) définit l'ergothérapeute (Occupational Therapist) comme un professionnel de santé, exerçant dans les champs sanitaires, médico-sociaux et sociaux. Collaborant avec de nombreux professionnels (médecins, auxiliaires médicaux, travailleurs sociaux, acteurs de l'enseignement et de la formation, techniciens de l'habitat...), il est un intervenant incontournable dans le processus d'adaptation, de réadaptation et d'intégration sociale des personnes. L'ergothérapeute évalue les intégrités, les lésions, les capacités de la personne ainsi que ses performances motrices, sensorielles, cognitives et psychiques. Il analyse les besoins, les habitudes de vie, les facteurs environnementaux, les situations de handicap et pose un diagnostic ergothérapeutique. Il met en œuvre des soins et des interventions de prévention.

Le but est la collaboration entre le patient, l'entourage et le thérapeute afin que le patient soit au centre de sa rééducation.

L'ergothérapeute utilise des modèles conceptuels afin d'appuyer sa pratique. « Un modèle conceptuel est une représentation mentale simplifiée d'un processus qui intègre la théorie, les idées philosophiques sous-jacentes, l'épistémologie et la pratique ».(18) Les modèles peuvent être classés en trois catégories (19):

- « les modèles généraux, utilisés dans de nombreuses situations professionnelles (comme le modèle de résolution de problème ou le modèle de l'occupation humaine)
- les modèles appliqués s'adaptent à certaines pathologies ou situations (comme le modèle biomécanique ou le modèle ludique)
- les modèles de pratique, en lien avec les modèles appliqués, décrivent des évaluations et techniques spécifiques ».

1.7. La Classification Internationale de Fonctionnement (CIF)

Dans ce travail, nous allons principalement utiliser le modèle conceptuel de la CIF afin d'appuyer mon travail de recherche. La classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) a été élaborée sous l'égide de l'OMS (Figure 1). Elle fournit un cadre conceptuel standardisé, fondé sur une approche systémique du handicap, pour identifier les variations du fonctionnement humain. Elle a été adoptée en 2001 en succédant à la Classification Internationale du Handicap (CIH) qui était considérée pour beaucoup comme étant basée sur des catégories formulées négativement et qu'elle était centré sur le handicap individuel. Le terme fonctionnel renvoie à un aspect positif de l'interaction entre l'individu, son problème de santé et les facteurs face auxquels il évolue. Enfin, elle vise à être utilisée dans le domaine clinique pour évaluer des besoins, aider au choix des réponses les plus appropriées à apporter que se soit en termes de médicaments, de rééducation, de réadaptation ou d'aménagements des divers types d'environnements techniques et humains. (20)(21)

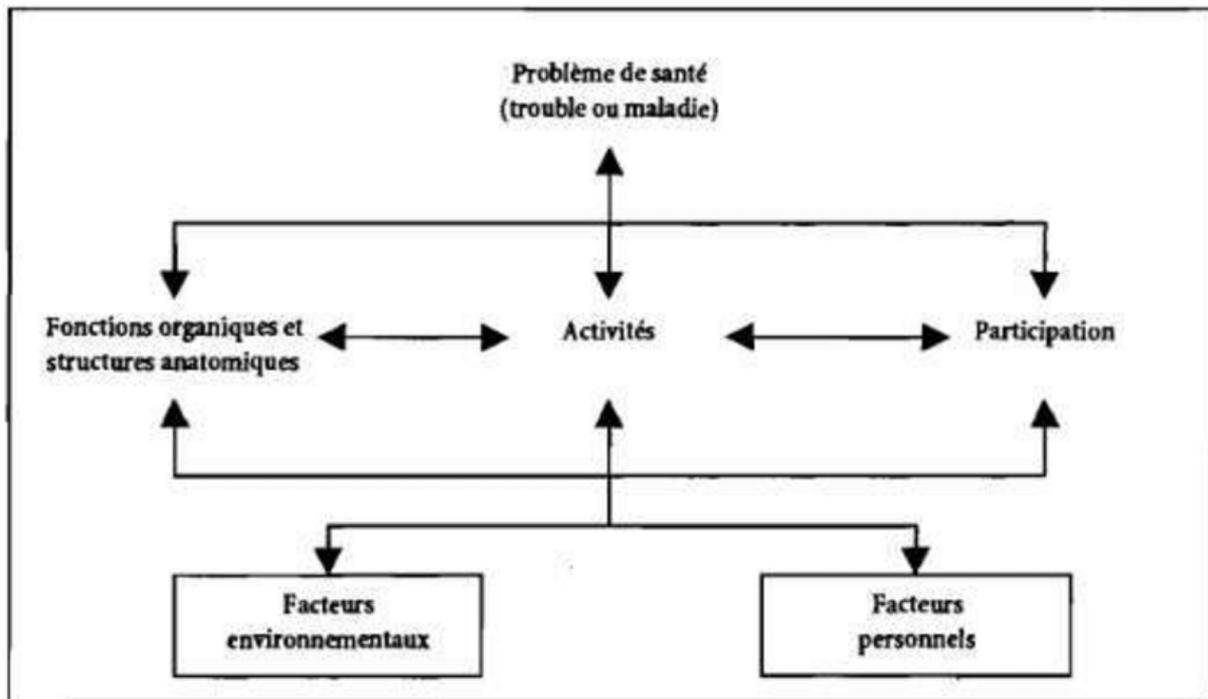


Figure 1 : Classification Internationale de Fonctionnement

Dans sa pratique, l'ergothérapeute va pouvoir utiliser la CIF pour comprendre les besoins des individus en terme d'activités de vie quotidienne, comprendre où se situent les déficiences (notamment grâce au langage scientifique commun avec les autres professionnels) en ciblant de façon analytique le besoin afin de fournir une réponse adaptée en terme de rééducation et donc d'exercices adaptés.(18)

Dans le cadre de l'AVC, ce modèle est utilisé afin de permettre aux professionnels rééducateurs d'adapter leur pratique notamment pour la rééducation des fonctions motrices et de pouvoir avoir un feedback durant l'hospitalisation du patient.

1.8. Rééducation et récupération motrice

« La rééducation du patient hémiplegique a fait d'importants progrès au cours des 20 à 25 dernières années. L'avènement de l'imagerie moderne a permis d'objectiver les modifications cérébrales après AVC, de comprendre les mécanismes de récupération en objectivant notamment la plasticité ».(22) La rééducation motrice de l'AVC est définie comme l'application de méthodes thérapeutiques pratiquées manuellement ou à l'aide d'instruments dont l'objet est la prévention secondaire, la conservation, le rétablissement, l'optimisation ou la suppléance des troubles de la fonction motrice consécutifs à un AVC avéré.

Trois mécanismes sont liés à la récupération fonctionnelle :

- La restitution est une récupération qui se fait dans le temps court suivant l'accident lorsque le tissu cérébrale transitoire inactif se réactive. Ce mécanisme n'est pas sensible à la rééducation.
- La substitution est une stimulation du processus de récupération notamment grâce à la plasticité neuronale. Elle se fait environ dans les 3 mois suivants l'AVC. Ce mécanisme lui, est sensible à la rééducation et en dépend.
- La compensation correspond à une récupération par défaut se faisant par une adaptation de l'environnement de la personne (relatéralisation, aides techniques...). Ce mécanisme doit être utilisé en dernier recours car cela va à l'encontre du principe de rééducation.(13)

Trois objectifs à la rééducation sont schématisés. Un objectif visant la stimulation des processus de plasticité cérébrale, un deuxième objectif visant la prévention de complications qui aggraveraient l'état du patient. Le dernier objectif étant de conduire le patient à une autonomie et indépendance optimale, quelle que soit la sévérité des séquelles.(22)

Ici, nous allons centrer nos recherches sur le membre supérieur. Pour la rééducation de ce membre supérieur, de nombreuses méthodes existent et la Haute Autorité de Santé (HAS) a rédigé une recommandation de bonne pratique.(23)

D'abord, on peut parler de la rééducation manuelle individuelle. Elle fait référence à l'application des techniques classiques de mobilisations passives et actives réalisées par un rééducateur en tête à tête avec le patient.

Ensuite, il y a l'activité physique. L'OMS définit l'activité physique comme tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui requiert une dépense d'énergie. L'activité physique désigne tous les mouvements que l'on effectue notamment dans le cadre des loisirs, sur le lieu de travail ou pour se déplacer. Une activité physique d'intensité modérée ou soutenue a des effets bénéfiques sur la santé.(24)

Nous pouvons également citer le renforcement musculaire qui va surtout être indiqué dans la phase chronique de l'AVC lorsqu'une possibilité de commande volontaire existe.

Il y a également la thérapie axée sur la répétition de tâche fonctionnelle. Cela consiste en une rééducation où le patient est actif dans sa rééducation et effectue des tâches qui sont signifiantes et significatives pour lui, afin d'apprendre des habiletés motrices.(25)

D'autres thérapies existent, comme celle axée sur la répétition de tâches fonctionnelles. Elle consiste en une rééducation où le patient est au centre, en activité et où il effectue des tâches signifiantes et significatives. Le but est de lui apprendre des habiletés motrices efficaces.

L'ensemble de ces techniques de rééducation se base sur la réalisation d'un mécanisme permettant la récupération : la plasticité cérébrale.

2. Plasticité cérébrale

2.1. Définition

Le concept de plasticité cérébrale peut se définir comme « l'ensemble des processus continus permettant des modifications à court, moyen et long terme de l'organisation neurosynaptique dans le but d'optimiser le fonctionnement des réseaux du système nerveux central ». (26)

Selon la COFEMER (Collège Français des Enseignants universitaires de Médecine Physique et de Réadaptation, 2010), la plasticité cérébrale est « l'ensemble des processus visant à développer, améliorer ou constituer des connexions en conformité avec le modèle fixé génétiquement pour chaque espèce ».

Il existe plusieurs mécanismes potentiels, tant au niveau local que global.

On parle de plasticité synaptique :

- Si un potentiel d'action est déclenché au niveau du neurone présynaptique et que le même stimulus est répété plusieurs fois, nous remarquons une augmentation progressive de la force de réponse du neurone postsynaptique. En conséquence, l'efficacité synaptique est améliorée.
- Si, au bout de quelques jours, on restimule les mêmes neurones présynaptiques, on enregistrera la même réponse au niveau postsynaptique, mais plus fortement. Ce phénomène est appelé potentialisation à long terme (LTP).

On peut supposer que cela est dû à l'augmentation de la sécrétion de neurotransmetteurs, à une augmentation du nombre de récepteurs post-synaptiques ainsi qu'à une baisse de la recapture.

On parle également de plasticité neuronale car les neurones peuvent générer de nouvelles synapses (synaptogénèse) ou modifier la conformation des épines dendritiques, ce qui a un effet sur l'ampleur de l'excitation synaptique. Les seuils d'excitabilité peuvent varier en fonction de nombreux facteurs, en particulier les hormones, de sorte que des seuils plus élevés peuvent rendre plus difficile la génération de potentiels d'action.

De plus, mais surtout, il peut y avoir de faibles niveaux de neurogenèse (nouveaux neurones), le plus souvent dans l'hippocampe (mais aussi dans le bulbe olfactif).

Enfin on peut parler de plasticité cérébrale en citant la théorie de Donald Hebb, qui dit que les réseaux de neurones pourraient se réorganiser « des neurones qui s'excitent ensemble se lient entre eux. ». Chaque fois qu'un circuit de neurones est sollicité plusieurs fois, il forme un réseau solide qui va se désigner pour remplir une fonction précise. (27)

Le phénomène de plasticité peut être observé à différentes phases de la vie :

- Lors du développement du système nerveux
- Lors de l'entraînement
- Après une lésion (l'AVC par exemple).

2.2. Méthodes de mesure de la plasticité cérébrale

Il existe différentes méthodes d'exploration de la plasticité cérébrale.

D'abord, il y a l'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf). « Il s'agit d'une technique d'exploration des fonctions cérébrales devenue routinière. Cette méthode non invasive, non irradiante, sans même injection de produit de contraste, est réalisable en ambulatoire. Le principe repose sur le calcul, en temps réel, de la dépense d'oxygène liée à l'activité du cortex cérébral, en réponse à la réalisation d'une tâche cognitive (langage, motricité, stimulation tactile ou visuelle, mémoire...) ». (28) Dans un contexte de mesure de la plasticité cérébrale, elle va permettre d'obtenir une cartographie des zones cérébrales activées lors d'un exercice précis en mesurant la consommation en oxygène des zones cérébrales. (29)

Ensuite, il y a l'ElectroEncéphaloGraphie (EEG), qui « permet une analyse fonctionnelle du signal électrique cérébral et constitue l'examen de référence pour analyser les processus électrophysiologiques sous-tendant l'épilepsie mais également de nombreux autres dysfonctionnements du système nerveux central ». (30) Les actions synchronisées d'un grand nombre de neurones font de l'EEG un outil sensible pour étudier les interactions entre les régions corticales et la connectivité fonctionnelle des réseaux corticaux. (29)

Ensuite, nous avons la MagnétoEncéphaloGraphie (MEG). Grâce à l'enregistrement du champ magnétique cérébral, cette technique permet d'explorer l'activité cérébrale associée aux processus cognitifs avec une meilleure résolution spatiale que l'EEG. La MEG est venue plus tard que l'EEG car elle a nécessité le développement de capteurs très sensibles. (31)

Enfin, il existe la NIRS (Near Infrared Spectroscopy). La spectroscopie fonctionnelle dans le proche infrarouge (NIRS) est une modalité d'imagerie cérébrale qui cartographie les changements dans les concentrations de sang oxygéné et désoxygéné dans le cortex cérébral qui reflètent indirectement l'activation neuronale. Utilisant la lumière proche infrarouge (photons de faible énergie), l'utilisation du NIRS est simple, peu coûteuse et non invasive. (32) Le NIRS mesure les variations de la concentration d'hémoglobine oxygénée et désoxygénée qui se sont révélées correspondre au flux sanguin cérébral régional et sont donc interprétées comme reflétant l'activité corticale dans le contexte de plasticité cérébrale. (29)

Il existe une autre méthode de mesure de la plasticité cérébrale : la stimulation magnétique transcrânienne (SMT). La SMT est un acte thérapeutique de neurostimulation non invasif cherchant à moduler l'excitabilité de certaines zones du cerveau. (33) Lorsque elle est couplée à l'électromyographie (EMG) ou à l'EEG, elle permet d'analyser l'excitabilité corticale via l'étude du potentiel évoqué moteur (PEM). Lorsque le cerveau est stimulé, un signal sera envoyé et cela permettra d'étudier le fonctionnement de la voie motrice. Du coup, les circuits cérébraux seront stimulés par la SMT et les changements de l'activité cérébrale seront surveillés par l'EEG ou l'EMG. (29)(34)

2.3. Plasticité et AVC

Lors de la phase post AVC, il y a la phase de récupération vraie, c'est-à-dire le fait que les neurones des régions cérébrales voisines à celle de l'AVC puissent être recrutés pour générer une commande pour les mêmes muscles que ceux utilisés avant l'accident. Ensuite, il y a la phase de compensation où l'utilisation de muscles alternatifs pour accomplir le même mouvement permet de parvenir au même résultat fonctionnel. On parle donc de récupération fonctionnelle lorsque ces deux mécanismes s'intriquent. (35)

Différents mécanismes entrent en jeu dans la plasticité cérébrale post-AVC (Figure 2). D'abord on peut parler de la régression du diaschisis. Ce dernier désigne la réduction du métabolisme et de la perfusion d'une région cérébrale due à une lésion d'une autre région cérébrale anatomiquement distincte mais fonctionnellement connectée à la première. (36) Dans ce contexte de lésion, le phénomène de plasticité va reposer sur le principe de régression d'un diaschisis, c'est-à-dire la suppression d'influence inhibitrice responsable de l'interruption des fonctions de certaines zones cérébrales.(35)

Ensuite, il y a la plasticité de l'hémisphère cérébral lésé qui correspond à un phénomène de vicariance du cortex moteur.(35) Selon le Larousse, la vicariance se dit d'un organe qui supplée, par son propre fonctionnement, à l'insuffisance fonctionnelle d'un autre organe. Ici cela se traduit par une réorganisation au niveau cortical. Elle est favorisée par l'entraînement.

Puis, il existe la plasticité de l'hémisphère sain. Celle-ci correspond à la participation des aires et des voies motrices de cet hémisphère lors du mouvement ce qui est corrélé à une récupération moins performante.(37)

Enfin il reste un dernier mécanisme : la plasticité maladaptative. En effet, certains patients vont avoir tendance à sous-utiliser leur membre lésé et cela va avoir des répercussions sur la récupération. La sous-utilisation d'un membre impacte l'inhibition de la plasticité, ce qui est délétère et peut entraîner un réarrangement plastique nocif conduisant à la dégradation et la mort neuronale.(38)

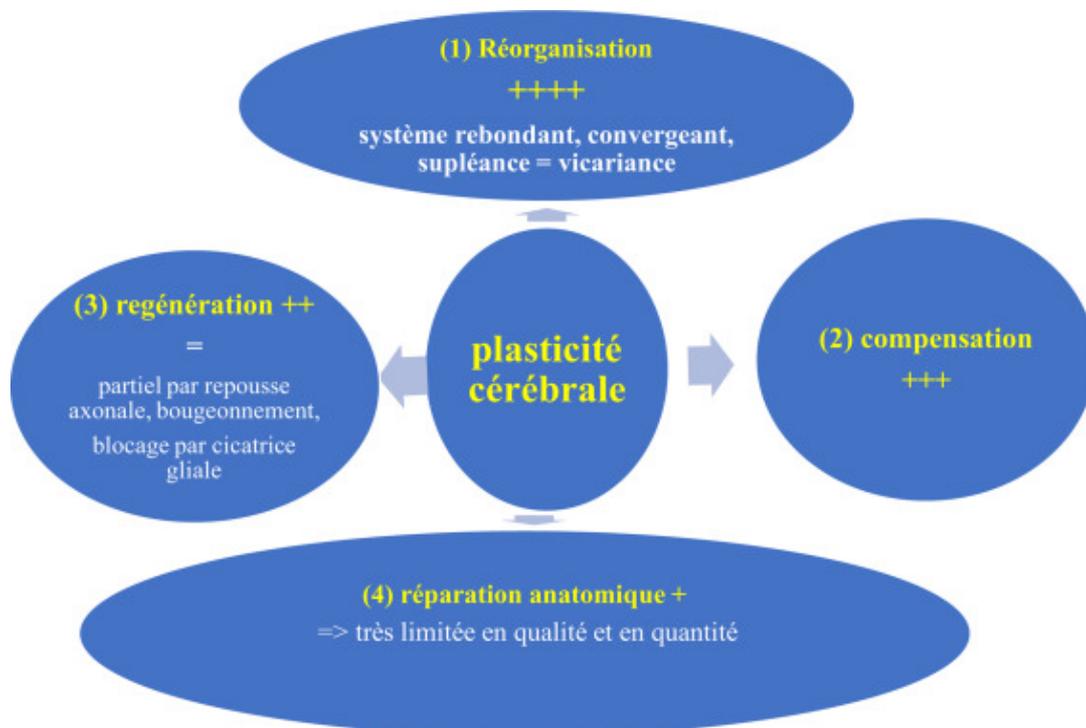


Figure 2 : Mécanismes Plasticité Cérébrale

Il est donc prouvé dans le cadre de l'AVC que la plasticité cérébrale est favorisée par la rééducation notamment au niveau de la commande motrice volontaire. Pour ce faire, de nouvelles techniques obtiennent des résultats encourageants. Parmi ces techniques, il y a la robotique et les exosquelettes.

3. La thérapie assistée par robot

3.1. La technologie

La technologie fait partie de notre quotidien et nous entoure dans l'ensemble des domaines de la vie. En effet, littéralement, la technologie est l'étude des techniques. Le mot technologie vient du grec *technología* : *technē* qui signifie « art », « compétence », ou « artisanat » et *-logía* qui correspond à l'étude d'une branche de la connaissance, d'une discipline. Depuis la nuit des temps, la technologie existe (technique préhistorique, médiévale, etc). Mais la véritable étude des techniques date du siècle des lumières et du XIX^{ème} siècle avec l'industrialisation et l'étude des techniques mécaniques. Il faudra attendre le XX^{ème} siècle pour que la technologie devienne une science humaine avec une véritable étude des techniques avec une certaine rigueur scientifique, notamment avec les travaux de Haudricourt.(39) La technologie va donc de pair avec les inventions qui se font au fil des siècles. En effet, il est clair que l'une des plus grandes inventions de notre époque est le numérique et les outils de communication. Ces avancées ont permis de faire un bond en avant dans les nouvelles technologies tant pour le grand public que pour la rééducation de la personne ayant un AVC.

3.2. La robotique

La robotique est un ensemble de disciplines techniques (mécanique, électronique, automatique, informatique) articulées autour d'un objectif et d'un objet commun. Cet objectif est l'automatisation flexible de nombreux secteurs de l'activité humaine réputés jusque très récemment comme ne pouvant se passer de la présence de l'homme, et l'objet est le robot, sorte de machine universelle dont l'homme rêve depuis toujours.

Le terme de robotique vient du mot « robotics » défini par Isaac Ashimov, un écrivain qui a présenté 3 lois auxquelles les robots de ses livres obéissent (40) :

1. « Un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger.
2. Un robot doit obéir aux ordres que lui donne un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi.
3. Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la deuxième loi. »

Mais la robotique ne regroupe pas seulement le robot que tout le monde a en tête c'est-à-dire le robot automate ayant une apparence humaine qui imite les mouvements humains. Ce terme est différent en fonction du domaine pour lequel il est utilisé. En effet différents exemples peuvent illustrer cela :

- L'industrie avec les robots des chaînes d'assemblage
- Le domaine militaire avec les drones, les robots-démineurs...
- L'aérospatial avec le robot ROVER
- La santé avec notamment les exosquelettes

Les évolutions en matière de robotique ont permis au domaine médical d'ouvrir un nouveau champ des possibles.

L'apparition de la robotique a bouleversé la vision de la rééducation fonctionnelle. En effet, «on appelle robot de rééducation, un dispositif motorisé interactif permettant la mobilisation d'un membre à des fins de rééducation sensori-motrice et éventuellement cognitive ».(41)

Le rôle de la robotique va être d'augmenter le temps de rééducation, de travailler avec des éléments se rapprochant des activités de vie quotidienne en incluant potentiellement la réalité virtuelle tout en apportant un aspect ludique.

On distingue deux types de robots de rééducation, les manipulateurs et les exosquelettes :

- Les manipulateurs sont des bras robotisés dont l'interaction avec le patient n'est assurée que par un seul point de contact.
- Les exosquelettes sont des dispositifs mécaniques externes articulés

Parmi ces différentes technologies robotiques, nous allons nous intéresser aux exosquelettes.

3.3. Les exosquelettes

Le terme exosquelette a été défini scientifiquement pour la première fois au États-Unis en 1969 : « un exosquelette est une structure mécanique externe qui a la forme du corps humain, qui dispose de moins de degrés de liberté que l'être humain, et qui peut accomplir la plupart des tâches désirées ».(42) Ils peuvent être conçus pour les membres supérieurs, les membres inférieurs ou le corps entier. Il existe beaucoup d'idées reçues quant aux exosquelettes car ceux-ci peuvent être vu notamment comme une sorte « d'armure » qui va entourer l'ensemble du corps d'un être humain. Leur application varie en fonction des besoins et touche ainsi différents domaines.

Il y a l'exosquelette militaire qui va être utilisé dans le but de performance afin de dépasser les capacités de l'être humain dans plusieurs domaines (marche, port de charge...). Ensuite, on peut parler de l'exosquelette civil qui va permettre de réduire les troubles musculosquelettiques en agissant sur la manutention d'objets lourds. Nous allons nous intéresser aux applications du système d'exosquelette dans le domaine médical et plus précisément dans la rééducation.

Le fonctionnement d'un exosquelette est basé sur des actionneurs électriques et pneumatiques qui vont permettre de respecter la chaîne cinétique des personnes, c'est-à-dire « l'ensemble des muscles interdépendants qui entrent en jeu dans le cadre de la réalisation d'un mouvement précis ». Grâce à ces actionneurs, l'exosquelette devra permettre aux articulations de bouger librement afin de ne pas les bloquer. A la différence des manipulateurs, les exosquelettes vont permettre des degrés de liberté plus nombreux offrant un panel

d'exercices important. De plus, en fonction des différents types d'exosquelettes présents sur le marché, un certain contrôle de la pesanteur va permettre d'inclure un plus grand nombre de patients dans cette rééducation. L'espace de travail avec un exosquelette sera large, prédéfini et avec de nombreux degrés de liberté.

Dans le contexte de rééducation du patient AVC, l'interaction avec le bras hémiparalysé est réalisée par différents points de contact principalement au niveau des articulations de l'épaule et du coude. Ces dispositifs permettent un travail global du membre supérieur et optimisent son contrôle plurisegmentaire. Le but est de favoriser la récupération de la commande motrice par le phénomène de plasticité cérébrale. L'exosquelette peut jouer un rôle de mobilisation articulaire pour agir contre la spasticité.(43)

Problématisation

De part mes recherches et mon expérience, il est clair que l'ergothérapeute joue un rôle dans la rééducation motrice des membres supérieurs, au sein de l'équipe pluridisciplinaire. De plus, étant donné l'essor des nouvelles technologies dans le domaine médical, il m'est paru évident que la rééducation par exosquelette pouvait relever de son champ de compétence. En effet, la problématique de récupération motrice dans un contexte d'hémiplégie du membre supérieur résultant d'un AVC, peut pousser l'ergothérapeute à se demander si les exosquelettes de rééducation favorisent ou non cette récupération. Pour étudier cela, nous avons décidé de nous intéresser à la mesure de la plasticité cérébrale comme indicateur de cette récupération motrice.

La problématique suivante peut être formulée :

Quel est l'impact des exosquelettes de rééducation du membre supérieur sur la plasticité cérébrale des patients ayant subi un Accident Vasculaire Cérébral ?

Dans l'optique de répondre à cette problématique, on peut émettre les hypothèses suivantes :

- Hypothèse 1 : Une réorganisation corticale peut être mesurée chez des patients utilisant un exosquelette.
- Hypothèse 2 : Cette réorganisation corticale mesurée va permettre une récupération motrice quantifiable par des tests connus.

Afin de répondre à la problématique ainsi qu'aux hypothèses émises, nous allons effectuer une scoping review. Selon Arksey et O'Malley (44), la scoping review permet de sélectionner, d'évaluer et de résumer la recherche et ses résultats sur des questions spécifiques. Cette approche a été utilisée pour examiner et critiquer l'efficacité des interventions.

Selon Arksey et O'Malley, elle comprend cinq étapes essentielles qui sont :

- 1) Définir l'objectif et la question de recherche.
- 2) Identifier les sources d'informations pertinentes.
- 3) Faire la sélection des études.
- 4) Analyser les données à l'aide d'une grille.
- 5) Rassembler, résumer et présenter les résultats.

Méthodologie

1. Étape 1 : Objectif et question de recherche

Afin de respecter la méthodologie d'une note de cadre telle que l'ont décrite Arksey et O'Malley, la première étape était de définir un objectif ainsi qu'une question de recherche. Pour ce faire nous avons utilisé les critères PICO. L'acronyme PICO signifie : P = Population I = Intervention C = Comparaison O = Outcome

- La lettre P définit le patient, la population ou le problème correspondant au sujet de l'étude
- La lettre I définit l'intervention qui va être évaluée
- La lettre C détermine le comparateur, la comparaison ou le contrôle qui sera effectué
- La lettre O correspond à l'outcome ou à la résultante, c'est-à-dire à l'évènement mesuré, le résultat attendu ou le critère de jugement

La méthode PICO utilisée est consultable dans le Tableau 1

| Critères PICO | |
|---------------|---|
| Population | Patient adulte hémiparétique ayant subi un AVC |
| Intervention | Utilisation d'un exosquelette de rééducation des membres supérieurs |
| Comparaison | Pas de comparaison |
| Outcome | Mesure de la plasticité cérébrale |

Tableau 1 : Critère PICO

L'objectif est donc d'évaluer l'impact de l'utilisation de la rééducation par exosquelette du membre supérieur sur la plasticité cérébrale chez des patients hémiparétiques à la suite d'un AVC.

2. Étape 2 : Sources d'informations pertinentes

La deuxième étape de la méthodologie de la scoping review est la sélection des articles. Une recension systématique des écrits incluant une recherche scientifique a été effectuée durant l'année universitaire 2021/2022. Pour effectuer cette note de cadrage, il a fallu faire des recherches sur différentes bases de données. J'ai effectué ces recherches sur : Pubmed, Cinahl Complete, Cochrane Library et Scopus.

Pour pouvoir faire une selection en lien avec ma question de recherche, j'ai regroupé des mots-clés afin de préciser ma selection visible dans le Tableau 2.

| Liste Mots-Clés | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| Français | Anglais |
| Accident vasculaire cérébral | Stroke / cerebrovascular accident |
| Plasticité | plasticity |
| Exosquelette | exoskeleton |
| Rééducation | rehabilitation |
| Hémiplégie / Hemiparésie | Hemiplegia / Hemiparesia |
| Membre supérieur | Upper limb |

Tableau 2 : Liste des mots-clés de recherche

3. Étape 3 : Faire la sélection des articles

J'ai utilisé, pour effectuer ma recherche, des opérateurs booléens (AND, OR, et NOT) dans le but de faire ressortir les articles en lien avec mes mots-clés et donc ma question de recherche. Cela m'a permis d'élaborer une équation de recherche :

((« plasticity » OR « cortical reorganisation ») AND (“stroke” OR “hemiplegia” OR “cerebrovascular accident” OR “hemipar*”) AND (“exoskeleton” OR “robotic device”))

Ensuite il m'a fallu sélectionner les articles répondant à ma problématique. C'est pourquoi le Tableau 3 regroupant les critères d'inclusion et d'exclusion des articles a été réalisé.

Les articles devaient traiter de la rééducation des membres supérieurs par le biais de la robotique de type exosquelette . Il était important qu'il y ait une mesure directe de la plasticité cérébrale. Ils devaient être disponibles en langue française ou anglaise dans un souci de compréhension et au vu des avancés technologiques, les articles se devaient d'être récents (après 2016). Les articles devaient étudier la phase de rééducation du déficit moteur. Les articles utilisant tout autre moyen de rééducation ou ceux traitants des interfaces BRAIN-COMPUTER ont été exclus, tout comme l'ensemble des articles traitants des membres inférieurs. Pour finir, l'étude se devait de correspondre à une étude expérimentale.

| Critères d'inclusion | Critères d'exclusion |
|---|--|
| Article traitant de la rééducation des membres supérieurs | Article traitant des membres inférieurs |
| Etude permettant de mesurer directement la plasticité au niveau cérébrale | Pas de mesures directes de la plasticité |
| Article récent (>2014) | Articles trop anciens (<2014) |
| Utilisation d'un exosquelette | Utilisation d'autres moyens de rééducation |
| Article traitant de l'AVC | Article traitant d'une autre pathologie |
| Etude expérimentale | Etude non expérimentale |
| Article en français et en anglais | Autre langue |

Tableau 3 : Critères d'inclusion et d'exclusion des articles

Ensuite des critères d'éligibilité ont été établis afin de sélectionner les articles après une lecture intégrale de ces derniers. Le principal critère était que la seule population étudiée soit les personnes ayant subies un AVC. Ensuite, il fallait s'assurer que les résultats étaient assez pertinents pour pouvoir avoir une information sur la mesure directe de la plasticité avec des résultats dit biomédicaux.

4. Etape 4 : Analyse des données à l'aide d'une grille

Après étude des articles retenus, nous avons décidé de présenter les résultats sous la forme d'un tableau basé sur le travail en nous appuyant sur différents points :

- Le titre de l'article
- L'auteur de l'article et l'année de publication
- La population étudiée
- L'intervention avec sa méthode et sa durée / fréquence / intensité
- L'évaluation avec les tests utilisés ainsi que leur fréquence
- Le résultat de l'étude
- La note PeDro qui constitue une évaluation méthodologique des articles dont la grille de cotation se trouve dans l'Annexe 1.

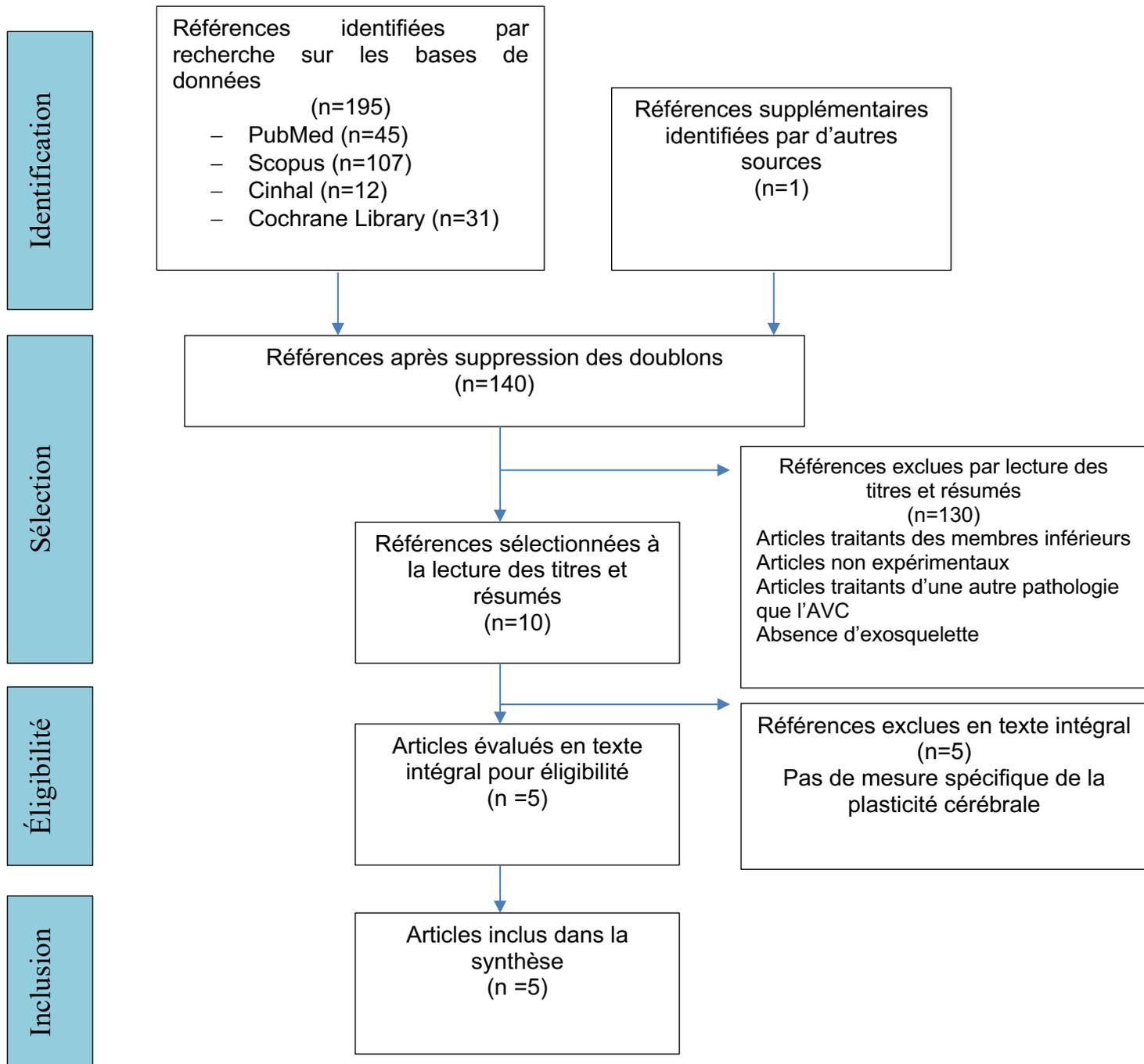
| Titre article | Auteurs et Année | Population | Intervention | Evaluation | Résultats | Note PEDro |
|---------------|------------------|------------|--------------|------------|-----------|------------|
| | | | | | | |

5. Etape 5 : Rassembler, résumer et présenter les résultats

A la suite des grilles d'extraction des résultats, une synthèse de chacune sera faite sur différents aspects. Nous allons faire apparaître les caractéristiques de la population dans les différentes études, les différentes interventions ainsi que les méthodes d'évaluations. Pour finir, nous allons effectuer une synthèse des résultats avec les similitudes et les différences et la corrélation des études.

Résultats

Un diagramme de flux a été réalisé afin de démontrer la méthodologie de recherche utilisée et son avancée, en aval de mon équation de recherche sur les différentes bases de données.



Après la recherche sur les bases de données, 196 articles ont répondu à l'équation de recherche. 56 d'entre eux étaient des doublons et ont donc été retirés. Après lecture des titres et résumés et application des critères d'inclusion et d'exclusion, 130 articles ont été retirés et 10 ont été retenus pour une lecture intégrale. Après l'application des critères d'éligibilité en lecture intégrale, 5 articles ont finalement été inclus dans la synthèse.

L'ensemble des articles présentent des résultats positifs. Les mesures portaient sur l'excitation corticale, la récupération motrice, la spasticité, la récupération fonctionnelle chez des sujets ayant utilisés un exosquelette de rééducation du membre supérieur. L'ensemble des écrits rapporte l'utilisation d'un exosquelette de rééducation sur une durée donnée. L'analyse du contenu de l'ensemble des articles a permis d'identifier l'impact des exosquelettes de rééducation sur la plasticité des sujets testés.

1. Synthèse

| Titre article | Auteurs et Année | Population | Intervention | Evaluation | Résultats | Note PEDro |
|--|-------------------|--|--|---|--|------------|
| Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post stroke rehabilitation: a randomized controlled trial (45) | Singh et al. 2021 | 27 sujets AVC ischémique ou hémorragique 18 à 70 ans | Un groupe contrôle (GC) a reçu un total de 20 séances de kinésithérapie conventionnelle à raison de 45 min par jour 5 fois par semaine pendant 4 semaines Un groupe robotique (GR) a reçu un total de 20 séances de thérapie par exosquelette du membre supérieur à raison de 45 min par jour 5 fois par semaine pendant 4 semaines | <p>Mesures de l'excitation corticale : Mesure du PEM, du Seuil Moteur au Repos (SMR), du seuil moteur actif (SMA) et la période de silence cortical (PSC), avec une SMT enregistrée par EMG</p> <p>Mesures cliniques : - Modified Ashword Scale (MAS) - Active Range Of Motion (AROM) - Brunnstorm Stage (BS) - Indice de Barthel (IB) - Flugl-Meyer Assement (FMA)</p> <p>Les mesures ont été faites avant la randomisation, avant l'intervention et après l'intervention.</p> | <p>Une excitabilité corticale ipsilésionnelle est démontrée seulement dans le groupe expérimental avec exosquelette avec une augmentation du PEM ou une baisse du SMR. Pas de résultats significatifs sur l'excitation corticale de l'hémisphère contro-lésionnel. Une baisse significative de l'asymétrie des seuils moteurs entre les hémisphères est mesurée pour le GR. Grâce à une analyse statistique, le GR montre une corrélation entre la baisse du SMR et l'amélioration des données du FMA.</p> <p>Une amélioration des mesures cliniques MAS, AROM, FMA, est également visible pour les deux groupes. Le score MAS a diminué significativement dans le GR Le AROM montre une amélioration dans les deux groupes mais après analyse statistique, le GR présente une amélioration significative par rapport au groupe témoin. Pas de différence significative entre les groupes pour le BS et le IB Le score FMA augmente significativement pour les deux groupes avec une augmentation significative du GR sur le GC.</p> | 8 |

| | | | | | | |
|---|------------------------------|--|--|--|---|----------|
| <p>Home-based Therapy after stroke using the hand spring operated movement enhancer (HandSOME II) (46)</p> | <p>Casas et al 2021</p> | <p>10 sujets</p> <p>AVC ischémique ou hémorragique > 6 mois avec capacité de flexion des doigts + ébauche d'extension.</p> <p>38 à 71 ans</p> | <p>Le groupe de sujet a reçu la consigne d'effectuer un total de 45 séances de rééducation du membre supérieur lésé par exosquelette (HandSOME 2) à raison de 5 séances de 90 min par semaine pendant 8 semaines à domicile.</p> | <p>Mesures de l'excitation corticale : Étude de l'état de repos de la connectivité fonctionnelle (ERCF) calculée à l'aide d'une cohérence amplitude-carré (COHrest) à l'aide d'un EEG sur 8 des 10 sujets.</p> <p>Mesures cliniques : FMA Action Research Arm Test (ARAT) Motor Activity Log (MAL) MAS Mesure de la force de préhension</p> <p>Les mesures ont été effectuées avant et après l'intervention.</p> | <p>Pas de résultats significatifs sur ERCF mesuré par EEG avant et après l'intervention. Néanmoins, il y a une corrélation entre une augmentation des mesures du test MAL et l'augmentation du COHrest de l'aire prémotrice ipsilésionnelle et de l'aire sensorimotrice controlésionnelle.</p> <p>Les résultats des test FMA ont augmenté après l'intervention. Les résultats au test ARAT ont augmenté de manière significative mais ces résultats ne sont pas significatifs sur la durée.</p> <p>Le score MAS diminue significativement concernant les muscles fléchisseurs mais les résultats ne sont pas significatifs sur la durée.</p> <p>Le score MAL augmente de manière significative et perdure sur le long terme.</p> <p>Pas de résultats significatifs pour la force de préhension.</p> | <p>3</p> |
| <p>Who May Benefit from Armeo Power Treatment? A Neurophysiological Approach to Predict Neurorehabilitation Outcomes (47)</p> | <p>Calabro et al 2016</p> | <p>35 sujets</p> <p>Hémiplégie secondaire à un AVC ischémique sans troubles cognitifs sévères.</p> <p>Moyenne de 51 ans</p> | <p>Le groupe de sujet a reçu un total de 45 séances de rééducation du membre supérieur lésé par exosquelette (ARMEO Power) à raison de 5 séances de 60 min par semaine pendant 8 semaines.</p> | <p>Mesures de l'excitation corticale : Mesure du PEM, de la durée de la période de PSC ainsi que la stimulation associative appariée rapide (rPAS), avec une SMT enregistrée par EMG</p> <p>Mesures cliniques : FMA Functional Independence Measure (FIM) MAS Les mesures ont été effectuées avant et après l'intervention.</p> | <p>Augmentation du PEM ipsilésionnelle, du PSC controlésionnelle et du rPAS ipsilésionnelle après l'intervention. Diminution du PSC ipsilésionnelle après l'intervention. La mesure du rPAS controlatérale n'a pas donné de résultats significatifs.</p> <p>Amélioration du score de l'échelle FIM (d'assistance modérée à minimale). Augmentation du score FMA concernant la synergie des fléchisseurs, la coordination, la rapidité, la sensibilité et la proprioception.</p> | <p>4</p> |
| <p>Non-compensatory paretic arm training in chronic stroke improves reaching performance and alters functional brain network (48)</p> | <p>P. C. Shih et al 2020</p> | <p>19 sujets</p> <p>AVC ischémique ou hémorragique.</p> <p>Moyenne de 60 ans</p> | <p>Le groupe de sujet a reçu un total de 12 séances de rééducation du membre supérieur lésé par exosquelette (KINARM) à raison de 3 séances de 40 min par semaine pendant 4 semaines.</p> | <p>Mesures de l'excitation corticale : IRM, IRMf</p> <p>Mesures cliniques : Jebsen-Taylor Hand Function Test (JTHFT) Les mesures ont été effectuées avant et après l'intervention.</p> | <p>L'entraînement par exosquelette compensatoire du bras induit des changements plastiques du cerveau et améliore l'activité de la vie quotidienne en cas d'AVC chronique.</p> | <p>2</p> |

| | | | | | | |
|---|------------------------------|---|---|---|--|----------|
| <p>Intensive virtual reality and robotic based upper limb training compared to usual care, and associated cortical reorganization, in the acute and early sub-acute periods post-stroke: a feasibility study (49)</p> | <p>Patel et al. 2019</p> | <p>13 sujets AVC ischémique ou hémorragique <1 mois Possibilité de flexion + extension des doigts et du coude Sans déficit cognitif sévère Pas de douleur lors de la mobilisation et pas de spasticité. 45 à 80 ans</p> | <p>Un GR de 7 sujets a reçu 8 sessions d'une heure de rééducation de rééducation par exosquelette (Haptic Master + cybergrasp) couplé à un système de réalité virtuelle en plus des 3h de rééducation conventionnelle par jours (GR) Un GC de 6 sujets a seulement reçu la rééducation conventionnelle.</p> | <p>Mesure de l'excitation corticale : Mesure du PEM avec une SMT enregistrée par EMG du muscle interosseux dorsal (ID) présentée sous la forme d'une carte de représentation corticale. Mesures cliniques : FMA AROM Wolf Motor Function Test (WMFT) Mesure de la force de préhension fine L'ensemble des mesures ont été faite avant, après, à 1 mois et à 6 mois de l'intervention.</p> | <p>Une augmentation significative de l'aire motrice ipsilésionnelle correspondant au muscle DI est observée dans les deux groupes entre l'avant intervention et 1 mois après, sans différences significatives entre les groupes. Une augmentation significative pour les tests FMA et Wrist AROM sont visibles pour les deux groupes avec une augmentation significative du score du GR par rapport au GC Pas de différence significative entre le GR et le GC dans les tests WMFT et de la force de préhension fine.</p> | <p>6</p> |
|---|------------------------------|---|---|---|--|----------|

L'article de Singh et al. (45) teste la rééducation avec un exosquelette électromécanique du membre supérieur développé pour cette étude. Cet essai contrôlé randomisé compare cette rééducation robotique avec un GC qui reçoit une rééducation conventionnelle.

L'article de Casas et al. (46) teste un exosquelette (HandSOME II) qui est un exosquelette distal permettant un accompagnement dans la flexion/extension des doigts. Un groupe teste cette rééducation et reçoit des mesures cliniques, biomédicales tout comme l'article de Calabro et al. (47) qui étudie l'effet de l'exosquelette Armeo Power qui est un exosquelette permettant un travail de l'épaule, du coude, de l'avant-bras, du poignet et de la force de préhension des différents degrés de liberté.

L'article de P. C. Shih et al. (48) est un extrait de conférence publié expliquant une étude menée avec un exosquelette (KINARM) sur un groupe de sujets en relevant des mesures portant sur une IRM, des études cinétiques et un bilan d'activités de vie quotidienne.

L'article de Patel et al. (49) est une étude de faisabilité où un groupe de sujets va recevoir une rééducation des membres supérieurs avec un système comprenant un exosquelette et un environnement en réalité virtuelle. Le premier exosquelette est le Haptic master qui permet des mouvements de l'épaule et du coude dans plusieurs degrés de libertés. Le deuxième exosquelette est le CyberGrasp qui est un gant qui va permettre un retour de force pour les doigts.

L'ensemble de ces articles ont donc tous étudié la plasticité cérébrale de patients atteints d'un AVC après l'utilisation d'un exosquelette de rééducation du membre supérieur. Le tableau 4 permet d'avoir une vue d'ensembles des résultats des articles.

| Numéro de l'article | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|
| Plasticité cérébrale | Amélioration | X | X | | X | X |
| | Pas de changements significatifs | | | X | | |
| | Diminution | | | | | |
| Corrélation autre test | Oui | X | X | X | | X |
| | Non | | | | | |
| | Pas d'informations | | | | X | |

Tableau 4 : Récapitulatif résultats

2. Population

A travers ces études, 109 personnes ont été incluses. L'étude avec le moins de participants comporte 13 sujets et l'étude en comportant le plus compte 35 patients. Les caractéristiques des participants seront présentées dans la figure 3.

Selon les études, l'âge moyen des sujets va de 41 ans pour l'étude de Singh et al. (45) jusqu'à 60 ans pour l'étude de P.C Shih et al. (48) La moyenne de l'ensemble des études est d'environ 52,8 ans.

Dans l'ensemble des études, les patients sont diagnostiqués d'un AVC ischémique ou hémorragique (seulement ischémique pour Calabras et al.). Quatre études ont exclu des patients après une évaluation des capacités cognitives des personnes avec le Mini Mental Scale et le Monreal Cognitive Assesments (pour l'étude de Patel et al.(49)) Pour certaines études, certains critères moteurs étaient requis : ébauche de flexion et extension des doigts pour les études de Patel et al. (49) ainsi que pour l'étude de Casas et al. (46)

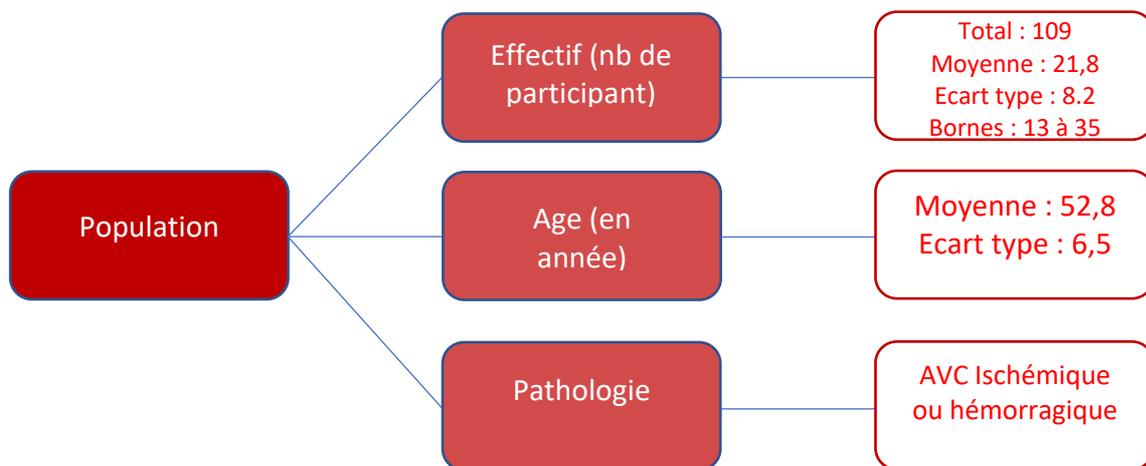


Figure 3 : Synthèse des données concernant la population

3. Intervention

Les données concernant l'intervention présentent des similitudes mais également des différences. Ces données sont présentées dans la figure 4.

La durée moyenne des interventions est de 6 semaines avec un minimum d'1 semaine pour l'étude de Patel et al. (49) et un maximum de 8 semaines pour les études de Calabro et al. (47) et Casas et al. (46)

La fréquence moyenne est de 4.6 jours par semaine avec un minimum à 3 jours pour l'étude de P.C Shih et al. (48) et un maximum de 5 jours pour l'étude de Calabro et al. (47)

En moyenne, l'intensité des séances est de 459 minutes par semaine avec des écarts allant de 120 minutes pour l'étude de P.C Shih et al. (48) jusqu'à 1200 minutes pour l'étude de Calabro et al. (47) Pour l'étude de Casas et al. (46) les durées de rééducation sont variables étant donné le fait que l'intervention se fasse à domicile en autonomie par le sujet. Les interventions de cette étude ont donc varié de 248 minutes à 1005 minutes par semaine. De plus, dans l'étude de Patel et al. (49), il y a une différence entre le GC et le GR qui ont reçu 1 h de rééducation robotique par jour en plus des 3h de thérapie conventionnelle qu'a reçu le GC.

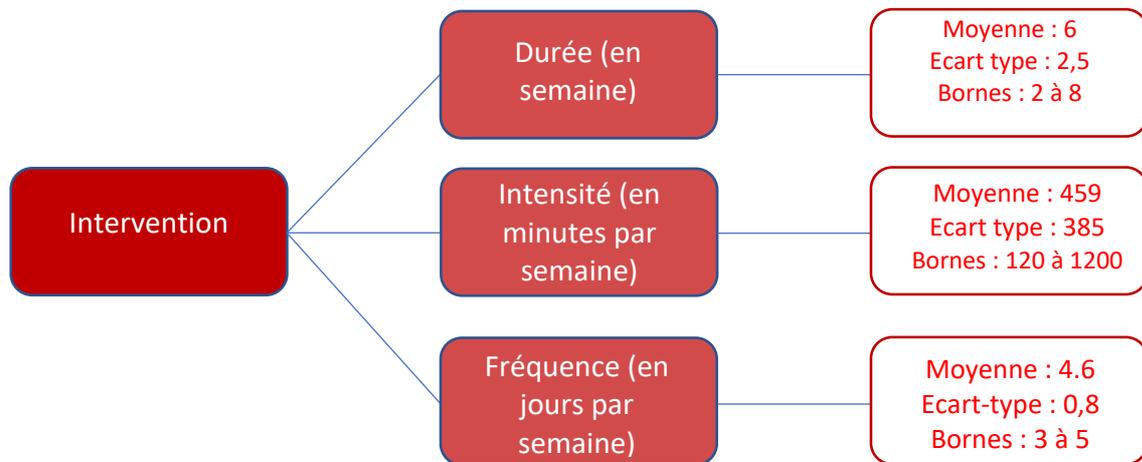


Figure 4 : Synthèse des données concernant l'intervention

Les caractéristiques des différents exosquelettes utilisés sont consultables dans l'Annexe 2.

4. Evaluations

4.1. Tests excitabilité corticale / Plasticité

Dans cette étude, différentes mesures ont été faites pour quantifier l'excitabilité corticale et la plasticité. Les tests utilisés dans ces études sont regroupés dans le tableau 5. Dans 4 études sur 5, la SMT est utilisée en complément soit de l'EMG pour les études de Calabro et al. (47) et de Patel et al. (49), soit d'un EEG pour les études de Casas et al. (46) et Singh et al (45).

Pour l'étude de Singh et al.(45) l'excitabilité corticale est mesurée en terme de PEM et de SMR (pour les personnes dont le PEM n'est pas mesurable) du muscle extenseur des doigts. Dans l'étude de Casas et al. (46), la mesure se fait via l'état de repos calculé à l'aide de l'ERCF avec des électrodes placées de telle sorte à prendre la mesure de l'aire prémotrice ipsilésionnelle et contralésionnelle ainsi que l'aire sensorimotrice ipsilésionnelle et contralésionnelle.

Pour l'étude de Patel et al. (49), une carte représentant les aires corticales faites à partir des PEM enregistrés par l'EMG de 5 muscles, va permettre de mesurer la réorganisation corticale. Seul les données traitant des interosseux dorsaux sont utilisées par les auteurs.

Pour l'étude de Calabro et al. (47) les données mesurées seront : le PEM, le SMR, le SMA ainsi que la durée de la PSC, qui est une période de silence électromyographique après un PEM lorsqu'une impulsion SMT est donnée au cortex moteur pendant la contraction tonique du muscle cible (muscle fléchisseur radial du carpe). De plus, cette étude mesure également la rPAS, qui est une stimulation d'un nerf périphérique avant la délivrance de la SMT. L'évaluation des réponses corticales au paradigme rPAS peut représenter une estimation des propriétés de plasticité qui peuvent être traitées par les réseaux cérébraux afin de restaurer une fonction qui a été perdue.

Pour l'étude de P.C Shih et al. (48), c'est l'IRM qui va être utilisée.

| <u>Test utilisés</u> | Casas et al. | Calabro et al. | Singh et al. | Patel et al. | P.C Shih et al. |
|--|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|
| <u>Stimulation magnétique transcranienne (SMT)</u> | X | X | X | X | |
| <u>Electromyogramme (EMG)</u> | | X | | X | |
| <u>Electroencéphalogramme (EEG)</u> | X | | X | | |
| <u>Imagerie à résonance magnétique (IRM)</u> | | | | | X |

Tableau 5 : Synthèse des test utilisés pour mesurer la plasticité cérébrale

4.2. Tests Cliniques

Ce sont des tests dont la passation peut être faite par un ergothérapeute.

Tests Analytiques :

Flugh Meyer Assement (FMA)

Le FMA est un indice d'invalidité basé sur la performance pour les accidents vasculaires cérébraux. Il est conçu pour évaluer la fonction motrice, la sensibilité, l'équilibre, l'amplitude des mouvements et les douleurs articulaires chez les patients hémipariés post-AVC. Dans les études utilisant le FMA, seuls les items concernant les membres supérieurs ont été testés.

Modified Ashworth Assement (MAS)

L'échelle d'Ashworth modifiée est considérée comme la principale mesure clinique de la spasticité musculaire chez les patients souffrants de troubles neurologiques.

JAMAR

Ce test permet de mesurer la force de préhension chez un patient en utilisant un dynamomètre.

Brunnstorm Stage (BS)

C'est un test permettant de rendre compte du stade de l'AVC dans lequel se trouve un patient. Les 6 étapes sont :

- Étape 1: flaccidité
- Étape 2 : La spasticité apparaît
- Étape 3: spasticité accrue
- Stade 4: diminution de la spasticité
- Étape 5 :La spasticité continue de diminuer
- Étape 6: La spasticité disparaît et la coordination réapparaît`

Wrist Active Range Of Motion (AROM)

Ce test permet de mesurer les amplitudes du poignet lors de la flexion et de l'extension du poignet réalisées de manière active par le patient.

Sensor Nano17

C'est un dynamomètre permettant de mesurer la force de préhension fine au niveau du pouce et des doigts.

Tests fonctionnels

Action Research Arm Test (ARAT)

L'ARAT est une mesure permettant d'évaluer des changements spécifiques dans la fonction des membres chez les personnes atteintes d'hémiplégie due à une lésion cérébrale. Ce test évalue la capacité d'un patient à manipuler une variété d'objets en terme de taille, de

poids et de forme, et peut donc être considéré comme une mesure des limitations d'activités spécifiques aux membres supérieurs.

Motor Activity Log (MAL)

Le Motor Activity Log (MAL) est une mesure subjective de la performance fonctionnelle du membre supérieur d'une personne dans sa vie réelle. Le MAL est administré lors d'une entrevue semi-structurée pour déterminer a) dans quelle mesure et b) de quelle façon la personne utilise son membre supérieur à son domicile.

Functional Independence Measure (MIF)

La MIF est constituée de 18 items qui mesure les performances des patients dans les activités de la vie quotidienne y compris dans les aspects cognitifs et relationnels. C'est un test validé et normé.

Barthel

L'IB mesure l'étendue du fonctionnement indépendant et de la mobilité dans les activités de la vie quotidienne (AVQ).

Wolf Motor Function Test

Le WMFT évalue la capacité motrice du membre supérieur à l'aide de tâches fonctionnelles chronométrées

Jebsen-Taylor Hand Function Test

Le JTHFT évalue la motricité fine et les activités fonctionnelles de la main, avec des charges lourdes et sans charge lourde, lors de l'exécution d'activités de la vie quotidienne.

| Tests Cliniques utilisés | Casas et al. | Calabro et al. | Singh et al. | Patel et al. | P.C Shih et al. |
|---------------------------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|-----------------|
| Flugh meyer Assesment (FMA) | X | X | X | X | |
| Modified Ashword Scale (MAS) | X | X | X | | |
| Action research arm test (ARAT) | X | | | | |
| Motor Activity Log (MAL) | X | | | | |
| JAMAR | X | | | | |
| Functional Independence Measure (FIM) | | X | | | |
| Active Range of motion (AROM) | | | X | X | |
| Brunnstorm stage | | | X | | |
| Indice de Barthel | | | X | | |
| Sensor NANO17 ATI | | | | X | |
| Wolf Motor Function Test | | | | X | |
| Jebsen-Taylor Hand Function Test | | | | | X |

Tableau 6 : Synthèse des tests cliniques et fonctionnels utilisés

5. Synthèse narrative

Sur le plan biomédical

Pour les études de Casas et al. (46), Calabro et al. (47), Singh et al (45), Patel et al. (49), la réorganisation corticale a été mesurée à l'aide de la SMT. Pour l'ensemble de ces études, le PEM a été utilisé comme mesure de la plasticité cérébrale. Dans les études de Calabro et al.(47) et Singh et al.(45), la SMT a montré une augmentation du PEM dans les aires motrices ipsilésionnelles après l'intervention (seulement dans le groupe utilisant une rééducation par exosquelette pour l'étude de Singh et al.(45)

Pour l'étude de Patel et al. (49), la carte de réorganisation corticale faite à partir des PEM du muscle DI montre une augmentation de l'aire corticale ipsilésionnelle sur une période d'un mois après l'intervention. Néanmoins, il n'y a pas de différence significative entre le GC et le GR. De plus, l'aire contralésionnelle du muscle DI augmente de manière monotone durant les 6 premiers mois pour le GC et va diminuer sur la période d'un mois après l'intervention pour augmenter de 1 mois à 6 mois.

Pour l'étude de Casas et al. (46), il n'y a pas de résultats significatifs sur l'état de repos mesuré par EEG avant et après l'intervention. Néanmoins, il existe une corrélation entre une augmentation des mesures du test MAL et l'augmentation du COHrest de l'aire prémotrice ipsilésionnelle et de l'aire sensorimotrice controlésionnelle.

Dans l'étude de Calabro et al. (47), on observe que le CSP ipsilésionnel diminue, que le CSP controlésionnel ainsi que le rPAS ipsilésionnel augmentent significativement. Le rPAS controlésionnel n'apporte pas de résultat significatif.

Pour l'étude de P.C Shih et al. (48), l'analyse de corrélation des résultats de l'IRM a montré que l'amélioration de la précision et des activités de la vie quotidienne étaient corrélées avec le déplacement de l'activation cérébrale vers l'hémisphère lésé.

Sur le plan clinique

Les études de Patel et al.(49), Casas et al.(46), Singh et al.(45) et Calabro et al.(47), ont constaté une amélioration des mesures cliniques du test FMA (avec une différence significative entre le GC et le GR pour les études de Patel et al.(49) et Singh et al.(45)

Dans l'étude de Singh et al.(45), une diminution de la spasticité après l'intervention a été mesurée avec le MAS seulement dans le GR. Dans l'étude de Casas et al. (46) la spasticité des fléchisseurs a diminué après l'intervention mais l'effet n'a pas duré dans le temps (6 mois)

Dans les études de Patel et al.(49) et Singh et al.(45), on retrouve une augmentation significative des amplitudes du poignet réalisées avec le test AROM du GR par rapport au GC.

Sur le plan fonctionnel

Pour l'étude de Casas et al. (46), une amélioration du test ARAT après l'intervention, est visible mais les gains n'étaient pas significatifs sur le long-terme. De plus, le score MAL a également augmenté de manière significative.

Pour l'étude de Calabro et al. (47), des résultats ont montré une amélioration en terme d'indépendance fonctionnelle mesurée à l'aide de l'échelle FIM (passage d'assistance modérée à assistance minimale).

Pour l'étude de Singh et al. (45), les deux groupes ont montré une amélioration de leur indépendance (IB) et une avancée positive de leur étape de la pathologie (BS). Les auteurs expliquent qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes car le GC a reçu une rééducation dont l'objectif était orienté vers de la récupération fonctionnelle et compensatoire.

Pour l'étude de Patel et al. (49) les deux groupes n'ont pas montré de différence significative pour le WMFT.

Pour l'étude de P.C Shih et al. (48), des résultats significatifs mesurés à l'aide du JTHFT ont montré des bénéfices sur l'autonomie du patient dans des activités de vie quotidienne après l'utilisation de l'exosquelette.

Discussion

Nous allons analyser les résultats obtenus dans cette scoping review afin de vérifier la validité des hypothèses émises en lien avec la problématique. Ensuite nous exposerons les limites de l'étude avant de parler des perspectives concernant la rééducation par exosquelette notamment dans la pratique de l'ergothérapie.

L'objectif de l'étude était d'identifier les mécanismes entrants en jeu dans la récupération motrice en termes de plasticité cérébrale à la suite d'une rééducation par exosquelette du membre supérieur pour des personnes ayant subi un AVC. Une scoping review a été réalisée afin de répondre à une problématique :

« Quel est l'impact des exosquelettes du membre supérieur sur la plasticité cérébrale des patients ayant subi un Accident Vasculaire Cérébral ? »

Dans cette étude, la plupart des interventions ont permis de montrer une modification plastique du cerveau après l'utilisation d'un exosquelette de rééducation du membre supérieur. Cette modification est corrélée avec des résultats positifs dans des tests cliniques mesurant la récupération motrice pour la plupart des études ainsi que des résultats dans des tests fonctionnels basés sur les activités de vie quotidienne dans quelques articles, mais dont la reproductibilité à long terme peut être contestée.

1. Réorganisation corticale mesurée

La première hypothèse supposait qu'à l'aide de mesures directes de l'activité corticale, les interventions avec un exosquelette de rééducation permettaient d'observer une réorganisation au niveau du cortex moteur.

Dans 3 des études, le PEM des muscles concernés par les études mesuré après une utilisation d'un exosquelette de rééducation du membre supérieur augmente dans l'hémisphère cérébral ipsilésionnel. Étant donné que la mesure du PEM est un indicateur de fonctionnement de la voie stimulée, il apparaît que la présence d'une augmentation du PEM correspond à une récupération de certaines zones de l'aire ipsilésionnelle. Certains auteurs ont montré que cette récupération pourrait indiquer un recrutement de zones péri-lésionnelles dans l'hémisphère ipsilésionnel ou une exploitation du réservoir de récupération fonctionnelle préservée dans cet hémisphère. (50)

Dans l'étude de Calabro et al. (47), une mesure a été faite sur la PSC qui diminue après l'intervention. C'est une mesure de l'excitabilité concernant les circuits inhibiteurs corticaux. Après un AVC, il y a une hypo-activation dans le territoire cérébral lésé entraînant une diminution de l'inhibition que ce territoire exerce normalement sur les aires corticales saines controlatérales.(51)(52) Les résultats sont en accord avec ce paradigme car une augmentation de l'inhibition ipsilésionnelle exercée sur l'autre hémisphère ainsi qu'une diminution de l'inhibition controlésionnelle ont été montrés. De plus, le rPAS a été mesuré et c'est son augmentation à la réponse corticale dans l'hémisphère affecté qui montre une estimation des propriétés de plasticité neurale qui peuvent être traitées par les réseaux cérébraux afin de restaurer une fonction qui a été perdue.

De plus, la mesure par IRM de P.C Shih et al. (48) nous indique un déplacement de l'activation cérébrale vers l'hémisphère lésé. Cela montre bien qu'une réorganisation corticale s'est effectuée durant l'intervention.

Néanmoins, des résultats peu probants dans 2 des articles en terme de plasticité observable après l'intervention peuvent soulever des questionnements. Malgré cela, il est nécessaire de rappeler que ces études possèdent une qualité méthodologique discutable (population faible, durée d'intervention pouvant être trop faible...). Il est clair que ces articles ne possèdent pas la même qualité méthodologique qu'une méta-analyse ou qu'un essai contrôlé randomisé comme l'article de Singh et al. (45) qui montre des résultats positifs en termes de réorganisation corticale ipsilésionnelle.

Les exosquelettes de rééducation semblent constituer une intervention efficace pour favoriser le processus de plasticité cérébrale de part leur caractère répétitif, analytique et motivationnel dans le cas d'un couplage avec un système de jeux interactifs ou de réalité virtuelle. Il semblerait que la plasticité cérébrale soit due à une réactivation des systèmes neuronaux lésés entraînant une réorganisation corticale entre les phénomènes de potentialisation et d'inhibition de ces systèmes. Il est également possible que la preuve de la plasticité cérébrale soit corrélée avec une réussite accrue dans les différents tests mesurant la récupération motrice.

En effet, des études ont montré que les résultats concernant l'augmentation des fonctions motrices des membres supérieurs provenant des thérapies de rééducation de l'AVC basées sur l'activité du mouvement sont corrélés à la présence de changements plastiques neuronaux dans l'hémisphère lésionné. (53)

2. Corrélation avec les tests mesurant la récupération motrice

Dans l'ensemble des études, des analyses statistiques ont été faites afin de montrer la corrélation entre l'excitation corticale et/ou la réorganisation corticale avec la récupération des patients dans les tests utilisés. Afin d'appuyer ce résultat statistique, une étude montre qu'il existe une corrélation entre l'augmentation du PEM (ou la diminution du RMT pour les patients donc le PEM n'est pas mesurable) et la récupération de la fonction motrice. (54)

2.1. Tests cliniques

Dans 4 études sur 5, une amélioration dans le FMA est mesurée. Ce test vérifié permet d'évaluer la récupération motrice post-AVC. Un impact sur les résultats de ce dernier indique qu'une récupération motrice est mesurée après l'utilisation. Dans 2 des articles, une étude statistique a permis de montrer que l'augmentation de PEM était corrélée avec une meilleure réussite dans le FMA qui est le test de référence en terme de récupération motrice.

Dans 2 articles, une diminution du score MAS a été mesurée et une diminution de la spasticité est montrée. Pour rendre compte de ce que la diminution de la spasticité entraîne en terme de récupération motrice, on peut se référer aux étapes de récupération de Brunnstorm. Selon Brunnstorm, il existe 7 étapes dont la dernière représente une disparition de la spasticité. Au

fil des étapes, la spasticité diminue. Il existe donc une corrélation entre les stades Brunnstorm et la récupération motrice chez le patient victime d'AVC. (55)

Dans 2 articles, le test AROM a montré des résultats significatifs. Ce test mesure les amplitudes articulaires en actif. Cette augmentation est donc en lien avec la récupération motrice du fait du caractère actif de ce test.

2.2. Tests fonctionnels

Une autre forme de tests plus fonctionnels a été utilisée dans les articles utilisés dans cette scoping.

L'ensemble de ces tests reprennent différents aspects permettant d'être efficient dans les activités de la vie quotidienne.

Au niveau du test MAL, il y a une corrélation entre la réorganisation corticale des patients et la retranscription dans les activités de vie quotidienne dans l'étude de Casas et al.(46) Cela signifie que la rééducation par exosquelette favorise la récupération motrice mais que cette récupération peut se retranscrire dans les activités de la vie quotidienne. De plus pour les résultats du test JTHFT, l'étude montre des résultats positifs après l'intervention ce qui oriente également vers une amélioration fonctionnelle.

C'est ici que le rôle de la rééducation par exosquelette dans une pratique ergothérapique prend sens. En effet, on sait que le rôle de l'ergothérapie va être de rendre autonome et indépendant, dans la mesure du possible, une personne dans ses activités de vie quotidienne. Néanmoins, il semble y avoir une limite dans l'utilisation des exosquelettes de rééducation dans ce que l'on appelle le transfert des acquis. C'est la retranscription des apprentissages moteurs dans les activités de la vie quotidienne qui peut être complexe pour les patients (56). Nous pouvons le voir de part les résultats au WMFT ou même au score ARAT qui ne sont pas significatifs après les interventions. Nous constatons une contrainte dans l'utilisation de ces exosquelettes, c'est qu'ils ne sont pas significatifs et signifiants pour le patient. Malgré les avancés permettant de rendre le plus possible immersifs l'utilisation d'exosquelette (système VR, jeux interactifs, système à domicile...), le travail de rééducation reste éloigné des habitudes de vie des patients. De plus, dans l'étude de Singh et al, (45), aucune différence entre les deux groupes concernant l'échelle Bartel n'est visible car le GC a reçu une rééducation basée sur les activités de la vie quotidienne dont l'ergothérapie. Ceci confirme bien qu'il existe un apport sur la récupération motrice mais qui est difficile à retranscrire aux activités de vie quotidienne.

Pour revenir sur le phénomène de plasticité cérébrale, il est important d'effectuer du travail analytique afin de favoriser cette plasticité liée à la récupération dite vraie. Il semblerait que la rééducation par exosquelette puisse remplir ce rôle étant donné les résultats de cette scoping tout comme les résultats portant sur d'autres pathologies ou même sur les membres inférieurs. Le rôle de l'ergothérapeute va être en complément du travail analytique, de permettre le transfert des acquis dans les activités de la vie quotidienne (par le biais de mises en situation par exemple) en veillant à ne pas travailler trop tôt sur le phénomène de compensation car cela doit venir en dernier recours en cas d'impossibilité de récupération motrice. (35)

3. Limites

Plusieurs limites ont été rencontrées dans la réalisation de cette scoping review. Tout d'abord, il est possible que les critères aient été trop limitants pour mon choix d'articles. De plus, certains articles ont pu être oubliés, cela peut-être dû à la méthodologie de recherche réalisée. Il n'y avait aucun article rédigé en français ce qui a pu être un biais quant à la compréhension des textes. Les traductions utilisées ont peut-être faussé des résultats.

Un autre frein était celui du peu d'article traitant du sujet. En effet, l'émergence des exosquelettes, en général, est très récente et ceux permettant le travail exclusif du membre supérieur encore plus. La majorité des articles traitait des membres inférieurs ou de la réalité virtuelle. De plus, beaucoup d'articles n'avaient comme mesure que les tests cliniques, ce qui ne me permettait pas de répondre à la problématique de cette scoping review.

Une limite concernant la qualité méthodologique des articles a été rencontrée. En effet, la note Pedro pour 3 des articles est en dessous de 4. Cela vient du fait que ces essais n'ont pas mis en place d'intervention contrôlée. De plus, dans l'étude de Patel et al. (49) la rééducation par exosquelette est couplée à la réalité virtuelle, ce qui représente un risque de biais dans les résultats. Il est également à noter que l'article de P.C Shih et al. (48) est un extrait de conférence dont l'article complet de l'étude n'est pas trouvable. Néanmoins, les résultats de cet extrait avancés ont été utiles dans la réalisation de cette scoping.

La plupart des études avaient une population relativement faible et les auteurs expriment cela comme un frein à la retranscription des résultats à l'ensemble des patients atteints d'AVC. De plus, les durées et fréquences des interventions varient beaucoup et certaines études n'effectuent pas une intervention assez longue afin de pouvoir généraliser les résultats par manque de temps et/ou de moyens.

4. Perspectives

Tout d'abord, une des perspectives pouvant être évoquée est le fait d'effectuer des études sur le sujet ayant une meilleure qualité méthodologique (type méta-analyse) afin de pouvoir généraliser les résultats de cette scoping.

De plus, dans une scoping review, la dernière étape est la consultation d'experts. Consulter les experts pourrait définir le rôle de l'ergothérapeute dans la mise en place de ce type de dispositif. Cette consultation ne pourrait pas étayer les résultats sur la mesure directe de la plasticité cérébrale puisque cela demande des mesures spécifiques. Néanmoins, cela permettrait un retour d'expériences sur l'utilisation des exosquelettes en ergothérapie et la retranscription dans les activités significatives du patient.

Il pourrait être intéressant d'effectuer une étude mettant en lien l'ergothérapie et ces exosquelettes de rééducation afin de pouvoir avoir une relation tripartite entre la plasticité cérébrale, la récupération motrice et la retranscription dans les activités de la vie quotidienne. En effet, il pourrait être pertinent que des ergothérapeutes soient consultés dans des études pour pouvoir à l'avenir coupler ces rééducations. Cela pourrait se faire de la manière la plus optimale possible pour le patient ou même pourquoi pas en mettant au point des thérapies par exosquelette mettant le patient dans son environnement. Même si la mise au point d'exosquelette de rééducation utilisable à domicile marque une avancée en ce sens.

L'ergothérapeute pourrait avoir un rôle à jouer avec les outils et techniques à sa disposition et il semblerait que la mise en situation au domicile pourrait être une des finalités intéressantes et qu'un feed-back après rééducation pourrait être une piste à une évaluation plus complète ainsi qu'un critère de qualité.

De plus, ce qui est aussi à souligner, c'est également que l'ergothérapeute, dans cette pratique, est aussi accompagné de l'équipe pluridisciplinaire, et que l'acquisition d'un lien cohérent entre les différents professionnels est un bon complément à la rééducation.

Il est également important de prendre en compte que le fait qu'il y ait peu de patients dans ces études pourrait être lié à la compliance des patients face aux nouvelles technologies. Car les patients ont des dogmes qu'on ne peut pas nier car ce sont avant tout des humains avec leur contexte personnel. Une prise en compte de leur habitude de vie lors de l'étude peut être une piste à considérer afin que le patient soit au centre de la rééducation et que les moyens lui conviennent.

De plus, actuellement, il y a trop peu d'articles traitant des exosquelettes du membre supérieur. Une comparaison entre les études faites sur ce sujet et celles faites sur les exosquelettes du membre inférieur pourrait être intéressante pour voir si les résultats obtenus sont généralisables pour tel ou tel exosquelette.

Ensuite, il serait intéressant d'élargir les études à plus d'exosquelettes car il y a peu d'études montrant les effets sur la plasticité d'exosquelettes présents dans les centres de rééducation. Beaucoup d'études utilisent des exosquelettes « fait maison » mais il pourrait être difficile de quantifier ces avancés dans les centres ou les hôpitaux.

Conclusion

Dans cette scoping review portant sur l'impact des exosquelettes de rééducation du membre supérieur sur la plasticité cérébrale des patients ayant subi un AVC, nous avons pu observer qu'il semblerait que cette rééducation puisse avoir un impact positif sur la récupération motrice des patients AVC. Nous avons constaté une réorganisation corticale avec la réactivation de zones motrices lésées suivant une intervention de rééducation par exosquelette.

Une corrélation entre cette réorganisation et une récupération motrice quantifiable permet de supposer que la plasticité favorisée par la rééducation par exosquelette entraîne une réactivation des muscles effecteurs cibles.

Néanmoins, le caractère non-généralisable des résultats dans les tests fonctionnels nous montre que la retranscription dans les AVQ reste un point d'interrogation et il semblerait que les préconisations tendent vers une association de cette technique avec une rééducation basée sur l'environnement du patient.

La rééducation par exosquelette semble donc avoir sa place dans une pratique ergothérapique. En effet, étant donné l'observabilité des récupérations motrices (potentiellement du au phénomène de plasticité cérébrale) à la suite des interventions, cela présente un intérêt pour l'ergothérapeute afin de pouvoir les combiner à une rééducation plus fonctionnelle.

Il est également important de prendre en compte les caractères limitants de ces exosquelettes comme principalement son prix ou le fait qu'ils soient connotés comme une nouvelle technologie, ce qui en fonction des dogmes, peut créer des cassures quant à la participation des personnes.

Malgré le fait que les résultats soient encourageants, ils ne permettent pas de formuler de réelles recommandations définitives concernant l'efficacité des interventions par exosquelette. Des études complémentaires avec de meilleures qualités méthodologiques pourrai être réalisées afin de pouvoir généraliser les résultats.

Enfin, ce mémoire m'a permis de développer mes connaissances sur les neurosciences, les nouvelles technologies et leurs retranscriptions dans la pratique ergothérapique. Il est clair que l'exosquelette ne peut pas remplacer les autres rééducations mais plutôt être un complément de celles-ci.

“Ne te sers pas de la technologie comme d'un substitut à la chaleur humaine.”

Doc Lew Childre Jr. Dans « From Chaos to Coherence » 2000

Références bibliographiques

1. OMS. Accident vasculaire cérébral (AVC).
2. Collège des Enseignants de Neurologie. Accidents vasculaires cérébraux. 2016
3. Santé Publique France. Accident vasculaire cérébral
4. Inserm. Accident vasculaire cérébral (AVC). La science pour la santé
5. Ministère de la santé et des sports. La prévention et la prise en charge des accidents vasculaires cérébraux en France : 2009.
6. Larousse. Facteur prédisposant ou facteur de risque.
7. Ministère des solidarités et de la Santé. La prévention des AVC.
8. Engelter ST, Gostynski M, Papa S, Frei M, Born C, Ajdacic-Gross V, et al. Epidemiology of aphasia attributable to first ischemic stroke: incidence, severity, fluency, etiology, and thrombolysis. *Stroke*. juin 2006;37(6):1379-84.
9. Denier C, Luaute J, Azouzi P. Rééducation du langage et de l'héminégligence spatiale. In: *Accident Vasculaire Cérébraux thérapeutiques*.
10. Daviet JC, Joste R, Salle JY. Les troubles du comportement et les troubles cognitifs post AVC. In : *L'AVC, de la rééducation à la réadaptation 31èmes journées d'étude de l'AIRR*. Limoges, France ; 2013
11. Godefroy O, Roussel M, Barbay M. Troubles cognitifs et dépressifs. In: *Accidents Vasculaires Cérébraux Thérapeutiques*.
12. Godefroy O, Barbay M, Roussel M. Les troubles neurocognitifs post-AVC légers et majeurs : du diagnostic à la prise en charge. *Prat Neurol - FMC*. 1 avr 2018;9(2):132-9.
13. Quintaine V, Yelnik A. Rééducation de la motricité après un AVC récent. In: *Accidents vasculaires cérébraux Thérapeutique*. p. Chapitre 38 p567 à 579.
14. Nakayama H, Jørgensen HS, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of upper extremity function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil*. avr 1994;75(4):394-8.
15. Lance J. Spasticity : Disordered motor control. In: *Chicago : Year book Medical publishers*. 1980. p. p485-94.
16. Hôpitaux de Paris. Qu'est-ce qu'une unité neurovasculaire ?
17. Syndicat des SSR. Le SSR c'est quoi.
18. Morel-Bracq MC. Modèles conceptuels en ergothérapie: Introduction aux concepts fondamentaux. *De Boeck Supérieur*; 2009. 176 p.
19. Kortmann. The eye of the Beholder : Models in Occupational Therapy. *Aust Occup Ther J*. (41):P115-122.
20. OMS. Classification internationale du fonctionnement (CIF). 2001.
21. Barral C. La Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé : un nouveau regard pour les praticiens. *Contraste*. 2007;27(2):231-46.
22. Bonan I, Raillon A, Yelnik AP. Rééducation après accident vasculaire cérébral. *EM-Consulte*.
23. HAS. Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. 2012.
24. OMS. Activité physique.
25. Lang CE, Birkenmeier RL. Upper-extremity task-specific training after stroke or disability : 0 manual for occupational therapy and physical therapy. In 2014.
26. ETARD Olivier TZOURIO-MAZOYER Nathalie. *Cerveau et langage*. Lavoisier. 2003. 284 p.
27. Morris RG. D.O. Hebb: The Organization of Behavior, Wiley: New York; 1949. *Brain Res Bull*. déc 1999;50(5-6):437.
28. IRM fonctionnelle d'activation. Haute Autorité de Santé.

29. Le Bars E, Von Dokkum L, Deverdun J. Techniques d'explorations de la plasticité cérébrale. In: La plasticité cérébrale. Sauramps Medical. p. P27-36.
30. André-Obadia N, Sauleau P, Cheliout-Heraut F, Convers P, Debs R, Eisermann M, et al. Recommandations françaises sur l'électroencéphalogramme. *Neurophysiol Clin Neurophysiol*. 1 déc 2014;44(6):515-612.
31. Vidal C. La plasticité cérébrale : une révolution en neurobiologie. *Spirale*. 2012;63(3):17-22.
32. Carey LM, Seitz RJ. Functional neuroimaging in stroke recovery and neurorehabilitation: conceptual issues and perspectives. *Int J Stroke Off J Int Stroke Soc*. nov 2007;2(4):245-64.
33. HAS. Stimulation magnétique transcrânienne dans le traitement de la dépression pharmacorésistante de l'adulte. 2020.
34. Bergmann TO, Karabanov A, Hartwigsen G, Thielscher A, Siebner HR. Combining non-invasive transcranial brain stimulation with neuroimaging and electrophysiology: Current approaches and future perspectives. *NeuroImage*. 15 oct 2016;140:4-19.
35. Rode G, Declémy A, Ciceron C, Huchon L, Luaute J. Plasticité cérébrale après AVC. In: La plasticité cérébrale. p. 142-9.
36. Brunberg J, Frey K, Horton J, Kulh. Crossed cerebellar diaschisis: occurrence and resolution demonstrated with PET during carotid temporary balloon occlusion. 1992;
37. Grefkes C, Nowak DA, Wang LE, Dafotakis M, Eickhoff SB, Fink GR. Modulating cortical connectivity in stroke patients by rTMS assessed with fMRI and dynamic causal modeling. *NeuroImage*. mars 2010;50(1):233-42.
38. Npochinto Moumeni I. Plasticité cérébrale : régénération ? réparation ? réorganisation ? ou compensation ? Que savons-nous aujourd'hui ? *NPG Neurol - Psychiatr - Gériatrie*. 1 août 2021;21(124):213-26.
39. de Beaune SA. Compte rendu de: A.-G. Haudricourt. La technologie science humaine. Recherches d'histoire et d'ethnologie des techniques, Paris, éd. de la Maison des Sciences de l'Homme, 1987. :3.
40. Asimov I. I, Robot. 1950.
41. Masson E. Innovative technologies applied to sensorimotor rehabilitation after stroke. EM-Consulte.
42. Mizen N. Powered exoskeletal apparatus for amplifying human strength in response to normal body movements. 1969.
43. Renaudin A. La robotique de rééducation du membre supérieur. 2015;(56):p5-18.
44. Scoping studies: towards a methodological framework: *International Journal of Social Research Methodology*: Vol 8, No 1.
45. Singh N, Saini M, Kumar N, Srivastava MVP, Mehndiratta A. Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial. *J Neuroengineering Rehabil*. 6 mai 2021;18(1):76.
46. Casas R, Sandison M, Nichols D, Martin K, Phan K, Chen T, et al. Home-Based Therapy After Stroke Using the Hand Spring Operated Movement Enhancer (HandSOME II). *Front Neurobotics*. 2021;15:773477.
47. Calabrò RS, Russo M, Naro A, Milardi D, Balletta T, Leo A, et al. Who May Benefit From Armeo Power Treatment? A Neurophysiological Approach to Predict Neurorehabilitation Outcomes. *PM R*. oct 2016;8(10):971-8.
48. Shih P, Villringer A, Sehm B. Non-compensatory paretic arm training in chronic stroke improves reaching performance and alters functional brain network. *Clin Neurophysiol Conf 7th Int Conf Non-Invasive Brain Stimul NIBS Baden Ger 131 4 Pp E184-E185 2020* Date Publ April 2020. 2020;Conference: 7th International Conference on Non-Invasive Brain Stimulation:e184-e185.

49. Patel J, Fluet G, Qiu Q, Yarossi M, Merians A, Tunik E, et al. Intensive virtual reality and robotic based upper limb training compared to usual care, and associated cortical reorganization, in the acute and early sub-acute periods post-stroke: a feasibility study. *J Neuroengineering Rehabil.* 17 juill 2019;16(1):92.
50. Dodd KC, Nair VA, Prabhakaran V. Role of the Contralesional vs. Ipsilesional Hemisphere in Stroke Recovery. *Front Hum Neuroscience*
51. Murase N, Duque J, Mazzocchio R, Cohen LG. Influence of interhemispheric interactions on motor function in chronic stroke. *Ann Neurol.* mars 2004;55(3):400-9.
52. Floel A, Hummel F, Duque J, Knecht S, Cohen LG. Influence of somatosensory input on interhemispheric interactions in patients with chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* oct 2008;22(5):477-85.
53. Lorie G. Richards, Kim C. Stewart, Michelle L. Woodbury, Claudia Senesac, James H. Cauraugh. Movement-Dependent Stroke Recovery: A Systematic Review and Meta-Analysis of TMS and fMRI Evidence.
54. Stinear CM, Barber PA, Smale PR, Coxon JP, Fleming MK, Byblow WD. Functional potential in chronic stroke patients depends on corticospinal tract integrity. *Brain J Neurol.* janv 2007;130(Pt 1):170-80.
55. A neurophysiological and clinical study of Brunnstrom recovery stages in the upper limb following stroke: *Brain Injury: Vol 24, No 11.*
56. Morand A. *Pratique de la rééducation neurologique.* Elsevier Masson. Paris; 2014. 328 p.

Annexe I. Echelle PeDro

Échelle PEDro – Français

| | | | |
|---|------------------------------|------------------------------|-----|
| 1. les critères d'éligibilité ont été précisés | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 2. les sujets ont été répartis aléatoirement dans les groupes (pour un essai croisé, l'ordre des traitements reçus par les sujets a été attribué aléatoirement) | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 3. la répartition a respecté une assignation secrète | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 4. les groupes étaient similaires au début de l'étude au regard des indicateurs pronostiques les plus importants | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 5. tous les sujets étaient "en aveugle" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 6. tous les thérapeutes ayant administré le traitement étaient "en aveugle" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 7. tous les examinateurs étaient "en aveugle" pour au moins un des critères de jugement essentiels | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 8. les mesures, pour au moins un des critères de jugement essentiels, ont été obtenues pour plus de 85% des sujets initialement répartis dans les groupes | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 9. tous les sujets pour lesquels les résultats étaient disponibles ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle conformément à leur répartition ou, quand cela n'a pas été le cas, les données d'au moins un des critères de jugement essentiels ont été analysées "en intention de traiter" | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont indiqués pour au moins un des critères de jugement essentiels | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |
| 11. pour au moins un des critères de jugement essentiels, l'étude indique à la fois l'estimation des effets et l'estimation de leur variabilité | non <input type="checkbox"/> | oui <input type="checkbox"/> | où: |

L'échelle PEDro est basée sur la liste Delphi développée par Verhagen et ses collègues au département d'épidémiologie de l'Université de Maastricht (Verhagen AP et al (1998). *The Delphi list: a criteria list for quality assessment of randomised clinical trials for conducting systematic reviews developed by Delphi consensus. Journal of Clinical Epidemiology, 51(12):1235-41*). Cette liste est basée sur un "consensus d'experts" et non, pour la majeure partie, sur des données empiriques. Deux items supplémentaires à la liste Delphi (critères 8 et 10 de l'échelle PEDro) ont été inclus dans l'échelle PEDro. Si plus de données empiriques apparaissent, il deviendra éventuellement possible de pondérer certains critères de manière à ce que le score de PEDro reflète l'importance de chacun des items.

L'objectif de l'échelle PEDro est d'aider l'utilisateur de la base de données PEDro à rapidement identifier quels sont les essais cliniques réellement ou potentiellement randomisés indexés dans PEDro (c'est-à-dire les essais contrôlés randomisés et les essais cliniques contrôlés, sans précision) qui sont susceptibles d'avoir une bonne validité interne (critères 2 à 9), et peuvent avoir suffisamment d'informations statistiques pour rendre leurs résultats interprétables (critères 10 à 11). Un critère supplémentaire (critère 1) qui est relatif à la validité "externe" (c'est "la généralisabilité" de l'essai ou son "applicabilité") a été retenu dans l'échelle PEDro pour prendre en compte toute la liste Delphi, mais ce critère n'est pas comptabilisé pour calculer le score PEDro cité sur le site Internet de PEDro.

L'échelle PEDro ne doit pas être utilisée pour mesurer la "validité" des conclusions d'une étude. En particulier, nous mettons en garde les utilisateurs de l'échelle PEDro sur le fait que les études qui montrent des effets significatifs du traitement et qui ont un score élevé sur l'échelle PEDro, ne signifie pas nécessairement que le traitement est cliniquement utile. Il faut considérer aussi si la taille de l'effet du traitement est suffisamment grande pour que cela vaille la peine cliniquement d'appliquer le traitement. De même, il faut évaluer si le rapport entre les effets positifs du traitement et ses effets négatifs est favorable. Enfin, la dimension coût/efficacité du traitement est à prendre compte pour effectuer un choix. L'échelle ne devrait pas être utilisée pour comparer la "qualité" des essais réalisés dans différents domaines de la physiothérapie, essentiellement parce qu'il n'est pas possible de satisfaire à tous les items de cette échelle dans certains domaines de la pratique kinésithérapique.

Dernière modification le 21 juin 1999. Traduction française le 1 juillet 2010

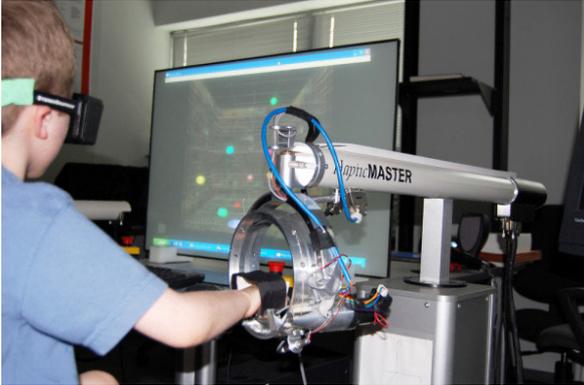
Précisions pour l'utilisation de l'échelle PEDro:

- Tous les critères **Les points sont attribués uniquement si le critère est clairement respecté.** Si, lors de la lecture de l'étude, on ne retrouve pas le critère explicitement rédigé, le point ne doit pas être attribué à ce critère.
- Critère 1 Ce critère est respecté si l'article décrit la source de recrutement des sujets et une liste de critères utilisée pour déterminer qui était éligible pour participer à l'étude.
- Critère 2 Une étude est considérée avoir utilisé une *répartition aléatoire* si l'article mentionne que la répartition entre les groupes a été faite au hasard. La méthode précise de répartition aléatoire n'a pas lieu d'être détaillée. Des procédures comme pile ou face ou le lancé de dés sont considérées comme des méthodes de répartition aléatoire. Les procédures quasi-aléatoires, telles que la répartition selon le numéro de dossier hospitalier ou la date de naissance, ou le fait de répartir alternativement les sujets dans les groupes, ne remplissent pas le critère.
- Critère 3 Une *assignation secrète* signifie que la personne qui a déterminé si un sujet répondait aux critères d'inclusion de l'étude ne devait pas, lorsque cette décision a été prise, savoir dans quel groupe le sujet serait admis. Un point est attribué pour ce critère, même s'il n'est pas précisé que l'assignation est secrète, lorsque l'article mentionne que la répartition a été réalisée par enveloppes opaques cachetées ou que la répartition a été réalisée par table de tirage au sort en contactant une personne à distance.
- Critère 4 Au minimum, lors d'études concernant des interventions thérapeutiques, l'article doit décrire au moins une mesure de la gravité de l'affection traitée et au moins une mesure (différente) sur l'un des critères de jugement essentiels en début d'étude. L'évaluateur de l'article doit s'assurer que les résultats des groupes n'ont pas de raison de différer de manière cliniquement significative du seul fait des différences observées au début de l'étude sur les variables pronostiques. Ce critère est respecté, même si les données au début de l'étude ne sont présentées que pour les sujets qui ont terminé l'étude.
- Critères 4, 7-11 Les *critères de jugement essentiels* sont ceux dont les résultats fournissent la principale mesure de l'efficacité (ou du manque d'efficacité) du traitement. Dans la plupart des études, plus d'une variable est utilisée pour mesurer les résultats.
- Critères 5-7 Être "en *aveugle*" signifie que la personne en question (sujet, thérapeute ou évaluateur) ne savait pas dans quel groupe le sujet avait été réparti. De plus, les sujets et les thérapeutes sont considérés être "en aveugle" uniquement s'il peut être attendu qu'ils ne sont pas à même de faire la distinction entre les traitements appliqués aux différents groupes. Dans les essais dans lesquels les critères de jugement essentiels sont autoévalués par le sujet (ex. échelle visuelle analogique, recueil journalier de la douleur), l'évaluateur est considéré être "en aveugle" si le sujet l'est aussi.
- Critère 8 Ce critère est respecté uniquement si l'article mentionne explicitement *à la fois* le nombre de sujets initialement répartis dans les groupes et le nombre de sujets auprès de qui les mesures ont été obtenues pour les critères de jugement essentiels. Pour les essais dans lesquels les résultats sont mesurés à plusieurs reprises dans le temps, un critère de jugement essentiel doit avoir été mesuré pour plus de 85% des sujets à l'une de ces reprises.
- Critère 9 Une *analyse en intention de traiter* signifie que, lorsque les sujets n'ont pas reçu le traitement (ou n'ont pas suivi l'intervention contrôle) qui leur avait été attribué, et lorsque leurs résultats sont disponibles, l'analyse est effectuée comme si les sujets avaient reçu le traitement (ou avaient suivi l'intervention contrôle) comme attribué. Ce critère est respecté, même sans mention d'une analyse en intention de traiter si l'article mentionne explicitement que tous les sujets ont reçu le traitement ou ont suivi l'intervention contrôle comme attribué.
- Critère 10 Une comparaison statistique *intergroupe* implique une comparaison statistique d'un groupe par rapport à un autre. Selon le plan expérimental de l'étude, cela peut impliquer la comparaison de deux traitements ou plus, ou la comparaison d'un traitement avec une intervention contrôle. L'analyse peut être une simple comparaison des résultats mesurés après administration des traitements, ou une comparaison du changement dans un groupe au changement dans un autre (quand une analyse factorielle de variance a été utilisée pour analyser les données, ceci est souvent indiqué sous la forme d'une interaction groupe x temps). La comparaison peut prendre la forme d'un test sous hypothèses (qui produit une valeur "p", décrivant la probabilité que les groupes diffèrent uniquement du fait du hasard) ou prendre la forme d'une estimation (par exemple: différence de moyennes ou de médianes, différence entre proportions, nombre nécessaire de sujets à traiter, risque relatif ou rapport de risque instantané dit "hazard ratio") et de son intervalle de confiance.
- Critère 11 Une *estimation de l'effet* est une mesure de la taille de l'effet du traitement. L'effet du traitement peut être décrit soit par une différence entre les groupes, soit par le résultat au sein (de chacun) de tous les groupes. Les *estimations de la variabilité* incluent les écarts-types, les erreurs standards, les intervalles de confiance, les intervalles interquartiles (ou autres quantiles) et les étendues. Les estimations de l'effet et/ou de la variabilité peuvent être fournies sous forme graphique (par exemple, les écarts-types peuvent être représentés sous forme de barres d'erreurs dans une figure) à la condition expresse que le graphique soit clairement légendé (par exemple, qu'il soit explicite que ces barres d'erreurs représentent des écarts-type ou des erreurs-standard). S'il s'agit de résultats classés par catégories, ce critère est considéré respecté si le nombre de sujets de chaque catégorie est précisé pour chacun des groupes.

Annexe II. Caractéristiques des exosquelettes

| Nom de l'exosquelette | Caractéristiques |
|--|---|
| <p data-bbox="204 288 383 315">Arméo Power</p>  | <ul data-bbox="874 288 1331 763" style="list-style-type: none"> • Traitement précoce des handicaps moteurs • Soutien du bras dans un espace en 3D • Exercices intensifs, répétitifs et axés sur l'objectif • Motorisation pour initier le mouvement • Travail de l'épaule, du coude, de l'avant-bras, du poignet et de la force de préhension • Couplée à un logiciel proposant différents jeux |
| <p data-bbox="204 938 303 965">KinArm</p>  | <ul data-bbox="874 938 1350 1234" style="list-style-type: none"> • Mouvement sur le plan horizontal • Flexion/ Extension de l'épaule et du coude • Possibilité de l'utiliser en bimanuelle • Mains libres • Acquisition des données par logiciel |
| <p data-bbox="204 1476 363 1503">Handsome II</p>  | <ul data-bbox="874 1476 1331 1659" style="list-style-type: none"> • Dispositif passif ou d'assistance • Flexion extension des doigts • Isole les mouvements des doigts • Acquisition de l'activité et des mouvements. |

Haptic Master



- 6 degrés de liberté
- Mesure de la force exercée par l'utilisateur
- Diminution de la pesanteur
- Possibilité d'assistance pour initier le mouvement.

Cybergrasp



- Retour de force pour les doigts et la main
- Saisis d'objets générés par ordinateur
- Léger
- 5 actionneurs (1 par doigts)

Electromechanical robotic exoskeleton of New Delhi



- Fabriqué pour l'étude
- Flexion / Extension du poignet et des doigts
- Collecte d'information cinétique
- Initiation du mouvement par une activité électromyogramme

Exosquelettes de rééducation du membre supérieur et plasticité cérébrale

Contexte : La récupération motrice des personnes ayant subi un Accident Vasculaire cérébral est un véritable enjeu de santé publique. En effet, de nombreuses techniques de rééducation existent afin de favoriser cette récupération. L'arrivée des nouvelles technologies a permis un essor concernant ces techniques de rééducation. De plus en plus de centres de rééducation utilisent la rééducation par exosquelette des membres supérieurs dans ce contexte d'AVC. Or il semble intéressant de se demander quels mécanismes entrent en jeu lors de cette rééducation notamment l'impact de ces exosquelettes du membre supérieur sur la plasticité cérébrale des patients AVC. **Méthode** : Pour répondre à cette problématique, une scoping review a été réalisée en sélectionnant des articles scientifiques dans différentes bases de données (PubMed, Cochrane, Cinahl, Scopus). Les articles ont été sélectionnés à la suite de l'analyse des titres, résumés, et du texte intégral. Les critères d'inclusion ont permis de sélectionner 5 articles. **Résultats** : Dans ces 5 articles expérimentaux, un total de 109 personnes a participé à des interventions avec 5 exosquelettes différents. La plupart des articles montre à l'aide de mesures directes de la plasticité cérébrale, qu'une réorganisation corticale est visible après l'intervention et que cette réorganisation est corrélée avec une amélioration de la motricité des patients mesurée à l'aide de test connus. **Conclusion** : La rééducation par exosquelette du membre supérieur semble avoir un impact positif sur la plasticité cérébrale des patients post-AVC avec une récupération motrice visible. Néanmoins, cette récupération semble être difficile à retranscrire dans les Activités de vie quotidienne (AVQ). C'est dans ce contexte, que l'intervention d'une équipe pluriprofessionnelle et notamment d'un ergothérapeute, joue un rôle afin d'améliorer la qualité de vie des patients en favorisant le maintien des acquis et leurs utilisations dans les AVQ.

Mots-clés : Exosquelette, Plasticité, Rééducation, Membre supérieur

Exoskeletons for upper limb rehabilitation and brain plasticity

Background: The motor recovery of people who have been affected by a stroke. Indeed, many rehabilitation techniques exist to promote this recovery. The emergence of new technologies has allowed a good progress on these rehabilitation techniques. More and more rehabilitation centers are using exoskeleton rehabilitation of the upper limbs in the context of stroke. However, it is interesting to look at which mechanisms come into play during this rehabilitation, in particular the impact of the upper limb exoskeletons on the cerebral plasticity of stroke patients. **Method:** To answer this question, a scoping review was carried out by selecting scientific articles from different databases (PubMed, Cochrane, Cinahl, Scopus). Articles were selected after analysis of the titles, abstracts, and full text. Five articles were selected according to the inclusion criteria. **Results:** In these 5 experimental articles, a total of 109 people participated in interventions with 5 different exoskeletons. Most of the articles show that direct measures of brain plasticity demonstrate that cortical reorganization is visible after the intervention and that this reorganization is correlated with an improvement in the motor skills of the patients measured with recognized tests. **Conclusion:** Upper limb exoskeleton rehabilitation seems to have a positive impact on brain plasticity in post-stroke patients with a visible motor recovery. Nevertheless, this recovery seems to be difficult to translate into the Activities of Daily Living (ADL). It is in this context that the intervention of a multi-professional team, and in particular an occupational therapist, plays a role in improving the quality of life of patients by promoting the maintenance of skills and their use in ADL.

Keywords: Exoskeleton, Plasticity, Rehabilitation, Upper Limb

