



Méta-analyse : utilisation de la robotique pour la rééducation à la marche après un accident vasculaire cérébral

Geoffroy Moucheboeuf

► To cite this version:

Geoffroy Moucheboeuf. Méta-analyse : utilisation de la robotique pour la rééducation à la marche après un accident vasculaire cérébral. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-02289897

HAL Id: dumas-02289897

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02289897>

Submitted on 17 Sep 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse pour l'obtention du

DIPLOME d'ETAT de DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement

Le 07 septembre 2018

Par Geoffroy MOUCHEBOEUF

Interne des Hôpitaux de Bordeaux

Né le 28 juillet 1990 à Bruges (33)

Meta-analysis: use of robot for gait training after a stroke

Directeur de thèse :

Monsieur le Professeur Patrick DEHAIL

Jury :

Monsieur le Professeur Mathieu DE SEZE, Président

Monsieur le Professeur Patrick DEHAIL, Directeur

Monsieur le Professeur Igor SIBON, Juge

Monsieur le Professeur Matthieu BIAIS, Juge

Madame le Docteur Hélène CASSOUDESALLE, Juge

Rapporteur :

Monsieur le docteur David GASQ

Remerciements

A mon Président du jury,

Monsieur le Professeur De Seze, je vous remercie d'avoir accepté de présider cette thèse. Votre approche de la médecine rééducative est ambitieuse et créative. Merci pour votre inspiration.

A mon directeur de thèse,

Monsieur le Professeur Dehail, c'est vous qui m'avez donné goût à la Médecine Physique et Réadaptation sur les bancs de la faculté. Je vous remercie d'avoir cru en moi, de m'avoir écouté et de m'avoir challengé. Vous avez su canaliser mes idées et vous m'avez donné l'envie de toujours pousser plus loin la réflexion.

A mon rapporteur,

Monsieur le Maître de conférences universitaires David Gasq, cela a été un véritable plaisir de découvrir le monde des méta-analyses grâce à toi. Merci pour la qualité des cours que tu organisais. J'y ai aussi appris que les toulousains étaient plutôt sympathiques et j'espère que nous serons amenés à travailler ensemble de nouveau.

Aux membres du jury :

Monsieur le Professeur Sibon, j'ai pu voir au cours de nos gardes que vous étiez un professeur humain et profondément généreux. Je vous remercie de m'avoir introduit à la neurologie lors de mon stage d'externat en neurologie en 4^{ième} année. Je me souviens que vous m'aviez interrogé sur la spasticité à l'époque. Peut-être étiez-vous visionnaire ? J'escompte bien que notre appétence pour l'AVC conduira à de belles années de collaboration.

Monsieur le Professeur Biais, c'est pour moi un immense plaisir que tu viennes en tant que juge à ma thèse. Je garde un souvenir ému des 6 mois que j'ai effectué chez toi. J'en suis sorti changé et rempli de nouvelles idées. Tu m'as accueilli comme un patron mais aussi comme un partenaire. Merci de m'avoir accordé ta confiance et d'avoir accepté de former un nouvel initié.

Madame le Docteur Cassoudeulle, tu es mon associée dans l'élaboration de ce projet de recherche et tu m'aides dès que j'en éprouve le besoin. Je suis très content que tu m'aies proposé cette collaboration pour le projet de construction de méta-analyses. Nous nous sommes bien amusés aux quatre coins du grand Sud-Ouest. J'ai hâte de suivre tes traces à Tastet.

A mes proches :

A ma famille, maman, mimi, papa, Valou, Grégoire, vous êtes tout pour moi. Je vous remercie pour votre amour et votre protection inconditionnelle. Je suis devant vous aujourd'hui en parti grâce à vous.

A ma beauté, Armelle. Je t'avais demandé d'être un pilier durant cette année difficile. Tu as relevé le défi avec brio. J'envie chez toi ta sérénité, ta constance et ta générosité. Tu es un exemple de vie, tu es mon exemple. Je t'aime.

A la team « mais qui ? », Gros toto, mon alter ego, mon allié de toujours, mon inceptionneur mangeur de khebabs, JBoule, son épaisse moustache souriante et son amitié inébranlable, Rominou, son aéroport dans le nez et les petits avions qui vont avec (hihih), Air'Riboulette la pile électrique qui passe plus de temps dans l'air que sur la vague, Pedro la force tranquille, le bابتou fragile qu'on aime tant, Charley bushman capable d'affronter des murs de 4 mètres, grande bouche apte à engloutir tout le paquet de gouter mais aussi apte à donner beaucoup

d'amour. Vous êtes ce qui me ramène sur terre (ou sur mer ?) et ceux sur qui je peux compter en toute situation. Gros toto n'oublie pas de revenir dans la région, parce qu'on compte bien finir nos vieux jours tous ensemble. Un terrain, plusieurs maisons. Tu le sais Mammen !

A ma belle famille, Michel, Brigitte, Marc, Charles, Claire, Auré, Antoine, les tontons, les tantes et marraines. Merci pour votre accueil, votre confiance et votre amour.

A la FF, les pruneaux (Titi le ciment de la FF, Bithault l'arnacoeur, Cazaboula le foie gras), les plus belles filles de la fac (Carox et ses bons petits plats, Lolotte les doigts en l'air, Carole et ses pâtés de cerfs, ses saucissons et sa générosité, Tiph, sa susceptibilité qui la rend si chou, Horty, sa voix de johnny, les seins à l'air sur la table de la salle à manger, Béné la tranquillité, bénééééééé, Cam et ses folles histoires de soirée, Claire ou la joueuse imbattable aux jeux de société, JAT et ses scies sauteuses pour découper les cadavres, Léa et ses grimaces de monkeys, Manon et toute sa petite famille, Mathou la skieuse pro, Soso l'arracheuse de dents, Syboule et son amour des vésicules, Janus et ses pépites de phrases tellement rigolotes) et les petits filoux comme Jé l'embrasseur de bouteilles, Ben le guitariste fou, Quentin le pro kiteur et Rafiki le pro skater. 10 ans qu'on se connaît maintenant. C'est beau et c'est pour la vie.

A Diego, c'est grâce à toi, mon presque frère, que je suis arrivé jusque là. Nous nous connaissons depuis la crèche. Peu de gens peuvent s'en vanter. Je t'aime fort.

A la Ripaille, mes copains de surf et de plaisir de vie : Didich la grosse tête, Gauthgauth le ministre, Lannou larsouille, Abdel kader le coureur, Julio la pêcheuse. Merci pour ces parties de boules, merci de me laisser gagner sur fantaisie et merci pour toutes ces bons surfs + pintes partagés.

Aux barjots de la réanimation, vous êtes fous et vous me rendez fous ! La poche ou l'ivrogne, Bastouch le perché, Rabibi ou les 40 voleurs, le gros Denis toujours dans les hôtels 4 étoiles.

Aux amis de GL, aux amis du ferret, aux amis du lycée, Noisette, Douguy, Las, Nico, Alfred, les piches. Merci d'être venus, vous allez tout casser ! Faites raller les habitants de Bordeaux ce soir !

A Nagland, Perche, Marie mini moi, Labilde, merci pour toutes ces raclettes et ces bonnes parties de ski ou de playa.

Aux copains de la Corse, Nico, Nono, Coralie, Margot.

A l'équipe de rééducation de Tastet : Willou, Belle, Loulou, Claire, Hélène, Philippe, Mélanie, les infirmières émérites du premier... Je me suis toujours senti bien avec vous. J'aime vos punchlines et vos répliques des inconnus, j'aime nos cafés dans le brouillard du staff du matin. J'aime nos conversations farfelues et j'aime notre façon de travailler. Je reviens à la maison bientôt, faites moi un petit nid douillet.

A mes co-internes, Sophie, Labilde, chinois, Benj, Lucie, Solène, des internes en or avec qui je me suis bien marré. Il va quand même falloir que vous amélioriez au babyfoot ...

À toutes les personnes rencontrées au cours de mon internat, merci de m'avoir formé lorsque j'étais petiot (merci à Paul surtout), merci de m'avoir materné lorsque j'ai grandi (merci à Véronique Cressot) et merci à toute l'équipe de réa et de médecine santé publique de m'avoir accueilli à bras ouvert.

A Romain Griffier, tu as été le premier et le seul à relever le défi de m'accompagner dans les statistiques de la méta-analyse. Tu as toujours répondu présent lorsqu'il le fallait et tu as toujours essayé de répondre à mes attentes. Tes qualités en informatique sont déjà reconnues mais je me félicite d'y avoir contribué par les nombreuses heures de galère et d'apprentissage dans le maniement des méta-statistiques. « C'est dans la difficulté que l'on apprend » et bien cela était peut être vrai pour les statistiques mais aussi pour l'amitié. Merci pour ta bonne humeur et ton soutien.

Liste des abréviations

AVC : Accident Vasculaire Cérébral

FES : Stimulation Fonctionnelle Electrique

tDCS : Stimulation transcrânienne à courant direct

FAC : Classification d'Ambulation Fonctionnelle

SSR : Soins de Suite et de Réadaptation

DHOS : Direction de l'hospitalisation et de l'organisation des soins

Neurotransmetteur GABA : neurotransmetteur acide γ -aminobutyrique

EHPAD : Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes

UNV : Unité de Neuro Vasculaire

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

EMG : Electromyographie

JAMA : Journal de l'Association Médicale Américaine

LAMIH : Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles et Humaines

IBHGC : Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

Table des matières

I. INTRODUCTION.....	8
A. Justification de la méta-analyse	8
B. Données épidémiologiques.....	9
C. Parcours du patient et justification d'un travail spécifique à la marche plus précoce	10
D. Explication de l'utilité de la robotique par l'histoire de l'évolution des concepts en rééducation neuromotrice.....	12
E. Biofeedback, stimulation transcrânienne à courant direct, stimulation électrique fonctionnelle et exosquelettes.....	15
II. METHODE.....	19
III. INSERTION DE L'ARTICLE.....	20
IV. DISCUSSION	40
A. Critique des résultats	40
B. Perspectives d'avenir.....	41
V. CONCLUSION.....	43
VI. BIBLIOGRAPHIE DE LA THESE	44
VII. ANNEXES	49
A. Références des études	49
Etudes incluses	49
Etudes exclues	53
Etudes attendant une classification	61
Etudes en cours	62
B. Echelles utilisées	63
Echelle: Berg balance Scale:	63
Echelle: Functional Ambulation Classification:	66
Echelle: Timed Up and Go:	66
Robis tool: échelle d'évaluation méthodologique des méta-analyses:	67
VIII. SERMENT MEDICAL	69

I. INTRODUCTION

A. Justification de la méta-analyse

Le champ de la rééducation robotique intéresse les rééducateurs depuis la deuxième moitié du 20^{ème} siècle. La robotique représente une nouvelle voie pour compléter la prise en charge physique habituelle, un moyen pour confronter plus rapidement le patient à la tâche et potentiellement accentuer la rapidité de la récupération à la marche. De nombreux auteurs ont proposé des études observationnelles de cas et des études observationnelles étudiant les exosquelettes de marche sur les patients hémiparétiques après un AVC et ont montré des performances améliorées en vitesse de marche, en équilibre et en autonomie¹. Bien que difficiles à mettre en place dans ce cadre, des essais contrôlés et randomisés ont également été réalisés. Leur objectif était d'évaluer l'efficacité d'un programme robotique de rééducation par rapport à un programme conventionnel de rééducation. Néanmoins la plupart de ces essais manque de puissance statistique. La grande majorité ne comporte qu'une trentaine de patients répartis en deux groupes. Dans ce contexte, afin d'analyser « l'effet thérapeutique commun » et pallier le faible effectif des études sources, plusieurs méta-analyses ont été réalisées.

La méta-analyse la plus citée dans le domaine est « *Electromechanical-assisted training for walking after stroke* » publiée par Mehrholz² et ses collaborateurs en 2017. Elle avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de la rééducation électro-mécanisée à la marche en post accident vasculaire cérébral.

Les auteurs ont inclus 36 essais randomisés contrôlés, soit 1472 patients. L'intervention testée se définissait par tout instrument électromécanique : la stimulation fonctionnelle électrique (FES), la stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS), les exosquelettes assis/debout, les orthèses robotisées de cheville, les cycloergomètres de rééducation, etc. Le critère de jugement était le passage de la « dépendance » à « l'indépendance » à la marche (en fonction de la Functional Ambulation Classification (FAC)).

Les auteurs ont obtenu un résultat cumulé d'ODDS RATIO à 1,94 (95% CI : 1,39 à 2,71). Ce qui signifie que les sujets ayant bénéficié d'une rééducation avec assistance électromécanique ont 1,94 fois (95% CI 1,39 à 2,71) plus de chance de regagner une « indépendance à la marche » que ceux qui ont bénéficié d'une rééducation classique seule.

Néanmoins, nous notons que les résultats cumulés sur la vitesse de marche (méthode d'évaluation précise et reproductible) étaient hétérogènes ($I^2=65\%$). Probablement pour deux raisons:

- L'intervention définie était trop large pour être évaluée de façon groupée. La pertinence de regrouper la FES, les robots de cheville, les robots de hanche, les robots assis, les robots debout, la tDCS (etc.) en un seul groupe d'intervention est discutable.
- Le critère de jugement « autonome/non autonome » est cliniquement pertinent mais il ne décrit pas précisément les variations de l'état d'ambulation des patients. En divisant le niveau de marche en 2 niveaux, les auteurs ont perdu en précision et la variable catégorielle à 6 catégories de la FAC devient une variable catégorielle à 2 catégories.

Afin de répondre à cette hétérogénéité de résultats, l'objectif de notre travail était de réaliser une nouvelle méta-analyse en sous-groupes d'intervention en distinguant les interventions ainsi que les critères de jugement.

B. Données épidémiologiques

Les accidents vasculaires cérébraux sont des pathologies fréquentes et graves, évaluées à environ 150 000 nouveaux cas par an. Ils représentent la première cause de handicap moteur acquis de l'adulte³. Un peu plus du tiers des patients avec séquelles rapportent une atteinte motrice d'un ou plusieurs membres⁴. Les troubles de l'équilibre et les limitations de déplacement sont ceux qui ont le plus d'impact sur les activités de la vie quotidienne (présente dans la moitié des cas). Marcher 500 mètres est jugé très difficile ou impossible par la moitié des personnes avec séquelles d'AVC, cette proportion atteint 69,6% pour les 75 ans ou plus (contre 28,7% dans cette même classe d'âge en l'absence d'antécédent d'AVC). Les limitations dans les activités de la vie quotidienne les plus fréquentes sont relatives aux activités de toilette (39,4%), d'habillage/déshabillage (34,3%) et découlent en grande partie de troubles moteurs des membres inférieurs⁵.

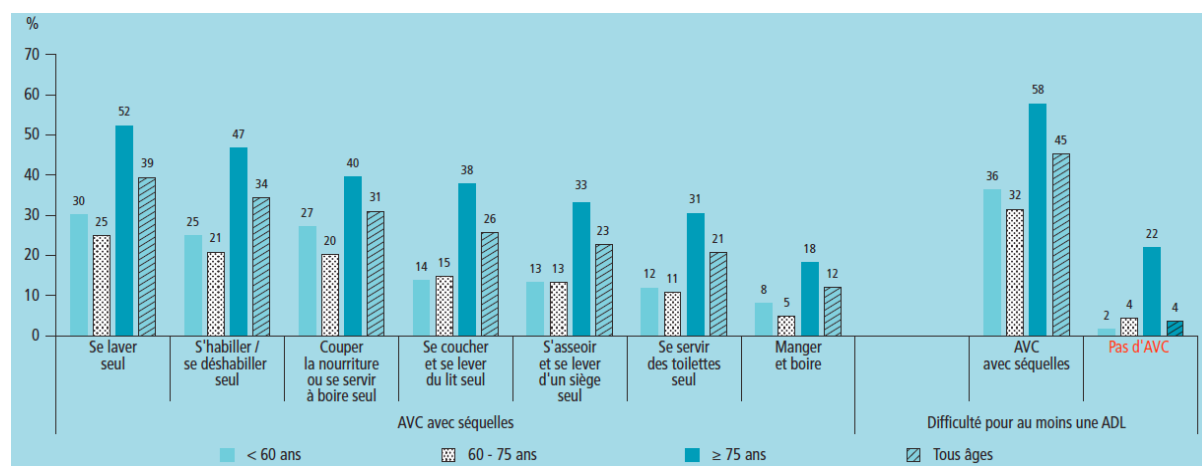


Figure 1 : De Peretti C. Prévalence des accidents vasculaires cérébraux et de leurs séquelles et impact sur les activités de la vie quotidienne : apports des enquêtes déclaratives Handicap-santé-ménages et Handicap-santé-institution, 2008-2009 [Internet]. Bulletin épidémiologique hebdomadaire. 2012 ⁵.

Tableau 1 : Capacités à marcher 500 mètres et à la préhension déclarées par les personnes avec antécédent d'accident vasculaire cérébral (AVC) et séquelles en association avec l'âge, France, 2008-2009, rapport de De Peretti⁵

AVC avec séquelles		<60 ans	60-75 ans	>75 ans	tous ages
N		321	334	699	1354
Capacité à marcher 500 mètres en terrain plat (sains aide technique ni humaine)	Oui, sans difficulté	53,20%	53,30%	17,10%	35,70%
	Oui, avec quelques difficultés	11,80%	14,40%	13,30%	13,30%
	Oui, avec beaucoup de difficultés	9,00%	6,10%	9,40%	8,30%
	Non, je ne peux pas du tout	26,10%	26,20%	60,20%	42,70%

Outre l'impact direct sur le patient, le handicap post AVC se répercute sur la société également. Le coût financier de l'AVC est élevé avec, en 2013, près de 3,5 milliards d'euros remboursés par l'Assurance maladie,

tous régimes confondus, au titre de la prise en charge médicale d'un AVC, soit presque autant que pour les cardiopathies ischémiques⁶. Les coûts indirects sont également importants, notamment lorsque l'AVC survient chez des personnes encore en activité professionnelle. Chez les moins de 45 ans victimes d'AVC, 30 à 50% ne peuvent pas reprendre une activité professionnelle⁷.

C. Parcours du patient et justification d'un travail spécifique à la marche plus précoce

En France, seulement 33,8% des patients post AVC sont hospitalisés en Soins de Suite et de Réadaptation (SSR) : 23,4% en SSR non spécialisé ou gériatrique et 10,4% en SSR spécialisés en neurologie⁸. Les autres sont directement dirigés à domicile, en structures d'accueil ou en EHPAD.

À travers la rééducation, les différents acteurs rééducateurs en SSR aident le patient à recouvrer le meilleur potentiel de ses capacités antérieures. Ils ont pour mission de réduire les conséquences fonctionnelles, physiques, cognitives, psychologiques, sociales des déficiences et des limitations d'activité. Si les limitations des capacités du patient s'avèrent irréversibles, les SSR assurent la réadaptation du patient en lui permettant de s'adapter au mieux. L'objectif final est d'assurer la réinsertion socio professionnelle et de garantir une autonomie.

Parmi les catégories de SSR, ceux spécialisés en neurologie sont préférentiellement choisis par les neurologues et médecins rééducateurs lors d'orientations pour patients cumulant d'importants troubles moteurs⁹. La circulaire DHOS/O1 no 2008-305 du 3 octobre 2008 relative aux décrets n° 2008-377 du 17 avril 2008¹⁰ qui régit l'activité de soins de suite et de réadaptation précise que ces structures spécialisées doivent être capables de prendre en charge des patients pouvant nécessiter une rééducation complexe et intensive (c'est à dire multidisciplinaire d'au moins deux heures par jour pour l'adulte) et de mettre en place, le suivi et/ou l'adaptation d'appareillage ou d'aides techniques. Ils doivent comporter au minimum souhaitable un plateau de kinésithérapie avec appareils d'isocinétisme, différentes techniques de physiothérapie notamment pour le traitement de la douleur (chaleur, électrostimulation, protoxyde d'azote...), des équipements pour la rééducation de l'équilibre et de la marche, le réentraînement à l'effort (cycloergomètre, tapis roulant...).

Bien que cet environnement soit riche en moyens et technologies, nous nous apercevons que le délai pour entreprendre une rééducation spécifique à la marche demeure long. Les étapes de rééducation successives communément appliquées sont, en premier lieu, le travail de la station assise afin de récupérer un tonus du tronc, en deuxième lieu, le travail de la station debout en statique et enfin le travail spécifique de la marche entre les barres parallèles.

Les études de cohorte montrent que l'essentiel de la récupération de la marche se concentre sur les 10 premières semaines¹¹ et que cette récupération est directement liée au degré de gravité du déficit et au degré de dépendance initial à la marche. Dans ce contexte, seulement 15 % des personnes souffrant d'une paralysie initiale présentent une récupération complète, aussi bien pour le membre inférieur que pour le membre supérieur¹². Mais le délai actuel pour mettre en place une rééducation spécifique à la marche n'est-il pas un facteur de confusion ? Une proposition robotique qui maintient le tronc enchâssé dans une ceinture lombaire rigide et qui permet une

rééducation spécifique à la marche plus rapidement qu'avec une méthode conventionnelle n'est-elle pas la solution ?

Cette réflexion renvoie à la notion de fenêtre idéale de temps pour initier la rééducation.

L'accident vasculaire cérébral provoque un bouleversement dans l'équilibre électro-chimique du cerveau. Les changements en matière d'expression de gènes et de protéines sont semblables à ceux du développement cérébral durant l'enfance, propices à la repousse axonale et à la prolifération neuronale. L'idée d'une « période critique » procède de la démonstration de Hubel et Wiesel en 1963 qui montrait qu'une privation d'afférences visuelles durant la période critique du développement cérébral altérait de façon permanente les propriétés visuelles du cortex adulte¹³. Les autres expériences animales corroborent cette idée de « fenêtre de tir ». Si on propose à des rats un environnement enrichi combinant des sessions journalières de rééducation à la suite d'un AVC par occlusion de l'artère cérébrale moyenne, les gains cliniques sont significatifs sur la récupération de la patte entrainée si la rééducation a été commencée à J5, à J14 mais pas à J30. Ce phénomène se confirme à l'échelle cellulaire par une surproduction de dendrites sur les neurones du cortex moteur en réponse à des rééducations entreprises à J5, à J14 ; résultats non constatés avec une rééducation initiée à J30^{14,15}. A l'échelle moléculaire, des chercheurs ont identifié des gènes de facteurs de croissance exprimés de façon accrue à J7 pour redescendre progressivement à une phase de plateau dans les semaines et les mois qui suivent. Pic qui correspondrait au moment idéal pour commencer la rééducation puisque des molécules inhibitrices de croissance entreraient en jeu de façon retardée après quelques semaines et atteindraient leur zénith lors de la phase de « plateau » de récupération fonctionnelle clinique¹⁶.

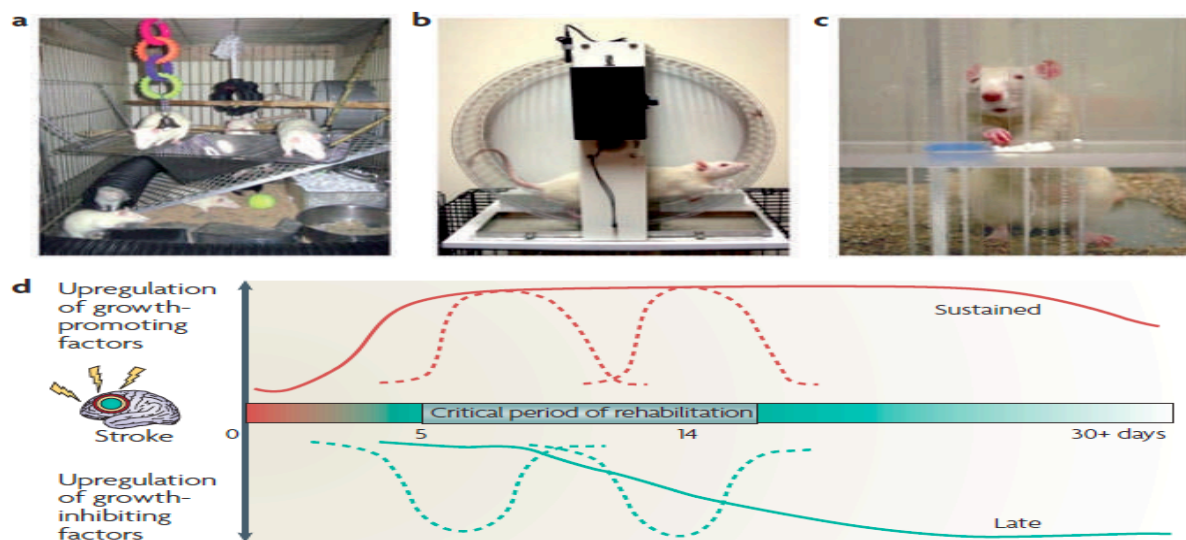


Figure 2 : Protocole de rééducation et période critique de rééducation en post AVC chez le rat.

Les gènes inhibiteurs de croissance en vert tendent à croître progressivement pour atteindre un maximum quelques semaines après l'accident. Les gènes facteurs de croissance en rouge sont exprimés de façon très précoce après l'accident. La période critique observée chez l'animal (5 - 14 jours) doit être différente de celle chez l'homme qui est plutôt de l'ordre de 90 jours (durée envisagée sur les données de récupération spontanée¹⁷). Figure tirée de l'article de Murphy TH, 2009, Nat Rev Neurosc, Plasticity during stroke recovery¹⁸.

Mais une rééducation très précoce n'est pas forcément adéquate. Les dernières études cliniques sur l'homme « AVERT 3 » et « AMOBES » démontrent une inefficacité, voire une dangerosité à commencer une rééducation trop précocement (dans les 72 premières heures)¹⁹²⁰. Des études animales ont identifié une forte expression des neurotransmetteurs inhibiteurs GABA dans les premières heures post AVC. Les auteurs y devinent un processus physiologique de limitation de l'étendue de la zone infarctée²¹. Initier une rééducation trop rapidement serait délétère pour les mécanismes de protection du cerveau durant le post accident immédiat.

La robotique incarnerait alors une solution pour approcher la fenêtre idéale d'initiation à la rééducation spécifique bien qu'elle ne soit pas encore bien définie chez l'humain. Il paraît peu probable en France que cette rééducation spécifique soit initiée de façon trop précoce. La mise en place de robotique de rééducation en Unité de Neuro Vasculaire (UNV) est actuellement inadaptée et le délai moyen actuel d'attente avant d'être pris en charge en SSR est de 7 jours [5-12]⁹ (au CHU de Bordeaux). De fait, la robotisation pourrait améliorer le parcours de soins sans réellement changer toute l'organisation de la filière AVC.

Après avoir développé la question du « quand », nous allons développer la question du « comment » en procédant à une présentation historique de l'évolution des concepts en matière de rééducation neurologique.

D. Explication de l'utilité de la robotique par l'histoire de l'évolution des concepts en rééducation neuromotrice

Dans le cadre des techniques de rééducation appliquées aux patients victimes d'AVC, de nombreux concepts et de nombreuses théories ont été testées. L'histoire moderne de la rééducation neurologique post AVC s'est d'abord imprégnée d'une doctrine quasi dogmatique basée sur le contrôle de la motricité anormale. Puis l'avènement de la médecine fondée sur les preuves dans les années 1980 et l'avènement de l'imagerie cérébrale ont permis d'élargir les champs de connaissance, de casser les anciens dogmes et de confirmer les observations cliniques et hypothèses sur la plasticité cérébrale.

De nos jours, la rééducation des déficits moteurs renvoie aux notions d'apprentissage, de complémentarité d'exercices et de diversité. Le travail doit être orienté sur la tâche à accomplir, et doit être précoce, intense et riche en interactions sensitivomotrices²²²³.

La rééducation des déficits neuro-moteurs après AVC a fait l'objet de nombreux travaux aux résultats contradictoires. Le questionnement est toujours le même : rééduquer par le mouvement, mais lequel ? Sur quel rythme et quelle intensité ? Faut-il faire bouger le membre paralysé ? Et si oui, à quel moment ?

A la fin du 19^{ème} siècle et au début du 20^{ème} siècle, le Pr Jean Martin Charcot et ses successeurs développent une pratique de la rééducation décrite en ces termes : « les exercices consisteront toujours en mouvements actifs...le plus tôt possible... deux fois par jour on fera marcher le malade et on l'obligera à se servir de sa main... »²⁴.

Puis au milieu du 20^{ème} siècle, une grande importance est progressivement donnée aux troubles du tonus, aux processus d'excitation et aux processus d'inhibition du système nerveux central. C'est ainsi que Berta et Karel Bobath, dans les années 1960, mettent l'accent sur le contrôle de la spasticité et des mouvements anormaux : « la spasticité peut être tenue pour responsable d'une grande partie des déficits moteurs des patients »²⁵. Les

rééducateurs se concentrent alors sur la spasticité décrite comme « reflexe myotatique incontrôlé » et cantonnent la rééducation à la prévention des complications dans une approche protectrice et inhibitrice. B. Bobath recommandait notamment « d'attaquer la dysfonction neuro musculaire en empruntant les voies afférentes proprioceptives et (à moindre degré) extéroceptives ». Principe qui est toujours d'actualité et qui peut s'appliquer à la notion de rééducation spécifique à la marche précoce. En contraignant le patient à faire un mouvement de marche le plus précocement possible, on sollicite instantanément les voies sensibles.

Dans les années 1980, le principe de rééducation attentiste est contrecarré par l'avènement de l'imagerie cérébrale et de la neurophysiologie. Bach Y Rita rappelle la possibilité de repousse axonale « sprouting » et de la vicariance²⁶. En parallèle de ces découvertes scientifiques, le monde de la médecine se transforme par l'avènement de la médecine basée sur preuves. Les techniques de Bobath et de neuro facilitation seront alors soumises à de nombreuses analyses comparatives. Hélas, les techniques jusqu'alors acquises pour principe ne montreront pas de supériorité évidente entre elles. C'est à ce moment là que grandit le concept de rééducation orientée directement sur la tâche.

La rééducation s'inspire de l'apprentissage durant l'enfance et on découvre alors scientifiquement que la rééducation de l'équilibre améliore l'équilibre²⁷, la rééducation du membre supérieur améliore la fonction du membre supérieur²⁸, la rééducation à la marche améliore la marche²⁹, mais la rééducation du membre supérieur n'améliore pas la marche³⁰ !

C'est dans cet esprit d'exercices « tâche orientée » qu'est apparue la notion d'intensité et d'entraînement prolongé. Le réentraînement de l'automatisme de la marche sur tapis roulant naît et se justifie par la découverte d'un générateur spinal de marche, dont l'existence démontrée chez le chat en 1998³¹ est envisagée chez l'homme. La rééducation sur tapis de marche démontre alors son efficacité après AVC récent³² et aussi après AVC plus ancien³³. Mais cette marche sur tapis reste impossible si le déficit est trop sévère. La lourdeur des déficits moteurs et sensitifs empêche la construction du schéma moteur efficace. La marche en allègement du poids du corps a ainsi été proposée par Hugues Barbeau et Stephan Hesse. Elle permet de travailler en automatisme de marche avec les patients les plus déficitaires³⁴.

Mais encore faut-il qu'ils aient un tonus du tronc satisfaisant. Et elle présente de réelles difficultés pratiques, car il faut au minimum deux thérapeutes pour guider le patient.

Afin de s'affranchir de cette dépendance, l'entraînement entièrement robotisé à la marche a été proposé.



Figure 3: Entraînement à la marche avec allègement du poids du corps: Promotion of Gait Through Technology [Internet]. Rehab Managment. Disponible sur: <http://www.rehabpub.com/2017/01/promotion-gait-technology>³⁵

Ce sont des systèmes orthétiques, autrement appelés « exosquelettes », « jambes bioniques » dont le mouvement simule les différentes phases de la marche. Ils se composent d'un arbre métallique harnaché à la jambe du patient et le plus souvent d'une ceinture lombaire rigide permettant une articulation solide entre le tronc et le membre inférieur. La plupart sont couplés à un système d'allègement du poids du corps et ils ont plusieurs intérêts. Le premier est qu'il permettent un mouvement de marche aux patients les plus déficitaires (même ceux sans tonus du tronc car ils sont maintenus par la ceinture lombaire rigide). Le deuxième est qu'ils permettent une répétition de tâche plus intense que l'entraînement en allègement du poids du corps. Le troisième est qu'ils diminuent la charge de travail des kinésithérapeutes. Le quatrième est qu'ils permettent de proposer théoriquement une multitude d'entraînement à la marche. La programmation de l'orthèse se fait généralement grâce à différents paramètres : vitesse de marche, temps de phase de marche et force des moteurs. Le robot doit aider le mouvement de marche et doit appliquer une force au membre inférieur pour mimer un pattern de marche idéal. Plusieurs modes d'aide à la marche ont été proposés tel que l'« assistance partielle » à la marche où le patient doit fournir un minimum de contraction afin que le robot exécute la fin du mouvement, le mode en « assistance complète » qui ne permet qu'une simple répétition de marche sans sollicitation volontaire du patient, le mode « résistance » qui rend plus difficile certains mouvements élémentaires dans la marche et le mode « balance des ceintures » qui insiste sur le travail de dissociation des ceintures. Le recueil de la volonté motrice du patient s'exécute soit par l'intermédiaire de la force exercée sur les arbres métalliques et donc par extension, sur les moteurs, soit par déplacement de capteurs inertiels, soit par recueil EMG de surface. Bien que les modes de rééducation proposés par l'industrie robotique soient nombreux car uniquement soumis à une contrainte de programmation informatique et à l'imagination des rééducateurs, la plupart des exosquelettes sur le marché sont élémentaires et ne proposent qu'un entraînement avec allègement du poids du corps et une assistance partielle à la marche.

En revanche, les fabricants de robotique ont ajouté des modules optionnels afin d'améliorer l'efficacité de la rééducation. Ces modules peuvent se définir par du biofeedback, de la réalité virtuelle, de la stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS) ou de la stimulation électrique fonctionnelle.

E. Biofeedback, stimulation transcrânienne à courant direct, stimulation électrique fonctionnelle et exosquelettes

Les techniques décrites ci-dessous sont souvent proposées en complément de la robotique pour optimiser les résultats de la rééducation. Nous avons défini leurs principes électromécaniques et physiologiques.

La première technique envisagée est le biofeedback. Ce terme renvoie au principe de « rétroaction biologique » qui s'applique à l'utilisation d'appareils de contrôle et qui détectent/matérialisent par quantification un processus physiologique dans le but de rendre immédiatement disponible, pour l'individu, une information sur son fonctionnement, alors que les conditions physiologiques lui rendraient cette connaissance inaccessible³⁶. Le biofeedback est une méthode qui utilise une rétro-information externe apportée au patient, de façon à ce qu'il sache en temps réel la différence entre les résultats et ce qui était désiré a priori. Citons quelques exemples: l'EMG-biofeedback, le feedback en force et en position, la rétroaction visuelle modifiée (thérapie miroir), les jauges de résultats sur écran, les feedbacks auditifs (encouragements et rétro information en temps réel par voie auditive) et les feedbacks sensitifs (stimulations électrique cutanées).

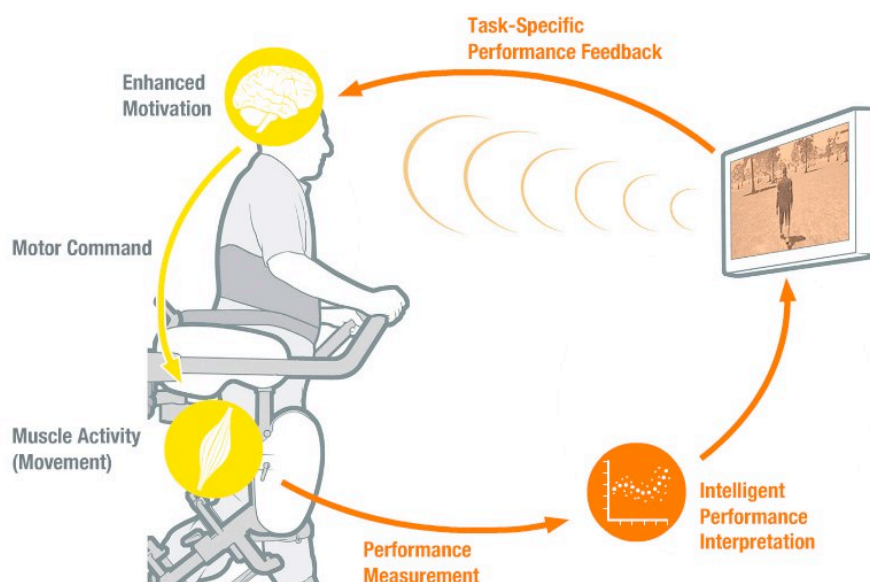


Figure 4 : Principe du Biofeedback pendant la marche robotisée, disponible sur : <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/>

La deuxième technique, la stimulation transcrânienne à courant direct, repose sur l'application d'un courant de faible ampérage (1 à 2 mA) entre deux électrodes disposées sur le cuir chevelu. L'une des électrodes est l'anode considérée comme excitatrice et l'autre est la cathode inhibitrice. Il est alors admis que la mise en place de cette stimulation électrique est inhibitrice sur les régions cérébrales se situant sous la cathode, et excitatrice au niveau de l'anode³⁷. En pratique de nombreuses études continuent à investiguer les effets de la tDCS et plus qu'une excitation ou inhibition d'une zone corticale précise, il semble que les effets soient plus profonds, suivant les réseaux neuronaux. Les investigations scientifiques sont multiples car les modalités d'application du courant

sont nombreuses. Il peut ainsi être appliqué par salves intermittentes, par fréquences différentes et il peut être déplacé sur plusieurs zones superficielles du scalp. Au même titre que la robotique actuelle, les protocoles de rééducation avec tDCS doivent être imaginés, testés et comparés afin de prouver leur efficacité mais si l'on en croit la revue de littérature de Gottfried Schlaug publiée dans le JAMA neurology, ces techniques rééducatives en lien avec la robotique ont de beaux jours devant elles³⁸.



Figure 5: appareil de tDCS : La stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS): y a-t-il une chance qu'il se passe quoi que ce soit ? Disponible sur: <https://www.echosciences-grenoble.fr/communautes/atout-cerveau/articles/la-stimulation-transcranienn-a-courant-direct-tdcs-y-a-t-il-une-chance-qu-il-se-passe-quoique-ce-soit>

La troisième technique dite de la stimulation électrique fonctionnelle (SEF) est l'application d'un courant électrique continu sur la surface cutanée, au niveau d'un point précis en regard d'un nerf ou d'un muscle, afin d'obtenir une contraction musculaire utile au mouvement³⁹. Elle a pour objectif d'assister le mouvement fonctionnel. Les impulsions électriques sont utilisées pour compenser le déficit de commande ou les effets délétères de la spasticité des muscles. La puissance développée par la contraction électriquement déclenchée peut améliorer ou permettre une fonction, marche ou préhension. Depuis les premières publications de WT Liberson et al⁴⁰, elle est encore utilisée au membre inférieur pour le pied tombant et pour le quadriceps, bien qu'aucune étude contrôlée n'ait démontré son efficacité par rapport à d'autres techniques. La SEF peut également contribuer à réorganiser l'activité corticale, notamment chez des hémiplegiques chroniques où une réorganisation ipsilatérale en IRM fonctionnelle est observée⁴¹.



Figure 6 : la stimulation électrique fonctionnelle pendant la marche. Disponible sur : <http://irr-nancy.fr/spip.php?rubrique269>, Institut Régional de Médecine Physique et Réadaptation de Nancy

La grande majorité des exosquelettes actuels combinent une armature squelettique robotisée et un allègement du poids du corps. Pour exemple, le Lokomat®, exosquelette de membres inférieurs électromécanisé, est un système robotisé d'entraînement à la marche. Au-delà de la fonction de marche robotisée, le Lokomat offre des fonctionnalités d'entraînement tel que « l'augmented feedback », visant à accroître la motivation du patient et sa confiance dans le traitement. Dans la phase évolutive de la réadaptation, une diminution contrôlée de l'assistance passive encourage le patient à participer davantage. Les modules d'évaluation et de biofeedback donnent un rétro-contrôle visuel en temps réel des performances. Il optimise l'entraînement en augmentant la motivation du patient par une participation active en vue d'un bénéfice maximal.



Figure 7: marche avec allègement du poids du corps et exosquelette. Robot Lokomat – Medimex. Disponible sur : <https://www.medimex.fr/lokomat.html> ⁴²



Figure 8: HAL : CYBERDYNE. Disponible sur: <http://www.cyberdyne.jp/> ⁴³



Figure 9: Ekso Bionics : une combinaison bionique ou exosquelette : un robot portable qui aide les gens à remarcher. Disponible sur: <https://eksobionics.com/?lang=fr> ⁴⁴

Les possibilités techniques à associer avec les exosquelettes de marche sont nombreuses mais leur implication dans la rééducation à la marche post AVC reste à définir. Nous devons nous demander quels sont les protocoles efficaces, avec quelle intensité et pour quels patients.

A travers une revue de la littérature systématique et de méta-analyses, nous avons essayé de répondre à ces interrogations afin de guider les objectifs de réalisation d'un exosquelette prototype sur le CHU de Bordeaux. Nous avons besoin de connaître le cahier des charges requis mais également les pistes d'amélioration. La littérature actuelle a fourni des hypothèses de travail qui seront évaluées expérimentalement au moyen de la réalisation d'un prototype version 2 avec l'aide des équipes de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Bordeaux, l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers de Paris, le Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles et Humaines (LAMIH) et l'Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak (IBHGC).

II. METHODE

Afin de réaliser cette revue systématique de la littérature, nous avons suivi la méthodologie PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)⁴⁵ en fournissant un résumé structuré qui inclue: contexte, objectifs, sources des données, critères d'éligibilité des études, populations, interventions, évaluation des études et méthodes de synthèse, résultats, limites, conclusions et impacts des principaux résultats.

Nous avons suivi le protocole annoncé sur PROSPERO (International prospective register of systematic reviews) et nous avons déclaré explicitement les questions traitées en se référant aux participants, interventions, comparaisons, résultats, et à la conception de l'étude (PICOS).

Lorsque nous évaluons les biais de cette méta-analyse à l'aide du robis tool⁴⁶, nous calculons un score global de haut niveau de preuve : « low risk of bias ». Les critères de sélection des études ont été larges et prédéfinis avant réalisation de la recherche. Il n'y a eu aucune restriction de date, de qualité, de pays, de format ou de langage.

S'agissant de l'identification et de la sélection des études, nous avons multiplié toutes les bases de données disponibles sur le site du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et sur les sites universitaires de Bordeaux, de Saint-Etienne et de Lyon. Nous avons également recherché les sources de bibliographies d'autres études et de congrès. La méthode de recherche est décrite dans l'article. Nous avons essayé d'éviter le plus possible le biais de publication.

Concernant la collecte de données, nous avons procédé par méthode de relectures, en multipliant les supports et les lecteurs. A chaque fois qu'une erreur était signalée, nous avons modifié le tableau général de données. Au total, 4 investigateurs ont participé de façon séparée à la relecture des données. Les relevés de biais pour chaque étude ont été évalués de façon séparée par 2 investigateurs puis comparés en phase finale pour synthèse. En cas de litige, un troisième investigateur devait trancher.

Le but des méta-analyses était annoncé dès l'étape PROSPERO. Elles ont servi à trouver un effet central thérapeutique pour chaque comparaison et elles ont expliqué en grande partie les hétérogénéités retrouvées dans la littérature actuelle.

Nous avons sélectionné tous les essais contrôlés randomisés évaluant l'efficacité des exosquelettes dans la rééducation de la marche. Il a fallu définir les interventions testées, les classer, les documenter et les analyser. Enfin nous avons proposé des méta-régressions pour évaluer l'effet de l'âge, de la durée de la maladie, de l'intensité de la rééducation dans la réponse à la rééducation robotisée.

Nous avons défini un minimum de 3 études avec évaluation du même type d'intervention et du même type d'évaluation pour constituer une méta-analyse. Sur nos 42 essais, nous pouvons relever 3 types de comparaisons de protocole de rééducation et 4 évaluations différentes (Gait speed, Gait endurance, Functional Ambulation Classification (annexe), Berg balance Scale (annexe)).

Nous nous sommes servis du logiciel Rev manager (logiciel Cochrane), de la méthodologie de recueil Cochrane et nous avons utilisé le logiciel R pour analyser les données recueillies.

III. INSERTION DE L'ARTICLE

Meta-analysis: use of robot for gait training after a stroke.

Geoffroy MOUCHEBOEUF¹, MD student, Romain GRIFFIER², MD student, Laurent BOUYER³·PhD, Patrick DEHAIL¹, MD-PHD, Helene CASSOUDESALLE¹, MD

¹ University of Bordeaux, Department of Rehabilitation Sciences, Faculty of medicine, EA4136, University of Bordeaux, France

² University of Bordeaux, Department of Public Health, Faculty of medicine, University of Bordeaux, France

³ University of Laval, Department of Rehabilitation, Faculty of Medicine, University of Laval, Québec

Corresponding Author:

Geoffroy MOUCHEBOEUF, resident, Department of Rehabilitation Sciences, University of Bordeaux, 33000 Bordeaux, France

PROSPERO study's registration number: CRD42018092227

ABSTRACT

Background: Robot devices are often used in rehabilitation and might be efficient to improve walking capacities after stroke. *Objective:* To investigate the effects of robotic-assisted-gait-training (RAGT) for recovering of the gait after a stroke. *Methods:* We included all randomized controlled trials in adults diagnosed with stroke, evaluating robotic-assisted gait training +/- combined with electromechanical devices versus normal care. We searched in MEDLINE, EMBASE, CENTRAL, CINAHL, OPENGREY, OPENSIGLE, PEDRO, WEB OF SCIENCE, CLINICAL TRIALS; conference proceedings and bibliography of other meta-analysis. Two review authors researched separately the trials and extracted data from published reports from the oldest we could find until October 2017. We collected the mean values of walking speed, walking endurance, the Berg Balance Scale (BBS), the Functional Ambulation Classification (FAC) and the Timed Up and Go (TUG) at the beginning of studies and after the rehabilitation program. We also noted: the method of randomization, the blinding of outcome assessors, the drop-outs, the intention to treat (or not), the country, the number of participants, the disease duration, the mean age, the features of interventions, the date of outcomes assessment. *Results:* We included 42 studies involving 1243 participants. We proposed an analysis by subgroup of intervention and we found that combination of physiotherapy, body-weight-support-training and robot-assisted-gait-training was better than physiotherapy alone for gait speed outcome (+ 0,09 m/s (95% CI: 0,02 to 0,15); P= 0,009) and for Functional Ambulation Classification outcome (+ 0,55 (95% CI: 0,10 to 1,00); P=0,016). What is more, we proved by meta-regression that these results were underestimated by the attrition bias of studies. *Conclusions:* Stroke patients who receive combination of physiotherapy, body-weight-support-training and robot-assisted-gait-training are more likely to progress their gait speed and their walking autonomy (FAC).

Keywords

Stroke, Adults, Robot, Gait, Rehabilitation, Walk.

MAIN TEXT

Introduction

Stroke is a leading cause of handicap in occidental countries. Restoring walking ability is an important goal of post-stroke rehabilitation. Cohort study show that 22% patients do not regain walking function and 14% are still dependent on human assistance at the end of rehabilitation after stroke¹. The current evidence indicates that intensive and task-specific therapy produces the highest level of recovery of motor function². Robot-assisted-gait-training might be a good deal between Bottom-up rehabilitation (arthrokinesiology) and Top-down rehabilitation (use of brain attention for better walking). It can also be used to give non-ambulatory patients intensive practice of gait cycles while reducing therapists' effort, as they no longer need to assist leg and trunk movements. Hence robot rehabilitation facilitates high intensity task-oriented-work as walking and provides various possibilities of rehabilitation program as complete assistance, assistance-as-needed, resistance, etc.

Several studies have investigated the effects of automated electromechanical and robotic-assisted-gait-training devices on post-stroke walking improvement. But no one practice the same pitch and the same way of rehabilitation. In a precedent meta-analysis, Mehrholz et al (2017)³, conclude that patients who received electromechanical-assisted gait training, in combination of physiotherapy after stroke were more likely to achieve independent walking than patients who received gait training without any device. Specifically, patients with subacute stroke and those who were not able to walk were most likely to benefit from an electromechanical device. But authors used the term "electromechanical devices" which pool different robot devices and different ways of rehabilitation. We think that heterogeneity of the reported results was partly because of heterogeneity of interventions.

In this review with meta-analysis, our objective was to investigate the effects of exoskeleton devices for improving gait rehabilitation after stroke. We focused on exoskeleton orthoses with or without add-ons as FES, tDCS and biofeedbacks and we explored heterogeneity of results by distinguishing the type of interventions.

Methods

Search strategy and selection criteria

We searched for clinical trials in all languages and we translated with professional or electronic translators other languages than English, Spanish and French. Our research strategy was "Population-Intervention-Control-Outcome"(PICO). We included studies with participants of any gender over 18 years of age after stroke, which had sufficient abilities to understand the exercises to be performed during the interventions. We included all randomized controlled trials that evaluated robotic-assisted gait training with exoskeleton devices versus at least physiotherapy for regaining and improving walking after stroke. The robot had to be fixed on the leg and had to deliver a walking pattern. We excluded all trials with electromechanical devices which did not fit the legs. We also excluded electromechanical devices used seated because we wanted to evaluate efficacy of stand-up exoskeletons as "overground gait training". Our research period was stretched from the oldest we could find to

October 2017. We searched the following electronic bibliographic databases: MEDLINE, Embase, Central, CINAHL, Opengrey, Opensigle, Pedro, Web of Science, Clinical Trials, conference proceedings and bibliography of other meta-analysis and scoping reviews. We hand searched in congresses but we found only abstracts, and no abstract has been included because we could not evaluate the risk of bias. We tried to contact authors and trialists whenever necessary.

The search strategy is still available in the published protocol and it included only terms relating to or describing the intervention. The search terms were adapted for use with other bibliographic databases in combination with database-specific filters for controlled trials, whenever these were available.

Searching for eligible studies and data extraction have been conducted independently by two review authors. They compared each other after having read titles and abstracts on the same data searching strategy; after having selected a pool of relevant studies; after having deleted duplicates (with Zotero) and having read full articles; after having selected randomized controlled trials and having excluded trials which did not correspond to the inclusion criteria. In case of disagreement, a third author had to make the decision. Selection process was recorded in detail; enough to complete a PRISMA flow diagram and list all studies that did not match, explaining why in the Characteristics of excluded studies table (appendix).

Data analysis

One review author extracted outcome data from the selected trials, searched for bias and characteristics of studies. A second review author reviewed all the results and characteristics of studies. A third review author arbitrated to find a consensus if the first and the second review authors did not agree.

To collect characteristics of studies, we used a standardized table: number of drop-out, intention-to-treat (ITT) analysis, randomization, country, number of participants, age of participants, time since stroke, side of stroke, type of stroke (ischemic/hemorrhagic), inclusion and exclusion criteria, period and intensity of rehabilitation, type of intervention, period of assessments, outcomes.

We planned to compare effects of robot-assisted-gait-training on the *walking speed*, the *functional ambulation classification* (FAC), the *Berg balance scale* (BBS), the *gait endurance* and the *timed up and go* (TUG) in 2 steps. First we conducted a meta-analysis by 3 subgroups of intervention to evaluate the effectiveness of robot-assisted-gait-training according to whether it's combined or not with Conventional therapy, with or without any kind of intervention, and to determine if adding Functionnal Electrical Stimulation to robot-assisted-gait-training improve their effects (see definition of interventions below). Subgroup analyses were conducted following the guidance in the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions (Deeks 2011). Secondly we conducted metaregressions to explain heterogeneity of results.

We presented distributions of FAC, BBS, TUG, Gait speed and Gait endurance outcomes as quantitative continue measures: FAC: 0 to 5 UI, Gait Speed: 0 to 2 meters/second, Gait endurance: 0 to 800 meters, TUG: 0 to 100 seconds, BBS: 0 to 56 UI.

All the walking speeds were converted in meters/second and standard deviations were converted by Alpha method ($SD_{speed} = SD_{time} \times (distance / (time\ to\ go\ through))^2$).

The few results collected as medians were converted in mean-values after having checked that distribution of results was normal. Because of the quartiles' normal distribution, we hypothesized that medians were approximately equal to the mean values and SD were calculated as the mean value of (Quartile 3 – median)/0,674 and (Quartile 1 - median)/0,674.

The effect of intervention was assessed by the difference of mean values before and after treatment. Formula calculation was: *effect of intervention* = [mean value (+/- SD) before intervention] - [mean value (+/- SD) after intervention]. In case of missing data, we tried to contact principal investigators to get individual data.

Although some studies presented the difference of mean values (+/-SD) before/after intervention and its correlation factor “r”, most of studies only presented mean values before/after intervention (+/-SD). We had to calculate a median of correlation coefficient “r” for each outcome. We performed a sensitivity analysis for each outcome with correlation factor “r” (difference before/after intervention dispersion) going from -1, -0,75, -0,5, -0,25, 0, +0,25, +0,5, +0,75, +1 and we proposed funnel plots basing on the calculated median:

- FAC: r = 0
- Gait Speed: r = 0,5
- Gait Endurance: r = 0,5
- BBS: r = 0,5
- TUG: not enough data

We used the I² statistic to assess heterogeneity. Because of high level of heterogeneity, we used random-effects model. We explained most part of heterogeneity by meta-regression on moderators, applying the metafor package - meta analysis package for R software⁴.

To assess risk of bias in included studies, two review authors independently evaluated the risk of bias using the "Cochrane risk of bias assessment tool" as described in Chapter 8 of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions⁵. In case of disagreement, a third review author had to decide.

Definition of interventions

We planned to evaluate effect of exoskeletons: robots fitting the legs and providing walking movements. We realized that authors often completed their robotic way of rehabilitation with other devices.

We specify here, how we defined type of interventions:

- "Conventional therapy" (CT): locomotor training as a process of retraining gait through a repetitive execution of assisted walking movements. The traditional approach to locomotor training involves manual assistance from physiotherapists. Principles can be resumed as rehabilitation of the lost function by the lost movement, use of relationship between sensorial system, cognitive system, motor system, to apply rules of learning as diversification strategies, repetitive task strategies, oriented task strategies. No electromechanical device can be used. Only treadmills, tilt-tables, canes and walkers were authorized.

- "Body-Weight-Support-Training" (BWST): method promoted by Hesse et al⁶, which consists in a gait retraining on ground or on a treadmill, unloading part of body-weight. Patients can walk with 60 to 100% of their body-weight. It enhances automatic walking processes and endurance.
- "Biofeedback": use of detection and restitution support to give a quantitative feedback from a physiologic process. It has to give at the patient a real-time control of his movements to help him to perform. It can be an audio, a sensitive or a visual feedback. We indicated it as a component of rehabilitation programs only if authors mentioned it.
- "Transcranial Direct Current Stimulation" (tDCS): a form of non-invasive neurostimulation where very low levels of constant current are delivered to specifically targeted areas of the brain. "Sham-tDCS" is a method of blinding participants, as a placebo stimulation.
- "Functionnal Electrical Stimulation"(FES): method of delivering electrical current on the skin, in regard to a nerve or a muscle, to obtain a muscular contraction usefull for walking. It aims to assist functional movement. Electrical impulsions are used to offset motor deficit or spasticity.
- "Virtual reality" (VR): simulating real-life activities, stroke patients are able to work on self-care skills in a setting that is usually impossible to create in a hospital environment. There are two main types of VR. In the one hand, in "immersive VR", the virtual environment is delivered by equipment worn by the user or the person is situated within a virtual environment. This fully immersive system gives the user a strong sense of presence through the use of head-mounted displays, special gloves, and large, concave screen projections to create the sense of immersion. In the other hand, "non-immersive VR" is usually two-dimensional and delivered through a computer screen. The user can control what is happening on screen by using a device such as a joystick, mouse, or sensor (saebo.com).
- "Robot-Assisted-Gait-Training" (RAGT): robot driven exoskeleton orthosis simulating the phases of gait. Patients' legs are guided by the robotic device according to a preprogrammed gait pattern. The process of gait training is automated and a computer control the help. Since theses recent years, a lot of exoskeletons were invented, such as the Lokomat®, the GT trainer®, the Ekso Bionic leg®, the Hybrid-Assistive-Locomotion® (HAL), the H2®, etc. Some of them are used with the help of a harness to onload patients' weight. In this case, we classed the intervention as "BWST+RAGT".

Results

Included studies

Searching on the electronic databases and trial registers generated 1090 references (figure 1). Searching with studies' bibliography generated 212 other references. After having erased duplicates, we read 920 record's summaries. We assessed 150 full-text articles for eligibility. After having read them, we included 42 studies in qualitative synthesis. There remained 11 ongoing studies and 1 study awaiting classification (Peurala et al 2009⁷). Finally, only 36 studies provided enough outcome information to include them in the quantitative synthesis analysis involving a total of 1243 participants.

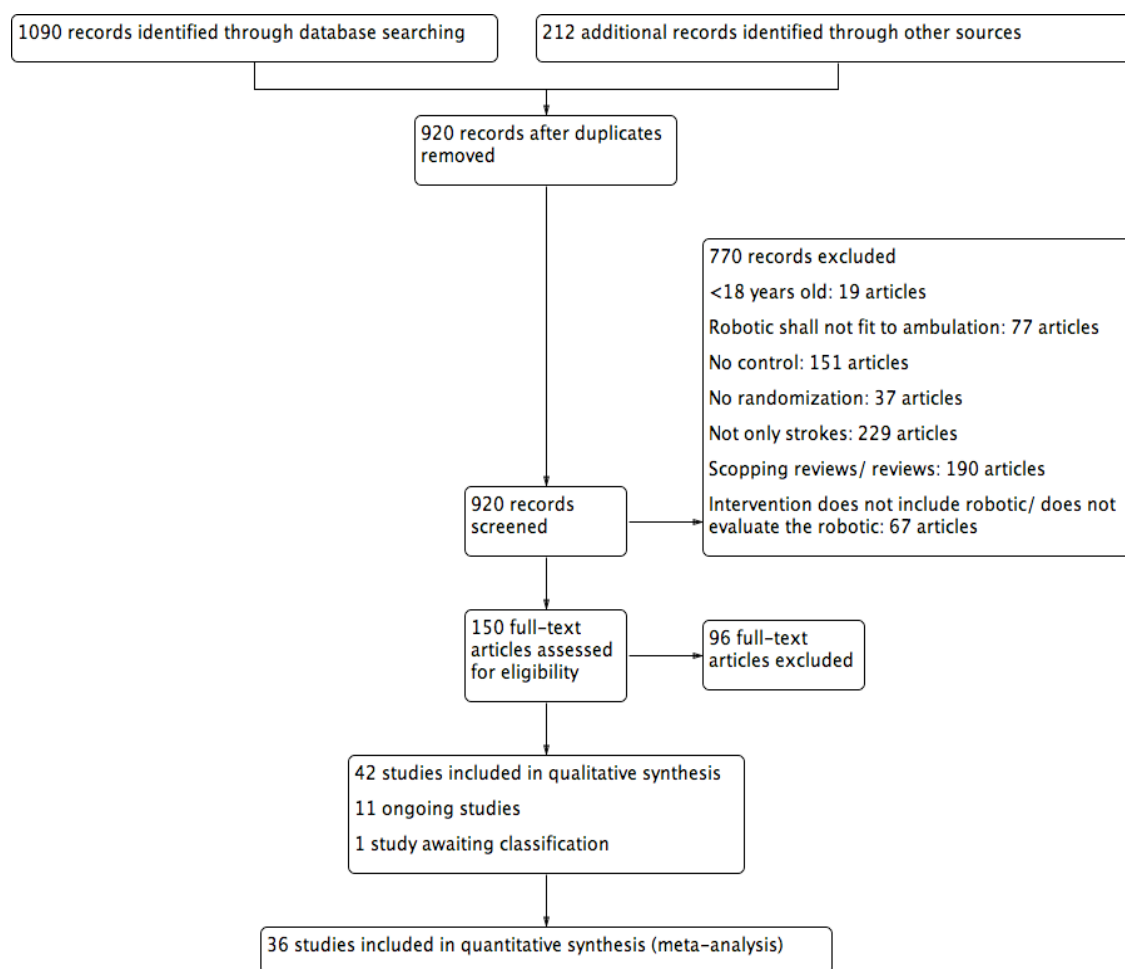


Figure 1: Study flow diagram

Total of intervention was expressed in "total minutes".

Most of studies were prospective with 2 arms comparison.

Exceptions:

- For cross-over studies, we included only the first part of studies (before crossing).
- For 3 arms studies, we proposed 3 different comparisons: group A versus group B, group A versus group C, group B versus group C.

The mean age in the included studies ranged from 45,4 years (Bae YH et al 2014⁸) to 76,8 years in Watanabe H et al 2017⁹. We found more patients with ischemic stroke than hemorrhagic stroke lesions (approximately 68% of ischemic stroke) and almost as many patients with right hemisphere lesion than left hemisphere lesion (approximately 53% of right hemisphere lesion). The time since stroke was heterogeneous, ranging from 16,10 days in Tong RK et al 2006¹⁰ to 4575 days in Seo HG et al 2017¹¹. Same for rehabilitation, the less intense rehabilitation was found in Picelli A et al 2015¹² (10 sessions and 200 minutes in total) and the most intense was found in Wu H et al 2012¹³ (96 sessions and 4320 minutes in total).

Risk of bias in included studies

We wrote e-mails to authors and request more informations about methodology and results when necessary. We have requested incomplete data to *Cho DY et al 2015*¹⁴, *Danzl MM et al 2003*¹⁵, *Mayr A et al 2007*¹⁶, *Richards CL et al 2004*¹⁷, *Rodrigues et al 2017*¹⁸, *Schwartz et al 2009*¹⁹. None of them answer back. We tried via the e-mail written on the published original article and we tried via the Research Gate network.

Twenty-seven studies described adequate random sequence generation, 15 did not give enough information to classify.

Regarding selection bias, 23 studies described adequate allocation concealment, 15 did not give enough information to classify and 4 described risky allocation concealment.

Twenty-seven studies reported a blinded outcome assessment, 6 did not give enough information to classify and 9 declared non-blinding assessments.

Twenty studies described good report of data, 13 did not give enough information to classify and 9 reported incomplete data.

For the major party of studies, reporting bias was not stated. Protocol was not described. Of the 42 studies, only 2 studies described enough information to class them in low risk. All others did not provide enough.

	Random sequence generation (selection bias)	Allocation concealment (selection bias)	Blinding of outcome assessment (detection bias)	Incomplete outcome data (attrition bias)	Selective reporting (reporting bias)
Bae YH et al 2014	?	+	+	?	?
Bang DH et al 2016	+	+	+	+	?
Buesing C et al 2015	+	+	+	+	?
Calabrò RS et al 2017	?	+	+	+	?
Chang WH et al 2012	?	+	+	+	?
Cho DY et al 2015	?	+	+	?	?
Chua J et al 2016	+	+	+	+	?
Danzl MM et al 2013	?	+	+	?	?
Dias D et al 2007	+	+	+	?	?
Fisher S et al 2011	+	?	+	+	?
Geroi C et al 2011	+	+	+	+	?
Han EY et al 2016	?	?	+	+	?
Hidler J et al 2009	+	?	+	+	?
Hornby TG et al 2008	+	+	+	+	?
Husemann B et al 2007	+	+	+	+	?
Jung KH et al 2008	+	+	?	?	?
Kang TW et al 2018	+	+	+	+	?
Kelley CP et al 2013	+	+	+	?	?
Kim SY et al 2015	?	?	+	+	?
Mayr A et al 2007	+	?	+	+	?
Morone G et al 2012	+	+	+	+	?
Ng MF et al 2008	+	?	+	+	?
Noser E et al 2012	?	?	+	?	?
Ochi M et al 2015	+	+	+	+	?
Peurala SH et al 2005	+	+	+	?	?
Picelli A et al, 2015	+	+	+	+	?
Picelli A et al 2017	+	+	+	+	?
Pohl M et al 2007	+	+	+	+	?
Richards CL et al 2004	?	?	+	+	?
Rodrigues TA et al 2017	?	+	+	?	?
Schwartz I et al 2009	?	?	+	+	?
Seo HG et al 2017	+	?	+	+	+
Srivastava et al 2016	?	?	?	?	?
Stein J et al 2014	?	?	+	+	?
Taveggia G et al 2015	+	+	+	+	+
Tong RK et al 2006	+	+	+	+	?
Van Nunen MP et al 2014	?	?	+	+	?
Watanabe H et al, 2017	+	+	?	+	?
Werner C et al 2002	+	+	+	+	+
Westlake KP et al 2009	+	+	?	?	?
Wu H et al 2012	+	?	?	?	?
Wu M et al 2014	?	?	?	?	?

Figure 2: risk of bias summary: review authors' judgements about each risk of bias item for each included study

Effects of interventions: analysis by subgroup

All results are compared at the end of intervention. We only calculated meta-analysis if there was at minimum 3 studies evaluating same kind of interventions and same outcomes.

The term "add" meant any kind of intervention used in completion of robotic rehabilitation (as biofeedbacks, tDCS, FES, BWST), which could be used in conventional physiotherapy without robot.

Effects of adding robot-assisted-gait training combined with body-weight-support-training to a rehabilitation program with conventional physiotherapy, with or without any other kind of intervention (Comparison between CT±add and CT+BWST+RAGT±add).

Improvement for Gait speed

We summed up 414 patients, 9 trials (Figure 4A).

For same intensity of rehabilitation, the pool mean difference (MD) (random-effects model) for walking velocity was + 0,09 m/s (95% CI: 0,02 to 0,15); $P = 0,009$; level of heterogeneity $I^2 = 71,696\%$, $r = 0,5$. We argued that the use of robot-assisted-gait-training and body-weight-support-training was useful to complete physiotherapy. The meta-regression showed that the quality study attrition explained 100% of heterogeneity because the residual τ^2 (estimated amount of total heterogeneity) was 0, $p = 0,0003$. The sensitivity analysis showed constant significance: for $r = -1$, pool mean value was 0,094 (95% CI: 0,019 to 0,169), $p = 0,014$; for $r = -0,5$ pool mean value was 0,093 (95% CI: 0,02 to 0,166), $p = 0,013$; for $r = 0$ pool mean value was 0,091 (95% CI: 0,021 to 0,161), $p = 0,011$; for $r = 0,5$, pool mean value was 0,088 (95% CI: 0,022 to 0,154), $p = 0,009$; for $r = 1$, pool mean value was 0,083 (95% CI: 0,023 to 0,143), $p = 0,007$.

Improvement for Gait endurance

We summed up 213 patients, 3 trials (Figure 4B).

There was no significant difference for gait endurance: + 22,73 meters/ 6 minutes (95% CI: - 16,90 to 62,35); $P = 0,261$; level of heterogeneity $I^2 = 34,901\%$, $r = 0,5$.

In contrast, we postulated that the lower the gait endurance was initially, the more it progressed with physiotherapy + body-weight-support-training + robot-assisted-gait-training because 81,64 % of heterogeneity was explained by the outcome at baseline study (using meta-regression). The residual τ^2 (estimated amount of total heterogeneity) was 18,7801.

Improvement for Functional Ambulation Classification

We summed up 537 patients, 12 trials (Figure 4C).

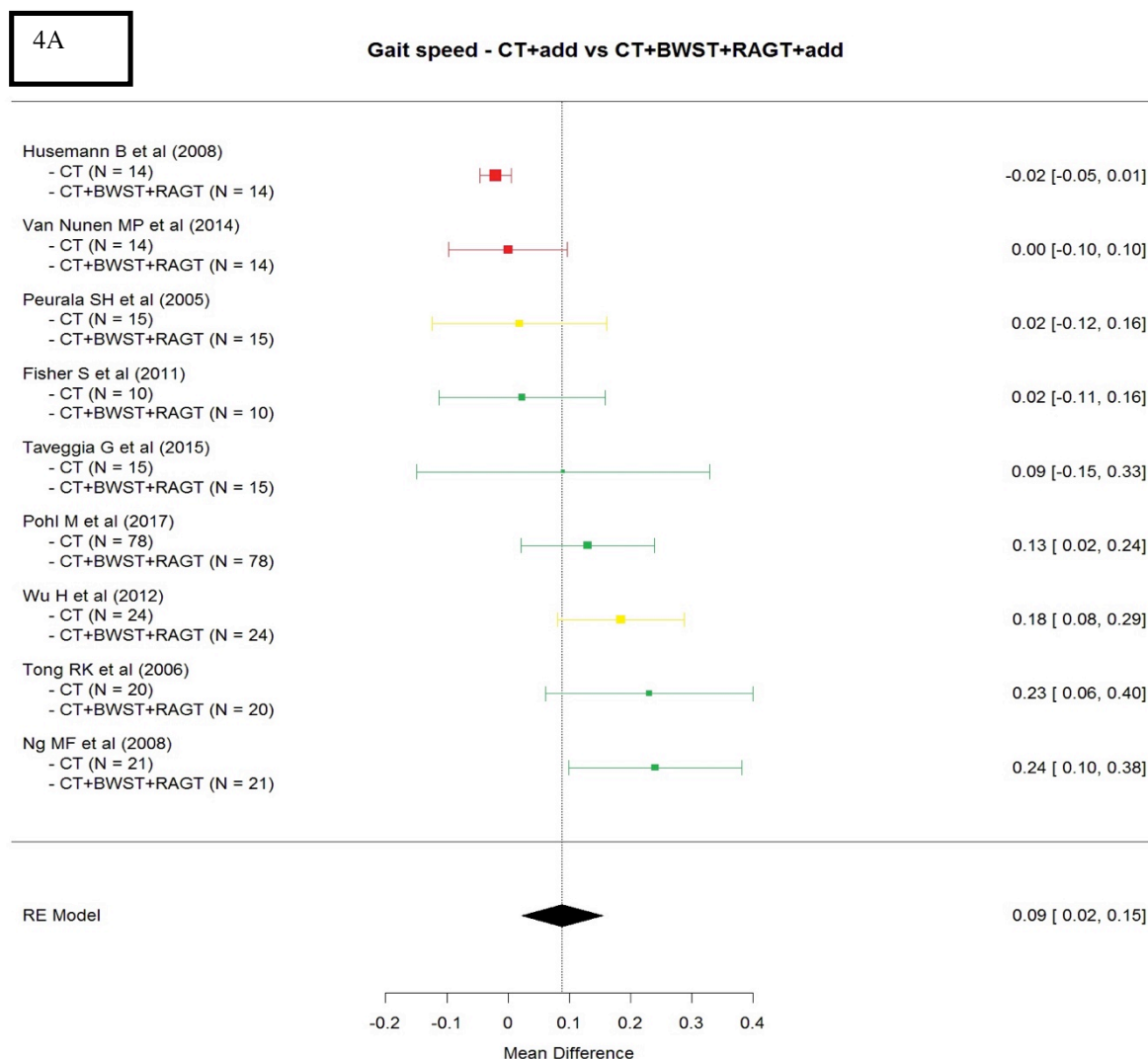
For same intensity of rehabilitation, the pool mean difference (MD) (random-effects model) for distribution of Functional Ambulation score was + 0,55 (95% CI: 0,10 to 1,00); $P = 0,016$; level of heterogeneity $I^2 = 70,049\%$, $r = 0$.

We argued that the use of robot-assisted-gait-training and body-weight-support-training was useful to complete physiotherapy. The meta-regression showed that the quality study attrition explained 97,01% of heterogeneity because the residual τ^2 (estimated amount of total heterogeneity) was 0,0123, $p=0,0001$. The sensitivity analysis showed constant significance: for $r=-1$, pool mean value was 0,557 (95% CI: 0,073 to 1,04), $p=0,024$; for $r=-0,5$ pool mean value was 0,555 (95% CI: 0,087 to 1,023), $p=0,02$; for $r=0$ pool mean value was 0,055 (95% CI: 0,104 to 1,005), $p=0,016$; for $r=0,5$, pool mean value was 0,554 (95% CI: 0,126 to 0,982), $p=0,011$; for $r=1$, pool mean value was 0,548 (95% CI: 0,149 to 0,947), $p=0,007$.

Improvement for Berg Balance Scale

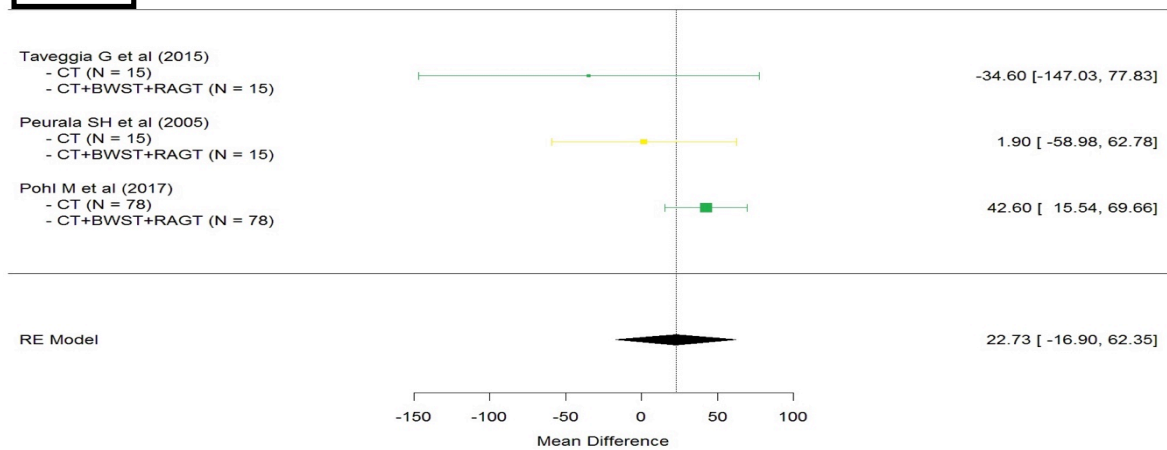
We summed up 189 patients, 4 trials (Figure 4D).

There was no significant difference for Berg Balance Scale + 2,97 (95% CI: - 2,03 to 9,97); $P=0,245$; level of heterogeneity $I^2=25,602\%$, $r=0,05$.



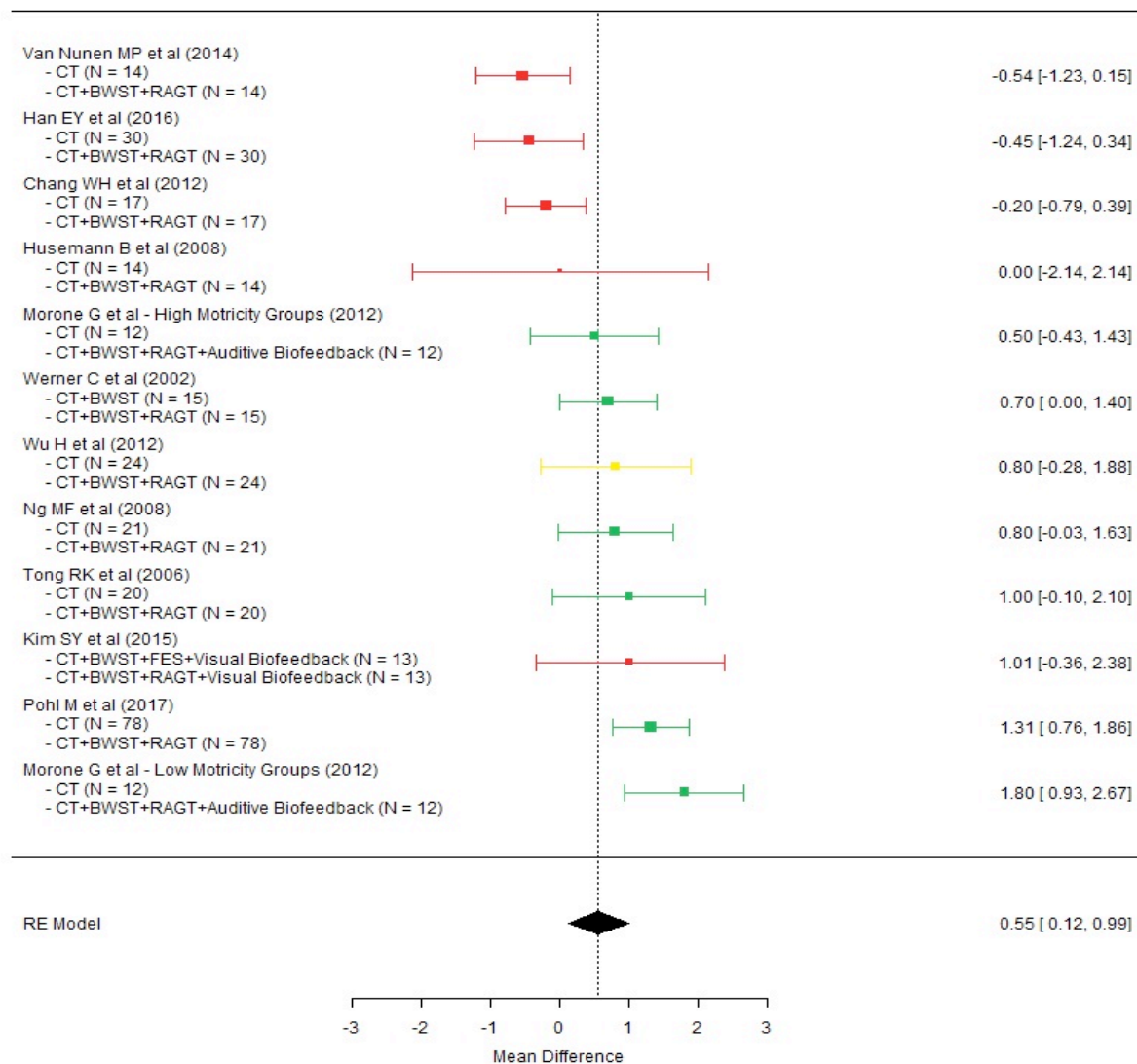
4B

Gait endurance - CT+add vs CT+BWST+RAGT+add



4C

FAC - CT+add vs CT+BWST+RAGT+add



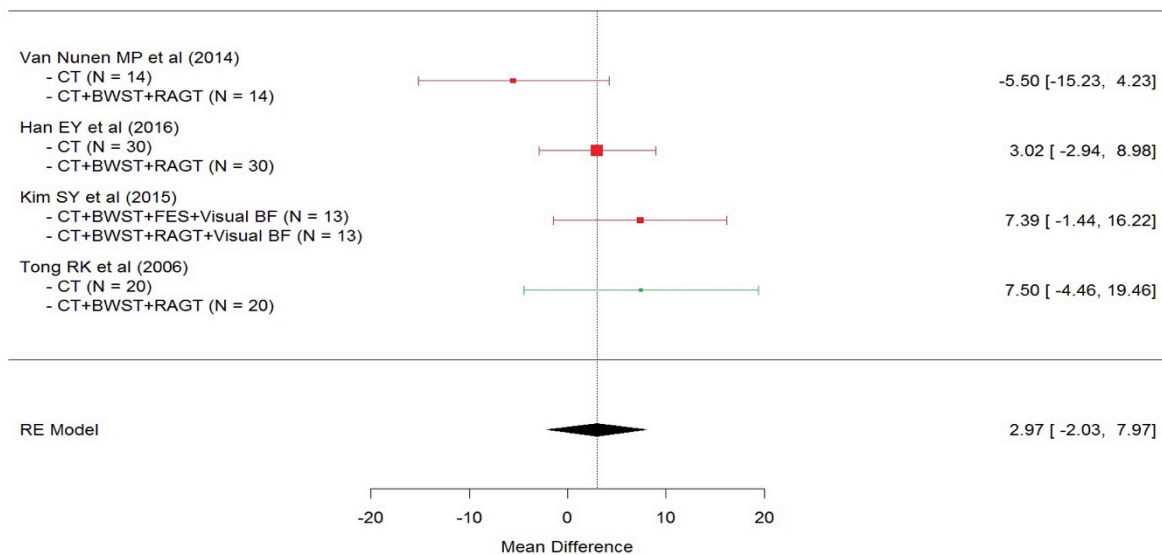


Figure 4: Forrest plots and outcomes for comparison between CT+add and CT+BWST+RAGT+add: A. gait speed, B. gait endurance, C. Functional Ambulation Classification (FAC), D. Berg Balance Scale (BBS),. Correlation coefficient $r=0,5$ (except for FAC, $r=0$) calculated with median of correlation coefficients available in these studies. Colors on figures correspond to the quality of attrition: green ■ is “low risk”, yellow ■ is “unclear risk” and red ■ is “high risk”. Abbreviations: CT=Conventional Physiotherapy, BWST= Body-Weight-Support-Training, RAGT= Robot-Assisted-Gait-Training.

Effects of a rehabilitation program combining robot-assisted-gait-training and body-weight-support-training without conventional physiotherapy compared to a rehabilitation program with conventional physiotherapy and without robot-assisted-gait-training, with or without any other kind of intervention (Comparison between CT+add vs BWST+RAGT+add).

Improvement for Gait speed

We summed up 254 patients, 7 trials (Figure 5A).

We found no significant difference. The pool mean difference for walking velocity was -0,04 m/s (95% CI: -0,11 to 0,04); $P=0,309$; level of heterogeneity $I^2=83,059\%$, $r=0,05$.

We suspected that pooled results were badly influenced by attrition bias because 100% of heterogeneity was explained by the quality study attrition (using meta-regression). The residual τ^2 (estimated amount of total heterogeneity) was 0, $p=0,0003$. Besides, we suspected that result of Watanabe H et al⁹ study was not credible because of the little intensity of rehabilitation: 240 minutes total.

Improvement for Gait endurance

We summed up 236 patients, 7 trials (Figure 5B).

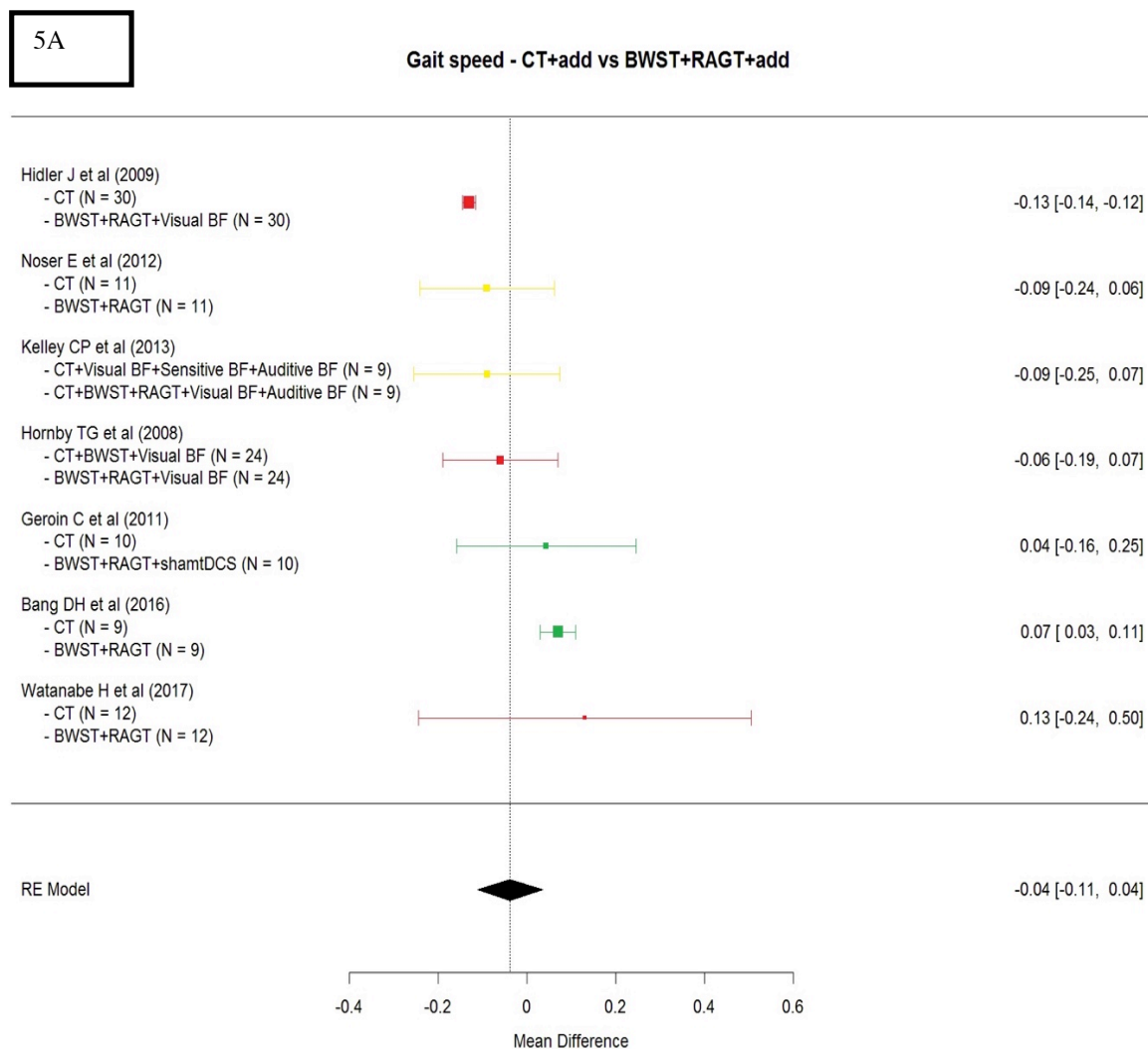
We found no significant difference. The pool mean difference for walking endurance was -22 meters/ 6 minutes (95% CI: -59,54 to 14,10); $P=0,227$; level of heterogeneity $I^2=90,69\%$, $r=0,05$.

Here too we suspected that result of Watanabe H et al⁹ study was not credible because of the little intensity of rehabilitation: 240 minutes total.

Improvement for Berg Balance Scale

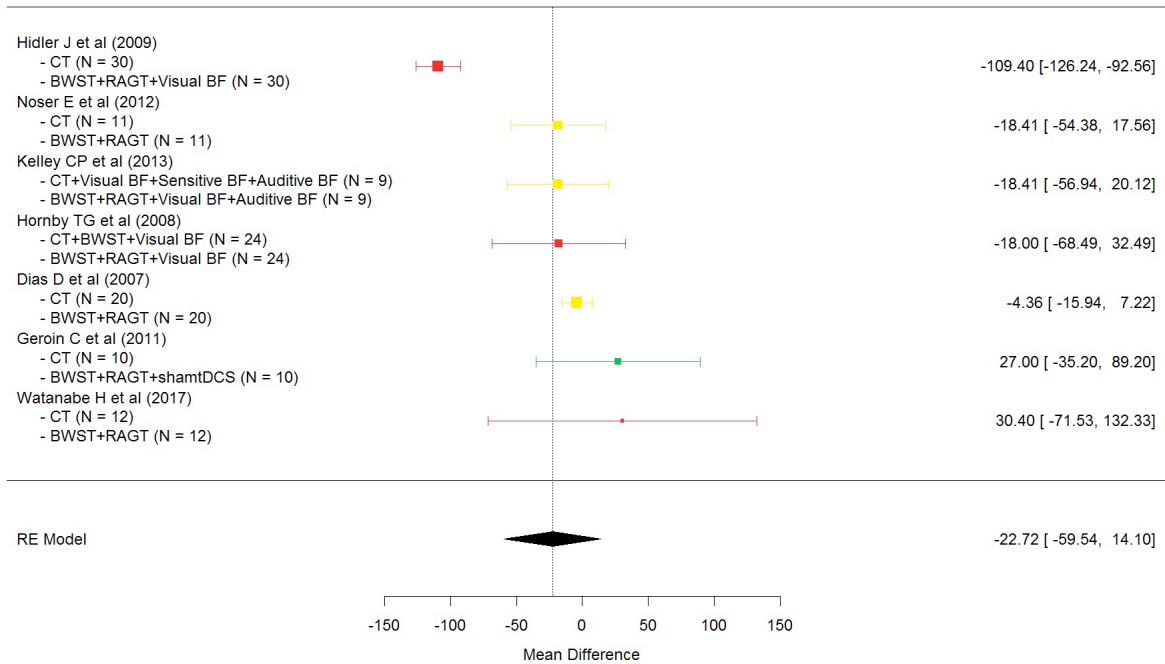
We summed up 169 patients, 4 trials (Figure 5C).

We found no significant difference. The pool mean difference for Berg Balance Scale was -0,02 (95% CI: - 1,36 to 1,33); $P=0,982$; level of heterogeneity $I^2=34,636\%$, $r=0,05$.



5B

Gait endurance - CT+add vs BWST+RAGT+add



5C

BBS - CT+add vs BWST+RAGT+add

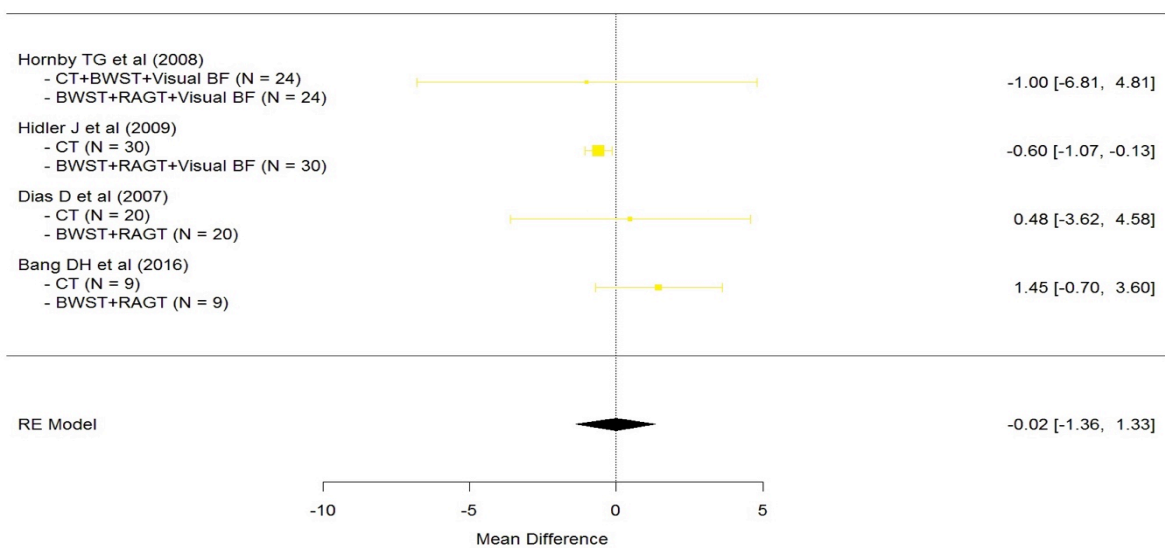


Figure 5: Forrest plots and outcomes for comparison between CT+add and BWST+RAGT+add: A. gait speed, B. gait endurance, C. Berg Balance Scale (BBS). Correlation coefficient $r=0,5$ calculated with median of correlation coefficients available in these studies. Colors on figures correspond to the quality of attrition: green ■ is “low risk”, yellow ■ is “unclear risk” and red ■ is “high risk”. Abbreviations: CT=Conventional Physiotherapy, BWST= Body-Weight-Support-Training, RAGT= Robot-Assisted-Gait-Training, BF= Biofeedback.

Effects of adding Functionnal Electrical Stimulation to a rehabilitation program combining conventional physiotherapy, body-weight-support-training and robot-assisted-gait-training (Comparison between CT+BWST+RAGT vs CT+BWST+RAGT+FES).

Improvement for Gait speed

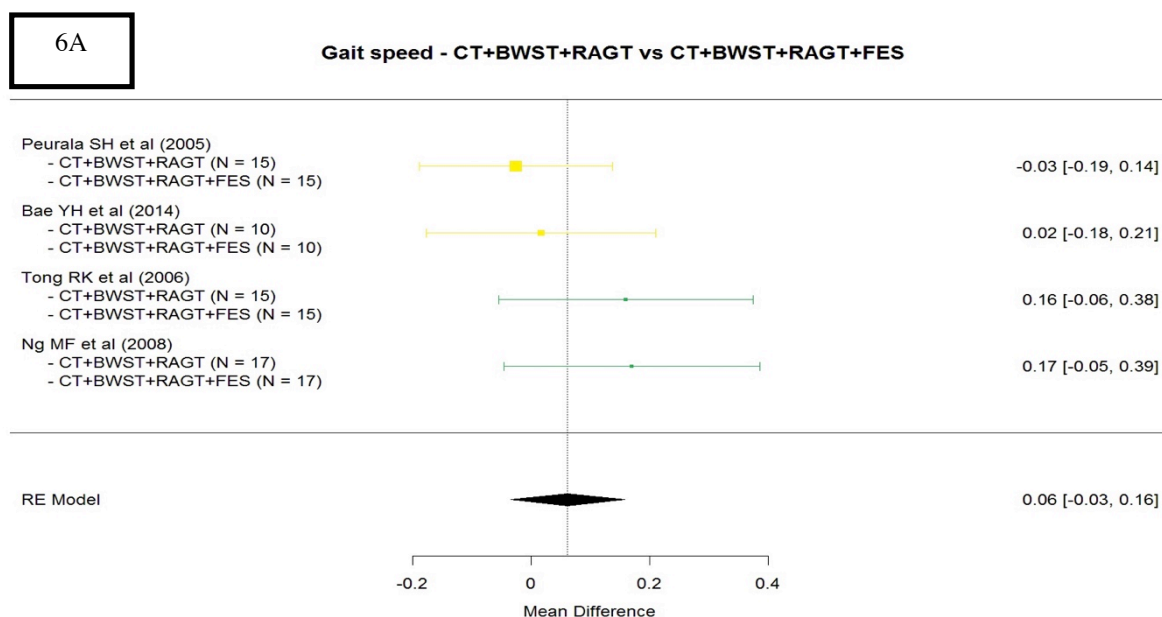
We summed up 113 patients, 4 trials (Figure 6A).

We found no significant difference. The pool mean difference for walking velocity was + 0,06 m/s (95% CI: - 0,03 to 0,16); $P=0,211$; level of heterogeneity $I^2=0\%$, $r=0,05$.

Improvement for Berg Balance Scale

We summed up 83 patients, 3 trials (Figure 6B).

We found no significant difference. The pool mean difference for Berg Balance Scale was + 0,55 (95% CI: - 3,88 to 4,98); $P=0,808$; level of heterogeneity $I^2=0\%$, $r=0,05$.



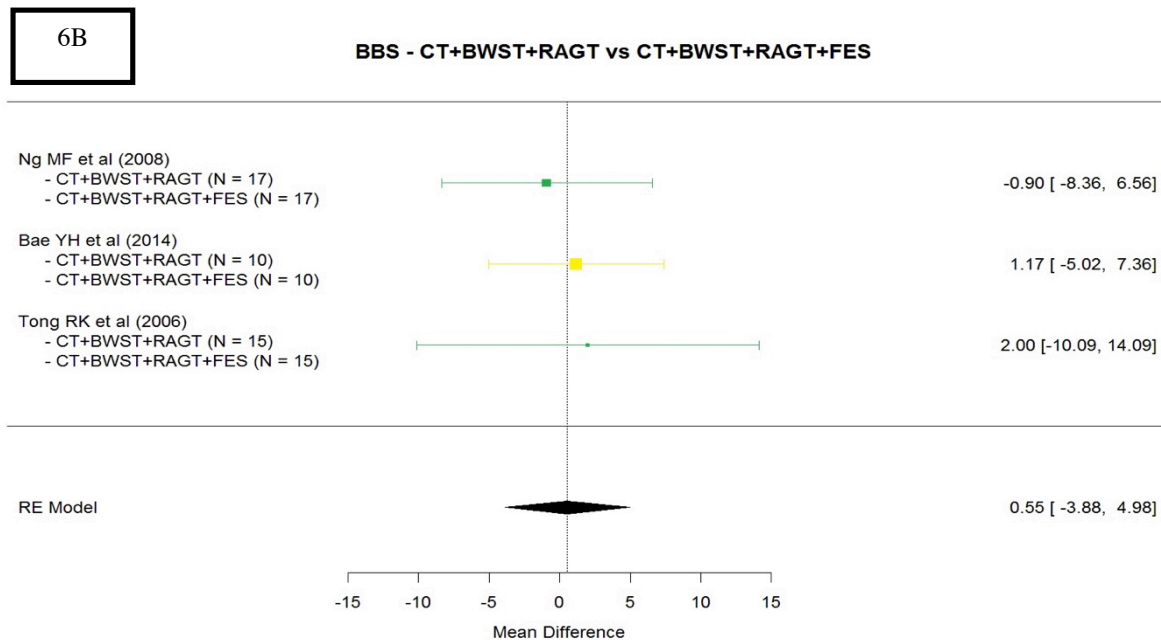


Figure 6: Forrest plots and outcomes for comparison between CT+BWST+RAGT and CT+BWST+RAGT+FES: A. gait speed, B. Berg Balance Scale (BBS). Correlation coefficient $r=0,5$ calculated with median of correlation coefficients available in theses studies. Colors on figures correspond to the quality of attrition: green ■ is “low risk”, yellow ■ is “unclear risk” and red ■ is “high risk”. Abbreviations: CT=Conventional Physiotherapy, BWST= Body-Weight-Support-Training, RAGT= Robot-Assisted-Gait-Training, FES= Functional Electrical Stimulation.

Discussion

The aim of this study was to evaluate the efficiency of robot-assisted-gait-training for walking rehabilitation after stroke. We included 36 studies in the analysis and split them in sub groups of analysis. We proposed 3 groups of meta-analysis depending on the compared interventions, with data of gait speed, gait endurance, FAC and BBS. There was not enough data to propose a meta-analysis with TUG.

The pool mean results showed that association of conventional physiotherapy, body-weight-support-training and robot-assisted-training was more efficient than conventional physiotherapy alone for improving Functional Ambulation Classification (+0,55) and Gait Speed (+0,09 m/s). We argued that pooled results were underestimated by attrition bias because meta-regressions showed that 97 to 100% of heterogeneity was explained by bias of negative studies. The calculated impact of interventions could be pitched too low relative to the real central effect. This is all the more remarkable given that significant differences were confirmed by sensitivity analysis. Otherwise, there was no significant impact on balance and gait endurance. However impacts of improvement in gait endurance seemed even more important when severity at baseline was massive. Besides, we suggest that the minimal changes in walking speed were clinical relevant because we know that walking speed and walking endurance are related to the community level of ambulation²⁰²¹²². Indeed Perry et al²² showed that small increases in gait velocity were related to improved home and community ambulation. They determined that household ambulation was equal to severe gait impairment and a velocity of 0.4 m/s; limited community ambulation was equivalent to moderate gait impairments and a walking speed of between 0.4 and 0.8 m/s; and full community ambulation indicated mild impairment and a walking speed of 0.8 m/s.

Combination of body-weight-support-training and robot-assisted-gait-training were not more efficient than physiotherapy and usual cares as BWST or technical aids. There was no significant difference for gait speed -, gait endurance and balance. Here again results were affected by the quality of attrition bias of studies.

There was no apparent argument for efficiency of adding FES to robot-assisted-gait-training and there was not enough data to propose meta-analysis with tDCS.

In all subgroups of meta-analysis, meta-regressions found no obvious influence of intensity of rehabilitation, age of patients and time since stroke. We think that the real impact of intensity, age or time since stroke could not talk because there was not enough patient for same meta-analysis and statistical power was too low to conclude any evidence.

Caution must be exercised with the exactitude of outcomes conversions: some results expressed as medians were converted in mean values; there was possibility of influence of interventions pooled in “add” items (they should influence results but we had no issue to consider them); there was a possible inaccuracy of rehabilitation intensity even if we tried to respect proportions; there was heterogeneity between protocols of rehabilitation (not the same machine, not the same intensity, not the same motion); there was heterogeneity between trial designs (two arms, three arms, parallel-group, cross-over groups, selection criterias) and there was heterogeneity between characteristics of patients. We also noted difference in the ways of randomization, the way of blinding, the way of allocation. And outcomes collected were primary or secondary outcomes (depending on the studies).

We tried to avoid the publication bias. We searched in all electronic databases we could access. We have tried to contact authors and trialists but in vain. We searched in bibliographies of studies/scoping reviews/meta-analysis to find grey literature. Nevertheless, we included only studies with complete outcome assessments and we rejected studies/abstracts, which did not give information about bias. Finally, our results were balanced with positive and negative results about robotic rehabilitation and funnel plots were well balanced.

The whole quality of studies was good to moderate: random sequence generation was low risk for $\pm 60\%$, unclear risk for $\pm 40\%$ of studies; allocation concealment was low risk for $\pm 55\%$ and unclear for $\pm 35\%$ of studies; blinding of outcome assessment was low risk for $\pm 65\%$, unclear risk for $\pm 15\%$, high risk for $\pm 20\%$ of studies; incomplete outcome data was low risk for $\pm 50\%$, unclear risk for $\pm 30\%$ and high risk for $\pm 20\%$ of studies. High risk for blinding bias is a known problem in Physiatry. Influence of quality in attrition bias was known and demonstrated by meta-regression.

Conclusion

In a sense, this meta analysis explained part of heterogeneity of meta-analysis Mehrholz et al 2017³ in doing subgroup analysis and meta-regressions. It provided strong evidence that the use of body-weight-support-training associated to robot-assisted-gait-training was important in combination with conventional physiotherapy. It showed great clinical improvements with better gait speed and with better Functional Ambulation Classification. These improvements may benefit even more to patients with severe alteration of walking because minimal improvements impact exponentially their autonomy. Efficiency evidences are still not strong enough to recommend a combination of FES/tDCS with robots. Strong research has to be made in searching new rehabilitation programs with exoskeletons and finding easier use for physiatrists.

Funding

This research received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

1. Jørgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of walking function in stroke patients: the Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil*. 1995;76(1):27-32.
2. Bogey R, Hornby GT. Gait training strategies utilized in poststroke rehabilitation: are we really making a difference? *Top Stroke Rehabil*. 2007;14(6):1-8. doi:10.1310/tsr1406-1
3. Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007;(4):CD006185. doi:10.1002/14651858.CD006185.pub2
4. Assembling Data for a Meta-Analysis of Standardized Mean Differences [The metafor Package]. http://www.metafor-project.org/doku.php/tips:assembling_data_smd. Accessed July 19, 2018.
5. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions Version 5.1.0 [Updated March 2011]*. The Cochrane Collaboration. Higgins JPT, Green S <http://handbook.cochrane.org>. Accessed July 19, 2018.
6. Hesse S, Werner C, von Frankenberg S, Bardeleben A. Treadmill training with partial body weight support after stroke. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2003;14(1):S111-S123. doi:10.1016/S1047-9651(02)00061-X
7. Peurala S, Airaksinen O, Huuskonen P, et al. Effects of intensive therapy using gait trainer or floor walking exercises early after stroke. *J Rehabil Med*. 2009;41(3):166-173. doi:10.2340/16501977-0304
8. Bae Y, Ko YJ, Chang WH, et al. Effects of Robot-assisted Gait Training Combined with Functional Electrical Stimulation on Recovery of Locomotor Mobility in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(12):1949-1953. doi:10.1589/jpts.26.1949
9. Watanabe H, Goto R, Tanaka N, Matsumura A, Yanagi H. Effects of gait training using the Hybrid Assistive Limb® in recovery-phase stroke patients: A 2-month follow-up, randomized, controlled study. *NeuroRehabilitation*. 2017;40(3):363-367. doi:10.3233/NRE-161424
10. Tong RK, Ng MF, Li LS. Effectiveness of Gait Training Using an Electromechanical Gait Trainer, With and Without Functional Electric Stimulation, in Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87(10):1298-1304. doi:10.1016/j.apmr.2006.06.016
11. Seo HG, Lee WH, Lee SH, Yi Y, Kim KD, Oh B-M. Robotic-assisted gait training combined with transcranial direct current stimulation in chronic stroke patients: A pilot double-blind, randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci*. 2017;35(5):527-536. doi:10.3233/RNN-170745
12. Picelli A, Chemello E, Castellazzi P, et al. Combined effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) and transcutaneous spinal direct current stimulation (tsDCS) on robot-assisted gait training in patients with chronic stroke: A pilot, double blind, randomized controlled trial. *Restor Neurol Neurosci*. 2015;33(3):357-368. doi:10.3233/RNN-140474
13. Wu H, Gu X, Fu J, Yao Y, Li J, Xu Z. [Effects of rehabilitation robot for lower-limb on motor function in hemiplegic patients after stroke]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2012;92(37):2628-2631.
14. Cho DY, Park S-W, Lee MJ, Park DS, Kim EJ. Effects of robot-assisted gait training on the balance and gait of chronic stroke patients: focus on dependent ambulators. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(10):3053-3057. doi:10.1589/jpts.27.3053
15. M DM, C CK, Kara L, Dana L, Lumy S. Brain stimulation paired with novel locomotor training with robotic gait orthosis in chronic stroke: A feasibility study. *NeuroRehabilitation*. 2013;(1):67-76. doi:10.3233/NRE-130929
16. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Fröhlich K, Saltuari L. Prospective, Blinded, Randomized

Crossover Study of Gait Rehabilitation in Stroke Patients Using the Lokomat Gait Orthosis. *Neurorehabil Neural Repair*. 2007;21(4):307-314. doi:10.1177/1545968307300697

17. Richards CL, Malouin F, Bravo G, Dumas F, Wood-Dauphinee S. The Role of Technology in Task-Oriented Training in Persons with Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabil Neural Repair*. 2004;18(4):199-211. doi:10.1177/1545968304269397

18. Rodrigues TA, Goroso DG, Westgate PM, Carrico C, Batistella LR, Sawaki L. Slow Versus Fast Robot-Assisted Locomotor Training After Severe Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Am J Phys Med Rehabil*. 2017;96:S165-S170. doi:10.1097/PHM.0000000000000810

19. Schwartz I, Sajin A, Fisher I, et al. The Effectiveness of Locomotor Therapy Using Robotic-Assisted Gait Training in Subacute Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *PM&R*. 2009;1(6):516-523. doi:10.1016/j.pmrj.2009.03.009

20. Lee KB, Lim SH, Ko EH, Kim YS, Lee KS, Hwang BY. Factors related to community ambulation in patients with chronic stroke. *Top Stroke Rehabil*. 2015;22(1):63-71. doi:10.1179/1074935714Z.0000000001

21. Schmid A, Duncan PW, Studenski S, et al. Improvements in Speed-Based Gait Classifications Are Meaningful. *Stroke*. 2007;38(7):2096-2100. doi:10.1161/STROKEAHA.106.475921

22. Perry J, Garrett M, Gronley JK, Mulroy SJ. Classification of Walking Handicap in the Stroke Population. *Stroke*. 1995;26(6):982-989. doi:10.1161/01.STR.26.6.982

Appendix

Electronic searches

Our research strategy was PICO. Population: stroke, Intervention: robot, Control: physiotherapy, Outcome: gait.

- **On Medline**, we searched (("STROKE"[MESH TERMS] OR "STROKE"[ALL FIELDS]) OR ("STROKE"[MESH TERMS] OR "STROKE"[ALL FIELDS] OR "STROKES"[ALL FIELDS]) OR "CEREBROVASCULAR ACCIDENT"[ALL FIELDS] OR "CEREBROVASCULAR ACCIDENTS"[ALL FIELDS] OR ("STROKE"[MESH TERMS] OR "STROKE"[ALL FIELDS] OR "CVA"[ALL FIELDS]) OR CVAS [ALL FIELDS] OR ("STROKE"[MESH TERMS] OR "STROKE"[ALL FIELDS] OR "APOPLEXY"[ALL FIELDS]) OR "VASCULAR ACCIDENT"[ALL FIELDS] OR "CEREBROVASCULAR STROKE"[ALL FIELDS] OR "CEREBROVASCULAR STROKES"[ALL FIELDS] OR "ACUTE STROKE"[ALL FIELDS] OR ACUTES[ALL FIELDS] OR ("STROKE"[MESH TERMS] OR "STROKE"[ALL FIELDS] OR "STROKES"[ALL FIELDS])) AND (("REHABILITATION"[SUBHEADING] OR "REHABILITATION"[ALL FIELDS] OR "REHABILITATION"[MESH TERMS]) OR "ACTIVITIES OF DAILY LIVING"[ALL FIELDS] OR "STROKE REHABILITATION"[ALL FIELDS] OR ("EXERCISE"[MESH TERMS] OR "EXERCISE"[ALL FIELDS]) OR ("EXERCISE"[MESH TERMS] OR "EXERCISE"[ALL FIELDS] OR "EXERCISES"[ALL FIELDS] OR "EXERCISE THERAPY"[MESH TERMS] OR ("EXERCISE"[ALL FIELDS] AND "THERAPY"[ALL FIELDS]) OR "EXERCISE THERAPY"[ALL FIELDS])) AND (("ROBOTICS"[MESH TERMS] OR "ROBOTICS"[ALL FIELDS] OR "ROBOTIC"[ALL FIELDS]) OR ROBOT[ALL FIELDS] OR ("ROBOTICS"[MESH TERMS] OR "ROBOTICS"[ALL FIELDS] OR "ROBOTIC"[ALL FIELDS]) OR EXOSKELETON[ALL FIELDS]) AND (("GAIT"[MESH TERMS] OR "GAIT"[ALL FIELDS]) OR ("WALKING"[MESH TERMS] OR "WALKING"[ALL FIELDS] OR

"WALK"[ALL FIELDS]) OR ("WALKING"[MESH TERMS] OR "WALKING"[ALL FIELDS]) OR "DEPENDENT AMBULATION"[ALL FIELDS] OR "WALKING SPEED"[ALL FIELDS])

- On **Embase**, we searched "stroke AND rehabilitation AND robot OR exoskeleton AND rct"
- On **Central**, we searched " robot AND stroke AND gait"
- On **Cinahl**, we searched "stroke AND robot AND gait"
- On **Opengrey/Opensigle**, we searched "Stroke AND gait"
- On **Pedro**, we searched "robot AND stroke AND gait"
- On **Web Of Science**, we searched "robot AND stroke AND gait"
- On **Clinical Trials**, we searched "stroke AND robot AND gait"

IV. DISCUSSION

A. Critique des résultats

Les résultats de notre travail confirment qu'une prise en charge rééducative associant des exosquelettes, un allègement du poids du corps et une kinésithérapie conventionnelle, permet l'obtention d'un meilleur résultat fonctionnel qu'une rééducation conventionnelle seule en terme de niveau d'autonomie à la marche et en terme de vitesse de marche. Ils corroborent la littérature actuelle qui démontre que l'association de la robotique par exosquelette avec la kinésithérapie conventionnelle est plus efficace que la kinésithérapie seule, à même intensité de prise en charge : Louie DR et al¹ (revue de la littérature publiée en 2016) et Mehrholz et al², Bruni MF et al⁴⁷ (méta-analyses publiées en 2017).

Concernant les facteurs d'âge, de durée de maladie et d'intensité de la rééducation, nous n'avons pas pu prouver statistiquement leur impact sur l'efficacité de la rééducation robotisée. Il est probable que la grande majorité des résultats étaient surtout influencés par un biais d'attrition et que le nombre de données recueillies (maximum de 12 études incluses dans une méta-analyse) était trop faible pour pouvoir étudier autant de facteurs d'influence par méthode de régression.

La moyenne de rééducation totale par bras était de 1450 minutes. La majeure partie des études proposait des programmes qui allaient de 800 à 2000 minutes au total sur 4 semaines. L'intensité minimale étant celle de Watanabe H⁴⁸ et ses 240 minutes au total et l'intensité maximale celle de Wu H⁴⁹ et ses 4320 minutes au total.

L'âge moyen total des patients étaient de 60,38 années avec un minimum de moyenne d'âge par bras de 45,4 années (SD=19,7) dans l'étude de Bae YH⁵⁰ et un maximum de moyenne d'âge par bras de 73,4 années (SD=11,5) dans l'étude de Ng MF⁵¹. Le delta des âges est important mais la plupart des études concernaient des patients âgés entre 55 et 75 ans qui représentent bien la population admise dans les SSR spécialisés en France : 66,4 années d'âge moyen dans l'étude de Schnitzler A⁸ et 65 années d'âge médian dans l'étude de Cassoudeulle H⁹.

Concernant la durée de la maladie, nous n'avons pas mis en évidence d'influence de celle-ci sur la réponse aux programmes de rééducation robotisée. Pourtant Mehrholz² dans son étude montre une plus grande efficacité des systèmes électro-mécaniques pour les AVCs précoces (< 3 mois). Nous nous demandons si la gravité de la maladie n'a pas été un facteur de confusion dans leur conclusion. La méta-régression réalisée sur « les résultats aux évaluations avant intervention » a montré, dans notre travail, une influence significative ($p < 0,0001$) de la gravité de la maladie sur le périmètre de marche atteint en 6 minutes lorsque l'on comparait la kinésithérapie seule versus la kinésithérapie associée à une rééducation robotisée. L'étude de Morone G⁵² confirme cette hypothèse. Elle comparait deux groupes : un groupe grave « low motricity » et un groupe plus léger appelé « high motricity ». Dans cette étude, la rééducation robotisée profitait de façon significative aux patients « low motricity » (FAC améliorée de 1,80 (95% CI : 0,93 to 2,67) qu'aux patients « high motricity » (FAC améliorée de 0,5 (95% CI : -0,43 to 1,43)). Bien que cela ne ressorte pas dans les méta-régressions, nous pouvons penser que le principal facteur influençant la réponse à la rééducation robotisée n'est pas la durée de la maladie mais bien la gravité des déficiences motrices.

Concernant l'évaluation des exosquelettes seuls, nous n'avons trouvé que très peu d'études contrôlées et randomisées. Les robots utilisés étaient couplés de façon quasi systématique à l'allègement du poids du corps. Lorsqu'on reprend les critères de causalité de Hill⁵³, notamment le critère de « spécificité », nous nous demandons si cette réponse favorable est bien spécifique de la rééducation par exosquelette et non pas le résultat de la rééducation en allègement du poids du corps. Dans notre méta-analyse, il est impossible de prouver une causalité directe de l'exosquelette. En effet, nous n'avons pas recueilli assez d'études comparant une rééducation en allègement du poids du corps avec une rééducation sur exosquelette seul. Les seules études que nous avons jugé pertinentes sur ce sujet sont celles de KH⁵⁴ et de Westlake KP⁵⁵. Ces auteurs y démontrent une différence significative en faveur de l'association de l'allègement du poids du corps et de l'exosquelette en terme de vitesse de marche par rapport à une rééducation en système d'allègement du poids du corps.

Table 2: résultats des vitesses de marche avant intervention et après intervention, études de Jung KH et al⁵³ et Westlake KP⁵⁵.

BWST+add vs BWST+RAGT+add					
Studies	Interventions	Gait speed before (m/s)	SD	Gait speed post-intervention (m/s)	SD
Jung KH et al 2008	BWST	0,595	0,333	0,599	0,344
	BWST+RAGT	0,575	0,291	0,680	0,356
Westlake KP et al 2009	BWST	0,620	0,280	0,650	0,290
	BWST+RAGT	0,620	0,310	0,720	0,380

p<0,05
p<0,05

Concernant la pertinence clinique de ces résultats, l'impact d'un gain de $\approx 0,10$ m/s en vitesse de marche et d'une demi-catégorie de FAC dépend de l'état de gravité initiale des patients. Perry⁵⁶, dans son étude, décrit plusieurs stades d'autonomie en fonction de la vitesse de marche. Les catégories d'autonomie à la marche sont séparées de $\approx 0,10$ m/s pour les catégories les plus limitées. Elles sont ensuite séparées de $\approx 0,20$ m/s lorsqu'on s'approche de l'autonomie la plus complète à la marche. Nous supposons donc qu'un gain $\approx 0,10$ m/s aura une plus forte répercussion sur l'état d'autonomie des patients graves.

De plus, le gain d'une demie catégorie à la FAC ne sera pas négligeable. Cela pourrait se répercuter sur le sevrage d'aides humaines pour les patients les plus atteints et sur le sevrage d'aides techniques à la marche pour les moins atteints.

Table 3: stades d'autonomie à la marche selon la vitesse de marche, Perry et al⁵⁶

Autonomie	Limitée à la maison	Non limitée à la maison	Tres limitée en communauté	Peu limité en communauté	Non limitée en communauté
Vitesse de marche	0,23 m/s	0,27 m/s	0,4 m/s	0,58 m/s	0,8 m/s

B. Perspectives d'avenir

Nous pensons qu'il serait réducteur de ne proposer qu'un seul type de protocole de rééducation. Dans ces études, les auteurs proposaient des schémas de rééducation robotisée très similaires : initier une rééducation avec assistance complète et un soulèvement important du poids du corps puis diminuer l'assistance et diminuer l'allègement.

Certaines études laissent penser que d'autres modes de rééducation seraient efficaces. Pour exemple, l'étude de Kang TW⁵⁷ compare une rééducation robotisée avec exosquelette permettant une liberté de mouvement des

ceintures avec une rééducation robotisée ne le permettant pas. S'appuyant sur un système d'attache des bras, le groupe expérimental est contraint de mobiliser les épaules et le bassin de façon indépendante. Les résultats sont probants. Le groupe expérimental ayant été « contraint en dissociation des ceintures » améliore significativement son équilibre (BBS amélioré de 22,60 (SD=7,48)) et sa vitesse de marche (améliorée de 0,24 m/s (SD=0,01)) comparés au groupe bénéficiant d'une rééducation robotisée classique : respectivement BBS amélioré de 6,80 (SD=5,78) et vitesse de marche 0,15 (SD=0,01).

Au-delà de l'outil d'« exosquelette », c'est la construction de nouveaux protocoles de rééducation qui paraît intéressante. Ils permettraient un travail plus physiologique en terme de pattern de marche, une rééducation plus intense en terme de répétition de tâche et une assistance personnalisée des mouvements grâce à une programmation intuitive des moteurs. Il serait également possible de développer le concept de « tâche orientée » en y couplant de la réalité virtuelle.

V. CONCLUSION

Cette revue systématique de la littérature et ces méta-analyses soulignent l'importance que pourrait revêtir l'utilisation des exosquelettes de marche dans la rééducation à la marche post AVC. A même intensité, l'association de la kinésithérapie et de la robotique est plus efficace que la kinésithérapie seule sur le gain en vitesse de marche et sur le gain en autonomie à la marche. Lorsqu'on s'intéresse aux résultats des essais contrôlés randomisés de haut niveau de preuve avec une analyse en intention de traiter, le résultat est positif dans plus de 90% des cas (2 études sur 21 études, en vert sur les schémas des méta-analyses).

En revanche, nos données n'ont pas permis de prouver une supériorité en termes de rééducation robotisée seule par rapport à celle réalisée par un kinésithérapeute. Mais cette comparaison demeure artificielle dans la réalité humaine des principes de rééducation. La robotique ne reste qu'un outil parmi tant d'autres dans la globalité et la complexité de la prise en charge post AVC. L'objectif est de trouver de nouveaux moyens efficaces pour accentuer la récupération. Nous sommes à l'aube d'une nouvelle aire où la rééducation conventionnelle sera aidée par l'informatique et la robotique.

VI. BIBLIOGRAPHIE DE LA THESE

1. Louie DR, Eng JJ. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review. *J NeuroEngineering Rehabil.* 2016;13(1):53. doi:10.1186/s12984-016-0162-5

2. Mehrholz J, Thomas S, Werner C, Kugler J, Pohl M, Elsner B. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017;5:CD006185. doi:10.1002/14651858.CD006185.pub4

3. Accidents vasculaires cérébraux. Collège des Enseignants de Neurologie. <https://www.cen-neurologie.fr/deuxieme-cycle%20accidents-vasculaires-cerebraux>. Published September 21, 2016.

4. Lecoffre camille, De Peretti C, Gabet A, et al. L'accident vasculaire cérébral en France : patients hospitalisés pour AVC en 2014 et évolutions 2008-2014 // Stroke in France: patients hospitalized for stroke in 2014, and trends between 2008 and 2014. Bulletin épidémiologique hebdomadaire. http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2017/5/2017_5_1.html. Published January 21, 2017.

5. De Peretti C. Prévalence des accidents vasculaires cérébraux et de leurs séquelles et impact sur les activités de la vie quotidienne : apports des enquêtes déclaratives Handicap-santé-ménages et Handicap-santé-institution, 2008-2009. Bulletin épidémiologique hebdomadaire. <http://invs.santepubliquefrance.fr/Publications-et-outils/BEH-Bulletin-epidemiologique-hebdomadaire/Archives/2012/BEH-n-1-2012>. Published January 10, 2012.

6. Tuppin P, Rivière S, Rigault A, et al. Prevalence and economic burden of cardiovascular diseases in France in 2013 according to the national health insurance scheme database. *Arch Cardiovasc Dis.* 2016;109(6-7):399-411. doi:10.1016/j.acvd.2016.01.011

7. Varona JF, Bermejo F, Guerra JM, Molina JA. Long-term prognosis of ischemic stroke in young adults. Study of 272 cases. *J Neurol.* 2004;251(12):1507-1514. doi:10.1007/s00415-004-0583-0

8. Schnitzler A, Woimant F, Nicolau J, Tuppin P, de Peretti C. Effect of Rehabilitation Setting on Dependence Following Stroke: An Analysis of the French Inpatient Database. *Neurorehabil Neural Repair.* 2014;28(1):36-44. doi:10.1177/1545968313497828

9. Cassoudeulle H, Nozères A, Petit H, et al. Post-acute referral of stroke victims in a French urban area: Results of a specific program. *Ann Phys Rehabil Med.* 2016;59(4):248-254. doi:10.1016/j.rehab.2016.02.003

10. Circulaire DHOS/O1 no 2008-305 du 3 octobre 2008 relative aux décrets no 2008-377 du 17 avril 2008 réglementant l'activité de soins de suite et de réadaptation.

11. Jorgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Olsen TS. Recovery of Walking Function in Stroke Patients: The Copenhagen Stroke Study. 1995;76:6.

12. Counsell C, Dennis M, McDowall M, Warlow C. Predicting outcome after acute and subacute stroke:

development and validation of new prognostic models. *Stroke*. 2002;33(4):1041-1047.

13. Wiesel TN, Hubel DH. SINGLE-CELL RESPONSES IN STRIATE CORTEX OF KITTENS DEPRIVED OF VISION IN ONE EYE. *J Neurophysiol*. 1963;26:1003-1017. doi:10.1152/jn.1963.26.6.1003

14. Biernaskie J, Corbett D. Enriched rehabilitative training promotes improved forelimb motor function and enhanced dendritic growth after focal ischemic injury. *J Neurosci Off J Soc Neurosci*. 2001;21(14):5272-5280.

15. Biernaskie J, Chernenko G, Corbett D. Efficacy of rehabilitative experience declines with time after focal ischemic brain injury. *J Neurosci Off J Soc Neurosci*. 2004;24(5):1245-1254. doi:10.1523/JNEUROSCI.3834-03.2004

16. Carmichael ST. Cellular and molecular mechanisms of neural repair after stroke: making waves. *Ann Neurol*. 2006;59(5):735-742. doi:10.1002/ana.20845

17. Cramer SC. Repairing the human brain after stroke: I. Mechanisms of spontaneous recovery. *Ann Neurol*. 2008;63(3):272-287. doi:10.1002/ana.21393

18. Murphy TH, Corbett D. Plasticity during stroke recovery: from synapse to behaviour. *Nat Rev Neurosci*. 2009;10(12):861-872. doi:10.1038/nrn2735

19. Langhorne P, Wu O, Rodgers H, Ashburn A, Bernhardt J. A Very Early Rehabilitation Trial after stroke (AVERT): a Phase III, multicentre, randomised controlled trial. *Health Technol Assess Winch Engl*. 2017;21(54):1-120. doi:10.3310/hta21540

20. Yelnik AP, Quintaine V, Andriantsifanetra C, et al. AMOBES (Active Mobility Very Early After Stroke): A Randomized Controlled Trial. *Stroke*. 2017;48(2):400-405. doi:10.1161/STROKEAHA.116.014803

21. Clarkson AN, Huang BS, Macisaac SE, Mody I, Carmichael ST. Reducing excessive GABA-mediated tonic inhibition promotes functional recovery after stroke. *Nature*. 2010;468(7321):305-309. doi:10.1038/nature09511

22. Marque P. For a long time we thought all was lost.... *Ann Phys Rehabil Med*. 2014;57(8):487-488. doi:10.1016/j.rehab.2014.09.006

23. Yelnik A. Évolution des concepts en rééducation du patient hémiplégique. *Ann Réadapt Médecine Phys*. 2005;48(5):270-277. doi:10.1016/j.annrmp.2005.02.009

24. Pessard É. La rééducation motrice dans le service de la clinique Charcot (Hospice de la Salpêtrière) années 1904-1908. 1908.

25. Berta Bobath. *Hémiplégie de l'adulte, bilans et traitement*. Masson. <https://www.leslibraires.fr/livre/1281994-hemiplegie-de-l-adulte-bilans-et-traitement-berta-bobath-masson>.

26. Bach y Rita P. Central nervous system lesions: sprouting and unmasking in rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 1981;62(9):413-417.
27. Winstein CJ, Gardner ER, McNeal DR, Barto PS, Nicholson DE. Standing balance training: effect on balance and locomotion in hemiparetic adults. *Arch Phys Med Rehabil*. 1989;70(10):755-762.
28. Feys HM, De Weerd WJ, Selz BE, et al. Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: a single-blind, randomized, controlled multicenter trial. *Stroke*. 1998;29(4):785-792.
29. Debelleix X. La rééducation de l'hémiplégie vasculaire de l'adulte améliore-t-elle la marche? *Ann Réadapt Médecine Phys*. 1997;40(3):121-130. doi:10.1016/S0168-6054(97)89170-2
30. Kwakkel G, Wagenaar RC, Twisk JW, Lankhorst GJ, Koetsier JC. Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomised trial. *Lancet Lond Engl*. 1999;354(9174):191-196. doi:10.1016/S0140-6736(98)09477-X
31. Duysens J, Van de Crommert HWA. Neural control of locomotion; Part 1: The central pattern generator from cats to humans. *Gait Posture*. 1998;7(2):131-141. doi:10.1016/S0966-6362(97)00042-8
32. Richards CL, Malouin F, Wood-Dauphinee S, Williams JJ, Bouchard JP, Brunet D. Task-specific physical therapy for optimization of gait recovery in acute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74(6):612-620.
33. Hesse S, Werner C, Paul T, Bardeleben A, Chaler J. Influence of walking speed on lower limb muscle activity and energy consumption during treadmill walking of hemiparetic patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(11):1547-1550. doi:10.1053/apmr.2001.26607
34. Hesse S, Bertelt C, Jahnke MT, et al. Treadmill training with partial body weight support compared with physiotherapy in nonambulatory hemiparetic patients. *Stroke*. 1995;26(6):976-981.
35. Promotion of Gait Through Technology. Rehab Managment. <http://www.rehabpub.com/2017/01/promotion-gait-technology/>. Accessed April 12, 2018.
36. Biofeedback: Behavioural Medicine: L. Birk: 9780808908326: Amazon.com: Books. <https://www.amazon.com/Biofeedback-Behavioural-Medicine-L-Birk/dp/0808908324>.
37. La stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS) : y a-t-il une chance qu'il se passe quoi que ce soit ? <https://www.echosciences-grenoble.fr/communautes/atout-cerveau/articles/la-stimulation-transcranienn-a-courant-direct-tdcs-y-a-t-il-une-chance-qu-il-se-passe-quoi-que-ce-soit>.
38. Schlaug G, Renga V, Nair D. Transcranial Direct Current Stimulation in Stroke Recovery. *Arch Neurol*. 2008;65(12):1571-1576. doi:10.1001/archneur.65.12.1571

39. Haute Autorité de Santé - Accident vasculaire cérébral : méthodes de rééducation de la fonction motrice chez l'adulte. https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_1334330/fr/accident-vasculaire-cerebral-methodes-de-reeducation-de-la-fonction-motrice-chez-l-adulte. Accessed April 12, 2018.
40. Liberson WT, Holmquest HJ, Scot D, Dow M. Functional electrotherapy: stimulation of the peroneal nerve synchronized with the swing phase of the gait of hemiplegic patients. *Arch Phys Med Rehabil*. 1961;42:101-105.
41. Kimberley TJ, Lewis SM, Auerbach EJ, Dorsey LL, Lojovich JM, Carey JR. Electrical stimulation driving functional improvements and cortical changes in subjects with stroke. *Exp Brain Res*. 2004;154(4):450-460. doi:10.1007/s00221-003-1695-y
42. Lokomat - Medimex. <https://www.medimex.fr/lokomat.html>. Accessed April 12, 2018.
43. CYBERDYNE. <http://www.cyberdyne.jp/>.
44. Ekso Bionics - une combinaison bionique ou exosquelette : un robot portable qui aide les gens à remarcher. Ekso Bionics. <https://eksobionics.com/?lang=fr>.
45. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *Kinésithérapie Rev*. 2015;15(157):39-44. doi:10.1016/j.kine.2014.11.004
46. Whiting P, Savović J, Higgins JPT, et al. ROBIS: A new tool to assess risk of bias in systematic reviews was developed. *J Clin Epidemiol*. 2016;69:225-234. doi:10.1016/j.jclinepi.2015.06.005
47. Bruni MF, Melegari C, De Cola MC, Bramanti A, Bramanti P, Calabrò RS. What does best evidence tell us about robotic gait rehabilitation in stroke patients: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Neurosci*. 2018;48:11-17. doi:10.1016/j.jocn.2017.10.048
48. Watanabe H, Goto R, Tanaka N, Matsumura A, Yanagi H. Effects of gait training using the Hybrid Assistive Limb® in recovery-phase stroke patients: A 2-month follow-up, randomized, controlled study. *NeuroRehabilitation*. 2017;40(3):363-367. doi:10.3233/NRE-161424
49. Wu H, Gu X, Fu J, Yao Y, Li J, Xu Z. [Effects of rehabilitation robot for lower-limb on motor function in hemiplegic patients after stroke]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2012;92(37):2628-2631.
50. Bae Y, Ko YJ, Chang WH, et al. Effects of Robot-assisted Gait Training Combined with Functional Electrical Stimulation on Recovery of Locomotor Mobility in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *J Phys Ther Sci*. 2014;26(12):1949-1953. doi:10.1589/jpts.26.1949
51. Ng MFW, Tong RKY, Li LSW. A Pilot Study of Randomized Clinical Controlled Trial of Gait Training in Subacute Stroke Patients With Partial Body-Weight Support Electromechanical Gait Trainer and Functional Electrical Stimulation: Six-Month Follow-Up. *Stroke*. 2008;39(1):154-160. doi:10.1161/STROKEAHA.107.495705

52. Morone G, Iosa M, Bragoni M, et al. Who May Have Durable Benefit From Robotic Gait Training?: A 2-Year Follow-Up Randomized Controlled Trial in Patients With Subacute Stroke. *Stroke*. 2012;43(4):1140-1142. doi:10.1161/STROKEAHA.111.638148
53. Hill AB. The environment and disease: association or causation? *J R Soc Med*. 2015;108(1):32-37. doi:10.1177/0141076814562718
54. Jung K-H, Ha H-G, Shin H-J, et al. Effects of Robot-assisted Gait Therapy on Locomotor Recovery in Stroke Patients. *Ann Rehabil Med*. 2008;32(3):258-266.
55. Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2009;6(1):18. doi:10.1186/1743-0003-6-18
56. Perry J, Garrett M, Gronley JK, Mulroy SJ. Classification of Walking Handicap in the Stroke Population. *Stroke*. 1995;26(6):982-989. doi:10.1161/01.STR.26.6.982
57. Kang T-W, Oh D-W, Lee J-H, Cynn H-S. Effects of integrating rhythmic arm swing into robot-assisted walking in patients with subacute stroke: a randomized controlled pilot study. *Int J Rehabil Res Int Z Rehabil Rev Int Rech Readaptation*. 2018;41(1):57-62. doi:10.1097/MRR.0000000000000260

VII. ANNEXES

A. Références des études

Etudes incluses

1. Bae Y, Ko YJ, Chang WH, et al. Effects of Robot-assisted Gait Training Combined with Functional Electrical Stimulation on Recovery of Locomotor Mobility in Chronic Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Physical Therapy Science*. 2014;26(12):1949-1953. doi:10.1589/jpts.26.1949
2. Bang D-H, Shin W-S. Effects of robot-assisted gait training on spatiotemporal gait parameters and balance in patients with chronic stroke: A randomized controlled pilot trial. *NeuroRehabilitation*. 2016;38(4):343-349. doi:10.3233/NRE-161325
3. Buesing C, Fisch G, O'Donnell M, et al. Effects of a wearable exoskeleton stride management assist system (SMA®) on spatiotemporal gait characteristics in individuals after stroke: a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2015;12(1). doi:10.1186/s12984-015-0062-0
4. Bustamante Valles K, Montes S, Madrigal M de J, Burciaga A, Martínez ME, Johnson MJ. Technology-assisted stroke rehabilitation in Mexico: a pilot randomized trial comparing traditional therapy to circuit training in a Robot/technology-assisted therapy gym. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1). doi:10.1186/s12984-016-0190-1
5. Calabrò RS, Naro A, Russo M, et al. The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2017;14(1). doi:10.1186/s12984-017-0268-4
6. Chang WH, Kim MS, Huh JP, Lee PKW, Kim Y-H. Effects of Robot-Assisted Gait Training on Cardiopulmonary Fitness in Subacute Stroke Patients: A Randomized Controlled Study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2012;26(4):318-324. doi:10.1177/1545968311408916
7. Cho DY, Park S-W, Lee MJ, Park DS, Kim EJ. Effects of robot-assisted gait training on the balance and gait of chronic stroke patients: focus on dependent ambulators. *Journal of Physical Therapy Science*. 2015;27(10):3053-3057. doi:10.1589/jpts.27.3053
8. Chua J, Culpan J, Menon E. Efficacy of an Electromechanical Gait Trainer Poststroke in Singapore: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2016;97(5):683-690. doi:10.1016/j.apmr.2015.12.025
9. Fisher S, Lucas L, Adam Thrasher T. Robot-Assisted Gait Training for Patients with Hemiparesis Due to Stroke. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2011;18(3):269-276. doi:10.1310/tsr1803-269

10. Forrester LW, Roy A, Hafer-Macko C, Krebs HI, Macko RF. Task-specific ankle robotics gait training after stroke: a randomized pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1). doi:10.1186/s12984-016-0158-1
11. Forrester LW, Roy A, Krywonis A, Kehs G, Krebs HI, Macko RF. Modular Ankle Robotics Training in Early Subacute Stroke: A Randomized Controlled Pilot Study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2014;28(7):678-687. doi:10.1177/1545968314521004
12. GARRIDO N, LOUREIRO L. Can we improve gait skills in chronic hemiplegics? A randomised control trial with gait trainer D. DIAS, J. LAÍNS, A. PEREIRA, R. NUNES, J. CALDAS, C. AMARAL, S. PIRES, A. COSTA, P. ALVES, M. MOREIRA. *EUROPA MEDICOPHYSICA*. 2007;43(4):6.
13. Geroin C, Picelli A, Munari D, Waldner A, Tomelleri C, Smania N. Combined transcranial direct current stimulation and robot-assisted gait training in patients with chronic stroke: a preliminary comparison. *Clinical Rehabilitation*. 2011;25(6):537-548. doi:10.1177/0269215510389497
14. Han EY, Im SH, Kim BR, Seo MJ, Kim MO. Robot-assisted gait training improves brachial-ankle pulse wave velocity and peak aerobic capacity in subacute stroke patients with totally dependent ambulation: Randomized controlled trial. *Medicine*. 2016;95(41):e5078. doi:10.1097/MD.0000000000005078
15. Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, et al. Multicenter Randomized Clinical Trial Evaluating the Effectiveness of the Lokomat in Subacute Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2009;23(1):5-13. doi:10.1177/1545968308326632
16. Hornby TG, Campbell DD, Kahn JH, Demott T, Moore JL, Roth HR. Enhanced Gait-Related Improvements After Therapist- Versus Robotic-Assisted Locomotor Training in Subjects With Chronic Stroke: A Randomized Controlled Study. *Stroke*. 2008;39(6):1786-1792. doi:10.1161/STROKEAHA.107.504779
17. Husemann B, Muller F, Krewer C, Heller S, Koenig E. Effects of Locomotion Training With Assistance of a Robot-Driven Gait Orthosis in Hemiparetic Patients After Stroke: A Randomized Controlled Pilot Study. *Stroke*. 2007;38(2):349-354. doi:10.1161/01.STR.0000254607.48765.cb
18. Jung K-H, Ha H-G, Shin H-J, et al. Effects of Robot-assisted Gait Therapy on Locomotor Recovery in Stroke Patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2008;32(3):258-266.
19. Kang T-W, Oh D-W, Lee J-H, Cynn H-S. Effects of integrating rhythmic arm swing into robot-assisted walking in patients with subacute stroke: a randomized controlled pilot study. *Int J Rehabil Res*. 2018;41(1):57-62. doi:10.1097/MRR.0000000000000260
20. Kelley CP, Childress J, Boake C, Noser EA. Over-ground and robotic-assisted locomotor training in adults with chronic stroke: a blinded randomized clinical trial. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2013;8(2):161-168. doi:10.3109/17483107.2012.714052
21. Kim S-Y, Yang L, Park IJ, et al. Effects of Innovative WALKBOT Robotic-Assisted Locomotor Training on Balance and Gait Recovery in Hemiparetic Stroke: A Prospective, Randomized, Experimental

Blinded Case Control Study With a Four-Week Follow-Up. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2015;23(4):636-642. doi:10.1109/TNSRE.2015.2404936

22. Lewek MD, Cruz TH, Moore JL, Roth HR, Dhafer YY, Hornby TG. Allowing Intralimb Kinematic Variability During Locomotor Training Poststroke Improves Kinematic Consistency: A Subgroup Analysis From a Randomized Clinical Trial. *Physical Therapy*. 2009;89(8):829-839. doi:10.2522/ptj.20080180

23. M DM, C CK, Kara L, Dana L, Lumy S. Brain stimulation paired with novel locomotor training with robotic gait orthosis in chronic stroke: A feasibility study. *NeuroRehabilitation*. 2013;(1):67-76. doi:10.3233/NRE-130929

24. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Fröhlich K, Saltuari L. Prospective, Blinded, Randomized Crossover Study of Gait Rehabilitation in Stroke Patients Using the Lokomat Gait Orthosis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2007;21(4):307-314. doi:10.1177/1545968307300697

25. Morone G, Bragoni M, Iosa M, et al. Who May Benefit From Robotic-Assisted Gait Training?: A Randomized Clinical Trial in Patients With Subacute Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2011;25(7):636-644. doi:10.1177/1545968311401034

26. Morone G, Iosa M, Bragoni M, et al. Who May Have Durable Benefit From Robotic Gait Training?: A 2-Year Follow-Up Randomized Controlled Trial in Patients With Subacute Stroke. *Stroke*. 2012;43(4):1140-1142. doi:10.1161/STROKEAHA.111.638148

27. Ng MFW, Tong RKY, Li LSW. A Pilot Study of Randomized Clinical Controlled Trial of Gait Training in Subacute Stroke Patients With Partial Body-Weight Support Electromechanical Gait Trainer and Functional Electrical Stimulation: Six-Month Follow-Up. *Stroke*. 2008;39(1):154-160. doi:10.1161/STROKEAHA.107.495705

28. Noser, Elizabeth. Improving Ambulation Post Stroke With Robotic Training. ClinicalTrials.gov. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00975156>. Accessed July 23, 2018.

29. Ochi M, Wada F, Saeki S, Hachisuka K. Gait training in subacute non-ambulatory stroke patients using a full weight-bearing gait-assistance robot: A prospective, randomized, open, blinded-endpoint trial. *Journal of the Neurological Sciences*. 2015;353(1-2):130-136. doi:10.1016/j.jns.2015.04.033

30. Peurala S, Airaksinen O, Huuskonen P, et al. Effects of intensive therapy using gait trainer or floor walking exercises early after stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*. 2009;41(3):166-173. doi:10.2340/16501977-0304

31. Peurala SH, Tarkka IM, Pitkänen K, Sivenius J. The Effectiveness of Body Weight-Supported Gait Training and Floor Walking in Patients With Chronic Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2005;86(8):1557-1564. doi:10.1016/j.apmr.2005.02.005

32. PICELLI A, BACCIGA M, MELOTTI C, et al. Combined effects of robot-assisted gait training and botulinum toxin type A on spastic equinus foot in patients with chronic stroke: a pilot, single blind, randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2016;52(6):8.

33. Picelli A, Chemello E, Castellazzi P, et al. Combined effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) and transcutaneous spinal direct current stimulation (tsDCS) on robot-assisted gait training in patients with chronic stroke: A pilot, double blind, randomized controlled trial. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2015;33(3):357-368. doi:10.3233/RNN-140474
34. Pohl M, Werner C, Holzgraefe M, et al. Repetitive locomotor training and physiotherapy improve walking and basic activities of daily living after stroke: a single-blind, randomized multicentre trial (DEutsche GAngtrainerStudie, DEGAS). *Clinical Rehabilitation*. 2007;21(1):17-27. doi:10.1177/0269215506071281
35. Richards CL, Malouin F, Bravo G, Dumas F, Wood-Dauphinee S. The Role of Technology in Task-Oriented Training in Persons with Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2004;18(4):199-211. doi:10.1177/1545968304269397
36. Rodrigues TA, Goroso DG, Westgate PM, Carrico C, Batistella LR, Sawaki L. Slow Versus Fast Robot-Assisted Locomotor Training After Severe Stroke: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2017;96:S165-S170. doi:10.1097/PHM.0000000000000810
37. Schwartz I, Sajin A, Fisher I, et al. The Effectiveness of Locomotor Therapy Using Robotic-Assisted Gait Training in Subacute Stroke Patients: A Randomized Controlled Trial. *PM&R*. 2009;1(6):516-523. doi:10.1016/j.pmrj.2009.03.009
38. Seo HG, Lee WH, Lee SH, Yi Y, Kim KD, Oh B-M. Robotic-assisted gait training combined with transcranial direct current stimulation in chronic stroke patients: A pilot double-blind, randomized controlled trial. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2017;35(5):527-536. doi:10.3233/RNN-170745
39. Srivastava S, Kao PC. Robotic Assist-As-Needed as an Alternative to Therapist-Assisted Gait Rehabilitation. *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2016;4(5). doi:10.4172/2329-9096.1000370
40. Srivastava S, Kao PC, Reisman DS, Scholz JP, Agrawal SK, Higginson JS. Robotic Assist-As-Needed as an Alternative to Therapist-Assisted Gait Rehabilitation. *Int J Phys Med Rehabil*. 2016;4(5). doi:10.4172/2329-9096.1000370
41. Stein J, Bishop L, Stein DJ, Wong CK. Gait Training with a Robotic Leg Brace After Stroke: A Randomized Controlled Pilot Study. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2014;93(11):987-994. doi:10.1097/PHM.0000000000000119
42. Stoller O, de Bruin ED, Schindelholz M, Schuster-Amft C, de Bie RA, Hunt KJ. Efficacy of Feedback-Controlled Robotics-Assisted Treadmill Exercise to Improve Cardiovascular Fitness Early After Stroke: A Randomized Controlled Pilot Trial. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. 2015;39(3):156-165. doi:10.1097/NPT.0000000000000095
43. Taveggia G, Borboni A, Mulé C, Villafañe JH, Negrini S. Conflicting results of robot-assisted versus usual gait training during postacute rehabilitation of stroke patients: a randomized clinical trial. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2016;39(1):29-35. doi:10.1097/MRR.0000000000000137

44. Tong RK, Ng MF, Li LS. Effectiveness of Gait Training Using an Electromechanical Gait Trainer, With and Without Functional Electric Stimulation, in Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2006;87(10):1298-1304. doi:10.1016/j.apmr.2006.06.016
45. van Nunen MPM, Gerrits KHL, Konijnenbelt M, Janssen TWJ, de Haan A. Recovery of walking ability using a robotic device in subacute stroke patients: a randomized controlled study. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*. 2015;10(2):141-148. doi:10.3109/17483107.2013.873489
46. Watanabe H, Tanaka N, Inuta T, Saitou H, Yanagi H. Locomotion Improvement Using a Hybrid Assistive Limb in Recovery Phase Stroke Patients: A Randomized Controlled Pilot Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014;95(11):2006-2012. doi:10.1016/j.apmr.2014.07.002
47. Werner C, von Frankenberg S, Treig T, Konrad M, Hesse S. Treadmill Training With Partial Body Weight Support and an Electromechanical Gait Trainer for Restoration of Gait in Subacute Stroke Patients: A Randomized Crossover Study. *Stroke*. 2002;33(12):2895-2901. doi:10.1161/01.STR.0000035734.61539.F6
48. Westlake KP, Patten C. Pilot study of Lokomat versus manual-assisted treadmill training for locomotor recovery post-stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2009;6(1):18. doi:10.1186/1743-0003-6-18
49. Wu H, Gu X, Fu J, Yao Y, Li J, Xu Z. [Effects of rehabilitation robot for lower-limb on motor function in hemiplegic patients after stroke]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2012;92(37):2628-2631.
50. Wu M, Landry JM, Kim J, Schmit BD, Yen S-C, MacDonald J. Robotic Resistance/Assistance Training Improves Locomotor Function in Individuals Poststroke: A Randomized Controlled Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2014;95(5):799-806. doi:10.1016/j.apmr.2013.12.021

Etudes exclues

1. Ambrosini E, Ferrante S, Ferrigno G, Molteni F, Pedrocchi A. Cycling induced by electrical stimulation improves muscle activation and symmetry during pedaling in hemiparetic patients. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2012;20(3):320-330. doi:10.1109/TNSRE.2012.2191574
2. Aprile I, Iacovelli C, Padua L, et al. Efficacy of Robotic-Assisted Gait Training in chronic stroke patients: Preliminary results of an Italian bi-centre study. *NeuroRehabilitation*. 2017;41(4):775-782. doi:10.3233/NRE-172156
3. Bae Y-H, Kim Y-H, Fong SSM. Comparison of Heart Rate Reserve-Guided and Ratings of Perceived Exertion-Guided Methods for High-Intensity Robot-Assisted Gait Training in Patients With Chronic Stroke: Focused on the Motor Function and Gait Ability. *Topics in Geriatric Rehabilitation*. 2016;32(2):119-126. doi:10.1097/TGR.0000000000000098

4. Bae Y-H, Lee SM, Ko M. Comparison of the effects on dynamic balance and aerobic capacity between objective and subjective methods of high-intensity robot-assisted gait training in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2017;24(4):309-313. doi:10.1080/10749357.2016.1275304

5. Bergmann J, Krewer C, Müller F, Koenig A, Riener R. Virtual Reality to control active participation in a subacute stroke patient during robot-assisted gait training. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*. 2011;2011:5975407. doi:10.1109/ICORR.2011.5975407

6. Bogataj U, Gros N, Kljajić M, Aćimović R, Malezic M. The rehabilitation of gait in patients with hemiplegia: a comparison between conventional therapy and multichannel functional electrical stimulation therapy. *Phys Ther*. 1995;75(6):490-502.

7. Bolliger M, Banz R, Dietz V, Lünenburger L. Standardized voluntary force measurement in a lower extremity rehabilitation robot. *J Neuroeng Rehabil*. 2008;5:23. doi:10.1186/1743-0003-5-23

8. Bonnyaud C, Zory R, Boudarham J, Pradon D, Bensmail D, Roche N. Effect of a robotic restraint gait training versus robotic conventional gait training on gait parameters in stroke patients. *Exp Brain Res*. 2014;232(1):31-42. doi:10.1007/s00221-013-3717-8

9. Bragoni M, Broccoli M, Iosa M, et al. Influence of psychologic features on rehabilitation outcomes in patients with subacute stroke trained with robotic-aided walking therapy. *Am J Phys Med Rehabil*. 2013;92(10 Suppl 2):e16-25. doi:10.1097/PHM.0b013e3182a20a34

10. Bustamante Valles K, Montes S, Madrigal M de J, Burciaga A, Martínez ME, Johnson MJ. Technology-assisted stroke rehabilitation in Mexico: a pilot randomized trial comparing traditional therapy to circuit training in a Robot/technology-assisted therapy gym. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1). doi:10.1186/s12984-016-0190-1

11. Byl NN. Mobility training using a bionic knee orthosis in patients in a post-stroke chronic state: a case series. *J Med Case Rep*. 2012;6:216. doi:10.1186/1752-1947-6-216

12. Byun S-D, Jung T-D, Kim C-H, Lee Y-S. Effects of the sliding rehabilitation machine on balance and gait in chronic stroke patients - a controlled clinical trial. *Clin Rehabil*. 2011;25(5):408-415. doi:10.1177/0269215510385850

13. Calabrò RS, De Cola MC, Leo A, et al. Robotic neurorehabilitation in patients with chronic stroke: psychological well-being beyond motor improvement. *Int J Rehabil Res*. 2015;38(3):219-225. doi:10.1097/MRR.0000000000000114

14. Chang JL, Lin RY, Saul M, Koch PJ, Krebs HI, Volpe BT. Intensive seated robotic training of the ankle in patients with chronic stroke differentially improves gait. *NeuroRehabilitation*. 2017;41(1):61-68. doi:10.3233/NRE-171457

15. Chernikova LA, Klochkov AS. [The influence of physical training with the use of a lokomat robotic system on the walking ability of the patients with post-stroke hemiparesis]. *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult.* 2014;(3):13-17.
16. Chihara H, Takagi Y, Nishino K, et al. Factors Predicting the Effects of Hybrid Assistive Limb Robot Suit during the Acute Phase of Central Nervous System Injury. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2016;56(1):33-37. doi:10.2176/nmc.oa.2015-0178
17. Coenen P, van Werven G, van Nunen MPM, Van Dieën JH, Gerrits KHL, Janssen TWJ. Robot-assisted walking vs overground walking in stroke patients: an evaluation of muscle activity. *J Rehabil Med.* 2012;44(4):331-337. doi:10.2340/16501977-0954
18. David D, Regnaud J-P, Lejaille M, Louis A, Bussel B, Lofaso F. Oxygen Consumption During Machine-Assisted and Unassisted Walking: A Pilot Study in Hemiplegic and Healthy Humans. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* 2006;87(4):482-489. doi:10.1016/j.apmr.2005.11.034
19. Dobkin BH, Duncan PW. Should Body Weight-Supported Treadmill Training and Robotic-Assistive Steppers for Locomotor Training Trot Back to the Starting Gate? *Neurorehabilitation and Neural Repair.* 2012;26(4):308-317. doi:10.1177/1545968312439687
20. Dragin AS, Konstantinović LM, Veg A, Schwirtlich LB. Gait training of poststroke patients assisted by the Walkaround (body postural support). *Int J Rehabil Res.* 2014;37(1):22-28. doi:10.1097/MRR.0b013e328363ba30
21. Dunder U, Toktas H, Solak O, Ulasli AM, Eroglu S. A comparative study of conventional physiotherapy versus robotic training combined with physiotherapy in patients with stroke. *Top Stroke Rehabil.* 2014;21(6):453-461. doi:10.1310/tsr2106-453
22. Duschau-Wicke A, Caprez A, Riener R. Patient-cooperative control increases active participation of individuals with SCI during robot-aided gait training. *J Neuroeng Rehabil.* 2010;7:43. doi:10.1186/1743-0003-7-43
23. Esquenazi A, Lee S, Packel AT, Braitman L. A randomized comparative study of manually assisted versus robotic-assisted body weight supported treadmill training in persons with a traumatic brain injury. *PM R.* 2013;5(4):280-290. doi:10.1016/j.pmrj.2012.10.009
24. Esquenazi A, Lee S, Wikoff A, Packel A, Toczylowski T, Feeley J. A Comparison of Locomotor Therapy Interventions: Partial-Body Weight-Supported Treadmill, Lokomat, and G-EO Training in People With Traumatic Brain Injury. *PM R.* 2017;9(9):839-846. doi:10.1016/j.pmrj.2016.12.010
25. Fan Y, Yin Y. Active and Progressive Exoskeleton Rehabilitation Using Multisource Information Fusion From EMG and Force-Position EPP. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering.* 2013;60(12):3314-3321. doi:10.1109/TBME.2013.2267741

26. Forrester LW, Roy A, Hafer-Macko C, Krebs HI, Macko RF. Task-specific ankle robotics gait training after stroke: a randomized pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1):51. doi:10.1186/s12984-016-0158-1
27. Forrester LW, Roy A, Krywonis A, Kehs G, Krebs HI, Macko RF. Modular ankle robotics training in early subacute stroke: a randomized controlled pilot study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2014;28(7):678-687. doi:10.1177/1545968314521004
28. Franceschini M, Colombo R, Posteraro F, Sale P. A proposal for an Italian minimum data set assessment protocol for robot-assisted rehabilitation: a Delphi study. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2015;51(6):745-753.
29. Fukuda H, Samura K, Hamada O, et al. Effectiveness of Acute Phase Hybrid Assistive Limb Rehabilitation in Stroke Patients Classified by Paralysis Severity. *Neurol Med Chir (Tokyo)*. 2015;55(6):487-492. doi:10.2176/nmc.oa.2014-0431
30. Goodman RN, Rietschel JC, Roy A, et al. Increased reward in ankle robotics training enhances motor control and cortical efficiency in stroke. *J Rehabil Res Dev*. 2014;51(2):213-227. doi:10.1682/JRRD.2013.02.0050
31. Hesse S, Schmidt H, Werner C. Machines to support motor rehabilitation after stroke: 10 years of experience in Berlin. *J Rehabil Res Dev*. 2006;43(5):671-678.
32. Hesse S, Tomelleri C, Bardeleben A, Werner C, Waldner A. Robot-assisted practice of gait and stair climbing in nonambulatory stroke patients. *J Rehabil Res Dev*. 2012;49(4):613-622.
33. Hirano S, Saitoh E, Tanabe S, et al. The features of Gait Exercise Assist Robot: Precise assist control and enriched feedback. *NeuroRehabilitation*. 2017;41(1):77-84. doi:10.3233/NRE-171459
34. Hsieh Y-W, Lin K-C, Horng Y-S, Wu C-Y, Wu T-C, Ku F-L. Sequential combination of robot-assisted therapy and constraint-induced therapy in stroke rehabilitation: a randomized controlled trial. *J Neurol*. 2014;261(5):1037-1045. doi:10.1007/s00415-014-7345-4
35. Hsu C-J, Kim J, Tang R, Roth EJ, Rymer WZ, Wu M. Applying a pelvic corrective force induces forced use of the paretic leg and improves paretic leg EMG activities of individuals post-stroke during treadmill walking. *Clinical Neurophysiology*. 2017;128(10):1915-1922. doi:10.1016/j.clinph.2017.07.409
36. Hu XL, Tong K, Song R, Zheng XJ, Leung WWF. A Comparison Between Electromyography-Driven Robot and Passive Motion Device on Wrist Rehabilitation for Chronic Stroke. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2009;23(8):837-846. doi:10.1177/1545968309338191
37. Hurt CP, Burgess JK, Brown DA. Limb contribution to increased self-selected walking speeds during body weight support in individuals poststroke. *Gait & Posture*. 2015;41(3):857-859. doi:10.1016/j.gaitpost.2015.02.004

38. Ivey FM, Stookey AD, Hafer-Macko CE, Ryan AS, Macko RF. Higher Treadmill Training Intensity to Address Functional Aerobic Impairment after Stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2015;24(11):2539-2546. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2015.07.002
39. Kang T-W, Oh D-W, Lee J-H, Cynn H-S. Rhythmic arm swing integrated into treadmill training in patients with chronic stroke: A single-subject experimental study. *Physiother Theory Pract.* 2018;34(8):613-621. doi:10.1080/09593985.2017.1423430
40. Kawamoto H, Kandone H, Sakurai T, et al. Development of an assist controller with robot suit HAL for hemiplegic patients using motion data on the unaffected side. In: *IEEE*; 2014:3077-3080. doi:10.1109/EMBC.2014.6944273
41. Kim SH, Banala SK, Brackbill EA, Agrawal SK, Krishnamoorthy V, Scholz JP. Robot-assisted modifications of gait in healthy individuals. *Exp Brain Res.* 2010;202(4):809-824. doi:10.1007/s00221-010-2187-5
42. Koenig A, Omlin X, Bergmann J, et al. Controlling patient participation during robot-assisted gait training. *J Neuroeng Rehabil.* 2011;8:14. doi:10.1186/1743-0003-8-14
43. Krishnan C, Ranganathan R, Kantak SS, Dhaher YY, Rymer WZ. Active robotic training improves locomotor function in a stroke survivor. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.* 2012;9(1):57. doi:10.1186/1743-0003-9-57
44. Kubota S, Nakata Y, Eguchi K, et al. Feasibility of rehabilitation training with a newly developed wearable robot for patients with limited mobility. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013;94(6):1080-1087. doi:10.1016/j.apmr.2012.12.020
45. Lee S-M, Cynn H-S, Yi C-H, Yoon T-L, Lee J-H. Wearable tubing assistive walking device immediately enhances gait parameters in subjects with stroke: A randomized controlled study. *NeuroRehabilitation.* 2017;40(1):99-107. doi:10.3233/NRE-161394
46. Lee SY, Han EY, Kim BR, Chun MH, Lee YK. Can Lowering the Guidance Force of Robot-Assisted Gait Training Induce a Sufficient Metabolic Demand in Subacute Dependent Ambulatory Patients With Stroke? *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(4):695-700. doi:10.1016/j.apmr.2016.10.021
47. Lee S-H, Lee H-J, Chang WH, et al. Gait performance and foot pressure distribution during wearable robot-assisted gait in elderly adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.* 2017;14(1). doi:10.1186/s12984-017-0333-z
48. Leon D, Cortes M, Elder J, et al. tDCS does not enhance the effects of robot-assisted gait training in patients with subacute stroke. *Restor Neurol Neurosci.* 2017;35(4):377-384. doi:10.3233/RNN-170734
49. Lewek MD, Cruz TH, Moore JL, Roth HR, Dhaher YY, Hornby TG. Allowing intralimb kinematic variability during locomotor training poststroke improves kinematic consistency: a subgroup analysis from a randomized clinical trial. *Phys Ther.* 2009;89(8):829-839. doi:10.2522/ptj.20080180

50. Lin L-F, Huang S-W, Chang K-H, Ouyang J-H, Liou T-H, Lin Y-N. A novel Robotic Gait Training System (RGTS) may facilitate functional recovery after stroke: A feasibility and safety study. *NeuroRehabilitation*. 2017;41(2):453-461. doi:10.3233/NRE-162137
51. Luu TP, He Y, Brown S, Nakagame S, Contreras-Vidal JL. Gait adaptation to visual kinematic perturbations using a real-time closed-loop brain-computer interface to a virtual reality avatar. *J Neural Eng*. 2016;13(3):036006. doi:10.1088/1741-2560/13/3/036006
52. Luu TP, He Y, Brown S, Nakagame S, Contreras-Vidal JL. Gait adaptation to visual kinematic perturbations using a real-time closed-loop brain-computer interface to a virtual reality avatar. *Journal of Neural Engineering*. 2016;13(3):036006. doi:10.1088/1741-2560/13/3/036006
53. Mazzoleni S, Focacci A, Franceschini M, et al. Robot-assisted end-effector-based gait training in chronic stroke patients: A multicentric uncontrolled observational retrospective clinical study. *NeuroRehabilitation*. 2017;40(4):483-492. doi:10.3233/NRE-161435
54. Mirelman A, Bonato P, Deutsch JE. Effects of Training With a Robot-Virtual Reality System Compared With a Robot Alone on the Gait of Individuals After Stroke. *Stroke*. 2009;40(1):169-174. doi:10.1161/STROKEAHA.108.516328
55. Mirelman A, Patritti BL, Bonato P, Deutsch JE. Effects of Robot-Virtual Reality Compared with Robot Alone Training on Gait Kinetics of Individuals Post Stroke. In: *IEEE*; 2007:65-69. doi:10.1109/ICVR.2007.4362132
56. Mirelman A, Patritti BL, Bonato P, Deutsch JE. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke. *Gait & Posture*. 2010;31(4):433-437. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.01.016
57. Molteni F, Gasperini G, Gaffuri M, et al. Wearable robotic exoskeleton for overground gait training in sub-acute and chronic hemiparetic stroke patients: preliminary results. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2017;53(5):676-684. doi:10.23736/S1973-9087.17.04591-9
58. Morone G, Annicchiarico R, Iosa M, et al. Overground walking training with the i-Walker, a robotic servo-assistive device, enhances balance in patients with subacute stroke: a randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1). doi:10.1186/s12984-016-0155-4
59. Morone G, Bragoni M, Iosa M, et al. Who may benefit from robotic-assisted gait training? A randomized clinical trial in patients with subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair*. 2011;25(7):636-644. doi:10.1177/1545968311401034
60. Nilsson A, Vreede KS, Häglund V, Kawamoto H, Sankai Y, Borg J. Gait training early after stroke with a new exoskeleton--the hybrid assistive limb: a study of safety and feasibility. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:92. doi:10.1186/1743-0003-11-92
61. Page SJ, Levine P, Teeppen J, Hartman EC. Resistance-based, reciprocal upper and lower limb locomotor training in chronic stroke: a randomized, controlled crossover study. *Clin Rehabil*. 2008;22(7):610-617. doi:10.1177/0269215508088987

62. Park B-S, Kim M-Y, Lee L-K, et al. Effects of conventional overground gait training and a gait trainer with partial body weight support on spatiotemporal gait parameters of patients after stroke. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(5):1603-1607. doi:10.1589/jpts.27.1603
63. Picelli A, Bacciga M, Melotti C, et al. Combined effects of robot-assisted gait training and botulinum toxin type A on spastic equinus foot in patients with chronic stroke: a pilot, single blind, randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2016;52(6):8.
64. Richards CL, Bouchard J-P, Brunei D. Task-Specific Physical Therapy for Optimization of Gait Recovery in Acute Stroke Patients. 1993:9.
65. Roy A, Forrester LW, Macko RF. Short-term ankle motor performance with ankle robotics training in chronic hemiparetic stroke. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2011;48(4):417. doi:10.1682/JRRD.2010.04.0078
66. Roy A, Forrester LW, Macko RF, Krebs HI. Changes in passive ankle stiffness and its effects on gait function in people with chronic stroke. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*. 2013;50(4):555. doi:10.1682/JRRD.2011.10.0206
67. Secoli R, Milot M-H, Rosati G, Reinkensmeyer DJ. Effect of visual distraction and auditory feedback on patient effort during robot-assisted movement training after stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2011;8:21. doi:10.1186/1743-0003-8-21
68. Seo K, Lee J, Park YJ. Autonomous hip exoskeleton saves metabolic cost of walking uphill. In: *IEEE*; 2017:246-251. doi:10.1109/ICORR.2017.8009254
69. Shimizu I, Yoshimoto T, Hiroi Y, Kawaki M, Sato D, Nagasawa M. Immediate Effects of Fast-speed Gait Training for Subacute Stroke Subjects: Influence of Exercise Speed while Using a Robot Suit Hybrid Assistive Limb; on Gait Velocity: ロボットスーツ HALを使用した練習方法の検討 — Rigakuryoho kagaku. 2017;32(2):189-194. doi:10.1589/rika.32.189
70. Skvortsova VI, Ivanova GE, Rumyantseva NA, Staritsyn AN, Kovrazhkina EA, Suvorov AY. Current Approaches to Restoring Walking in Patients during the Acute Phase of Cerebral Stroke. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2011;41(5):536-541. doi:10.1007/s11055-011-9451-4
71. Srivastava S. The effects of gait retraining on muscle coordination and functional walking ability post-stroke. 2014. <http://udspace.udel.edu/handle/19716/16828>. Accessed July 24, 2018.
72. Srivastava S, Kao P-C, Kim SH, et al. Assist-as-Needed Robot-Aided Gait Training Improves Walking Function in Individuals Following Stroke. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2015;23(6):956-963. doi:10.1109/TNSRE.2014.2360822
73. Stoller O, de Bruin ED, Schindelholz M, Schuster-Amft C, de Bie RA, Hunt KJ. Efficacy of Feedback-Controlled Robotics-Assisted Treadmill Exercise to Improve Cardiovascular Fitness Early After Stroke: A

Randomized Controlled Pilot Trial. J Neurol Phys Ther. 2015;39(3):156-165. doi:10.1097/NPT.0000000000000095

74. Stoller O, de Bruin ED, Schuster-Amft C, Schindelholz M, de Bie RA, Hunt KJ. Cardiovascular rehabilitation soon after stroke using feedback-controlled robotics-assisted treadmill exercise: study protocol of a randomised controlled pilot trial. *Trials*. 2013;14(1):304. doi:10.1186/1745-6215-14-304
75. Stoller O, Schindelholz M, Bichsel L, et al. Feedback-controlled robotics-assisted treadmill exercise to assess and influence aerobic capacity early after stroke: a proof-of-concept study. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2014;9(4):271-278. doi:10.3109/17483107.2013.785038
76. Stoller O, Waser M, Stammli L, Schuster C. Evaluation of robot-assisted gait training using integrated biofeedback in neurologic disorders. *Gait Posture*. 2012;35(4):595-600. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.11.031
77. Sung J, Choi S, Kim H, et al. Feasibility of Rehabilitation Training With a Newly Developed, Portable, Gait Assistive Robot for Balance Function in Hemiplegic Patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2017;41(2):178. doi:10.5535/arm.2017.41.2.178
78. Susko T, Swaminathan K, Krebs HI. MIT-Skywalker: A Novel Gait Neurorehabilitation Robot for Stroke and Cerebral Palsy. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2016;24(10):1089-1099. doi:10.1109/TNSRE.2016.2533492
79. Swinnen E, Lefeber N, Willaert W, et al. Motivation, expectations, and usability of a driven gait orthosis in stroke patients and their therapists. *Top Stroke Rehabil*. 2017;24(4):299-308. doi:10.1080/10749357.2016.1266750
80. Takeda Y, Arai H, Ishino Y, et al. The Effect of the Robot Suit HAL in Physical Therapy for Acute Phase Stroke. *Rigakuryoho kagaku*. 2015;30(4):577-582. doi:10.1589/rika.30.577
81. Tanaka N, Saitou H, Takao T, et al. Effects of gait rehabilitation with a footpad-type locomotion interface in patients with chronic post-stroke hemiparesis: a pilot study. *Clin Rehabil*. 2012;26(8):686-695. doi:10.1177/0269215511432356
82. Uutela AE. The effect of dynamic ankle-foot orthoses on the balance and gait of stroke patients. 2003. <http://usir.salford.ac.uk/14863/>. Accessed July 24, 2018.
83. Valero-Cuevas FJ, Klamroth-Marganska V, Winstein CJ, Riener R. Robot-assisted and conventional therapies produce distinct rehabilitative trends in stroke survivors. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1). doi:10.1186/s12984-016-0199-5
86. van Kammen K, Boonstra AM, van der Woude LHV, Reinders-Messelink HA, den Otter R. Differences in muscle activity and temporal step parameters between Lokomat guided walking and treadmill walking in post-stroke hemiparetic patients and healthy walkers. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2017;14(1). doi:10.1186/s12984-017-0244-z

87. Van Kammen K, Boonstra A, Reinders-Messelink H, den Otter R. The Combined Effects of Body Weight Support and Gait Speed on Gait Related Muscle Activity: A Comparison between Walking in the Lokomat Exoskeleton and Regular Treadmill Walking. Haddad JM, ed. PLoS ONE. 2014;9(9):e107323. doi:10.1371/journal.pone.0107323
88. Van Nunen MPM, Gerrits KHL, de Haan A, Janssen TWJ. Exercise intensity of robot-assisted walking versus overground walking in nonambulatory stroke patients. The Journal of Rehabilitation Research and Development. 2012;49(10):1537. doi:10.1682/JRRD.2011.12.0252
89. Watanabe H, Tanaka N, Inuta T, Saitou H, Yanagi H. Locomotion improvement using a hybrid assistive limb in recovery phase stroke patients: a randomized controlled pilot study. Arch Phys Med Rehabil. 2014;95(11):2006-2012. doi:10.1016/j.apmr.2014.07.002
90. Wright A, Stone K, Lambrick D, et al. A Community-Based, Bionic Leg Rehabilitation Program for Patients with Chronic Stroke: Clinical Trial Protocol. J Stroke Cerebrovasc Dis. 2018;27(2):372-380. doi:10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.09.002
91. Yang HE, Kyeong S, Lee SH, et al. Structural and functional improvements due to robot-assisted gait training in the stroke-injured brain. Neurosci Lett. 2017;637:114-119. doi:10.1016/j.neulet.2016.11.039
92. Yoshikawa K, Mizukami M, Kawamoto H, et al. Gait training with Hybrid Assistive Limb enhances the gait functions in subacute stroke patients: A pilot study. NeuroRehabilitation. 2017;40(1):87-97. doi:10.3233/NRE-161393
93. Yoshimoto T, Shimizu I, Hiroi Y, Kawaki M, Sato D, Nagasawa M. Feasibility and efficacy of high-speed gait training with a voluntary driven exoskeleton robot for gait and balance dysfunction in patients with chronic stroke: nonrandomized pilot study with concurrent control. Int J Rehabil Res. 2015;38(4):338-343. doi:10.1097/MRR.0000000000000132
94. Zanutto D, Rosati G, Spagnol S, Stegall P, Agrawal SK. Effects of Complementary Auditory Feedback in Robot-Assisted Lower Extremity Motor Adaptation. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2013;21(5):775-786. doi:10.1109/TNSRE.2013.2242902
95. Zanutto D, Stegall P, Agrawal SK. Adaptive assist-as-needed controller to improve gait symmetry in robot-assisted gait training. In: IEEE; 2014:724-729. doi:10.1109/ICRA.2014.6906934
96. Zhou Z, Sun Y, Wang N, Gao F, Wei K, Wang Q. Robot-Assisted Rehabilitation of Ankle Plantar Flexors Spasticity: A 3-Month Study with Proprioceptive Neuromuscular Facilitation. Frontiers in Neurobotics. 2016;10. doi:10.3389/fnbot.2016.00016

Etudes attendant une classification

1. Peurala SH, Huuskonen P, Jäkälä P, et al. Effects of intensive therapy using gait trainer or floor walking exercises early after stroke. J Rehabil Med. 2009;41(3):166-173. doi:10.2340/16501977-0304

Etudes en cours

1. Brissot, Régine L Bruno. Efficacy of a Mechanical Gait Repetitive Training Technique in Hemiparetic Stroke Patients (AVC). March 2006. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00284115>. Accessed July 24, 2018.
2. Chanubol, Ratanapat. Robotic Versus Conventional Training on Hemiplegic Gait. January 2011. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01187277>. Accessed July 24, 2018.
3. Chou, Li-Wei. Clinical Applicability of Robot-assisted Gait Training System in Acute Stroke Patients. May 2016. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02755415>. Accessed July 24, 2018.
4. Contreras-Vidal, Jose L. Human-Machine System for the H2 Lower Limb Exoskeleton. March 2014. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02114450>. Accessed July 24, 2018.
5. Joon-Ho, Shin. Comparisons of Two Types of Robot Assisted Gait Training. April 2016. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03341065>. Accessed July 24, 2018.
6. Kim, Jung Hwan. Clinical Trial of Robot-assisted-gait-training (RAGT) in Stroke Patients -. March 2014. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02694302>. Accessed July 24, 2018.
7. Kim, Yun-Hee. Effects of Gait Training With Assistance of a Robot-Driven Gait Orthosis in Hemiparetic Patients After Stroke. May 2007. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT00530543>. Accessed July 24, 2018.
8. Meng, Nai-Hsin. Robot-assisted Gait Training for Patients With Stroke. May 2016. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02781831>. Accessed July 24, 2018.
9. Sale, Patrizio F Marco. Robot Walking Rehabilitation in Stroke Patients. September 2012. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01678547>. Accessed July 24, 2018.
10. Waldner, Andreas T Christopher, Saltuari, Leopold. Comparative Study of GangTrainer GT1, Lokomat and Conventional Physiotherapy. August 2010. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01146587>. Accessed July 24, 2018.
11. Effects of Locomotion Training With Assistance of a Robot-Driven Gait Orthosis in Hemiparetic Patients After Subacute Stroke. March 2012. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT01726998>. Accessed July 24, 2018.

B. Echelles utilisées

Echelle: Berg balance Scale:

The Berg Balance Scale (BBS) was developed to measure balance among older people with impairment in balance function by assessing the performance of functional tasks. It is a valid instrument used for evaluation of the effectiveness of interventions and for quantitative descriptions of function in clinical practice and research. The BBS has been evaluated in several reliability studies. *A recent study of the BBS, which was completed in Finland, indicates that a change of eight (8) BBS points is required to reveal a genuine change in function between two assessments among older people who are dependent in ADL and living in residential care facilities.*

Description:

14-item scale designed to measure balance of the older adult in a clinical setting.

Equipment needed: Ruler, two standard chairs (one with arm rests, one without), footstool or step, stopwatch or wristwatch, 15 ft walkway

Completion:

Time: 15-20 minutes

Scoring: A five-point scale, ranging from 0-4. "0" indicates the lowest level of function and "4" the highest level of function. Total Score = 56

Interpretation:

41-56 = low fall risk
21-40 = medium fall risk
0-20 = high fall risk

A change of 8 points is required to reveal a genuine change in function between 2 assessments.

SITTING TO STANDING

INSTRUCTIONS: Please stand up. Try not to use your hand for support.

- () 4 able to stand without using hands and stabilize independently
- () 3 able to stand independently using hands
- () 2 able to stand using hands after several tries
- () 1 needs minimal aid to stand or stabilize
- () 0 needs moderate or maximal assist to stand

STANDING UNSUPPORTED

INSTRUCTIONS: Please stand for two minutes without holding on.

- () 4 able to stand safely for 2 minutes
- () 3 able to stand 2 minutes with supervision
- () 2 able to stand 30 seconds unsupported
- () 1 needs several tries to stand 30 seconds unsupported
- () 0 unable to stand 30 seconds unsupported

If a subject is able to stand 2 minutes unsupported, score full points for sitting unsupported. Proceed to item #4.

SITTING WITH BACK UNSUPPORTED BUT FEET SUPPORTED ON FLOOR OR ON A STOOL

INSTRUCTIONS: Please sit with arms folded for 2 minutes.

- () 4 able to sit safely and securely for 2 minutes
- () 3 able to sit 2 minutes under supervision
- () 2 able to sit 30 seconds
- () 1 able to sit 10 seconds
- () 0 unable to sit without support 10 seconds

STANDING TO SITTING

INSTRUCTIONS: Please sit down.

- () 4 sits safely with minimal use of hands
- () 3 controls descent by using hands
- () 2 uses back of legs against chair to control descent
- () 1 sits independently but has uncontrolled descent
- () 0 needs assist to sit

TRANSFERS

INSTRUCTIONS: Arrange chair(s) for pivot transfer. Ask subject to transfer one way toward a seat with armrests and one way toward a seat without armrests. You may use two chairs (one with and one without armrests) or a bed and a chair.

- () 4 able to transfer safely with minor use of hands
- () 3 able to transfer safely definite need of hands
- () 2 able to transfer with verbal cuing and/or supervision
- () 1 needs one person to assist
- () 0 needs two people to assist or supervise to be safe

STANDING UNSUPPORTED WITH EYES CLOSED

INSTRUCTIONS: Please close your eyes and stand still for 10 seconds.

- () 4 able to stand 10 seconds safely
- () 3 able to stand 10 seconds with supervision
- () 2 able to stand 3 seconds
- () 1 unable to keep eyes closed 3 seconds but stays safely
- () 0 needs help to keep from falling

STANDING UNSUPPORTED WITH FEET TOGETHER

INSTRUCTIONS: Place your feet together and stand without holding on.

- () 4 able to place feet together independently and stand 1 minute safely
- () 3 able to place feet together independently and stand 1 minute with supervision
- () 2 able to place feet together independently but unable to hold for 30 seconds
- () 1 needs help to attain position but able to stand 15 seconds feet together
- () 0 needs help to attain position and unable to hold for 15 seconds

choices of which leg to stand on or how far to reach are left to the subject. Poor judgment will adversely influence the performance and the scoring.

Equipment required for testing is a stopwatch or watch with a second hand, and a ruler or other indicator of 2, 5, and 10 inches. Chairs used during testing should be a reasonable height. Either a step or a stool of average step height may be used for item # 12.

REACHING FORWARD WITH OUTSTRETCHED ARM WHILE STANDING

INSTRUCTIONS: Lift arm to 90 degrees. Stretch out your fingers and reach forward as far as you can. (Examiner places a ruler at the end of fingertips when arm is at 90 degrees. Fingers should not touch the ruler while reaching forward. The recorded measure is the distance forward that the fingers reach while the subject is in the most forward lean position. When possible, ask subject to use both arms when reaching to avoid rotation of the trunk.)

- () 4 can reach forward confidently 25 cm (10 inches)
- () 3 can reach forward 12 cm (5 inches)
- () 2 can reach forward 5 cm (2 inches)
- () 1 reaches forward but needs supervision
- () 0 loses balance while trying/requires external support

PICK UP OBJECT FROM THE FLOOR FROM A STANDING POSITION

INSTRUCTIONS: Pick up the shoe/slipper, which is in front of your feet.

- () 4 able to pick up slipper safely and easily
- () 3 able to pick up slipper but needs supervision
- () 2 unable to pick up but reaches 2-5 cm (1-2 inches) from slipper and keeps balance independently
- () 1 unable to pick up and needs supervision while trying
- () 0 unable to try/needs assist to keep from losing balance or falling

TURNING TO LOOK BEHIND OVER LEFT AND RIGHT SHOULDERS WHILE STANDING

INSTRUCTIONS: Turn to look directly behind you over toward the left shoulder. Repeat to the right. (Examiner may pick an object to look at directly behind the subject to encourage a better twist turn.)

- () 4 looks behind from both sides and weight shifts well
- () 3 looks behind one side only other side shows less weight shift
- () 2 turns sideways only but maintains balance
- () 1 needs supervision when turning
- () 0 needs assist to keep from losing balance or falling

TURN 360 DEGREES

INSTRUCTIONS: Turn completely around in a full circle. Pause. Then turn a full circle in the other direction.

- () 4 able to turn 360 degrees safely in 4 seconds or less
- () 3 able to turn 360 degrees safely one side only 4 seconds or less
- () 2 able to turn 360 degrees safely but slowly
- () 1 needs close supervision or verbal cuing
- () 0 needs assistance while turning

PLACE ALTERNATE FOOT ON STEP OR STOOL WHILE STANDING UNSUPPORTED

INSTRUCTIONS: Place each foot alternately on the step/stool. Continue until each foot has touched the step/stool four times.

- () 4 able to stand independently and safely and complete 8 steps in 20 seconds
- () 3 able to stand independently and complete 8 steps in > 20 seconds
- () 2 able to complete 4 steps without aid with supervision
- () 1 able to complete > 2 steps needs minimal assist
- () 0 needs assistance to keep from falling/unable to try

STANDING UNSUPPORTED ONE FOOT IN FRONT

INSTRUCTIONS: (DEMONSTRATE TO SUBJECT) Place one foot directly in front of the other. If you feel that you cannot place your foot directly in front, try to step far enough ahead that the heel of your forward foot is ahead of the toes of the other foot. (To score 3 points, the length of the step should exceed the length of the other foot and the width of the stance should approximate the subject's normal stride width.)

- () 4 able to place foot tandem independently and hold 30 seconds
- () 3 able to place foot ahead independently and hold 30 seconds
- () 2 able to take small step independently and hold 30 seconds
- () 1 needs help to step but can hold 15 seconds
- () 0 loses balance while stepping or standing

STANDING ON ONE LEG

INSTRUCTIONS: Stand on one leg as long as you can without holding on.

- () 4 able to lift leg independently and hold > 10 seconds
- () 3 able to lift leg independently and hold 5-10 seconds
- () 2 able to lift leg independently and hold ≥ 3 seconds
- () 1 tries to lift leg unable to hold 3 seconds but remains standing independently.
- () 0 unable to try of needs assist to prevent fall

() TOTAL SCORE (Maximum = 56)

Echelle: Functional Ambulation Classification:

FAC	Ambulation Description	Definition
0	Nonfunctional ambulation	Subject cannot ambulate, ambulates in parallel bars only, or requires supervision or physical assistance from more than one person to ambulate safely outside of parallel bars
1	Ambulator-Dependent for Physical Assistance Level II	Subject requires manual contacts of no more than one person during ambulation on level surfaces to prevent falling. Manual contacts are continuous and necessary to support body weight as well as maintain balance and/or assist coordination
2	Ambulator-Dependent for Physical Assistance Level I	Subject requires manual contact of no more than one person during ambulation on level surfaces to prevent falling. Manual contact consists of continuous or intermittent light touch to assist balance or coordination
3	Ambulator-Dependent for Supervision	Subject can physically ambulate on level surfaces without manual contact of another person but for safety requires standby guarding on no more than one person because of poor judgment, questionable cardiac status, or the need for verbal cuing to complete the task.
4	Ambulator-Independent Level Surfaces only	Subject can ambulate independently on level surfaces but requires supervision or physical assistance to negotiate any of the following: stairs, inclines, or non-level surfaces.
5	Ambulator-Independent	Subject can ambulate independently on nonlevel and level surfaces, stairs, and inclines.

Echelle: Timed Up and Go:

Nom : _____ Prénom : _____ Age : _____ Date : _____ Evalueur : _____

Up & Go test			
	Fait : 1	Ne fait pas : 0	Non réalisable
Inviter la personne à :			
• Se lever d'un fauteuil avec accoudoirs :	☐	☐	☐
• Traverser la pièce - distance de 3 mètres :	☐	☐	☐
• Faire demi-tour :	☐	☐	☐
• Revenir s'asseoir :	☐	☐	☐
• Temps nécessaire : _____ secondes. • Score : _____ / 4			
<i>Interprétation : risque de chute si score ≤ 1 et temps de réalisation > 20 secondes. On note également les lenteurs d'exécution, les hésitations, une marche trébuchante.</i>			
Commentaires : _____ _____			

Test Unipodal			
Demander à la personne de rester en appui sur 1 pied sans aide pendant au moins 5 secondes.			
	Oui	Non	Non réalisable
• Pied droit :	☐	☐	☐
• Pied gauche :	☐	☐	☐

Robis tool: échelle d'évaluation méthodologique des méta-analyses:

Y=YES, PY=PROBABLY YES, PN=PROBABLY NO, N=NO, NI=NO INFORMATION

DOMAIN 1: STUDY ELIGIBILITY CRITERIA	
Describe the study eligibility criteria, any restrictions on eligibility and whether there was evidence that objectives and eligibility criteria were pre-specified:	
1.1 Did the review adhere to pre-defined objectives and eligibility criteria?	Y/PY/PN/N/NI
1.2 Were the eligibility criteria appropriate for the review question?	Y/PY/PN/N/NI
1.3 Were eligibility criteria unambiguous?	Y/PY/PN/N/NI
1.4 Were all restrictions in eligibility criteria based on study characteristics appropriate (e.g. date, sample size, study quality, outcomes measured)?	Y/PY/PN/N/NI
1.5 Were any restrictions in eligibility criteria based on sources of information appropriate (e.g. publication status or format, language, availability of data)?	Y/PY/PN/N/NI
Concerns regarding specification of study eligibility criteria	LOW/HIGH/UNCLEAR
Rationale for concern:	
DOMAIN 2: IDENTIFICATION AND SELECTION OF STUDIES	
Describe methods of study identification and selection (e.g. number of reviewers involved):	
2.1 Did the search include an appropriate range of databases/electronic sources for published and unpublished reports?	Y/PY/PN/N/NI
2.2 Were methods additional to database searching used to identify relevant reports?	Y/PY/PN/N/NI
2.3 Were the terms and structure of the search strategy likely to retrieve as many eligible studies as possible?	Y/PY/PN/N/NI
2.4 Were restrictions based on date, publication format, or language appropriate?	Y/PY/PN/N/NI
2.5 Were efforts made to minimise error in selection of studies?	Y/PY/PN/N/NI
Concerns regarding methods used to identify and/or select studies	LOW/HIGH/UNCLEAR
Rationale for concern:	
DOMAIN 3: DATA COLLECTION AND STUDY APPRAISAL	
Describe methods of data collection, what data were extracted from studies or collected through other means, how risk of bias was assessed (e.g. number of reviewers involved) and the tool used to assess risk of bias:	
3.1 Were efforts made to minimise error in data collection?	Y/PY/PN/N/NI
3.2 Were sufficient study characteristics available for both review authors and readers to be able to interpret the results?	Y/PY/PN/N/NI
3.3 Were all relevant study results collected for use in the synthesis?	Y/PY/PN/N/NI
3.4 Was risk of bias (or methodological quality) formally assessed using appropriate criteria?	Y/PY/PN/N/NI
3.5 Were efforts made to minimise error in risk of bias assessment?	Y/PY/PN/N/NI
Concerns regarding methods used to collect data and appraise studies	LOW/HIGH/UNCLEAR
Rationale for concern:	

DOMAIN 4: SYNTHESIS AND FINDINGS	
Describe synthesis methods:	
4.1 Did the synthesis include all studies that it should?	Y/PY/PN/N/NI
4.2 Were all pre-defined analyses reported or departures explained?	Y/PY/PN/N/NI
4.3 Was the synthesis appropriate given the nature and similarity in the research questions, study designs and outcomes across included studies?	Y/PY/PN/N/NI
4.4 Was between-study variation (heterogeneity) minimal or addressed in the synthesis?	Y/PY/PN/N/NI
4.5 Were the findings robust, e.g. as demonstrated through funnel plot or sensitivity analyses?	Y/PY/PN/N/NI
4.6 Were biases in primary studies minimal or addressed in the synthesis?	Y/PY/PN/N/NI
Concerns regarding the synthesis and findings	LOW/HIGH/UNCLEAR
Rationale for concern:	
RISK OF BIAS IN THE REVIEW	
Describe whether conclusions were supported by the evidence:	
A. Did the interpretation of findings address all of the concerns identified in Domains 1 to 4?	Y/PY/PN/N/NI
B. Was the relevance of identified studies to the review's research question appropriately considered?	Y/PY/PN/N/NI
C. Did the reviewers avoid emphasizing results on the basis of their statistical significance?	Y/PY/PN/N/NI
Risk of bias in the review	RISK: LOW/HIGH/UNCLEAR
Rationale for risk:	

VIII. SERMENT MEDICAL

Au moment d'être admis à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me les demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré et méprisé si j'y manque.

TITRE et RESUME en français : Méta-analyse : utilisation de la robotique pour la rééducation à la marche après un accident vasculaire cérébral

Introduction : Les robots de rééducation sont souvent utilisés en rééducation et pourraient être efficaces dans l'amélioration de la marche après un accident vasculaire cérébral. *Objectif* : Evaluer l'efficacité de la rééducation robotisée à la marche dans la récupération de la marche en post accident vasculaire cérébral. *Méthodes* : Nous avons inclus tous les essais contrôlés randomisés incluant des adultes ayant présenté un accident vasculaire cérébral et évaluant des robots de rééducation à la marche +/- associés à des systèmes électromécaniques versus une kinésithérapie standard. Nous avons cherché dans MEDLINE, EMBASE, CENTRAL, CINAHL, OPENGREY, OPENSIGLE, PEDRO, WEB OF SCIENCE, CLINICAL TRIALS; des conférences ou congrès et des bibliographies d'autres méta-analyses. Deux investigateurs ont recherché séparément les essais et extrait le data des publications depuis les plus anciennes que nous avons pu trouvé jusqu'à Octobre 2017. Nous avons collecté les moyennes de vitesse de marche, de l'endurance à la marche sur 6 minutes, du Berg Balance Scale (BBS), de la Functional Ambulation Classification (FAC), du Timed Up and Go (TUG) au début des études et après le programme de rééducation. Nous avons aussi noté: la méthode de randomisation, la méthode d'aveugle, les perdus de vue, la méthode d'attrition, le pays, le nombre de participants, la durée de la maladie, l'âge moyen par bras, les types d'intervention et les dates d'évaluation. *Résultats* : Nous avons inclus 42 études évaluant 1243 patients. Nous avons proposé une évaluation en sous groupe et les résultats ont montré que la combinaison de la kinésithérapie, des méthodes d'allègement du poids du corps et de la rééducation robotisée à la marche était plus efficace sur la kinésithérapie seule. Nous constatons un gain en vitesse de marche (+ 0,09 m/s (95% CI 0,02 à 0,15); P= 0,009) et en score de Functional Ambulation Classification (+ 0,55 (95% CI 0,10 à 1,00); P=0,016). D'autant plus, que nous avons prouvé par méta-régression que les résultats étaient sous-estimés par les résultats des études montrant un biais d'attrition. *Conclusion* : Les patients ayant contracté un accident vasculaire cérébral qui bénéficient d'un programme de rééducation associant la kinésithérapie, les techniques d'allègement du poids du corps et la rééducation robotisée à la marche ont de meilleurs résultats en terme de vitesse de marche et de score fonctionnel de marche (FAC) que les patients bénéficiant d'une kinésithérapie seule.

TITRE et RESUME en anglais: Meta-analysis: use of robot for gait training after a stroke

Background: Robot devices are often used in rehabilitation and might be efficient to improve walking capacities after stroke. *Objective*: To investigate the effects of robotic-assisted-gait-training (RAGT) for recovering of the gait after a stroke. *Methods*: We included all randomized controlled trials in adults diagnosed with stroke, evaluating robotic-assisted gait training +/- combined with electromechanical devices versus normal care. We searched in MEDLINE, EMBASE, CENTRAL, CINAHL, OPENGREY, OPENSIGLE, PEDRO, WEB OF SCIENCE, CLINICAL TRIALS; conference proceedings and bibliography of other meta-analysis. Two review authors researched separately the trials and extracted data from published reports from the oldest we could find until October 2017. We collected the mean values of walking speed, walking endurance, the Berg Balance Scale (BBS), the Functional Ambulation Classification (FAC) and the Timed Up and Go (TUG) at the beginning of studies and after the rehabilitation program. We also noted: the method of randomization, the blinding of outcome assessors, the drop-outs, the intention to treat (or not), the country, the number of participants, the disease duration, the mean age, the features of interventions, the date of outcomes assessment. *Results*: We included 42 studies involving 1243 participants. We proposed an analysis by subgroup of intervention and we found that combination of physiotherapy, body-weight-support-training and robot-assisted-gait-training was better than physiotherapy alone for gait speed outcome (+ 0,09 m/s (95% CI 0,02 to 0,15); P= 0,009) and for Functional Ambulation Classification outcome (+ 0,55 (95% CI 0,10 to 1,00); P=0,016). What is more, we proved by metaregression that these results were underestimated by the attrition bias of studies. *Conclusions*: Stroke patients who receive combination of physiotherapy, body-weight-support-training and robot-assisted-gait-training are more likely to progress their gait speed and their walking autonomy (FAC).

DISCIPLINE : Médecine Physique et Réadaptation

MOTS-CLES : Accident Vasculaire Cérébral, Marche, Rééducation, Robot

INTITULE ET ADRESSE DE L'U.F.R. OU DU LABORATOIRE : U.F.R Des Sciences Médicales