

Faculté des sciences de la motricité

Comparaison de l'efficacité de la stimulation transcrânienne à courant direct et de la stimulation électrique fonctionnelle dans la prise en charge des patients post-AVC.

Une revue systématique

Auteurs : Denis Chloé et Jadoul Margaux
Promotrices : Cugnon Sophie et Dutrieux Sarah
Co-promotrice : Detrembleur Christine
Année académique 2024-2025
Master en kinésithérapie et réadaptation [60.0] - KINE2M

UCLouvain FSM : Déclaration d'utilisation des aides et outils Intelligence Artificielle (IA)

J'ai utilisé l'IA pour ce projet : ☒ Oui
☐ Non

Si vous avez utilisé l'IA dans ce travail, veuillez préciser comment ci-dessous :

Texte (par exemple, vérification orthographique, génération de texte, production d'idées, ...)

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

L'outil a uniquement servi d'aide pour reformuler, corriger ou améliorer certaines phrases.

Images

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

--

Code, aide à la programmation, ou algorithmes

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

--

Autres utilisations

Le cas échéant, veuillez résumer (500 caractères maximum):

--

Je connais les règles de l'UCLouvain en matière d'intelligence artificielle. Je déclare que toute utilisation d'aides ou d'outils d'intelligence artificielle est explicitement mentionnée dans le présent formulaire de déclaration.

<i>Nom</i>	Denis Jadoul	<i>Prénom</i>	Chloé Margaux
------------	-----------------	---------------	------------------

Remerciements

Nous tenons à remercier sincèrement toutes les personnes qui nous ont accompagnées et soutenues dans la réalisation de ce mémoire.

Tout d'abord, un grand merci à nos promotrices, Sarah Dutrieux et Sophie Cugnon, pour leur disponibilité, leur accompagnement motivant tout au long du travail, leur expertise précieuse et leur bienveillance. Leur présence constante, toujours accompagnée d'un sourire, a largement contribué à faire de cette expérience un moment à la fois positif et enrichissant. Leur soutien a été essentiel tout au long de ce mémoire.

Nous remercions également notre co-promotrice, Madame la Professeure Christine Detrembleur, pour ses conseils précieux et son regard éclairé, qui nous ont permis de structurer et d'orienter au mieux notre démarche.

Merci aussi à Madame Sophie Patris, pour son aide lors du démarrage de notre travail et ses apports importants dans la partie méthodologie.

Enfin, nous remercions chaleureusement nos familles, nos ami(e)s et nos proches pour leur soutien constant, leurs relectures attentives, leur patience et leurs encouragements. Leur présence nous a beaucoup apporté.

Table des matières

ABRÉVIATIONS		
1. INTRODUCTION		1
2. METHODE		3
2.1. Protocole.....		3
2.2. Stratégies de recherche.....		3
2.3. Critères d'éligibilité.....		5
2.4. Sélection des études.....		5
2.5. Extraction des données.....		6
2.6. Qualité méthodologique des études.....		6
2.7. Interprétation des données		7
3. RESULTATS		8
3.1. Sélection des études.....		8
3.2. Qualité des études		9
3.3. Caractéristiques des études sélectionnées		9
3.3.1. Patients inclus		9
3.3.2. Traitements		10
3.3.3. Protocoles		12
3.3.4. Variables analysées		12
3.4. Principaux résultats (tableau 4)		17
3.4.1. La tDCS		17
3.4.2. La FES		26
3.4.3. La FES combinée à la tDCS.....		27
3.4.4. La tDCS en comparaison à la FES.....		31
4. DISCUSSION		34
4.1. Contexte.....		34
4.2. Résultats		34
4.2.1. Analyse des effets de la tDCS et de la FES selon les échelles d'évaluation. 35		
4.2.2. Limites		44
4.2.3. Perspectives		45
5. CONCLUSION		47
6. BIBLIOGRAPHIE		49
7. ANNEXES		53

ABRÉVIATIONS

10MWT	10-Meter Walk Test
atDCS	Stimulation transcrânienne à courant direct anodale
AVC	Accident vasculaire cérébral
BBS	Berg Balance Scale
BCI	Brain-computer interface
CoP	Centre de pression au sol
ctDCS	Stimulation transcrânienne à courant direct cathodale
dtDCS	Stimulation transcrânienne à courant direct double
FDS	Footdrop stimulator
FES	Stimulation électrique fonctionnelle
FMA	Echelle de Fugl-Meyer
FMA-LE	Fugl-Meyer Assessment Lower Extremity
HD-tDCS	Stimulation transcrânienne à courant direct de haute définition
IC	Intervalle de confiance
IQR	Intervalle interquartile
M1	Cortex moteur primaire
MAS	Ashworth Modified Scale
MD	Différence moyenne
RAGT	Robot-assisted gait training
RCT	Essai randomisé contrôlé
RT	Rehabilitation treatment
SMD	Différence moyenne standardisée
tDCS	Stimulation transcrânienne à courant direct
TUG	Timed up and go

1. INTRODUCTION

Un accident vasculaire cérébral (AVC) est un trouble neurologique qui affecte les fonctions cérébrales de manière temporaire ou permanente. Il est causé par des lésions cérébrales localisées, dues à un manque prolongé d'apport en oxygène au cerveau. Ce déficit résulte fréquemment de pathologies telles qu'un saignement ou une ischémie au niveau des vaisseaux cérébraux (Cha & Hwang, 2022).

L'AVC est la deuxième cause de décès dans le monde (Divya & Narkeesh, 2022). Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), chaque année, 15 millions de personnes font un AVC : 5 millions d'entre elles meurent et 5 millions souffrent d'une incapacité permanente.

Il existe deux types d'AVC : ischémique et hémorragique.

Tout d'abord, nous retrouvons l'AVC ischémique dans 80 % des cas. Les pathologies impliquées incluent l'athérosclérose, la dissection artérielle ou l'embolie artério-artérielle. Quand les artères principales sont obstruées par un thrombus ou un embolo, le flux sanguin vers certaines parties du cerveau diminue. Cette région subit des dommages irréversibles, formant une zone d'infarctus. En revanche, les tissus voisins, qui forment la « pénombre », peuvent encore être sauvés avec une reperfusion rapide.

Ensuite, dans 20 % des cas, nous retrouvons l'AVC hémorragique intracrânien. Il survient généralement à la suite d'une rupture de petites artères, souvent causée par une vasculopathie hypertensive, une angiopathie amyloïde cérébrale, des troubles de la coagulation, ainsi que d'autres affections vasculaires. La rupture d'une petite artère donne lieu à l'expansion d'un hématome et à la formation d'un œdème autour de celui-ci. Ces modifications vont entraîner une élévation de la pression intracrânienne, ce qui peut réduire la perfusion cérébrale et provoquer des lésions ischémiques (Tadi & Lui, 2024).

L'AVC entraîne des conséquences au niveau du système nerveux central. Les manifestations cliniques varient en fonction de la localisation des lésions cérébrales.

Les symptômes les plus fréquents sont les troubles moteurs, sensoriels, perceptifs et cognitifs. Ils impactent considérablement les activités quotidiennes et la participation des patients dans la vie de tous les jours. Des troubles moteurs sont présents chez 80 % des survivants d'un AVC. Ceux-ci se traduisent par une diminution de la force musculaire, des problèmes d'équilibre et une tension musculaire anormale, limitant l'autonomie des patients dans leurs activités quotidiennes et altérant leur qualité de vie (Zhang et al., 2021). La restauration des fonctions des membres inférieurs constitue dès lors un objectif central de la rééducation post-AVC.

Concernant les traitements, la prise en charge post-AVC repose sur une approche pluridisciplinaire. Les équipes de réadaptation comprennent des médecins, des kinésithérapeutes, des logopèdes, des ergothérapeutes,...

Au cours des dernières années, la stimulation électrique a été couramment employée en pratique clinique pour favoriser la récupération des fonctions des membres après un AVC.

La stimulation électrique fonctionnelle (FES) est la technique de stimulation électrique la plus fréquemment employée pour traiter les dysfonctionnements des membres inférieurs (Fang et al., 2023). Elle consiste à transmettre de courtes impulsions électriques aux muscles à l'aide d'électrodes de surface (Salazar et al., 2020).

La stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS) est également utilisée dans le traitement en post-AVC. C'est une méthode non invasive et indolore de modulation corticomotrice, généralement sans effets secondaires notables (Bastani & Jaberzadeh, 2012).

Cette revue systématique a pour objectif d'examiner l'impact de la stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS) et de la stimulation électrique fonctionnelle (FES) sur la fonction des membres inférieurs chez les patients post-AVC.

2. METHODE

2.1. Protocole

La rédaction de ce mémoire a été effectuée selon le protocole *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA 2020). La liste de vérification, rédigée par Moher et al. (2009) et mise à jour en 2020, a été employée dans cette revue. Composée d'une checklist de 27 critères essentiels et d'un diagramme de flux, elle a servi de fil conducteur pour assurer une approche méthodologique rigoureuse et garantir la qualité et la transparence de la revue (**annexe 1**).

2.2. Stratégies de recherche

Afin de cibler la problématique de ce mémoire, la question de recherche suivante a été formulée : « Quelle est l'efficacité de la tDCS comparée à la FES sur la récupération de la motricité des membres inférieurs chez les patients post-AVC ? ». Afin de réaliser une recherche d'articles la plus pertinente possible, les bases de données PubMed, Embase et Scopus ont été utilisées, et les mots-clés ont été définis à l'aide des critères PICOS. (**tableau 1**).

Tableau 1 : Critères PICOS

Critères PICOS	
Population/participants	Adultes (>18 ans) ayant subi un accident vasculaire cérébral
Intervention	Stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS)
Comparaison/comparateur	Stimulation électrique fonctionnelle (FES)
Outcome/critère de jugement	Fonction motrice des membres inférieurs
Study design/type d'étude	Les essais randomisés contrôlés (RCT), évalués avec l'échelle PEDro Les méta-analyses et revues systématiques évaluées avec l'échelle de Downs and Black

À partir des critères définis ci-dessus, nous avons sélectionné des mots-clés, identifié des synonymes et ajouté des opérateurs booléens, afin de concevoir des équations de recherche pour optimiser la pertinence des résultats sur chaque base de données. L'assemblage de ces termes donne les équations de recherche présentées aux **figures 1, 2 et 3**.

('cerebrovascular accident' OR 'cva' OR 'brain accident' OR 'brain attack' OR 'brain blood flow disturbance' OR 'brain insult' OR 'brain insultus' OR 'brain vascular accident' OR 'cerebral stroke' OR 'cerebral vascular accident' OR 'cerebral vascular insufficiency' OR 'cerebro vascular accident' OR 'cerebrovascular accident' OR 'cerebrovascular arrest' OR 'cerebrovascular failure' OR 'cerebrovascular insult' OR 'cerebrum vascular accident' OR 'ischaemic seizure' OR 'ischemic seizure' OR 'stroke' OR 'thrombotic stroke' OR 'stroke rehabilitation' OR 'ischemic stroke rehabilitation' OR 'post-stroke rehabilitation' OR 'stroke rehab' OR 'stroke rehabilitation') AND ('transcranial electrical stimulation' OR 'transcranial electrical stimulation' OR 'transcranial direct current stimulation' OR 'tdcs (transcranial direct current stimulation)' OR 'transcranial direct current stimulation' OR 'transcranial alternating current stimulation' OR 'tacs (transcranial alternative current stimulation)' OR 'transcranial alternating current stimulation') AND ('functional electrical stimulation' OR 'fes (functional electrical stimulation)' OR 'functional electric stimulation' OR 'functional electrical stimulation' OR 'functional electrostimulation' OR 'neuromuscular electrical stimulation' OR 'nmes (neuromuscular electrical stimulation)' OR 'neuromuscular electric stimulation' OR 'neuromuscular electrical stimulation' OR 'neuromuscular electricostimulation')

Figure 1 : Equation de recherche du 15/02/2025 sur Embase (109 résultats)

(((((("Stroke"[Mesh]) OR ("cerebrovascular accident"[Title/Abstract] OR "cva"[Title/Abstract] OR "brain attack"[Title/Abstract] OR "brain insult"[Title/Abstract] OR "brain vascular accident"[Title/Abstract] OR "cerebral stroke"[Title/Abstract] OR "cerebral vascular accident"[Title/Abstract] OR "cerebral vascular insufficiency"[Title/Abstract] OR "cerebro vascular accident"[Title/Abstract] OR "cerebrovascular accident"[Title/Abstract] OR "cerebrovascular failure"[Title/Abstract] OR "cerebrovascular insult"[Title/Abstract] OR "ischemic seizure"[Title/Abstract] OR "stroke"[Title/Abstract] OR "thrombotic stroke"[Title/Abstract] OR "stroke rehabilitation"[Title/Abstract] OR "ischemic stroke rehabilitation"[Title/Abstract] OR "post-stroke rehabilitation"[Title/Abstract] OR "stroke rehab"[Title/Abstract] OR "stroke rehabilitation"[Title/Abstract])) AND ("Transcranial Direct Current Stimulation"[MeSH Terms] OR "transcranial electrical stimulation"[Title/Abstract] OR "transcranial alternating current stimulation"[Title/Abstract] OR "transcranial alternative current stimulation"[Title/Abstract])) AND ("Electric Stimulation Therapy"[MeSH Terms] OR "functional electrical stimulation"[Title/Abstract] OR "functional electric stimulation"[Title/Abstract] OR "functional electrostimulation"[Title/Abstract] OR "neuromuscular electrical stimulation"[Title/Abstract] OR "neuromuscular electric stimulation"[Title/Abstract])) AND ("Muscle Spasticity"[Title/Abstract] OR "Treatment Outcome"[All Fields] OR "Therapeutic Equivalency"[All Fields] OR "Recovery of Function"[Title/Abstract] OR "Motor Activity"[Title/Abstract] OR "Patient Outcome Assessment"[Title/Abstract] OR "Stroke Rehabilitation"[Title/Abstract])) AND ("Randomized Controlled Trial" [Publication Type])

Figure 2 : Equation de recherche du 15/02/2025 sur Pubmed (128 résultats)

(TITLE ("Stroke" OR "cerebrovascular accident" OR "cva" OR "brain attack" OR "brain insult" OR "brain vascular accident" OR "cerebral stroke" OR "cerebral vascular accident" OR "cerebral vascular insufficiency" OR "cerebro vascular accident" OR "cerebrovascular accident" OR "cerebrovascular failure" OR "cerebrovascular insult" OR "ischemic seizure" OR "Stroke" OR "thrombotic stroke" OR "Stroke Rehabilitation" OR "ischemic stroke rehabilitation" OR "post-stroke rehabilitation" OR "stroke rehab" OR "Stroke Rehabilitation") AND TITLE-ABS-KEY ("Transcranial Direct Current Stimulation" OR "transcranial electrical stimulation" OR "transcranial alternating current stimulation" OR "transcranial alternative current stimulation") AND TITLE-ABS-KEY ("Electric Stimulation Therapy" OR "functional electrical stimulation" OR "functional electric stimulation" OR "functional electrostimulation" OR "neuromuscular electrical stimulation" OR "neuromuscular electric stimulation") AND TITLE-ABS-KEY ("Muscle Spasticity" OR "Treatment Outcome" OR "Therapeutic Equivalency" OR "Recovery of Function" OR "Motor Activity" OR "Patient Outcome Assessment" OR "Stroke Rehabilitation"))

Figure 3 : Equation de recherche du 15/02/2025 sur Scopus (105 résultats)

2.3. Critères d'éligibilité

Les critères d'éligibilité utilisés dans cette revue systématique ont été conçus pour garantir la sélection d'études pertinentes répondant à la question de recherche. Par conséquent, les critères d'inclusion ont été définis sur base du modèle PICOS préalablement établi. Des critères d'exclusion ont également été définis (**tableau 2**).

Tableau 2 : Critères d'inclusion et d'exclusion

Critères d'inclusion	- Adultes (> 18 ans) - AVC ischémique ou hémorragique en phase aiguë, subaiguë ou chronique - Traitements : tDCS, FES - Études de type RCT ou méta-analyse - Ciblant les membres inférieurs - Méthode d'évaluation : échelle d'Ashworth, échelle de Fugl-Meyer, Berg Balance Scale, Timed up and go ou 10-Meter Walk Test
Critères d'exclusion	- PEDro < 6/10 et Downs and Black < 20/32 - PDF non disponible, article payant - Toute autre pathologie qu'un AVC - Études portant sur les membres supérieurs - Études rédigées dans des langues autres que le français et l'anglais

2.4. Sélection des études

Après avoir introduit les équations de recherche dans les trois bases de données, à savoir PubMed, Embase et Scopus, tous les résultats obtenus ont été stockés dans

un logiciel de gestion des références (Zotero) et les doublons ont ensuite été retirés. Par la suite, une sélection a été effectuée en fonction des titres et des résumés des articles. Enfin, une analyse approfondie des textes intégraux a permis d'affiner davantage la sélection. L'éligibilité des articles a été évaluée de manière indépendante par deux évaluateurs (C.D. et M.J.), en se référant aux critères d'inclusion et d'exclusion. Les deux examinateurs (C.D. et M.J.) ont fait une mise en commun de leurs résultats, après le premier et le deuxième tri, et ont convenu d'une liste d'articles répondant aux critères d'inclusion pour la réalisation de cette revue systématique.

2.5. Extraction des données

L'extraction des données a été réalisée par deux examinateurs de manière indépendante. Les informations recueillies englobent des paramètres tels que les traitements, les membres atteints, la pathologie, l'âge, les paramètres analysés (échelle d'Ashworth, échelle de Fugl-Meyer, Berg Balance Scale, Timed Up and Go, 10-Meter Walk Test), ainsi que la taille de l'échantillon.

2.6. Qualité méthodologique des études

Le score PEDro (**annexe 2**) est une échelle d'évaluation de la qualité méthodologique des essais cliniques randomisés. Il attribue un score de 0 à 10 en fonction de critères. Un score inférieur à 4 indique une faible qualité méthodologique, un score entre 4 et 5 une qualité moyenne, et un score supérieur ou égal à 6 une bonne qualité.

L'échelle de Downs and Black (**annexe 3**) est utilisée pour évaluer la qualité des études randomisées ou non randomisées. Elle comprend 27 items répartis en 5 catégories : rapport, validité externe, validité interne/biais, validité interne/confusion et puissance. Si l'item est respecté, on lui accorde 1 point, dans le cas contraire 0 point. Dans certains cas, si l'information n'est pas présente, on évalue l'item comme étant impossible à déterminer, ce qui équivaut également à un score de 0 point. Le score final de l'échelle de Downs and Black est le résultat de la somme de chaque critère. Un score inférieur à 15 reflète une faible qualité, un score entre 15 et 19 une qualité moyenne, et un score supérieur ou égal à 20 une bonne qualité méthodologique.

Le score PEDro de chaque article a été passé en revue. Les articles dont le score était égal ou supérieur à 6/10 ont été conservés. Pour les articles n'atteignant pas ce seuil, l'échelle de Downs and Black a été appliquée. Si le score de Downs and Black était supérieur à 20/32 alors l'article a tout de même été retenu.

2.7. Interprétation des données

Les données statistiques ont été extraites des études sélectionnées. Les résultats ont été classés selon les types de traitement (tDCS, FES, interventions combinées) et les paramètres évalués (fonction motrice, équilibre, mobilité fonctionnelle, spasticité, vitesse de marche). Cela a permis de comparer les effets des traitements en fonction des différents critères fonctionnels.

Les données n'ont pas subi de transformation majeure, à l'exception d'un arrondi des valeurs numériques à une décimale. Les valeurs (moyennes, écarts-types, scores médians, valeurs p, intervalles de confiance) ont été extraites des articles en prenant en compte cet ajustement.

La valeur p inférieure ou égale à 0,05 a permis de voir si une différence observée entre deux groupes était statistiquement significative (pas due au hasard). Une valeur p supérieure à 0,05 indiquait que les résultats étaient non significatifs.

La comparaison des moyennes entre deux groupes a été exprimée par la différence moyenne (MD). Les résultats ont été mesurés avec la même échelle. Lorsque des résultats avaient des échelles différentes, la différence moyenne standardisée (SMD) a été utilisée. Elle exprime la taille de l'effet en nombre d'écarts-types. Plus la SMD était élevée, plus l'effet était important.

L'Intervalle de confiance (IC) est souvent de 95%. Il a permis d'estimer la plage dans laquelle la valeur de l'effet était susceptible de se situer.

Pour les données qui étaient exprimées sous forme de médiane, l'intervalle interquartile (IQR) décrivait la dispersion des valeurs autour de la médiane.

Lorsque plusieurs comparaisons statistiques ont été faites dans une étude, une correction de Bonferroni a été appliquée pour limiter le risque d'erreur (faux positifs).

3. RESULTATS

3.1. Sélection des études

Une première recherche dans les bases de données Embase, PubMed et Scopus a permis d'identifier un total de 342 articles. L'application des filtres « articles gratuits » et « RCT/méta-analyses » a réduit ce nombre à 152 articles. Parmi ces 152 articles, 11 doublons ont été éliminés grâce au logiciel Zotero, aboutissant à une sélection de 141 articles. Ensuite, chaque chercheuse a analysé séparément l'ensemble de ces 141 articles en lisant le titre et le résumé, amenant à une présélection de 19 articles. Chaque texte a fait l'objet d'une lecture approfondie sur base des critères d'inclusion et d'exclusion. Au terme de ce processus, 13 articles parmi les 19 initiaux ont été conservés.

Le diagramme de flux, ci-dessous en **figure 4**, synthétise le processus de sélection.

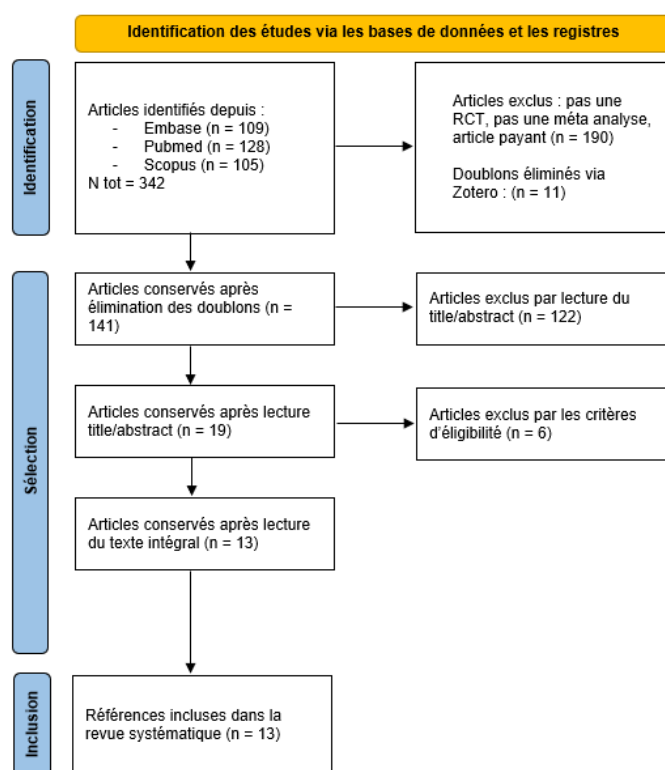


Figure 4 : diagramme de flux pour la sélection d'articles (PRISMA)

3.2. Qualité des études

Parmi les 13 articles sélectionnés pour l'écriture de cette revue systématique, 9 sont des RCT et 4 sont des méta-analyses/revues systématiques. L'évaluation de la qualité des études incluses a été réalisée à l'aide de l'échelle PEDro et Downs and Black. Les résultats de cette évaluation sont présentés dans le **tableau 3**.

Tableau 3 : Score PEDro et Downs and Black

Auteur (année)	Score PEDro	Score Downs and black
(Da Cunha et al., 2022)	9/10	
(Dong et al., 2021)	9/10	
(Duan et al., 2023)	8/10	
(Ehsani et al., 2022)	7/10	
(Fang et al., 2023)	Non applicable car méta-analyse	24/32
(Guo et al., 2023)	Non applicable car méta-analyse	24/32
(Huang et al., 2025)	Non applicable car méta-analyse	24/32
(Kim et al., 2024)	7/10	
(Shakeb et al., 2024)	7/10	
(Sun et al., 2023)	Non applicable car méta-analyse	21/32
(Vimolratana et al., 2024)	9/10	
(Zandvliet et al., 2018)	7/10	
(Zhang et al., 2021)	7/10	

3.3. Caractéristiques des études sélectionnées

3.3.1. Patients inclus

Les sujets des études présentaient des troubles moteurs post-AVC aigus, subaigus ou chroniques. Au total, 14 990 participants ont été inclus dans les études. Parmi ceux-ci, 452 ont participé aux essais cliniques randomisés. Les méta-analyses ont regroupé 14 538 patients.

Les patients présentaient divers déficits moteurs, parmi lesquels les plus fréquents étaient une diminution de la force musculaire, une présence de spasticité, des troubles de la posture et de l'équilibre, des difficultés à la marche ou à la station debout.

3.3.2. Traitements

3.3.2.1. *Description de la tDCS*

La tDCS est une technique non invasive qui consiste à appliquer un courant électrique direct de faible intensité (généralement entre 1 et 2 mA) par l'intermédiaire d'électrodes placées sur le cuir chevelu, afin de moduler l'excitabilité neuronale (Dong et al., 2021). Elle est appliquée sur le cortex moteur primaire (M1) pour stimuler la récupération motrice post-AVC, notamment en agissant sur la plasticité cérébrale (Ehsani et al., 2022).

Une électrode anodale (positive) qui est placée sur une zone cérébrale ciblée, augmente l'excitabilité neuronale en facilitant la dépolarisation des neurones. Ce type de stimulation est appelé tDCS anodale (**atDCS**) et est principalement utilisé pour aider à l'activation des zones lésées après un AVC (Ehsani et al., 2022).

À l'inverse, la tDCS cathodale (**ctDCS**) fonctionne grâce à l'application d'une électrode négative (cathode) sur une région ciblée. L'électrode négative provoque une hyperpolarisation des neurones qui entraîne une inhibition de leur activité. Son but principal est de rétablir un équilibre interhémisphérique en réduisant l'hyperactivité de l'hémisphère sain après un AVC. Ce mécanisme est surtout utile dans les phases de récupération motrice où l'excès d'activité du côté non atteint peut freiner la récupération du côté lésé (Duan et al., 2023).

Enfin, la tDCS double (**dtDCS**) combine les deux polarités : l'anode est placée sur l'hémisphère lésé pour stimuler l'activité neuronale et la cathode est appliquée sur l'hémisphère sain pour l'inhiber. Cette stimulation a pour but d'optimiser la récupération fonctionnelle en agissant sur les deux hémisphères en même temps (Huang et al., 2025).

La tDCS haute définition (**HD-tDCS**) utilise des électrodes haute définition plus petites pour améliorer la stimulation de la zone ciblée. La HD-tDCS stimule des structures cérébrales plus profondes que la tDCS. Elle peut être configurée avec plusieurs canaux et plusieurs petites électrodes dans une variété de montages pour guider le flux de courant (Kim et al., 2024).

La tDCS permet une neuromodulation cérébrale, agissant sur les synapses. D'une part, elle influence les synapses GABAergiques, impliquant le neurotransmetteur inhibiteur GABA, qui diminue l'excitabilité corticale. D'autre part, elle influence

les synapses glutamatergiques via le récepteur NMDA, un récepteur du neurotransmetteur exciteur, ce qui augmente l'excitabilité corticale (Duan et al., 2023).

Son efficacité est renforcée lorsqu'elle est combinée à des exercices de rééducation fonctionnelle, immédiatement après la stimulation (Kim et al., 2024).

3.3.2.2. Description de la FES

La stimulation électrique fonctionnelle (FES), repose sur l'application d'impulsions électriques à basse fréquence sur les nerfs périphériques, afin de générer des contractions musculaires ciblées (Fang et al., 2023). Elle est utilisée pour améliorer la marche, en particulier la dorsiflexion de la cheville ainsi que l'équilibre chez les patients post-AVC (Sun et al., 2023).

Les paramètres de la FES varient légèrement selon les études, mais restent globalement similaires : une fréquence de 20 à 50 Hz, une durée d'impulsion de 200 à 300 μ s, et une intensité adaptée pour obtenir une contraction musculaire visible sans douleur (Sun et al., 2023). La durée d'une séance est généralement comprise entre 20 et 45 minutes, répétée 3 à 5 fois par semaine, sur des périodes allant de 2 à 8 semaines (Zhang et al., 2021).

Les muscles principalement stimulés sont ceux impliqués dans la marche : les fléchisseurs plantaires, les extenseurs du genou et les adducteurs de hanche (Da Cunha et al., 2022).

Le placement des électrodes lors de la FES suit généralement une configuration bipolaire, c'est-à-dire que deux électrodes de surface sont placées sur le même muscle ou groupe musculaire. Cette disposition permet de concentrer la stimulation sur une zone ciblée, en limitant la dispersion du courant électrique. Les électrodes sont positionnées soit sur le ventre musculaire qui correspond à la partie centrale et la plus charnue du muscle, soit sur les points moteurs, c'est-à-dire les zones où les nerfs moteurs pénètrent dans le muscle. Ce positionnement permet d'optimiser la réponse musculaire tout en maintenant une faible intensité de stimulation, ce qui améliore à la fois l'efficacité du traitement et le confort du patient (Fang et al., 2023).

La FES est rarement utilisée seule. Elle est le plus souvent intégrée à des exercices de rééducation comme la marche assistée, des tâches fonctionnelles spécifiques (se lever d'une chaise, monter des marches, tenir la position debout, etc.), ou de l'ergothérapie. Cette association maximise la récupération motrice grâce à la répétition de mouvements fonctionnels synchronisés avec la stimulation (Sun et al., 2023; Zhang et al., 2021).

3.3.3. Protocoles

Les études ont utilisé différents protocoles pour évaluer l'efficacité de la tDCS et de la FES dans le cadre de la rééducation post-AVC. Certaines ont comparé ces techniques à des programmes classiques de rééducation sans neuromodulation (renforcement musculaire, mobilisation passive/active, entraînement à la marche, travail d'équilibre), tandis que d'autres ont intégré une stimulation placebo pour isoler les effets spécifiques de la tDCS. Dans certains cas, des groupes témoins sains ont été inclus en parallèle à des patients post-AVC pour permettre d'approfondir les analyses sur les effets des interventions. Enfin, des études ont mis en parallèle les deux stimulations, la tDCS et la FES afin d'identifier celle qui offrait les meilleurs résultats.

3.3.4. Variables analysées

3.3.4.1. *Ashworth Modified Scale (MAS) - (annexe 4)*

La MAS a permis de mesurer l'augmentation du tonus musculaire et la résistance aux mouvements passifs. Cette échelle est notée de 0 (aucune augmentation du tonus) à 4 (rigidité importante). Elle a été utilisée dans trois études (Da Cunha et al., 2022; Ehsani et al., 2022; Huang et al., 2025) pour évaluer la spasticité des fléchisseurs plantaires, des extenseurs du genou et des adducteurs de la hanche.

3.3.4.2. *Fugl-Meyer Assessment Lower Extremity (FMA - LE) - (annexe 5)*

Le FMA-LE a été utilisé dans plusieurs études pour évaluer la fonction motrice, les réflexes et la coordination des membres inférieurs. Le score total de la FMA est de 100 points. Trente-quatre points sont destinés à l'évaluation de la fonction motrice des membres inférieurs et 66 points à la fonction motrice des membres supérieurs. Le score final est la somme des scores des membres supérieurs et inférieurs (Dong et al., 2021).

Chaque item est divisé en trois notes : 0 = échec (aucun mouvement) ; 1 = exécution partielle ; 2 = exécution complète (Vimolratana et al., 2024).

En additionnant les scores, les patients sont classés selon quatre niveaux de dysfonctionnement moteur. Le grade I correspond à un dysfonctionnement moteur sévère (< 50 points), le grade II à un dysfonctionnement moteur important (50–84 points), le grade III à un dysfonctionnement moteur modéré (85–95 points) et le grade IV à un dysfonctionnement moteur léger (96–99 points) (Dong et al., 2021).

3.3.4.3. Berg Balance Scale (BBS) - (annexe 6)

La BBS est une échelle valide et fiable qui permet d'évaluer l'équilibre lors d'activités statiques et dynamiques de divers degrés de difficulté. Elle comprend 14 items notés de 0 à 4, pour un score maximal de 56. Des scores élevés indiquent un meilleur équilibre statique et un risque de chute moindre. Sur cette échelle, tout score inférieur à 41 indique des troubles de l'équilibre (Ehsani et al., 2022).

3.3.4.4. Timed Up and Go (TUG)

Le TUG est un test général de performance physique utilisé pour évaluer la locomotion, la mobilité et l'équilibre. Il est demandé aux patients de se lever de leur chaise et de marcher à un rythme normal sur une distance de trois mètres avant de faire demi-tour et de venir se rasseoir sur leur chaise. Le temps de la position debout à la position assise est enregistré. Un TUG supérieur à 20 secondes est souvent associé à un risque accru de chute. Le test TUG présente un coefficient de corrélation intraclasse de 0,98, ce qui en fait un test fiable pour évaluer l'équilibre chez les patients victimes d'un AVC (Shakeb et al., 2024).

3.3.4.5. 10-Meter Walk Test (10MWT)

Le 10MWT évalue la vitesse de marche sur une distance de 10 mètres (avec ou sans aide technique). Ce test peut être effectué à une vitesse de marche confortable ou maximale.

Une vitesse de marche inférieure à 0,4 m/s indique une forte dépendance fonctionnelle. Entre 0,4 et 0,8 m/s, la marche est possible, mais limitée (trajets courts ou déplacements intérieurs). Au-delà de 0,8 m/s, le patient est capable de marcher de manière autonome, et une vitesse supérieure à 1,2 m/s correspond à un adulte sain sans déficit moteur.

Tableau 4 : caractéristiques des études

Articles (auteurs et années)	Population (nombre)	Intervention(s)	Variables analysées	Résultats principaux	Conclusion
(Da Cunha et al., 2022)	32 patients atteints d'hémiplégie chronique en post-AVC	tDCS + FES vs tDCS simulée + FES	TUG, MAS (fléchisseurs plantaires, extenseurs du genou, adducteurs de la hanche), endurance à la marche (distance parcourue), qualité de vie	Amélioration du TUG dans les deux groupes ; pas d'effet additionnel de la tDCS.	tDCS n'apporte pas de bénéfice supplémentaire à la FES.
(Dong et al., 2021)	60 patients post-AVC	tDCS active vs tDCS simulée	Fatigue scale (FSS), FMA, MBI (indice de Barthel modifié)	Amélioration du score FMA, gain d'autonomie avec tDCS active.	tDCS est une approche efficace pour la fonction motrice et la capacité d'activité quotidienne post-AVC.
(Duan et al., 2023)	91 patients AVC subaigu	Cathodal tDCS combinée à une rééducation de la marche	FMA-LE, critères d'évaluation secondaires (TUG, Tinetti, 10MWT)	Amélioration FMA, TUG, 10MWT (pour le court terme seulement).	La ctDCS combinée à la rééducation conventionnelle de la marche est bénéfique pour améliorer la fonction motrice des MI et la mobilité fonctionnelle.
(Ehsani et al., 2022)	32 patients AVC chronique	tDCS + physiothérapie vs physiothérapie seule	MAS (fléchisseurs plantaires), EMG (gastrocnémien latéral et tibial antérieur), BBS	La combinaison tDCS+FES diminue la spasticité et améliore l'équilibre.	La combinaison tDCS+FES potentialise les effets de la rééducation.
(Fang et al., 2023)	2246 patients post-AVC	FES, tDCS, NMES, TENS, TEAS	FMA-LE, critères d'évaluation secondaires (indice de Barthel modifié (MBI), BBS, vitesse de marche maximale sur 10m (10mMWS), échelle composite de spasticité (CSS))	La FES améliore plus la fonction motrice et la marche que la tDCS. Pas de différence significative pour l'équilibre.	La FES est plus efficace que la tDCS. La combinaison de ces deux stimulations n'apporte pas de bénéfice supplémentaire.

(Guo et al., 2023)	749 patients post-AVC	Brain-computer interface (BCI)	FMA, test de recherche-action du bras (ARAT), test de fonction motrice Wolf (WMFT), indice de Barthel modifié (MBI), journal d'activité motrice (MAL)	Amélioration motrice avec BCI+FES et moindre effet avec BCI+tDCS.	La FES est plus efficace que la tDCS pour l'amélioration de la fonction motrice.
(Huang et al., 2025)	11 185 patients	Comparaison tDCS, FES, BoNT	MAS, FMA, acceptabilité	Amélioration MAS et FMA plus marquée à moyen terme que à court terme avec la tDCS.	La tDCS réduit la spasticité, mais reste moins efficace que la toxine botulique. La tDCS a un effet sur le long terme.
(Kim et al., 2024)	24 patients post-AVC	Robot-assisted gait training + HD-tDCS vs robot-assisted gait training + simulation HD-tDCS (sham)	10MWT, TUG, BBS, catégorie d'ambulation fonctionnelle (FAC), test d'atteinte fonctionnelle (FRT), indice de marche dynamique (DGI), FMA, indice de Barthel modifié (K-MBI)	Amélioration à court terme pour : FMA, BBS et 10MWT. Amélioration à moyen terme : BBS, TUG et 10MWT.	HD-tDCS combinée à la rééducation à la marche assistée par un robot, optimise la rééducation. Garantit des effets d'entraînement à moyen terme (1 mois) pour le TUG.
(Shakeb et al., 2024)	36 patients AVC subaigu	Anodal tDCS vs sham	Echelle d'évaluation posturale (PASS), échelle d'altération du tronc (TIS), test d'atteinte fonctionnelle (FRT), TUG, échelle de qualité de vie spécifique à l'AVC (SS-QoL)	La tDCS n'a entraîné aucune amélioration significative des performances au TUG, ni à court ni à long terme.	L'effet de la tDCS sur le TUG reste limité, sans différence entre les groupes.
(Sun et al., 2023)	358 patients post-AVC	Ergothérapie + FES vs ergothérapie + tDCS	FMA, indice de Barthel modifié (MBI)	FES + ergothérapie et tDCS + ergothérapie offrent des résultats supérieurs par rapport à l'ergothérapie seule.	FES + ergothérapie offre des bénéfices supérieurs par rapport à tDCS + ergothérapie.

(Vimolratana et al., 2024)	30 patients AVC aigu	tDCS vs tDCS simulée	EEG (électroencéphalogramme), FMA, fonction motrice de Wolf (WMFT)	Amélioration du FMA chez les patients avec une déficience légère.	La tDCS permet d'améliorer les scores du FMA chez les patients atteints d'une déficience légère.
(Zandvliet et al., 2018)	15 patients AVC chronique + 10 sujets sains	Cerebellar tDCS (ipsi/contra-lésionnelle)	BBS, tâche d'atteinte fonctionnelle (FRT), TUG, échelle d'efficacité de chute, antécédents de chute	Amélioration du contrôle postural, absente dans le TUG.	La tDCS cérébelleuse contra-lésionnelle est prometteuse pour améliorer les performances d'équilibre debout.
(Zhang et al., 2021)	122 patients AVC en récupération	tDCS vs FES	FMA-LE, MBI (indice de Barthel modifié), FAC (catégorie ambulatoire fonctionnelle), SEP (potentiel évoqué somatosensoriel)	tDCS s'est montrée plus efficace que la FES.	La tDCS et la FES peuvent toutes deux favoriser significativement la récupération de la fonction motrice. La tDCS est plus efficace que la FES au stade de la récupération post-AVC.

3.4. Principaux résultats (tableau 4)

3.4.1. La tDCS

3.4.1.1. Spasticité (échelle d'Ashworth modifiée) - (Figure 5 - Annexe 7)

L'efficacité de la tDCS a été analysée à court terme (0-3 semaines après le traitement) et à moyen terme (4-6 semaines après le traitement) dans l'étude de Huang et al. (2025).

L'atDCS a présenté une taille d'effet de -0,5 (IC 95 % : -0,7 à -0,2), la ctDCS de -0,4 (IC 95 % : -0,8 à -0,1) et la dtDCS de -0,5 (IC 95 % : -0,8 à -0,1) sur la spasticité à court terme.

La ctDCS a permis une diminution significative de la spasticité à moyen terme (WMD = - 2,0 ; IC 95 % : -3,0 à -1,0). La dtDCS a montré une efficacité moins marquée que la ctDCS à moyen terme avec une réduction moyenne de 1,6 point (WMD = -1,6 ; IC 95 %, -3,2 à 0,0).

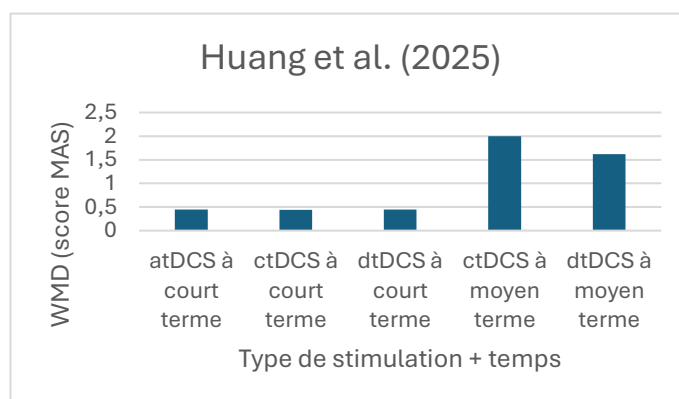


Figure 5 : Graphique en barres représentant l'évolution de la spasticité mesurée par l'échelle d'Ashworth après une intervention par tDCS, à court terme (0-3 semaines) et à moyen terme (4-6 semaines)

3.4.1.2. Fonction motrice (Fugl-Meyer)

Effets à court terme :

L'étude de Dong et al. (2021) a mis en place des programmes de quatre semaines. Les participants ont été divisés en deux groupes (tDCS active et tDCS simulée). Des améliorations du score FMA ont été mesurées dans le groupe tDCS active, avec des augmentations du score allant de $46,2 \pm 6,7$ à $63,0 \pm 8,5$, alors que le groupe

contrôle (tDCS simulée) est passé de $46,1 \pm 7,0$ à $55,9 \pm 7,5$. Les deux groupes ont montré une amélioration significative ($p < 0,001$). (**Figure 6 - Annexe 8**)

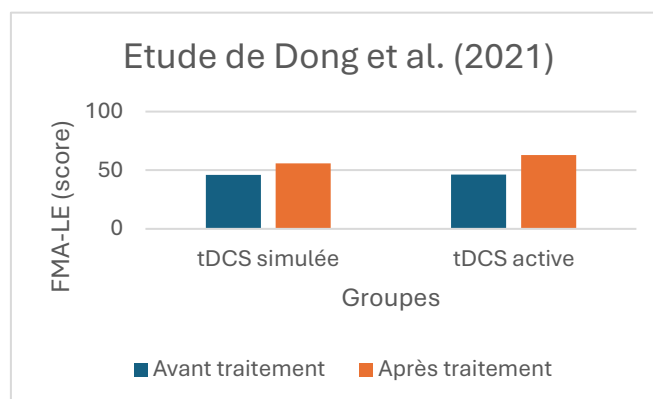


Figure 6 : Graphique en barres illustrant les scores FMA-LE avant et après traitement dans les groupes tDCS simulée et tDCS active

L'étude de Duan et al. (2023) s'est également intéressée à l'efficacité de la tDCS à court terme. Une amélioration du score médian a été mesurée chez des patients ayant reçu une ctDCS. À T0, aucune différence significative n'a été observée entre les groupes ($p = 0,398$). Après le traitement (T1), le groupe ayant reçu la ctDCS active est passé d'un score médian de 16,0 à 21,5, tandis que celui ayant bénéficié de la stimulation simulée est passé de 17,0 à 20,0. Cela a indiqué une différence significative ($p = 0,032$; taille d'effet = 1,00). (**Figure 7 - Annexe 9**)

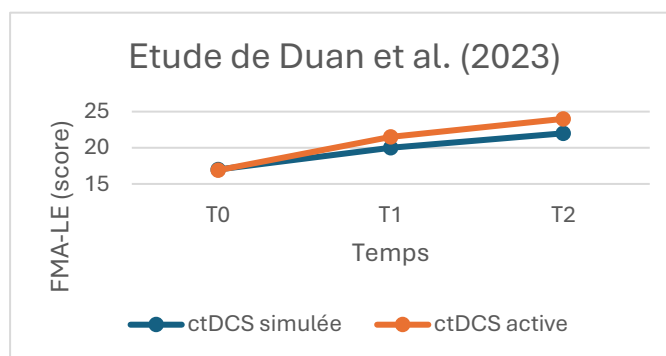


Figure 7 : Graphique illustrant l'évolution du score FMA-LE entre T0 (pré-traitement), T1 (immédiatement après traitement) et T2 (1 mois post-traitement) dans les groupes ctDCS simulée et ctDCS active

La méta-analyse de Huang et al. (2025) a évalué l'efficacité de la tDCS à court terme (0 à 3 semaines). Cette étude a montré que la atDCS (WMD = 6,3 ; IC à 95%, 3,7 à 9,2) et la ctDCS (WMD = 4,9 ; IC à 95%, 1,7 à 8,1) étaient plus efficaces à court terme que les traitements témoins (stimulation simulée, placebo, soins de rééducation classiques sans neuromodulation). (**Figure 8 - Annexe 7**)

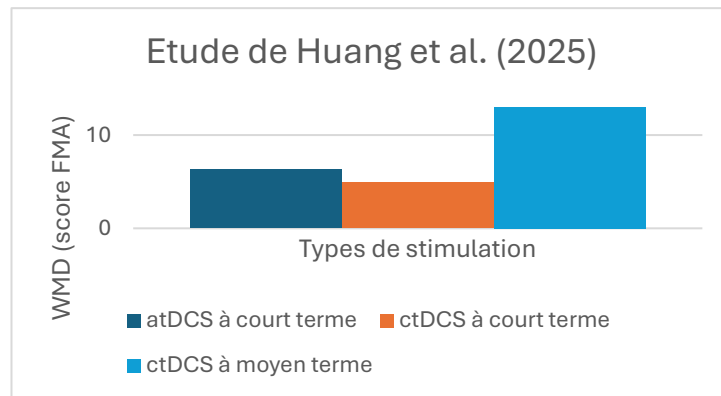


Figure 8 : Graphique en barres comparant les effets de la stimulation anodale (atDCS) et cathodale (ctDCS) à court et moyen terme sur la récupération motrice post-AVC

Effets à moyen terme :

Certaines études ont évalué les effets de la tDCS à moyen terme (entre 4 et 6 semaines).

Des suivis ont été réalisés un mois après l'intervention dans l'étude de Duan et al. (2023). Les scores FMA ont augmenté en passant de 22,0 à 24,0 dans les groupes ayant reçu une ctDCS, avec une taille d'effet de 2,0 ($p = 0,01$). (**Figure 7 - Annexe 9**)

Dans la méta-analyse de Huang et al. (2025), la ctDCS a montré une WMD de 13,00 (IC 95 % : 2,6 à 23,4). Parmi les traitements comparés (stimulation simulée, placebo, soins de rééducation classiques sans neuromodulation), ce score s'est avéré être le plus élevé à moyen terme. (**Figure 8 - Annexe 7**)

Dans l'étude de Zhang et al. (2021), la valeur du groupe tDCS était de $12,7 \pm 3,4$ avant le traitement et après 4 semaines, le score est passé à $14,7 \pm 3,1$ ($p < 0,05$). (**Figure 9 - Annexe 13**)

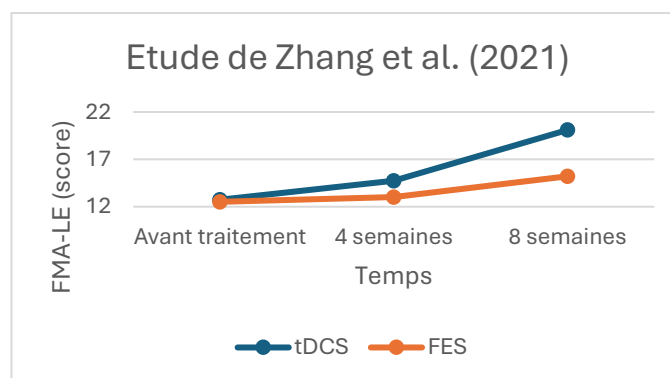


Figure 9 : Graphique illustrant l'évolution des scores de Fugl-Meyer (FMA-LE) chez les patients traités par tDCS ou FES

Effets à long terme :

Les effets de la tDCS à long terme ont été démontrés par l'étude de Zhang et al. (2021). Le score était de $14,7 \pm 3,1$ ($p < 0,05$) après 4 semaines de tDCS et a continué d'augmenter après 8 semaines pour finalement atteindre $20,1 \pm 3,4$. (**Figure 9 – Annexe 13**)

Combinaison avec d'autres thérapies :

Certaines études ont associé la tDCS à des approches technologiques telles que la marche assistée par robot (RAGT) ou l'ergothérapie.

Dans l'étude de Kim et al. (2024), les participants ont été répartis aléatoirement dans le groupe RAGT+HD-tDCS réelle et dans le groupe RAGT+HD-tDCS simulée.

Les deux groupes n'ont présenté aucune différence significative dans les caractéristiques initiales avant l'intervention (pré-traitement).

En post-traitement, une amélioration significative du score FMA-LE a été observée dans le groupe HD-tDCS réelle ($Z = -2,54$; $p = 0,01$) et cela a été confirmé par une analyse post-hoc de Bonferroni (IC 95 % : $[-2,64$; $-0,19]$; $p = 0,02$). Aucune amélioration significative n'a été observée dans le groupe HD-tDCS simulée.

Pendant la phase de follow-up (1 mois après le traitement), l'amélioration n'était plus significative. Cela a mis en évidence un effet transitoire de la HD-tDCS réelle sur la récupération motrice des membres inférieurs. (**Figure 10 - Annexe 11**)

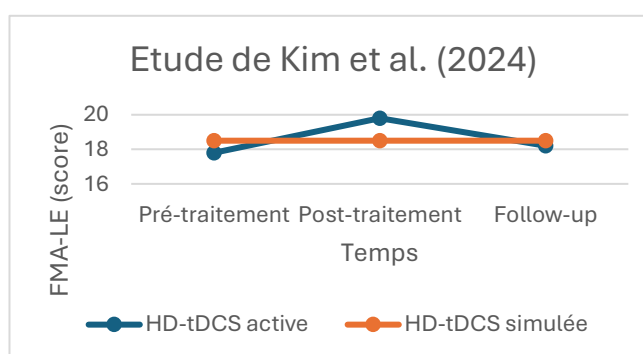


Figure 10 : Graphique illustrant l'évolution des scores FMA-LE chez des patients ayant reçu une stimulation HD-tDCS réelle ou simulée en combinaison avec un entraînement à la marche assistée par robot (RAGT).

Dans l'étude de Sun et al. (2023), la MD globale observée pour le groupe tDCS + ergothérapie vs ergothérapie seule était de 2,8 (IC 95 % : 1,5 à 4,1). Ces résultats étaient significatifs et en faveur de la tDCS. (*Annexe 12*)

Avis divergent :

L'étude de Vimolratana et al. (2023) a révélé des résultats plus contrastés. Cette étude a démontré qu'il n'y avait pas de différence significative entre le groupe tDCS active et le groupe tDCS simulée ($p > 0,05$). Cependant, des sous-analyses ont mis en évidence qu'il y avait une amélioration significative chez les patients présentant une déficience motrice légère ($p = 0,005$; $d = 0,8$), mais pas chez ceux présentant une déficience sévère ($p > 0,05$).

3.4.1.3. Équilibre (*Berg Balance Scale*)

Effets à court terme :

Dans l'étude de Kim et al. (2024), les résultats du BBS ont mis en évidence une amélioration significative dès la fin des 10 séances de traitement dans le groupe RAGT+HD-tDCS réelle. De son côté, le groupe HD-tDCS réelle a également présenté une progression significative des scores entre la période pré- et post-traitement ($Z = -2,83$, $p = 0,005$). Cette différence a été confirmée par l'analyse post-hoc de Bonferroni, avec un intervalle de confiance compris entre $-4,6$ et $-0,9$ ($p = 0,005$). (*Figure 11 - Annexe 11*)

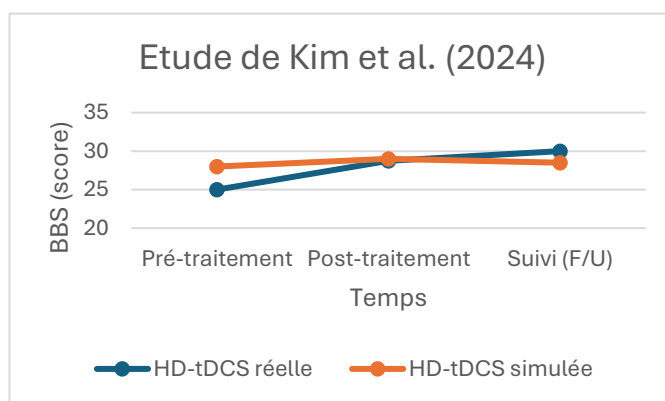


Figure 11 : Graphique illustrant l'évolution des scores BBS chez des patients ayant reçu une stimulation HD-tDCS réelle ou simulée en combinaison avec un entraînement robotisé (RAGT).

Effets à plus long terme :

Sur le plus long terme, l'étude de Kim et al. (2024) a démontré que les bénéfices sur le score BBS se sont maintenus un mois après la fin de l'intervention. Le groupe HD-tDCS réelle a montré une amélioration significative des scores BBS entre la

période pré-traitement et le suivi ($Z = -2,71$, $p = 0,007$) avec un intervalle de confiance post-hoc allant de $-6,0$ à $-1,4$ ($p = 0,003$). (**Figure 11 – Annexe 11**)

Évaluation par le centre de pression au sol :

Une étude a évalué l'effet de la tDCS sur l'équilibre à travers des paramètres posturaux plus précis.

Par exemple, l'étude de Zandvliet et al. (2018) a évalué l'effet de la tDCS anodale appliquée sur le cervelet en le mesurant via le centre de pression au sol (CoP) lors d'un test en position tandem.

La tDCS a entraîné une amélioration significative de l'équilibre statique en position tandem. Le coefficient de régression ($\beta = -0,25$) a indiqué une diminution du score CoP, ce qui a reflété une amélioration de l'équilibre. L'effet était statistiquement significatif (IC 95 % : $-0,5$ à $-0,03$; $p = 0,03$).

3.4.1.4. Mobilité fonctionnelle (Timed up and go)

Effets à court terme :

Dans l'étude de Kim et al. (2024), le groupe ayant reçu le RAGT+HD-tDCS réelle a amélioré son score TUG entre la période pré- et post-traitement ($Z = -2,6$; $p = 0,01$). L'analyse post-hoc de Bonferroni a confirmé ces progrès (pré-post : IC 95 % $[0,6$ à $3,4]$). Cependant, l'amélioration du TUG n'était pas significativement différente entre le groupe HD-tDCS réelle et le groupe HD-tDCS simulée. (**Figure 12 - Annexe 11**)

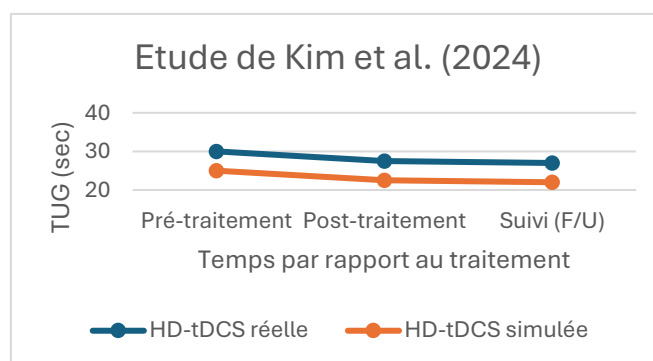


Figure 12 : Graphique illustrant l'évolution des performances au TUG chez les participants ayant reçu une stimulation HD-tDCS réelle ou simulée, combinée à un entraînement à la marche assisté par robot (RAGT).

De façon complémentaire, l'étude de Duan et al. (2023), a mesuré le temps à T0 (avant le traitement) et à T1 (immédiatement après l'évaluation post-traitement).

Ces mesures ont montré une réduction significative du temps du TUG dans le groupe ctDCS ($20,4 \pm 3,8$ s à $16,6 \pm 2,4$ s) comparé au groupe contrôle ($20,1 \pm 4,7$ s à $18,1 \pm 4,4$ s). Une différence significative a été observée ($p < 0,001$). (**Figure 13 - Annexe 9**)

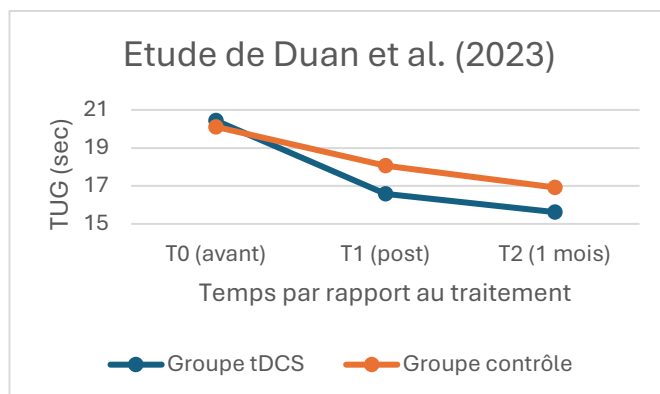


Figure 13 : Graphique illustrant l'évolution du temps au TUG comparant un groupe recevant une stimulation cathodale (ctDCS) combinée à une rééducation de la marche et un groupe contrôle.

En revanche, l'étude de Zandvliet et al. (2018), qui a évalué l'effet d'une séance unique de tDCS cérébelleuse, n'a pas montré d'amélioration significative au TUG. Ni chez les patients post-AVC chroniques (temps moyen de $13,2 \pm 3,7$ s avant stimulation), ni chez les sujets sains ($8,1 \pm 1,4$ s) et ce, malgré une différence de base significative entre les deux groupes ($p < 0,01$).

Effets à moyen terme :

Les bénéfices qui ont été observés se sont maintenus jusqu'à un mois après l'intervention. Kim et al. (2024) a rapporté une amélioration significative du score TUG entre la période pré-traitement et le suivi ($Z = -2,75$; $p = 0,006$), avec un intervalle de confiance de $[-7,7 ; -0,7]$ ($p = 0,007$). (**Figure 12 – Annexe 11**)

Dans l'étude de Duan et al. (2023), les temps moyens à T2 (un mois après la fin du traitement) étaient de $15,6 \pm 2,4$ s dans le groupe tDCS active contre $16,9 \pm 3,5$ s dans le groupe contrôle, avec une différence significative ($p = 0,001$; taille d'effet = $-1,3$; IC 95 % : $-2,6$ à $-0,04$). (**Figure 13 – Annexe 9**)

Effets à long terme :

L'étude de Shakeb et al. (2024) a étendu les mesures jusqu'à 12 semaines, avec des évaluations régulières (0, 3, 6, 9 et 12 semaines). A aucun moment de l'étude, l'analyse intergroupe n'a montré une différence significative entre les groupes ($p >$

0,05). Cependant, les deux groupes ont vu leurs performances s'améliorer dans le temps ($p < 0,001$). (**Figure 14,15 - Annexe 16**)

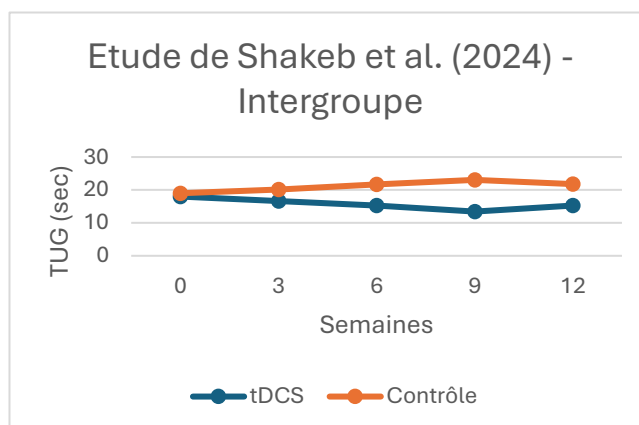


Figure 14 : Graphique intergroupe comparant des performances au TUG sur 12 semaines chez des patients ayant reçu ou non la stimulation atDCS

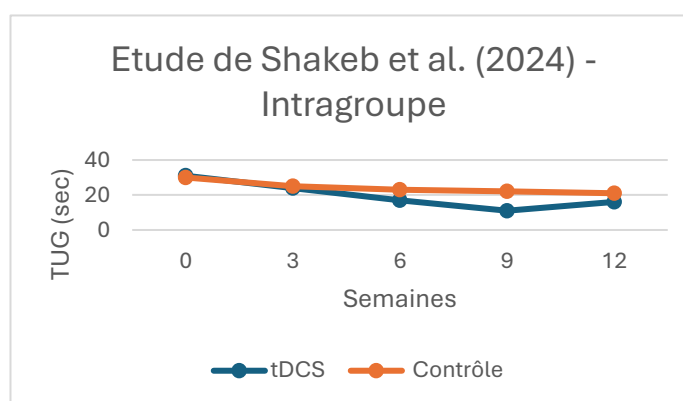


Figure 15 : Graphique intragroupe comparant des performances au TUG sur 12 semaines chez des patients ayant reçu ou non la stimulation atDCS

3.4.1.5. Vitesse de marche (10-Meter Walk Test)

Effets à court terme :

Dans plusieurs protocoles impliquant l'application de tDCS, des améliorations significatives de la vitesse de marche ont été rapportées immédiatement après l'intervention.

L'étude de Kim et al. (2024) a combiné 10 séances de HD-tDCS à un entraînement robotisé (RAGT) sur quatre semaines. Une amélioration du 10MWT a été observée entre la période pré- et post-traitement ($Z = -2,71$; $p = 0,007$). L'intervalle de confiance post-hoc s'est révélé concluant $[-0,08 ; -0,005]$ ($p = 0,03$). (**Figure 16 - Annexe 11**)

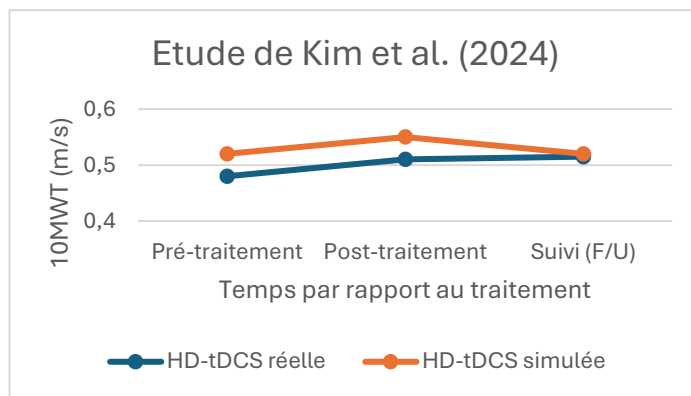


Figure 16 : Graphique illustrant les effets de la stimulation HD-tDCS réelle et simulée sur la vitesse de marche (10MWT).

L'étude de Duan et al. (2023) a mis en évidence un effet positif dans un protocole de ctDCS. Avant le traitement (T0), les groupes ont obtenu des scores similaires sans différence significative. Après l'intervention (T1), le groupe ctDCS a montré une belle amélioration puisque son temps médian a diminué de 17,3 à 15,0 secondes et le groupe témoin (ctDCS simulée) a vu son temps diminuer de 17,5 à 17,0 secondes. Cette différence était statistiquement significative ($p = 0,007$). La taille d'effet était importante avec une valeur de -2,0 (IC 95 % : -3,5 à -0,5). (**Figure 17 - Annexe 9**)

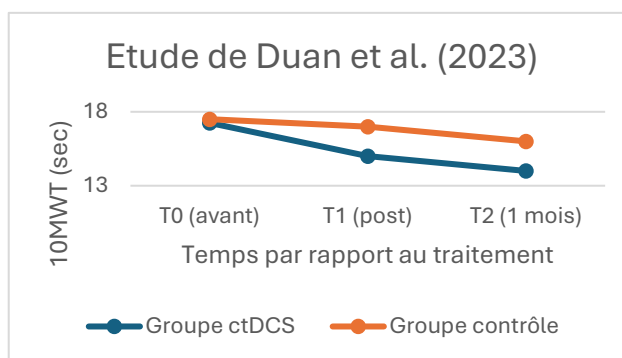


Figure 17 : Graphique illustrant l'évolution au 10MWT en comparant le groupe ayant reçu une stimulation cathodale (ctDCS) et le groupe contrôle.

Effets à plus long terme :

Les effets de la HD-tDCS ont semblé se maintenir à un mois de suivi. L'étude de Kim et al. (2024) a mis en évidence une différence significative qui a persisté entre les mesures pré-traitement et celles effectuées après un mois ($Z = -2,73$; $p = 0,006$). L'intervalle de confiance était compris entre $[-0,07$; $-0,002]$. (**Figure 16 - Annexe 11**)

En revanche, dans l'étude de Duan et al. (2023), entre T1 et T2, le temps est passé de 15,0 à 14,0 secondes dans le groupe ctDCS réelle, et de 17,0 à 16,0 secondes dans le groupe contrôle (tDCS simulée). Ces évolutions n'étaient pas statistiquement significatives ($p = 0,473$ pour le groupe tDCS réelle ; $p = 0,3$ pour le groupe contrôle). (*Figure 17 – Annexe 9*)

3.4.1.6. Effets indésirables

La tDCS a été bien tolérée et a entraîné peu d'effets indésirables considérés comme dangereux. Cette stimulation a surtout provoqué des effets légers : des picotements (jusqu'à 54 %, Dong et al. (2021)), des démangeaisons (8%), des douleurs faibles ($<3/10$, Kim et al. (2024)), de la fatigue modérée (73%, Zandvliet et al. (2018)) et de la dépression. Selon l'étude d'Ehsani et al. (2022), les picotements sous l'anode ont été estimés à une douleur de 5/10 sur l'EVA et $< 1/10$ sous la cathode. L'étude de Shakeb et al. (2024) a mentionné des effets à long terme qui pourraient être liés à la plasticité neuronale.

3.4.2. La FES

3.4.2.1. Fonction motrice (Fugl-Meyer)

Effets à court terme :

L'efficacité de la FES est apparue dès les premières semaines lorsqu'elle était associée à d'autres approches. Dans la méta-analyse de Sun et al. (2023), la FES combinée à l'ergothérapie a permis d'améliorer significativement le score FMA (MD = 9,0 ; IC 95 % : 5,3 à 12,7). (*Annexe 12*)

Effets à moyen terme :

Dans l'étude de Zhang et al. (2021), lorsque la FES était utilisée seule, des progrès ont été observés après quatre semaines de traitement. Le score FMA est passé de $12,5 \pm 2,2$ à $13,0 \pm 2,1$ ($p < 0,05$). (*Annexe 13*)

Selon l'étude de Fang et al. (2023), la FES associée à la rééducation (RT) a montré une amélioration significative en 4 semaines. La SMD était de 1,3 (IC 95 % : 0,7 à 1,9 ; $p < 0,00001$). (*Annexe 14*)

Effets à long terme :

L'étude de Zhang et al. (2021) a également analysé l'effet de la FES sur le plus long terme, notamment après 8 semaines. Une amélioration du score FMA allant de $13,0 \pm 2,1$ à $15,5 \pm 2,4$ ($p < 0,05$) a permis de confirmer l'effet durable de la FES. (*Annexe 13*)

3.4.2.2. Equilibre (Berg Balance Scale)

L'étude de Fang et al. (2023) a montré que la FES combinée à la RT améliorait significativement l'équilibre avec un score SMD de 0,9 (IC 95 % : 0,7 à 1,1). (*Annexe 14*)

3.4.2.3. Vitesse de marche (10-Meter Walk Test)

L'étude de Fang et al. (2023) a démontré que la combinaison RT+FES a permis d'améliorer significativement la vitesse de marche comparée à la RT seule (SMD = 1,3 ; IC 95 % : 0,3 à 2,2 ; $p < 0,00001$). (*Annexe 14*)

3.4.3. La FES combinée à la tDCS

3.4.3.1. Spasticité (échelle d'Ashworth modifiée)

L'étude de Ehsani et al. (2022) s'est concentrée sur la spasticité des fléchisseurs plantaires. Les participants ont été répartis en trois groupes : un groupe M1 atDCS+FES, un groupe contrôle (uniquement FES) et un groupe M1 atDCS simulée+FES.

A l'inclusion, les scores moyens étaient de $2,2 \pm 0,7$ pour le groupe M1 atDCS+FES, $2,3 \pm 0,8$ pour le groupe contrôle et $2,2 \pm 0,8$ pour le groupe simulation ($p = 0,3$). Ces scores ont indiqué une bonne homogénéité avant le traitement.

Après l'intervention, seule la combinaison M1 atDCS avec la rééducation fonctionnelle (FES) a entraîné une réduction significative de la spasticité. Ce groupe-là a eu également des effets immédiats qui se sont maintenus un mois après le traitement ($p < 0,001$). Les groupes contrôle et simulation n'ont montré aucun changement significatif.

L'analyse statistique a révélé des effets significatifs du temps ($F = 24,8$; $p < 0,001$), du groupe ($F = 4,0$; $p = 0,03$) et de l'interaction groupe $\times$ temps ($F = 5,7$; $p = 0,001$). (**Figure 18 - Annexe 15**)

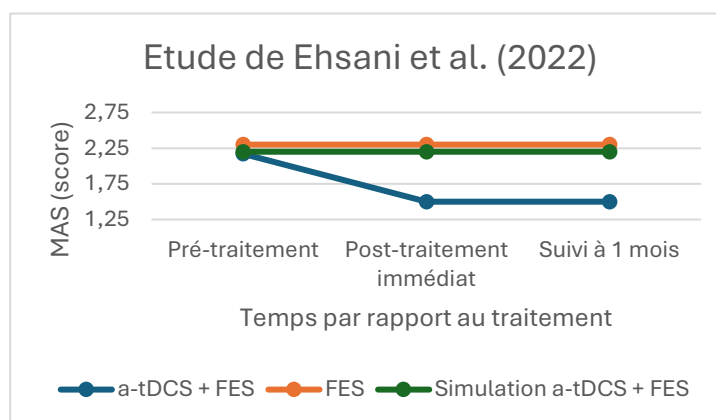


Figure 18 : Graphique illustrant l'évolution du score MAS (Modified Ashworth Scale) au cours du temps pour le groupe a-tDCS + FES, FES et a-tDCS simulée + FES

Les valeurs post-traitement et les valeurs du suivi à 1 mois n'apparaissent pas dans l'article et ont donc été estimées sur base du texte.

L'étude de Da Cunha et al. (2022) a observé l'effet de la tDCS bicéphale (réelle ou simulée) combinée à de la FES appliquée à un stimulateur de pied tombant, dans le cadre d'un entraînement à la marche. Ce protocole avait pour but de traiter la spasticité des fléchisseurs plantaires, des extenseurs du genou et des adducteurs de la hanche.

Les scores MAS ont globalement diminué au cours du temps ($p < 0,05$), avec des réductions significatives pour les fléchisseurs plantaires ($p = 0,03$) et les extenseurs du genou ($p = 0,03$). En revanche, la diminution de la spasticité pour les adducteurs de hanche n'était pas significative ($p = 0,14$). (**Figure 19, 20, 21 - Annexe 17**)

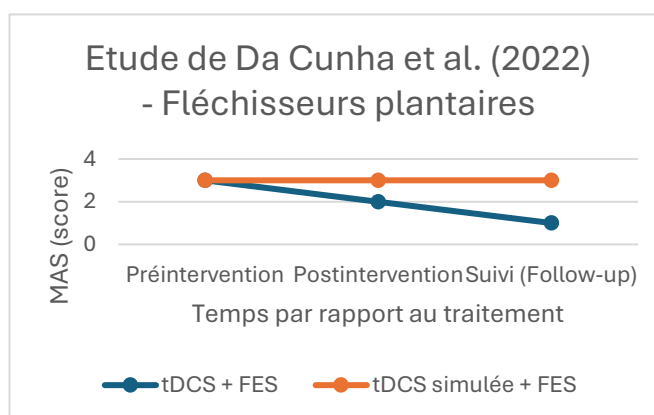


Figure 19 : Graphique illustrant l'évolution de la spasticité des fléchisseurs plantaires mesurée par l'échelle MAS

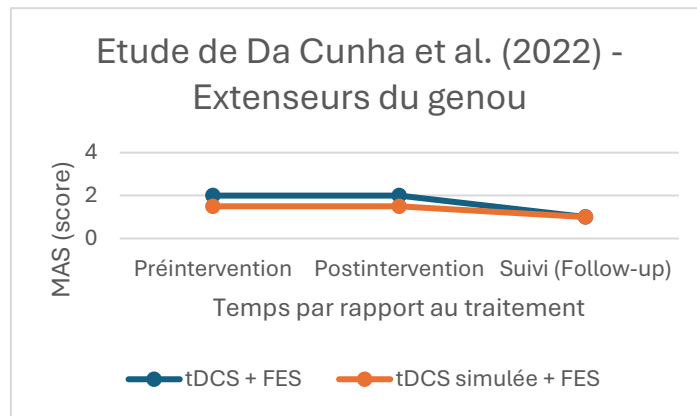


Figure 20 : Graphique illustrant l'évolution de la spasticité des extenseurs du genou mesurée par l'échelle MAS

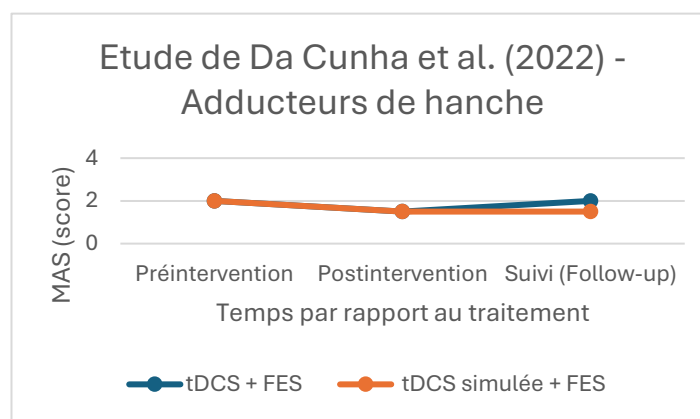


Figure 21 : Graphique illustrant l'évolution de la spasticité des adducteurs de hanche mesurée par l'échelle MAS

3.4.3.2. Fonction motrice (Fugl-Meyer)

Selon la méta-analyse de Fang et al. (2023), l'association tDCS + FES + RT combinée à la rééducation semblait prometteuse, bien que les données (SMD = 0,2; IC 95 % : -0,4 à 0,8) n'étaient pas statistiquement significatives comparées à la FES + RT. (*Annexe 14*)

3.4.3.3. Equilibre (Berg Balance Scale)

Selon l'étude de Fang et al. (2023), la combinaison de la tDCS et de la FES (RT+tDCS+FES) n'a pas apporté d'amélioration statistiquement significative par rapport à la FES (RT+FES), avec un SMD de 0,6 (IC 95 % : -0,1 - 1,2). (*Annexe 14*)

Dans l'étude d'Ehsani et al. (2022), les scores BBS initiaux étaient similaires entre les groupes : $32,4 \pm 1,1$ (M1 atDCS + FES), $31,2 \pm 1,7$ (FES seul) et $31,6 \pm 0,8$ (atDCS simulée + FES). Il n'y avait pas de différence significative ($p = 0,79$).

Cependant, une amélioration significative du score BBS a été observée immédiatement après l'intervention dans le groupe ayant reçu la atDCS sur M1 combinée à de la physiothérapie (comprenant la FES).

L'analyse ANOVA a révélé un effet du groupe ($F = 3,9$; $p = 0,04$), du temps ($F = 25,7$; $p = 0,001$), ainsi qu'une interaction groupe $\times$ temps significative ($F = 6,3$; $p = 0,004$). (**Figure 22 - Annexe 15**)

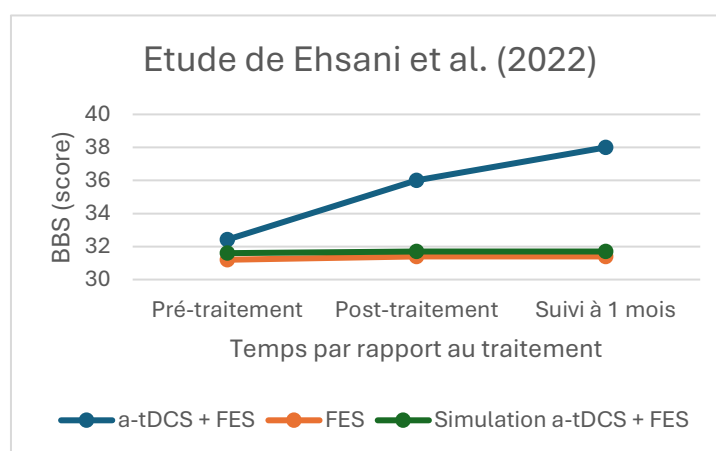


Figure 22 : Graphique illustrant l'évolution du score Berg Balance Scale (BBS) au cours du temps pour le groupe a-tDCS + FES, FES et a-tDCS simulée + FES

Les valeurs post-traitement et les valeurs du suivi à 1 mois n'apparaissent pas dans l'article et ont donc été estimées sur base du texte.

3.4.3.4. Mobilité fonctionnelle (Timed up and go)

L'étude de Da Cunha et al. (2022) a évalué l'effet de la tDCS bicéphalique combinée à un footdrop stimulator (FDS) sur les performances au TUG.

Les patients ayant reçu la combinaison tDCS bicephalique et FDS ont obtenu un temps au TUG de 24,3 secondes (IC 95 % : 17,7 - 33,3) en pré-intervention. Après l'intervention, une amélioration significative a été observée avec un temps de 21,8 secondes (IC 95 % : 15,8 - 30,1 ; $p < 0,001$). Lors du suivi, le temps moyen a continué de diminuer pour atteindre 19,9 secondes (IC 95 % : 14,06 - 28,09).

Les patients ayant uniquement reçu le FDS ont réalisé le TUG en 19,6 secondes (IC 95 % : 16,1 à 23,0) en pré-intervention. En post-intervention, leur temps s'est amélioré à 18,45 secondes (IC 95 % : 15,3 - 22,3 ; $p < 0,001$). Lors du suivi, le

temps au TUG a encore diminué jusqu'à atteindre 16,83 secondes (IC 95 % : 12,8 - 21,7).

Les performances au TUG se sont améliorées dans les deux groupes au fil du temps ($p < 0,001$). Cependant, aucune différence significative entre les groupes ($p = 0,35$) ni d'interaction entre le temps et le groupe ($p = 0,55$) n'a été observée.

Une analyse complémentaire a révélé que seule la déficience motrice a significativement influencé les résultats ($p < 0,001$) : les participants avec une déficience légère ou modérée ont présenté des progrès plus importants que ceux ayant une déficience sévère. (**Figure 23 - Annexe 17**)

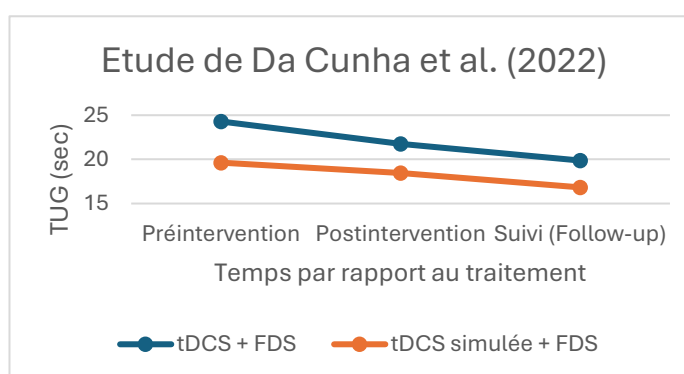


Figure 23 : Graphique illustrant l'évolution des performances au TUG, comparant les groupes tDCS + FDS et tDCS simulée + FDS.

3.4.3.5. Vitesse de marche (10-Meter Walk Test)

Selon l'étude de Fang et al. (2023), la combinaison de la FES et de la tDCS n'a apporté aucun changement significatif au niveau de la vitesse de marche. En effet, la comparaison entre RT+tDCS+FES et RT+tDCS a montré un effet nul (SMD = 0,0 ; IC 95 % : -0,8 à 0,8). (**Annexe 14**)

3.4.4. La tDCS en comparaison à la FES

3.4.4.1. Fonction motrice (Fugl-Meyer)

D'autres études ont montré une tendance plus favorable à la FES lorsqu'elle était combinée à des programmes de rééducation active. Sun et al. (2023) ont démontré que la FES associée à l'ergothérapie permettait d'améliorer le score FMA, avec une MD de 9,0 (IC 95 % : 5,3 à 12,7). La combinaison de la tDCS à l'ergothérapie s'est limitée à une MD de 2,77 (IC 95 % : 1,5 à 4,1). (**Figure 24 - Annexe 12**)

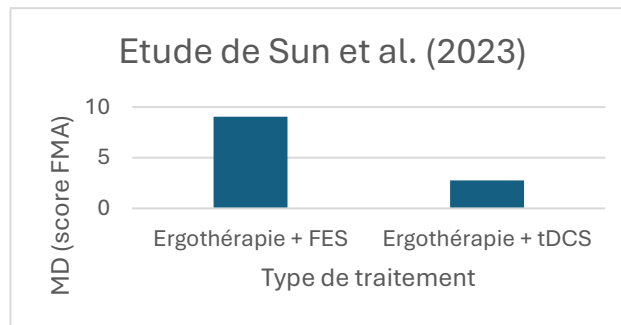


Figure 24 : Graphique en barres comparant l'effet de la FES à la tDCS sur la fonction motrice

De même, la méta-analyse de Fang et al. (2023) a montré que la combinaison RT+FES était significativement plus efficace que RT+tDCS pour la récupération motrice, avec une SMD de -0,8 (IC 95 % : -2,3 à 0,7 ; $p < 0,00001$) en faveur de la FES. (*Annexe 14*)

Les résultats ont également été en faveur de la FES dans les approches combinées avec des technologies avancées. Dans l'analyse de Guo et al. (2023), l'association de la FES avec une interface cerveau-machine (BCI) a montré une amélioration notable (SMD = 1,0 ; IC 95 % : 0,7 à 1,2 ; $p < 0,00001$). L'association BCI+tDCS a révélé au contraire un effet négatif (SMD = -0,7 ; IC 95 % : -1,2 à -0,1 ; $p = 0,02$). (*Figure 25 - Annexe 10*)

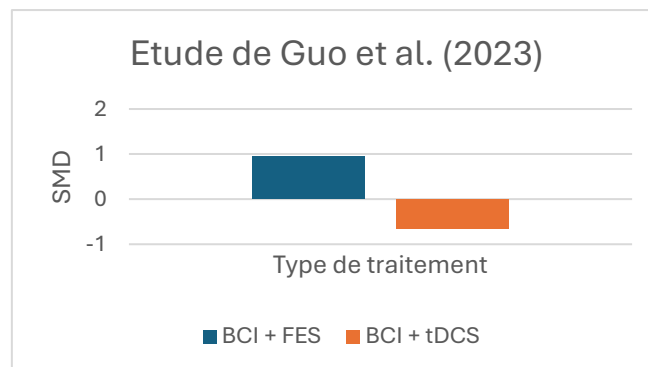


Figure 25 : Graphique en barres comparant la BCI + FES à la BCI + tDCS sur la fonction motrice

L'étude de Zhang et al. (2021) a comparé l'effet de la tDCS et de la FES au fil du temps. Les deux groupes présentaient des scores semblables avant le traitement ($12,7 \pm 3,4$ pour la tDCS et $12,5 \pm 2,2$ pour la FES). Après 4 semaines, le groupe tDCS a atteint un score de $14,7 \pm 3,1$ et a continué de s'améliorer jusqu'à la 8^{ème} semaine où il a atteint un score de $20,1 \pm 3,4$ ($p < 0,05$). Le groupe FES, quant à lui, a progressé de manière plus modérée, atteignant $13,0 \pm 2,1$ à 4 semaines et $15,5 \pm 2,4$ à 8 semaines ($p < 0,05$). (*Figure 26 - Annexe 13*)

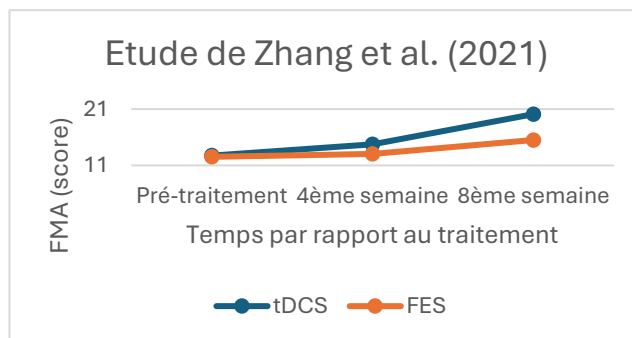


Figure 26 : Graphique illustrant la comparaison de la tDCS et la FES sur le score de Fugl-Meyer au cours du temps

3.4.4.2. Equilibre (Berg Balance Scale)

L'étude de Fang et al. (2023) a comparé la RT+FES à la RT+tDCS. La SMD était de -0,4 (IC 95 % : -1,0 à 0,3) et a montré une tendance en faveur de la FES. L'intervalle de confiance était proche de zéro et a indiqué que ce score n'était pas statistiquement significatif. (*Annexe 14*)

4. DISCUSSION

4.1. Contexte

La rééducation joue un rôle essentiel dans la récupération des séquelles d'un AVC. Actuellement, plusieurs approches innovantes sont utilisées pour faciliter cette rééducation, mais peu d'études se sont intéressées spécifiquement à la rééducation des membres inférieurs.

Cette revue systématique avait pour principal objectif d'évaluer l'efficacité de la tDCS et de la FES dans l'amélioration de la motricité des membres inférieurs chez les patients post-AVC. Elle visait également à comparer ces deux techniques afin de déterminer laquelle pourrait offrir de meilleurs résultats thérapeutiques.

Au total, 13 études ont été incluses, comprenant 9 RCT et 4 méta-analyses. La plupart de ces études ont obtenu un niveau méthodologique moyen à bon selon le score PEDro, tandis que le score sur l'échelle de Downs and Black est resté modéré, sans être particulièrement élevé.

4.2. Résultats

L'analyse des études menées sur la tDCS et la FES a mis en évidence plusieurs obstacles méthodologiques.

En effet, les différences observées entre les études ont montré que l'efficacité de ces techniques innovantes pouvait être influencée par de nombreux éléments, notamment les paramètres de stimulation (tels que la polarité, l'intensité ou la durée), les approches de rééducation associées, ainsi que les caractéristiques propres aux patients, comme le délai post-AVC ou encore la sévérité des atteintes. En conséquence, il est difficile de déterminer des conditions d'application optimales pour la tDCS et la FES dans un contexte clinique standardisé.

Par ailleurs, bien que ces techniques non invasives présentent un certain potentiel dans la prise en charge des patients post-AVC, leur intégration dans des protocoles de rééducation nécessite encore des recherches approfondies afin de mieux définir leurs indications, leurs modalités d'application optimales.

4.2.1. Analyse des effets de la tDCS et de la FES selon les échelles d'évaluation.

4.2.1.1. La tDCS

Spasticité (échelle d'Ashworth modifiée)

La spasticité survient fréquemment à la suite d'un AVC et impacte considérablement la récupération fonctionnelle. Sans prise en charge, elle risque d'entraîner des troubles moteurs, de perturber les activités quotidiennes et de compromettre la rééducation ainsi que les capacités de récupération du patient. Elle constitue donc une cible thérapeutique prioritaire.

La spasticité étant liée à une lésion des motoneurones supérieurs, en particulier au niveau du cortex moteur M1 mais aussi d'autres structures du système pyramidal, il serait pertinent d'explorer des stratégies thérapeutiques ciblant M1, notamment par la stimulation cérébrale non invasive (Ehsani et al., 2022).

L'étude de Huang et al. (2025) a évalué les effets à moyen terme de la tDCS. Les résultats ont montré une diminution cliniquement significative de la spasticité, en particulier avec les stimulations cathodale (ctDCS) et double (dtDCS). Ces résultats sont cohérents, car les deux types de stimulations ont en commun l'utilisation d'un courant cathodique, reconnu pour réduire l'excitabilité neuronale, un mécanisme directement impliqué dans la spasticité.

En revanche, les résultats à court terme ont été plus divergents, l'étude de Huang et al. (2025) a rapporté que la toxine botulique reste l'une des techniques les plus efficaces pour réduire la spasticité. Cependant, l'atDCS, la ctDCS et la dtDCS ont également permis de réduire l'hypertonie musculaire, bien que ces effets soient restés inférieurs à ceux observés avec la toxine botulique ainsi qu'à ceux obtenus lorsque la stimulation était appliquée sur le moyen terme.

La tDCS semble produire des effets progressifs et durables, notamment lorsqu'elle est associée à une rééducation active qui favorise la plasticité cérébrale. Ce mécanisme repose sur le fait que la tDCS agit directement sur l'excitabilité corticale en modulant l'activité des neurones du cortex moteur (Huang et al., 2025).

Fonction motrice (Fugl-Meyer)

La récupération des séquelles d'un AVC ayant lieu principalement dans les six premiers mois, il est essentiel de débiter la rééducation le plus tôt possible afin d'optimiser les chances de récupération fonctionnelle (Vimolratana et al., 2024).

Selon Duan et al. (2023), la tDCS peut augmenter le flux sanguin cortical, ce qui favorise une réorganisation neuronale et une neuroplasticité, contribuant ainsi à l'amélioration de la fonction motrice. Après un AVC, un déséquilibre d'excitation neuronale apparaît entre les deux hémisphères, avec une excitation plus forte dans l'hémisphère sain. La tDCS permet de rétablir cet équilibre en modulant l'excitabilité des hémisphères soit en stimulant le côté affecté, soit en inhibant le côté sain, ce qui facilite la récupération des fonctions motrices.

Deux études incluses ont évalué l'impact de la tDCS sur la fonction motrice et ont rapporté des effets négatifs associés à cette stimulation (Fang et al., 2023; Guo et al., 2023).

Sept autres études (Dong et al., 2021; Duan et al., 2023; Huang et al., 2025; Kim et al., 2024; Sun et al., 2023; Vimolratana et al., 2024; Zhang et al., 2021) ont rapporté des effets positifs de la stimulation non-invasive sur la récupération des fonctions motrices, bien que certaines différences dans l'application des interventions aient été observées entre elles.

De plus, Vimolratana et al. (2024) ont montré que l'atDCS a amélioré significativement la fonction motrice des membres inférieurs, en particulier chez les patients peu atteints. Cet effet a persisté un mois après le traitement.

Enfin, un autre élément essentiel à prendre en compte dans l'utilisation de la tDCS est la localisation anatomique de la zone à cibler. L'étude de Kim et al. (2024) confirme que la zone corticale de M1 responsable du contrôle des membres inférieurs se situe au niveau de la partie médiale de la scissure de Rolando, ce qui la rend particulièrement plus difficile à cibler par la tDCS que les zones plus superficielles de M1. Pour contourner cette difficulté, l'étude de Kim et al. (2024) a utilisé une HD-tDCS, dont le courant est plus précisément focalisé et potentiellement capable d'atteindre plus efficacement des structures profondes comme M1.

Équilibre (Berg Balance Scale)

Le cortex moteur (M1) et le cervelet représentent des cibles pertinentes pour la rééducation de l'équilibre, en raison de leur rôle complémentaire dans le contrôle moteur, l'adaptation motrice et la stabilité posturale. Les hémisphères cérébelleux, en particulier, constituent une région d'intérêt pour l'application de la tDCS. C'est dans cette perspective que l'étude de Zandvliet et al. (2018) a exploré les effets de la stimulation cérébelleuse et a montré qu'une stimulation contralésionnelle pouvait avoir un impact positif sur l'équilibre. Cette approche pourrait renforcer les connexions entre le M1 et le cervelet, améliorant ainsi la fonction cérébelleuse.

Ces mêmes auteurs suggèrent que l'efficacité de la stimulation dépend du besoin d'adaptation : elle serait plus visible chez les patients avec des déficits d'équilibre marqués, alors qu'aucun bénéfice n'a été constaté chez les sujets sains, probablement en raison d'un plafond de performance déjà atteint.

Enfin, l'étude de Kim et al. (2024) a examiné cette fois-ci les effets de la tDCS sur le cortex M1 pour évaluer son impact sur l'équilibre. Les résultats ont également été positifs, montrant que la stimulation favorisait une amélioration significative de l'équilibre.

Mobilité fonctionnelle (Timed Up And Go)

Quatre études (Duan et al., 2023; Kim et al., 2024; Shakeb et al., 2024; Zandvliet et al., 2018) ont examiné les effets de la tDCS sur la mobilité fonctionnelle post-AVC.

Trois d'entre elles (Kim et al., 2024; Shakeb et al., 2024; Zandvliet et al., 2018) n'ont pas montré d'amélioration significative à court terme.

L'étude de Shakeb et al. (2024) n'a pas davantage mis en évidence d'effet à long terme, même après 12 semaines de suivi, ce qui suggère une efficacité limitée de la tDCS lorsqu'elle est utilisée seule.

Cependant, Kim et al. (2024) et Duan et al. (2023) ont observé des effets positifs qui se sont maintenus jusqu'à un mois après l'intervention. Dans l'étude de Kim,

cette amélioration à moyen terme pourrait être liée à l'usage de la HD-tDCS, qui permet une stimulation plus précise et plus profonde du cortex moteur.

Selon Duan et al. (2023), la tDCS améliorerait le TUG en rééquilibrant l'activité entre les hémisphères, ce qui favorise la coordination posturale et la réactivation des circuits moteurs impliqués dans la marche.

Vitesse de marche (10-Meter Walk Test)

Deux auteurs (Duan et al., 2023; Kim et al., 2024) ont étudié l'effet de la tDCS, dans l'espoir que cette stimulation puisse améliorer la vitesse de marche des patients et ainsi renforcer leur autonomie.

Les résultats de ces deux études sont restés globalement nuancés. En effet, Duan et al. (2023) ont observé une efficacité de la tDCS à court terme plus importante qu'à moyen terme. À l'inverse, Kim et al. (2024) ont rapporté une plus grande amélioration à moyen terme. Toutefois, dans cette dernière étude, la différence d'évolution entre le groupe expérimental et le groupe témoin est restée faible, ce qui questionne la réelle efficacité de la tDCS.

Cette divergence entre les auteurs peut s'expliquer par les différences dans les critères d'inclusion des participants. Dans l'étude de Duan et al. (2023), les patients étaient capables de marcher de manière autonome pendant cinq minutes, ce qui indique une certaine récupération fonctionnelle déjà acquise. La tDCS pourrait, dans ce contexte, avoir permis une amélioration rapide, car ces patients disposaient déjà d'une base motrice relativement préservée. Une fois ce potentiel atteint, les bénéfices de la stimulation semblent s'atténuer, ce qui expliquerait l'absence d'effet à moyen terme.

Une autre différence notable entre les deux études concerne la technique de stimulation employée : Duan et al. (2023) ont utilisé la ctDCS qui est caractérisée par une diffusion plus large du courant, tandis que Kim et al. (2024) ont eu recours à la HD-tDCS, permettant une stimulation plus focalisée. Cette précision accrue pourrait contribuer aux effets plus durables observés sur la vitesse de marche, en favorisant une modulation neuronale plus ciblée.

En complément, l'étude de Duan et al. (2023) a souligné que la tDCS peut moduler les connexions neuronales et favoriser la coordination et la synergie motrice, ce qui peut améliorer indirectement la qualité de la marche.

4.2.1.2. La FES

Fonction motrice (Fugl-Meyer)

La FES est une approche de rééducation innovante qui vise à favoriser la récupération post-AVC en stimulant les zones atteintes. En ciblant spécifiquement les muscles des membres inférieurs concernés, elle présente un intérêt particulier pour la rééducation des fonctions motrices.

Les études de Fang et al. (2023) et Sun et al. (2023) ont mis en évidence un effet positif de la FES sur la rééducation motrice, notamment lorsqu'elle est associée à une prise en charge paramédicale.

Par ailleurs, l'étude de Zhang et al. (2021) a également rapporté des effets bénéfiques, y compris à moyen terme (après 4 semaines) et à long terme (après 8 semaines).

Zhang et al. (2021) ainsi que Sun et al. (2023) ont mis en évidence que la FES favorisait la récupération motrice en reproduisant des schémas de mouvement similaires à ceux observés naturellement, tout en contribuant à améliorer la coordination musculaire. Lorsqu'elle est intégrée à une rééducation thérapeutique, la FES est d'autant plus efficace car elle cible à la fois les composantes motrices, sensorielles et fonctionnelles de la rééducation. Ce couplage a permis à la fois l'activation musculaire et la participation active du patient, deux éléments clés dans le processus de récupération post-AVC.

Équilibre (Berg Balance Scale)

Selon Fang et al. (2023), la FES améliore la coordination musculaire et contribue à restaurer progressivement la stabilité posturale chez les patients post-AVC, en stimulant directement les muscles impliqués dans la posture et l'équilibre, tels que ceux des chevilles, des genoux et des hanches.

Son efficacité repose sur son application simultanée ou intermittente lors de tâches fonctionnelles, favorisant un meilleur ajustement postural.

Vitesse de marche (10-Meter Walk Test)

Seule une étude a été incluse dans notre revue, et elle a également mis en évidence des effets positifs de l'utilisation de la FES, à condition que cette stimulation soit associée à une rééducation (Fang et al., 2023).

Comme mentionné dans les travaux de Fang et al. (2023), la FES a permis de reproduire des séquences de mouvement proches de la marche naturelle et renforce les connexions neuromusculaires afin de favoriser un schéma de marche plus stable et fonctionnel. La stimulation électrique appliquée de manière ciblée et répétée pendant des tâches fonctionnelles permet de réactiver les circuits moteurs impliqués dans la propulsion, la flexion plantaire et la stabilisation posturale, ce qui peut contribuer à une amélioration progressive de la vitesse de marche.

4.2.1.3. Combinaison de la FES et la tDCS

Spasticité (échelle d'Ashworth modifiée)

La spasticité résulte d'une atteinte du système nerveux central, et peut perturber la fonction des membres inférieurs. En effet, un problème fréquent après un AVC est le pied tombant. Celui-ci est souvent associé à une spasticité des muscles fléchisseurs plantaires, qui s'opposent à la flexion dorsale du pied. Cependant, cette spasticité ne se limite pas à la cheville : d'autres groupes musculaires des membres inférieurs sont également concernés. Par conséquent, une combinaison de la tDCS avec la FES semble envisageable (Ehsani et al., 2022).

Les études de Da Cunha et al. (2022) et de Ehsani et al. (2022) incluses dans notre revue ont conduit à des conclusions une nouvelle fois assez divergentes.

D'une part, l'étude d'Ehsani et al. (2022) a conclu que la combinaison de la tDCS et de la FES permettait de réduire l'activation excessive, et donc la spasticité musculaire, avec des effets qui se sont maintenus même à long terme. La

stimulation conjointe semble améliorer la réorganisation corticale en agissant à la fois sur le système nerveux central et périphérique, ce qui pourrait expliquer la durabilité accrue des effets observés.

Dans l'étude menée par Da Cunha et al. (2022), les progrès observés au cours de la rééducation semblent avoir été principalement liés aux effets de la FES, la tDCS ne s'est pas montrée efficace pour potentialiser les bénéfices du traitement.

Cependant, cette dernière étude a inclus des patients ayant présenté des récurrences d'AVC dans un même hémisphère, entraînant des atteintes corticales plus étendues. Elle incluait également des patients ayant subi des AVC sous-corticaux, qui affectent des régions cérébrales plus profondes, moins accessibles à la tDCS, car celle-ci agit principalement sur les structures superficielles du cortex. Ces facteurs pourraient ainsi limiter l'effet potentiel de la stimulation dans ce contexte.

Selon la littérature, les patients présentant une atteinte légère des neurones du cortex ont une fonction motrice moins altérée, des neurones davantage préservés, ce qui augmente les chances de succès de la tDCS chez ces patients. En revanche, les patients ayant subi un AVC grave ou multiple auront moins de chances de répondre positivement à la tDCS en raison de l'atteinte plus sévère des neurones du cortex lésé.

En somme, bien que les résultats soient encore hétérogènes, les approches combinées tDCS-FES apparaissent prometteuses pour la réduction de la spasticité post-AVC, à condition d'être adaptées au profil neurologique des patients.

Fonction Motrice (Fugl-Meyer)

Comme le rapporte Fang et al. (2023), l'association de la tDCS à la FES à un programme de rééducation n'apporte pas de bénéfice supplémentaire clair sur la récupération motrice. Cette combinaison donne des résultats qui restent modestes et qui ne montrent pas d'efficacité supérieure par rapport à la FES combinée à de la rééducation. L'ajout de la tDCS à la FES ne semble donc pas intéressant pour la récupération de la fonction motrice.

Par conséquent, l'ajout de la tDCS à la FES ne peut pas encore être considéré comme une solution supérieure pour améliorer la fonction motrice post-AVC, en l'absence de données plus convaincantes et d'essais cliniques supplémentaires ciblant spécifiquement cette association.

Mobilité fonctionnelle (Timed Up And Go)

L'analyse de l'article de Da Cunha et al. (2022) a montré une amélioration significative des performances physiques, tant dans le groupe recevant la combinaison tDCS + FES que dans celui recevant la tDCS simulée + FES. L'ajout de la tDCS n'a donc pas généré de bénéfice supplémentaire dans le cadre de la rééducation.

Par ailleurs, les résultats ont indiqué que les participants qui présentaient une déficience légère ont obtenu une réduction plus marquée du temps de réalisation du test TUG, comparativement à ceux atteints d'une déficience sévère.

Équilibre (Berg Balance Scale) / Vitesse de marche (10-Meter Walk Test)

Pour évaluer l'impact de l'association entre la tDCS et la FES, l'étude de Fang et al. (2023) s'est basée sur l'échelle clinique du Berg Balance Scale (BBS) et du 10MWT afin d'analyser les progrès moteurs, notamment sur l'équilibre et sur la vitesse de marche dans le cadre de la rééducation post-AVC.

Après analyse, les auteurs ont conclu que la combinaison de la tDCS et de la FES n'apporte pas de bénéfice supplémentaire. Plus précisément, Fang et al. (2023) observent que la tDCS ne renforce pas les effets de la FES pour améliorer l'équilibre (BBS) et la vitesse de marche (10MWT).

Cependant, ces résultats non significatifs, doivent être interprétés avec prudence et ne permettent pas de tirer des conclusions solides.

4.2.1.4. Comparaison de la FES et de la tDCS

Fonction motrice (Fugl-Meyer)

La comparaison entre la FES et la tDCS permet de déterminer laquelle de ces deux stimulations est la plus efficace pour la récupération des fonctions motrices.

Les travaux de Fang et al. (2023), Guo et al. (2023) et Sun et al. (2023) ont comparé la FES et la tDCS, et ont mis en évidence une efficacité supérieure de la FES, en particulier lorsqu'elle est associée à une rééducation active.

Les effets de la tDCS, bien que présents dans certaines études, restent faibles, et ne sont pas systématiquement observés, ce que confirme l'étude de Guo et al. (2023) qui n'a apporté aucun résultat concluant malgré l'intégration d'une rééducation.

Au contraire, deux autres auteurs ont rapporté un effet plus prononcé de la tDCS à moyen terme dans l'étude de Zhang et al. (2021), et à court terme dans celle de Huang et al. (2025).

Toutefois, lorsqu'on considère l'ensemble des études incluses pour l'échelle de *Fugl-Meyer*, une légère prédominance des effets en faveur de la FES se dégage. Cette supériorité relative pourrait s'expliquer par le fait qu'une stimulation locale, appliquée directement sur les muscles atteints et associée à une rééducation active telle que la marche, permet de cibler plus précisément les zones à rééduquer, favorisant ainsi la récupération des fonctions motrices. Selon Sun et al. (2023), cette approche permet d'optimiser la plasticité périphérique et facilite le contrôle moteur, ce qui pourrait expliquer les résultats en faveur de la FES.

À l'inverse, la tDCS semble avoir une moindre efficacité dans la récupération motrice, probablement en raison de son action plus distale par rapport au muscle, induisant un effet moins puissant et moins ciblé sur la zone fonctionnelle concernée.

Équilibre (Berg Balance Scale)

En ce qui concerne la récupération de l'équilibre, la FES semble plus favorable pour cette rééducation, contrairement à la tDCS, qui ne potentialise pas les effets de la rééducation, selon Fang et al. (2023).

Cependant, les résultats de cette étude ne sont pas significatifs, ce qui invite à la prudence quant à son interprétation, et il serait pertinent de les comparer avec d'autres recherches pour en évaluer la validité.

Selon Fang et al. (2023), la tDCS, bien qu'ayant un impact sur l'excitabilité corticale et la plasticité neuronale, semble moins directement impliquée dans les ajustements posturaux nécessaires au maintien de l'équilibre. Cette étude suggère que la tDCS pourrait être plus efficace si elle était mieux ciblée ou utilisée sur une plus longue durée. De plus, la FES a l'avantage d'avoir un effet plus immédiat, contrairement à la tDCS, qui nécessite un processus plus complexe de réorganisation corticale.

4.2.2. Limites

Cette revue a présenté toutefois plusieurs limites méthodologiques qu'il convient de souligner.

Tout d'abord, la quantité d'études scientifiques intégrées dans notre revue n'a pas permis d'établir des recommandations thérapeutiques claires et solides.

En effet, le choix d'inclure uniquement des essais contrôlés randomisés (RCT) et des méta-analyses, bien qu'il visait à garantir un certain niveau de preuve, a restreint la sélection d'études pour enrichir l'analyse.

De plus, certaines échelles d'évaluation n'étaient représentées que par un nombre restreint d'articles, limitant ainsi les comparaisons possibles.

Une hétérogénéité notable a été présente entre les études sélectionnées, tant sur le plan des interventions (différents types de stimulation tDCS : anodale, cathodale, double, haute définition, variation du site de stimulation et de la fréquence) que sur celui des échantillons (différents stades de l'AVC, tailles d'échantillons variables, localisations cérébrales distinctes).

De plus, une même intervention pouvait produire des effets thérapeutiques variables selon le stade de récupération post-AVC des patients, ce qui a rendu la comparaison entre les différents protocoles de stimulation électrique difficile (Huang et al., 2025).

Ces disparités ont compliqué l'interprétation et la généralisation des résultats.

En revanche, cette revue a présenté plusieurs forces méthodologiques. Elle a été conduite par deux auteurs, ce qui a permis la sélection des études et une extraction des données rigoureuse. Les études incluses présentaient un score *PEDro* variant de 7 à 9/10, ce qui témoigne d'un haut niveau de qualité méthodologique. Du côté des méta-analyses, les scores de *Downs and Black* ont varié de 21 à 24/32, indiquant une fiabilité modérée à bonne.

Malgré ces limites qu'il était important de souligner, cette revue a présenté des résultats prometteurs qu'il convient de considérer et de poursuivre dans l'objectif d'une finalité thérapeutique.

4.2.3. Perspectives

Dans la perspective d'une amélioration continue des prises en charge en kinésithérapie, il sera essentiel que les recherches futures concernant l'analyse de la tDCS et de la FES soient menées à plus grande échelle.

La mise en place de protocoles standardisés permettra de renforcer la validité scientifique des résultats actuels et améliorera leur reproductibilité. Il sera également pertinent d'inclure un plus grand nombre d'articles pour renforcer la solidité des variables analysées.

De plus, il sera important d'analyser les effets de la tDCS et de la FES en utilisant des paramètres de stimulation similaires entre les études, ce qui permettra de proposer des interventions plus cohérentes et applicables dans divers contextes tels que les cabinets, hôpitaux, centres de rééducation ou encore à domicile. Par ailleurs, un suivi à long terme devra être envisagé afin de comparer les effets dans le temps et d'étudier la durabilité des bénéfices obtenus.

Au-delà des résultats cliniques, une exploration plus approfondie des mécanismes d'action de la tDCS et de la FES au niveau cérébral sera également nécessaire. L'étude de leur impact sur la plasticité cérébrale, la connectivité neuronale ou encore la réorganisation des circuits moteurs post-AVC contribuera à une meilleure compréhension de leur efficacité potentielle.

La tDCS présente à ce jour des atouts prometteurs, notamment grâce à son action directe sur le cerveau, ce qui la rend particulièrement pertinente dans le traitement des séquelles d'AVC. Elle se distingue également par son caractère non-invasif, ce qui en fait une option thérapeutique attrayante.

La FES offre plusieurs bénéfices cliniques, notamment grâce à sa stimulation directe des groupes musculaires des membres. Son utilisation s'intègre facilement dans des protocoles de rééducation, tout en favorisant l'engagement actif du patient, ce qui en fait une approche à la fois efficace, adaptable et bien tolérée.

La combinaison de ces deux traitements constitue une perspective prometteuse, qu'il faudra considérer et explorer davantage dans de futures recherches.

5. CONCLUSION

L'objectif de l'utilisation des stimulations électriques en pratique clinique est d'offrir un avantage complémentaire aux traitements traditionnels, en visant à améliorer les résultats fonctionnels des patients.

En conclusion, bien que les stimulations électriques présentent des résultats prometteurs, notamment dans certains domaines moteurs, les données disponibles restent encore variables.

L'analyse des différentes études met en évidence que, malgré quelques améliorations significatives, ces avancées demeurent globalement d'une ampleur modérée et ne surpassent pas systématiquement les effets des méthodes traditionnelles telles que l'utilisation de la toxine botulique ou encore la rééducation active de base.

Les résultats de cette revue systématique suggèrent néanmoins que la tDCS et la FES sont toutes deux efficaces pour améliorer la fonction motrice des membres inférieurs chez les patients post-AVC, bien que leurs effets varient selon les objectifs thérapeutiques, le contexte d'application et le stade de récupération.

La tDCS agit au niveau cortical, en modulant l'excitabilité neuronale. Non invasive et bien tolérée, elle semble pertinente à court et moyen terme pour réduire la spasticité et améliorer la motricité, en particulier lorsqu'elle est associée à une rééducation active. Elle montre également des effets positifs sur l'équilibre, la mobilité fonctionnelle et la vitesse de marche, bien que ceux-ci restent transitoires et plus modérés à long terme.

La FES, en revanche, agit de manière périphérique en stimulant directement les nerfs moteurs pour induire une contraction musculaire fonctionnelle. Elle démontre des effets plus marqués sur la marche, la force musculaire et l'équilibre avec des résultats visibles dès les premières semaines et durables dans le temps, surtout lorsqu'elle est intégrée à des exercices ciblés. Cependant, ces données reposent principalement sur un nombre restreint d'études, ce qui incite à la prudence.

La combinaison des deux techniques ne semble pas générer de bénéfice supérieur à leur utilisation isolée, bien que certaines études suggèrent une amélioration de la spasticité lorsqu'elles sont associées.

Ainsi, le choix de la technique doit être individualisé, en fonction des objectifs thérapeutiques, du stade de récupération et de la tolérance du patient.

Enfin, des recherches supplémentaires s'avèrent indispensables pour valider ces résultats sur le long terme, affiner les modalités d'application et standardiser les protocoles en vue d'une intégration optimale dans la pratique clinique.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Bastani, A., & Jaberzadeh, S. (2012). Does anodal transcranial direct current stimulation enhance excitability of the motor cortex and motor function in healthy individuals and subjects with stroke : A systematic review and meta-analysis. *Clinical Neurophysiology*, 123(4), 644-657.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.08.029>
- Cha, T.-H., & Hwang, H.-S. (2022). Rehabilitation Interventions Combined with Noninvasive Brain Stimulation on Upper Limb Motor Function in Stroke Patients. *Brain Sciences*, 12(8), 994.
<https://doi.org/10.3390/brainsci12080994>
- Da Cunha, M. J., Pinto, C., Schifino, G. P., Sant'Anna Py, I., Cimolin, V., & Pagnussat, A. S. (2022). Bicephalic Transcranial Direct-Current Stimulation Does Not Add Benefits to a Footdrop Stimulator for Improving Functional Mobility in People With Chronic Hemiparesis After Stroke : A Double-Blind, Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy*, 102(8), pzac079. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzac079>
- Divya, M., & Narkeesh, A. (2022). Therapeutic Effect of Multi-Channel Transcranial Direct Current Stimulation (M-tDCS) on Recovery of Cognitive Domains, Motor Functions of Paretic Hand and Gait in Subacute Stroke Survivors-A Randomized Controlled Trial Protocol. *Neuroscience Insights*, 17, 26331055221087741.
<https://doi.org/10.1177/26331055221087741>
- Dong, X.-L., Sun, X., Sun, W.-M., Yuan, Q., Yu, G.-H., Shuai, L., & Yuan, Y.-F. (2021). A randomized controlled trial to explore the efficacy and safety of transcranial direct current stimulation on patients with post-stroke fatigue.

Medicine, 100(41), e27504.

<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000027504>

Duan, Q., Liu, W., Yang, J., Huang, B., & Shen, J. (2023). Effect of Cathodal Transcranial Direct Current Stimulation for Lower Limb Subacute Stroke Rehabilitation. *Neural Plasticity*, 2023, 1863686. <https://doi.org/10.1155/2023/1863686>

Ehsani, F., Mortezaejad, M., Yosephi, M. H., Daniali, S., & Jaberzadeh, S. (2022). The effects of concurrent M1 anodal tDCS and physical therapy interventions on function of ankle muscles in patients with stroke : A randomized, double-blinded sham-controlled trial study. *Neurological Sciences*, 43(3), 1893-1901. Embase. <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05503-9>

Fang, Y., Li, J., Liu, S., Wang, Y., Li, J., Yang, D., & Wang, Q. (2023). Optimization of electrical stimulation for the treatment of lower limb dysfunction after stroke : A systematic review and Bayesian network meta-analysis of randomized controlled trials. *PLOS ONE*, 18(5), e0285523. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285523>

Guo, Z., Gao, Q., Jiang, Y., Jiang, H., & Jiang, N. (2023). Theraputic Effects of Brain-Computer Interface on Motor Recovery of Stroke Patients : A Meta-analysis. *medRxiv*, (Guo Z.; Jiang Y.; Jiang N., jiangning21@wchscu.cn) National Clinical Research Center for Geriatrics, West China Hospital Sichuan University, Chengdu, China. <https://doi.org/10.1101/2023.04.11.23288439>

Huang, J., Bao, C., Chen, Y., Zhu, W., Zhang, K., Liu, C., & Tang, C. (2025). Comparative efficacy and acceptability of non-invasive neuromodulation technologies and botulinum toxin injections for post-stroke spasticity and

- motor function : A network meta-analysis of randomised controlled trials. *eClinicalMedicine*, 80, 103034. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2024.103034>
- Kim, E., Lee, G., Lee, J., & Kim, Y.-H. (2024). Simultaneous high-definition transcranial direct current stimulation and robot-assisted gait training in stroke patients. *Scientific Reports*, 14(1), 4483. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53482-6>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & The PRISMA Group. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses : The PRISMA Statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Salazar, A. P., Cimolin, V., Schifino, G. P., Rech, K. D., Marchese, R. R., & Pagnussat, A. S. (2020). Bi-cephalic transcranial direct current stimulation combined with functional electrical stimulation for upper-limb stroke rehabilitation : A double-blind randomized controlled trial. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 63(1), 4-11. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2019.05.004>
- Shakeb, S., Obaid Baig, M., Abualait, T., Obaid, S., Yoo, W., & Bashir, S. (2024). Effects of anodal transcranial direct current stimulation on postural stability in subacute stroke : A randomized control trial. *Physiological Reports*, 12(19), e70067. <https://doi.org/10.14814/phy2.70067>
- Sun, M., Jiang, C., Zhang, J., Cheng, K., Zheng, W., Zhang, X., Wu, X., Chen, Z., Luo, G., & Zhao, G. (2023). Meta-Analysis of Functional Electrical Stimulation Combined with Occupational Therapy on Post-Stroke Limb Functional Recovery and Quality of Life. *Cerebrovascular Diseases*, (Cheng K.; Zhao G., gangzhao2022@126.com) First Clinical School of

Medicine, Southern Medical University, Guangzhou, China. Embase.

<https://doi.org/10.1159/000535470>

Tadi, P., & Lui, F. (2024). Acute Stroke. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK535369/>

Vimolratana, O., Aneksan, B., Siripornpanich, V., Hiengkaew, V., Prathum, T.,

Jeungprasopsuk, W., Khaokhiew, T., Vachalathiti, R., & Klomjai, W.

(2024). Effects of anodal tDCS on resting state eeg power and motor function in acute stroke: A randomized controlled trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 21(1), 6.

<https://doi.org/10.1186/s12984-023-01300-x>

Zandvliet, S. B., Meskers, C. G. M., Kwakkel, G., & van Wegen, E. E. H. (2018).

Short-Term Effects of Cerebellar tDCS on Standing Balance Performance in Patients with Chronic Stroke and Healthy Age-Matched Elderly. *Cerebellum (London, England)*, 17(5), 575-589.

<https://doi.org/10.1007/s12311-018-0939-0>

Zhang, X.-H., Gu, T., Liu, X.-W., Han, P., Lv, H.-L., Wang, Y.-L., & Xiao, P.

(2021). The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation and Functional Electrical Stimulation on the Lower Limb Function of Stroke Patients. *Frontiers in Neuroscience*, 15, 685931.

<https://doi.org/10.3389/fnins.2021.685931>

7. ANNEXES

1. Checklist PRISMA



PRISMA 2020 Checklist

Section and Topic	Item #	Checklist item	Location where item is reported
TITLE			
Title	1	Identify the report as a systematic review.	
ABSTRACT			
Abstract	2	See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.	
INTRODUCTION			
Rationale	3	Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.	
Objectives	4	Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.	
METHODS			
Eligibility criteria	5	Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.	
Information sources	6	Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.	
Search strategy	7	Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.	
Selection process	8	Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data collection process	9	Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Data items	10a	List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.	
	10b	List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.	
Study risk of bias assessment	11	Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.	
Effect measures	12	Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.	
Synthesis methods	13a	Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).	
	13b	Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.	
	13c	Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.	
	13d	Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s), method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.	
	13e	Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).	
	13f	Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.	
Reporting bias assessment	14	Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).	
Certainty	15	Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.	

Section and Topic	Item #	Checklist item	where item is reported
assessment			
RESULTS			
Study selection	16a	Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.	
	16b	Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.	
Study characteristics	17	Cite each included study and present its characteristics.	
Risk of bias in studies	18	Present assessments of risk of bias for each included study.	
Results of individual studies	19	For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect <u>estimate</u> and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.	
Results of syntheses	20a	For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.	
	20b	Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect.	
	20c	Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.	
	20d	Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.	
Reporting biases	21	Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.	
Certainty of evidence	22	Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.	
DISCUSSION			
Discussion	23a	Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.	
	23b	Discuss any limitations of the evidence included in the review.	
	23c	Discuss any limitations of the review processes used.	
	23d	Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.	
OTHER INFORMATION			
Registration and protocol	24a	Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.	
	24b	Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.	
	24c	Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.	
Support	25	Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.	
Competing interests	26	Declare any competing interests of review authors.	
Availability of data, code and other materials	27	Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review.	

2. PEDro

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

3. Downs and black

REPORTING	Yes/No/Partially	Score
1. Is the objective of the study clear?	Yes = 1, No = 0	
2. Are the main outcomes clearly described in the Introduction or Methods?	Yes = 1, No = 0	
3. Are characteristics of the patients included in the study clearly described?	Yes = 1, No = 0	
4. Are the interventions clearly described?	Yes = 1, No = 0	
5. Are the distributions of principal confounders in each group of subjects clearly described?	Yes = 2, Partially = 1, No = 0	
6. Are the main findings of the study clearly described?	Yes = 1, No = 0	
7. Does the study estimate random variability in data for main outcomes?	Yes = 1, No = 0	
8. Have all the important adverse events consequential to the intervention been reported?	Yes = 1, No = 0	
9. Have characteristics of patients lost to follow-up been described?	Yes = 1, No = 0	
10. Have actual probability values been reported for the main outcomes except probability < 0.001?	Yes = 1, No = 0	
11. Is the source of funding clearly stated?	Yes = 1, No = 0	
EXTERNAL VALIDITY	Yes/No/Unclear	Score
12. Were subjects who were asked to participate in the study representative of the entire population recruited?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
13. Were those subjects who were prepared to participate representative of the recruited population?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
14. Were staff, places, and facilities where patients were treated representative of treatment most received?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
INTERNAL VALIDITY	Yes/No/Unclear	Score
15. Was an attempt made to blind study subjects to the intervention?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
16. Was an attempt made to blind those measuring the main outcomes?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
17. If any of the results of the study were based on data dredging was this made clear?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
18. Was the time period between intervention and outcome the same for the intervention and control groups or adjusted for?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
19. Were the statistical tests used to assess main outcomes appropriate?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
20. Was compliance with the interventions reliable?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
INTERNAL VALIDITY (continued)	Yes/No/Unclear	Score

21. Were main outcome measures used accurate? (valid and reliable)	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
INTERNAL VALIDITY-CONFOUNDING (SELECTION BIAS)	Yes/No/Unclear	Score
22. Were patients in different intervention groups recruited from the same population?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
23. Were study subjects in different intervention groups recruited over the same period of time?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
24. Were study subjects randomized to intervention groups?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
25. Was the randomized intervention assignment concealed from patients and staff until recruitment was complete?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
26. Was there adequate adjustment for confounding in the analyses from which main findings were drawn?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
27. Were losses of patients to follow-up taken into account?	Yes = 1, No = 0, Unclear = 0	
POWER	Size of Smallest Intervention Group Score of 0 to 5	Score
28. Was the study sufficiently powered to detect clinically important effects where probability value for a difference due to chance is < 5%?		

4. Échelle d'Ashworth

Score Modified Ashworth Scale



0	No increase in muscle tone
1	Slight increase in muscle tone, manifested by a catch and release or by minimal resistance at the end of the range of motion when the affected part(s) is moved in flexion or extension
1+	Slight increase in muscle tone, manifested by a catch, followed by minimal resistance throughout the remainder (less than half) of the range of movement (ROM)
2	More marked increase in muscle tone through most of the ROM, but affected part(s) easily moved
3	Considerable increase in muscle tone, passive movement difficult
4	Affected part(s) rigid in flexion or extension

5. Fugl-Meyer Assessment Lower Extremity

Patient last name: Date of birth:/...../.....
 Patient first name: Date:/...../.....

Fugl-Meyer Assessment Lower Extremity (FMA-LE)

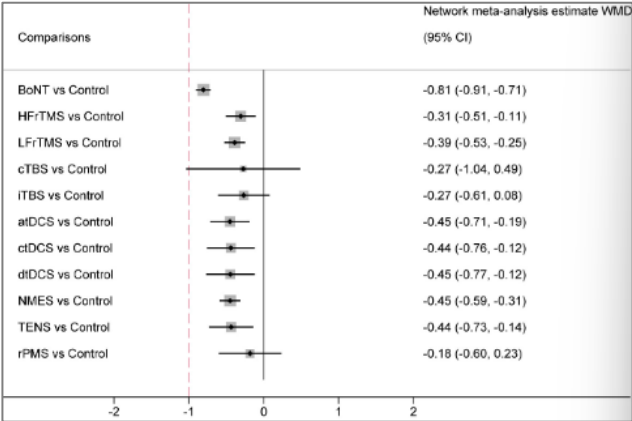
Assessment of sensorimotor function:

LOWER EXTREMITY				
I. Reflex activity, supine position		None	Can be elicited	
Flexors: knee flexors		0	2	
Extensors: patellar, Achilles		0	2	
Subtotal I		/4		
II. Volitional movement within synergies, supine position		None	Partial	Full
Flexor synergy: Maximal hip flexion (abduction/external rotation), maximal flexion in knee and ankle joint (palpate distal tendons to ensure active knee flexion).	Hip flexion	0	1	2
	Knee flexion	0	1	2
	Ankle dorsiflexion	0	1	2
Extensor synergy: From flexor synergy to the hip extension/adduction, knee extension and ankle plantar flexion. Resistance is applied to ensure active movement, evaluate both movement and strength	Hip extension	0	1	2
	Hip adduction	0	1	2
	Knee extension	0	1	2
	Ankle plantar flexion	0	1	2
Subtotal II		/14		
III. Volitional movement mixing synergies, sitting position, knee 10 cm from the edge of the chair/bed		None	Partial	Full
Knee flexion from actively or passively extended knee	no active motion	0		
	no flexion beyond 90°, palpate tendons of hamstrings		1	
Ankle dorsiflexion compare with unaffected side	no active motion	0		
	limited dorsiflexion		1	
Subtotal III		/4		
IV. Volitional movement with little or no synergy, standing position, hip at 0°		None	Partial	Full
Knee flexion to 90° hip at 0°, balance support is allowed	no active motion/ immediate and simultaneous hip flexion	0		
	less than 90° knee flexion or hip flexion during movement		1	
Ankle dorsiflexion compare with unaffected side	no active motion	0		
	limited dorsiflexion		1	
Subtotal IV		/4		
V. Normal reflex activity supine position, evaluated only if full score of 4 points achieved on earlier part IV, compare with unaffected side		None	Partial	Full
Reflex activity knee flexors, Achilles, patellar	0 points on part IV or 2 of 3 reflexes markedly hyperactive	0		
	1 reflex markedly hyperactive or at least 2 reflexes lively		1	
Subtotal V		/2		
Total		/28		

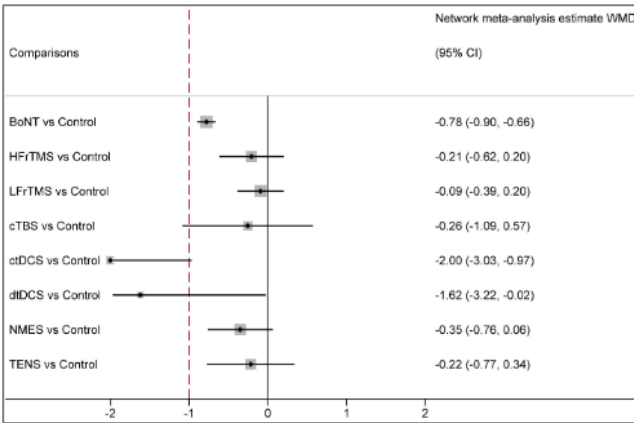
6. Berg Balance Scale

Category	Component	Score
Sitting balance	Sitting unsupported	0-4
Standing balance	Standing unsupported	0-4
	Standing with eyes closed	0-4
	Standing with feet together	0-4
	Standing on one foot	0-4
	Turning to look behind	0-4
	Retrieving object from floor	0-4
	Tandem standing	0-4
	Reaching forward with an outstretched arm	0-4
Dynamic balance	Sitting to standing	0-4
	Standing to sitting	0-4
	Transfer	0-4
	Turning 360 degrees	0-4
	Stool stepping	0-4
Total		0-56

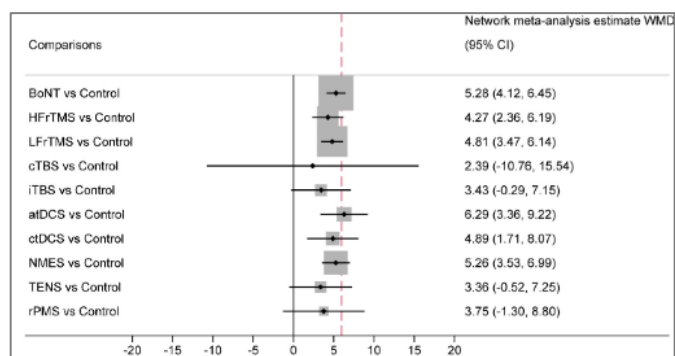
7. Valeurs de l'étude de Huang et al. (2024)



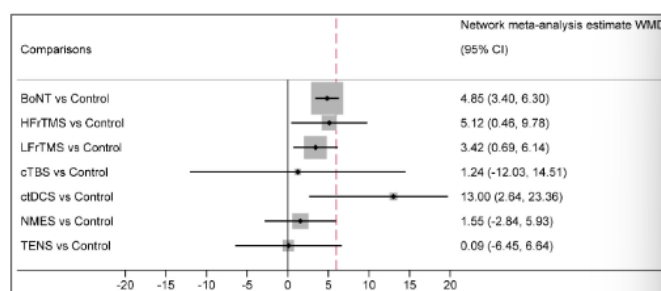
Efficacité des traitements à court terme sur la spasticité (Asworth)



Efficacité des traitements à moyen terme sur la spasticité (Ashworth)



Efficacité des traitements à court terme sur la fonction motrice (Fugl-Meyer)



Efficacité des traitements à moyen terme sur la fonction motrice (Fugl-Meyer)

8. Valeurs de l'étude de Dong et al. (2021)

	Avant le traitement	Après le traitement	t/Z	P
Groupe témoin	46,07 ± 7,04	55,93 ± 7,50	4,937	<.001
Groupe de traitement	46,19 ± 6,69	62,96 ± 8,47	8,015	<.001
t/Z	0,064	3,168		
P	.949	.003		

FMA = évaluation de la fonction mouvement de Fugl-Meyer.

Comparaison des scores FMA de 2 groupes avant et après traitement tDCS

9. Valeurs de l'étude de Duan et al. (2023)

	Groupe	T0	T1	Taille de l'effet (IC à 95 %)	T2	Taille de l'effet (IC à 95 %)	Comparaisons au sein du groupe		
							T1 contre T0	T2 contre T0	T1 contre T2
							Valeur p (Z)	Valeur p (Z)	Valeur p (Z)
FMA-LE	Procès	16,0 (14,00, 18,25)	21,50 (19,00, 23,00)	1,00 (0,00 à 2,00)	24h00 (22h00, 26h00)	2,00 (1,00 à 3,00)	P < 0,001 (4,565)	P < 0,001 (7,087)	P < 0,001 (2,522)
	Médiane (IQR)	17,0 (15,50, 19,00)	20,00 (18,00, 21,50)		22h00 (20h00, 24h00)		P < 0,001 (3,088)	P < 0,001 (5,444)	P < 0,001 (2,355)

Résultats du test FMA-LE suite au traitement de tDCS

	Groupe	T0	T1	Taille de l'effet (IC à 95 %)	T2	Taille de l'effet (IC à 95 %)	Comparaisons au sein du		
							T1 contre T2	T2 contre T1	T1 contre T2
							Valeur p (Z)	Valeur p (Z)	Valeur p (Z)
TUGT (s)	Procès	20,44 (3,82)	16,58 (2,35)	-1,48 (-2,93 à -0,02)	15,62 (2,42)	-1,30 (-2,56 à -0,04)	$p < 0,001$ (3,836)	$p < 0,001$ (4,820)	0,163 (0,957)
Moyenne (écart type)	Contrôle	20,11 (4,66)	18,06 (4,37)		16,92 (3,53)		0,067 (2,056)	0,001 (3,189)	0,613 (1,133)

Résultats du test TUG suite au traitement de tDCS

	Groupe	T0	T1	Taille de l'effet (IC à 95 %)	T2	Taille de l'effet (IC à 95 %)	Comparaisons au sein du		
							T1 contre T2	T2 contre T1	T1 contre T2
							Valeur p (Z)	Valeur p (Z)	Valeur p (Z)
10MWT (s)	Procès	17,25 (14,00, 19,50)	15,00 (13,50, 17,13)	-2,00 (-3,50 à -0,50)	14h00 (12h00, 16h13)	-1,00 (-3,00 à -0,00)	0,154 (1,626)	0,003 (2,800)	0,473 (1,173)
Médiane (IQR)	Contrôle	17,5 (14,50, 24,00)	17h00 (15h00, 21h50)		16,0 (12,75, 20,50)		0,941 (1,068)	0,025 (2,824)	0,297 (1,755)

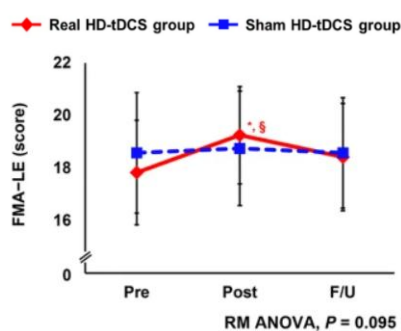
Résultats du 10 meter walk test suite au traitement de tDCS

10. Valeurs de l'étude de Guo et al. (2023)

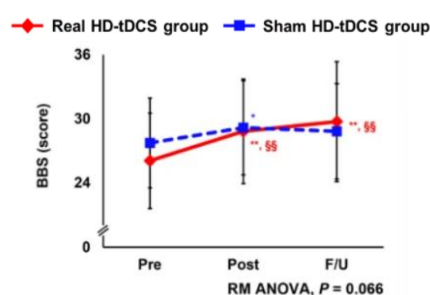
Study or Subgroup	Experimental			Control			Std. Mean Difference		Std. Mean Difference IV, Random, 95% CI
	Mean	SD	Total	Mean	SD	Total	Weight	IV, Random, 95% CI	
1.4.2 tDCS-BCI									
Chew 2020	0.94	0.86	10	2.76	1.32	9	3.0%	-1.58 [-2.64, -0.52]	
Hong 2017	2.06	4.94	9	4.61	5.28	9	3.3%	-0.47 [-1.42, 0.47]	
Hu 2021a	1.01	4.68	10	2.88	5.06	8	3.3%	-0.37 [-1.31, 0.57]	
Mane 2019	0.9	4.79	10	2.7	5.21	9	3.4%	-0.34 [-1.25, 0.56]	
Subtotal (95% CI)			39			35	12.9%	-0.65 [-1.19, -0.10]	
Heterogeneity: Tau ² = 0.07; ChI ² = 3.85, df = 3 (P = 0.28); I ² = 22%									
Test for overall effect: Z = 2.33 (P = 0.02)									
1.4.3 BCI-FES									
Biasiucci 2018	6.7	7.99	14	2.1	6.68	13	3.7%	0.60 [-0.17, 1.38]	
Chen 2021	7.88	6.5	16	2.81	3.94	16	3.8%	0.92 [0.19, 1.65]	
Kim 2016	7.87	2.42	15	2.93	2.74	15	3.4%	1.86 [0.98, 2.74]	
Lee 2020	3.3	3.44	13	0.3	0.63	13	3.5%	1.17 [0.33, 2.02]	
Leeb 2016	8.66	4.22	9	2.85	3.17	9	3.0%	1.48 [0.41, 2.56]	
Li 2013	12.71	12.16	7	6.71	4.46	7	2.9%	0.61 [-0.47, 1.69]	
Miao 2020	3.5	6.19	8	0.9	5.58	8	3.1%	0.42 [-0.58, 1.41]	
Mrachacz-Kersting 2016	0.77	4.14	13	-2	3.38	9	3.4%	0.69 [-0.19, 1.57]	
Mrachacz-Kersting 2018	5.92	3.81	12	2.67	3.62	12	3.5%	0.84 [0.00, 1.69]	
Subtotal (95% CI)			107			102	30.6%	0.95 [0.66, 1.24]	
Heterogeneity: Tau ² = 0.00; ChI ² = 8.00, df = 8 (P = 0.43); I ² = 0%									
Test for overall effect: Z = 6.37 (P < 0.00001)									

Analyse de sous-groupe des effets de la BCI+tDCS et BCI+FES sur l'échelle de Fugl-Meyer

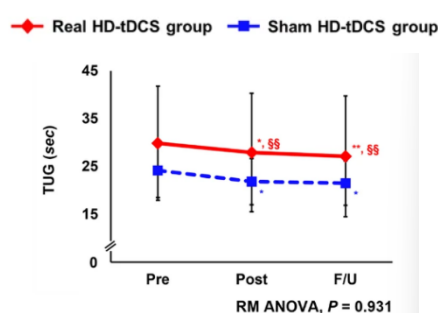
11. Graphiques provenant de l'étude de Kim et al. (2024)



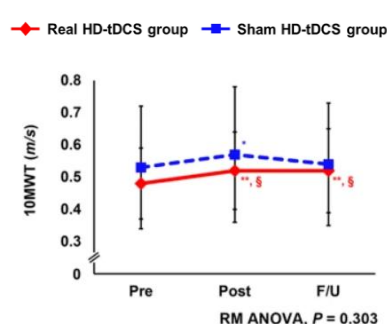
Effets de la HD-tDCS réelle vs simulée pour le FMA-LE



Effets de la HD-tDCS réelle vs simulée pour le BBS



Effets de la HD-tDCS réelle vs simulée pour le TUG



Effets de la HD-tDCS réelle vs simulée pour le 10MWT

12. Résultats de l'étude de Sun et al. (2023)

	Experimental Mean	SD	Total	Control Mean	SD	Total	Weight	Mean Difference IV, Random, 95% CI	Mean Difference IV, Random, 95% CI
tDCS plus OT vs. OT									
Ilić NV	51.00	5.6000	14	47.00	7.5000	12	10.2%	4.00 [-1.16; 9.16]	
Nair DG	33.36	4.6200	7	32.69	3.6900	7	11.5%	0.67 [-3.71; 5.05]	
Yang Y	45.64	7.7900	34	40.29	7.0300	34	13.0%	5.35 [1.82; 8.88]	
Hong XJ	39.31	4.9300	31	36.89	3.5800	29	15.2%	2.42 [0.25; 4.59]	
Zhang Y	39.29	4.9400	28	36.86	3.5900	29	15.1%	2.43 [0.18; 4.68]	
Total (95% CI)			114			111	65.0%	2.77 [1.46; 4.09]	
Heterogeneity: $\tau^2 = 0$; $\chi^2 = 3.34$, $df = 4$ ($P = 0.50$); $I^2 = 0\%$									
FES plus OT vs. OT									
Maeda M	55.00	7.2600	11	42.00	6.2500	11	9.5%	13.00 [7.34; 18.66]	
You G	22.30	7.9000	19	17.20	7.2000	18	10.7%	5.10 [0.23; 9.97]	
Wang DY	48.63	5.5700	37	39.24	5.0600	37	14.8%	9.39 [6.97; 11.81]	
Total (95% CI)			67			66	35.0%	9.04 [5.34; 12.73]	
Heterogeneity: $\tau^2 = 6.1169$; $\chi^2 = 4.47$, $df = 2$ ($P = 0.11$); $I^2 = 55\%$									
Total (95% CI)			181			177	100.0%	5.08 [2.46; 7.71]	
Heterogeneity: $\tau^2 = 10.6065$; $\chi^2 = 34.26$, $df = 7$ ($P < 0.01$); $I^2 = 80\%$									
Test for subgroup differences: $\chi^2 = 9.79$, $df = 1$ ($P < 0.01$)									

Effets de la tDCS+ergothérapie vs ergothérapie et effets de la FES+ergothérapie vs ergothérapie sur l'échelle de Fugl-Meyer

13. Résultats de l'étude de Zhang et al. (2021)

Group	Time	Barthel	Fugl-Meyer
FES group	Before the treatment	36.72 ± 5.69	12.52 ± 2.21
	After 4 weeks of treatment	40.08 ± 8.49 [#]	13.02 ± 2.09 [#]
	After 8 weeks of treatment	43.77 ± 5.82 ^{#Δ}	15.51 ± 2.43 ^{#Δ}
tDCS group	Before the treatment	38.93 ± 5.33	12.74 ± 3.35
	After 4 weeks of treatment	44.51 ± 7.23 [#]	14.74 ± 3.13 [#]
	After 8 weeks of treatment	61.23 ± 7.23 ^{#Δ}	20.10 ± 3.43 ^{#Δ}

[#]Indicates that the mean value difference between the FES group and the tDCS group is significant at the same time point, $p < 0.05$.
[#]Indicates that the mean value difference at this time point is significant compared with that before treatment, $p < 0.05$.
^ΔIndicates that the mean value difference at this time point is significant compared with that after 4 weeks of treatment, $p < 0.05$.

Test de différence avant le traitement, 4 semaines après le traitement et 8 semaines après le traitement (Fugl-Meyer)

14. Résultats de l'étude de Fang et al. (2023)

Outcome Measure	Comparison	Number	SMD (95% CI)	I ² (%)	p
FMA-LE	RT+tDCS+FES vs RT+FES	1	0.20(-0.44,0.84)	-	-
	RT+tDCS+FES vs RT+tDCS	1	0.21(-0.43,0.86)	-	-
	RT+FES vs RT+tDCS	2	-0.75(-2.25,0.74)	94	<0.00001
	RT+FES vs RT+SS	1	0.76(0.16,1.36)	-	-
	RT+FES vs RT	11	1.30(0.72,1.88)	92	<0.00001
	RT+TEAS vs RT+TENS	1	1.52(1.02,2.02)	-	-
	RT+TEAS vs RT+SS	1	0.54(-0.09,1.16)	-	-
	RT+TEAS vs RT	4	0.93(0.49,1.38)	63	0.04
	RT+TENS vs RT	2	1.01(0.63,1.39)	0	0.39
	RT+SS vs RT	1	-0.01(-0.60,0.57)	-	-
	RT+NMES vs RT	4	0.94(0.34,1.55)	86	<0.00001

Mesures des effets des différentes combinaisons de traitement sur le FMA-LE

BBS	RT+tDCS+FES vs RT+FES	1	0.56(-0.09,1.21)	-	-
	RT+tDCS+FES vs RT+tDCS	1	0.18(-0.46,0.83)	-	-
	RT+tDCS+FES vs RT+FES+SS	1	1.12(0.43,1.81)	-	-
	RT+FES vs RT+tDCS	1	-0.35(-1.00,0.30)	-	-
	RT+FES vs RT+SS	1	0.75(0.15,1.35)	-	-
	RT+FES vs RT	7	0.87(0.69,1.05)	30	0.2
	RT+TEAS vs RT+SS	1	0.79(0.15,1.42)	-	-
	RT+SS vs RT	1	-0.01(-0.59,0.58)	-	-
	RT+NMES vs RT	1	0.59(0.23,0.96)	-	-

Mesures des effets de différentes combinaisons de traitement sur le BBS

10mMWS	RT+tDCS+FES vs RT+tDCS	1	0.00(-0.84,0.84)	-	-
	RT+tDCS+FES vs RT+FES+SS	2	0.01(-0.50,0.51)	0	0.63
	RT+FES vs RT	5	1.28(0.32,2.23)	93	<0.00001
	RT+tDCS vs RT+FES+SS	1	0.20(-0.62,1.02)	-	-
	RT+TENS vs RT	1	0.68(0.16,1.20)	-	-

Mesures des effets de différentes combinaisons de traitement sur le 10MWT

15. Valeurs de l'étude de Ehsani et al. (2022)

Variables	Effet		DF	F	valeur p
BBS	Principal	Groupe	2	3,87	0,039*
		Temps	2	25,73	0,001*
	Interaction	Groupe*temps	4	6.34	0,004*

Effets de la combinaison de la tDCS anodique M1 et de la physiothérapie sur BBS

Variables	Effet		DF	F	valeur p
MAS	Principal	Groupe	2	3,98	0,03
		Temps	2	24,78	<0,001*
	Interaction	Groupe*temps	4	5,73	0,001*

Effets de la tDCS sur l'échelle MAS

16. Résultats de l'étude de Shakeb et al. (2024)

Variable	Temps	Groupe	rang moyen	p -Valeur
REMORQUEUR	0 semaine	Expérimental	18.0	0,791
		Contrôle	19.0	
	3ème semaine	Expérimental	16,86	0,355
		Contrôle	20.14	
	6ème semaine	Expérimental	15.28	0,068
		Contrôle	21,72	
	9e semaine	Expérimental	13,94	0,10
		Contrôle	23.06	
	12e semaine	Expérimental	15.22	0,064
		Contrôle	21,78	

Analyse intergroupe pour le TUG suite au traitement de tDCS

Variable	Temps	Groupe expérimental			Groupe témoin		
		rang moyen	Médiane (IQR)	p - Valeur	rang moyen	Médiane (IQR)	p - Valeur
REMORQUEUR	0 semaine	4,83	31 (70)	<0,001	5,00	30 (68,8)	<0,001
	3ème semaine	3,83	24 (52)		3,83	25 (64)	
	6ème semaine	2,78	17 (26)		2,94	23 (56)	
	9e semaine	1,72	11 (14)		2.06	22 (45)	
	12e semaine	1,83	16 (44,5)		1.17	21 (45)	

Analyse intragroupe pour le TUG suite au traitement de tDCS

17. Résultats de l'étude de Da Cunha et al. (2022)

Parameter ^b	Median (No. of Participants With MAS Value of 0/1/1+/2/3/4) for:		Time Effect		Group Effect		Time × Group Interaction	
	tDCS+FDS Group (n=16)	Sham tDCS+FDS Group (n=16)	Wald χ^2	P	Wald χ^2	P	Wald χ^2	P
MAS for plantarflexors								
Preintervention	3 (0/1/2/2/5/6)	3 (0/2/0/2/6/6)	6.75	.034	0.01	.904	0.11	.945
Postintervention	3 (1/1/1/1/7/3)	3 (0/2/2/3/4/5)						
Follow-up	3 (2/0/0/2/5/2) ^c	3 (1/2/1/0/6/3) ^c						
MAS for knee extensors								
Preintervention	2 (2/3/3/3/5/0)	1+ (3/4/3/1/3/2)	7.24	.027	0.10	.746	0.71	.699
Postintervention	2 (3/2/1/6/2/0)	1+ (3/3/3/3/4/0)						
Follow-up	1+ (2/3/2/3/0/1) ^c	1 (5/2/1/3/2/0) ^c						
MAS for hip adductors								
Preintervention	2 (2/3/2/6/3/0)	2 (3/1/2/6/4/0)	3.97	.137	0.18	.670	2.78	.249
Postintervention	1+ (2/1/5/4/2/0)	1+ (3/3/4/4/2/0)						
Follow-up	2 (1/2/2/3/3/0)	1+ (1/4/4/1/3/0)						

Comparaison de la tDCS+FDS vs sham tDCS+FDS sur l'échelle MAS

Parameter ^b	Mean (95% CI) for:		Time Effect		Group Effect		Time × Group Interaction		
	tDCS + FDS Group (n = 16)	Sham tDCS + FDS Group (n = 16)	Wald χ^2	P	Effect Size	Wald χ^2	P	Wald χ^2	P
TUG total time, s									
Preintervention	24.29 (17.72–33.28) ^c	19.63 (16.06–23.0) ^f	21.74	.0001		0.86	.352	1.19	.551
Postintervention	21.75 (15.75–30.08)	18.45 (15.26–22.3)			0.16 ^d				
Follow-up	19.87 (14.06–28.09)	16.83 (12.76–2.17)			0.31 ^e				

Comparaison de la tDCS+FDS vs sham tDCS+FDS au TUG

Abstract

Objectifs : Cette revue systématique compare l'effet de la stimulation transcrânienne à courant direct (tDCS) à la stimulation électrique fonctionnelle (FES) dans la récupération motrice des membres inférieurs chez les patients post-AVC.

Méthode : Trois bases de données (PubMed, Embase et Scopus) ont été consultées. Treize études (9 RCT, 4 méta-analyses) ont été sélectionnées selon les critères PRISMA. La qualité méthodologique des études retenues a été évaluée grâce à l'outil Pedro et l'échelle de Downs and Black.

Résultats : La tDCS et la FES montrent toutes les deux des effets positifs sur la récupération motrice. Leur efficacité est renforcée lorsqu'elles sont associées à des exercices de rééducation. La tDCS présente des effets significatifs sur la spasticité et la fonction motrice à court et moyen terme. La FES offre des bénéfices plus durables à long terme et en particulier sur l'équilibre et la marche. L'association des deux techniques pourrait potentialiser les effets, bien que les résultats restent hétérogènes.

Conclusion : La tDCS et la FES sont efficaces et sont bien tolérées pour la rééducation post-AVC des membres inférieurs. La tDCS est pertinente en raison de sa possibilité d'intégration précoce dans la prise en charge, tandis que la FES montre une efficacité croissante lorsqu'elle est combinée à une rééducation. Des recherches complémentaires sont nécessaires pour optimiser les protocoles.