

Faculté des sciences de la motricité

Intérêt de la stimulation transcutanée de la moelle épinière dans la rééducation de la marche chez les patients blessés médullaires

Une revue narrative de la littérature

Auteurs : Laura Panec-Détrés et Ariane Parent

Promoteur : Olivier Loiseau

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'intelligence artificielle a été utilisée dans notre travail comme outil d'aide à la relecture pour améliorer la qualité linguistique, notamment en ce qui concerne l'orthographe, la grammaire ainsi que la conjugaison.

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.

Nom	Panec-Détrés ; Parent	Prénom	Laura ; Ariane
-----	-----------------------	--------	----------------

REMERCIEMENTS

Au terme de ce mémoire, nous aimerions remercier notre promoteur, Monsieur Olivier Loiseau, kinésithérapeute aux Cliniques universitaires Saint-Luc de Bruxelles, pour son écoute, ses conseils ainsi que son expertise tout au long de notre travail.

Nous remercions également Julien Da Purificação, Camilia Bali et Louise Declerck pour les ateliers mémoire qui nous ont été utiles tout au long de la production de ce mémoire, autant pour la méthodologie que pour la rédaction.

Enfin, nous remercions nos familles ainsi que nos proches pour leur soutien, leurs encouragements et leurs implications dans la réalisation de ce travail.

LISTE ABREVIATIONS

- **ME** = Moelle épinière
- **LM** = Lésion médullaire
- **LME** = Lésion de la moelle épinière
- **ASIA** = American Spinal Injury Association
- **tSCS** = Stimulation transcutanée de la moelle épinière
- **AIH** = Hypoxie aigue intermittente
- **10MWT** = Test de marche de 10 mètres
- **TM2M** = Test de marche de 2 minutes
- **6MWT** = Test de marche de 6 minutes
- **TUG** = Timed up and go

Table des matières

1. INTRODUCTION.....	1
1.1. La moelle épinière	1
1.2. Les blessés médullaires	2
1.3. La prise en charge en kinésithérapie d'un blessé médullaire	5
1.4. La stimulation transcutanée de la moelle épinière.....	7
1.5. Objectif de cette revue.....	9
2. METHODES.....	10
2.1. Protocole	10
2.2. Base de données.....	10
2.3. Equation de recherche	10
2.4. Critères d'éligibilité	11
2.5. Sélection des articles et évaluation de leur qualité méthodologique.....	12
3. RESULTATS	14
3.1. Sélection des études.....	14
3.2. Description des participants, du protocole et des résultats du traitement de chaque étude	16
3.2.1. (Estes et al., 2021).....	16
3.2.2. (Krenn et al., 2023).....	18
3.2.3. (Cirnigliaro et al., 2024).....	19
3.2.4. (Comino-Suárez et al., 2025).....	20
3.2.5. (Lin et al., 2022).....	21
3.2.6. (Sayenko et al., 2019).....	22
3.2.7. (McKenzie et al., 2024).....	23
3.2.8. (Meyer et al., 2020).....	25
3.2.9. (Kumru et al., 2024)	26
3.3. Synthèse des populations étudiées.....	27
3.4. Synthèse des interventions	28
3.5. Synthèse des tests et résultats.....	30
4. DISCUSSION	32
4.1. Rappel de l'objectif de la revue.....	32
4.2. Comparaison des études	32
4.3. Efficacité globale de la tSCS.....	32
4.4. Modalités de la tSCS.....	35
4.5. Limites	37
4.6. Perspectives.....	39

5.	CONCLUSION	42
6.	BIBLIOGRAPHIE.....	43
7.	ANNEXES.....	49

1. INTRODUCTION

1.1. La moelle épinière

La moelle épinière (ME) est composée de faisceaux d'axones formant des voies transportant les messages entrants et sortants qui circulent entre le cerveau et le reste de l'organisme. Elle contient des circuits de cellules nerveuses qui contrôlent les mouvements coordonnés tels que la marche. C'est aussi le centre des réflexes (Rubin, 2025). Elle s'étend du trou occipital pour se terminer au niveau des premières vertèbres lombaires, au niveau de L1 à L2 sous la forme d'un cône terminal, à partir de là, elle laisse place à la queue de cheval qui se poursuit dans le canal rachidien.

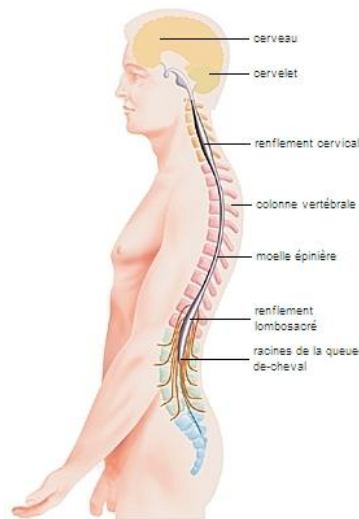


Fig.1. La moelle épinière (Poulain, n.d.)

Notre système nerveux central possède des réseaux de neurones appelés des « central pattern generator » (CPG) qui sont des circuits spécialisés de la ME qui provoquent des mouvements rythmiques synchronisés de muscles en l'absence d'activation des neurones descendants pour produire une activité motrice tel que la marche, la respiration ou encore la mastication (Mundra et al., 2023).

La ME est constituée de réseaux neuronaux spinaux ; on peut dénombrer 31 paires de racines nerveuses spinales (World Health Organisation [WHO], 2013). Ces réseaux spinaux permettent de commander les différents segments du corps

(membres, tête et tronc) qui contrôlent les fonctions locomotrices et posturales afin de produire un comportement locomoteur optimal (Beliez, 2014).

Si la ME est atteinte lors de blessures, cela peut causer des lésions des faisceaux de fibres nerveuses spinales, avec altérations associées des fonctions motrices, sensorielles et autonomes en dessous du niveau de la lésion, pouvant entraîner une perte d'autonomie conséquente chez les patients (Rupp, 2020).

1.2. Les blessés médullaires

En Belgique, environ 200 personnes sont victimes chaque année d'une lésion médullaire (LM) (Info Santé, 2020).

Le chiffre au niveau mondial est lui aussi alarmant. Selon les estimations mondiales de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), en 2021, environ 15.4 millions de personnes vivaient avec une lésion de la moelle épinière (LME) (Organisation Mondiale de la Santé [OMS], 2024.).

Bien que ce chiffre soit mondial, des disparités importantes existent d'un pays à l'autre en ce qui concerne le nombre de personnes atteintes d'une LM. Ce phénomène peut être expliqué par plusieurs facteurs. Tout d'abord, l'incidence de cette lésion dépend largement du niveau de développement du pays, qu'il soit en voie de développement ou déjà développé. L'incidence est plus basse dans un pays développé. Ensuite, l'âge peut aussi avoir un impact sur l'incidence des LME. Enfin, en termes de proportions, les lésions traumatiques de la ME chez les hommes sont 3.2 fois plus élevées que chez les femmes, ce qui correspond au ratio hommes/femmes d'environ 3 : 1 (Lu et al., 2024). Les raisons de cette disparité entre les hommes et les femmes restent peu démontrées même si on peut émettre l'hypothèse que les hommes ont plus facilement des métiers à risques ou même qu'ils sont adeptes de sports extrêmes. Ces facteurs créent plus de risques de faire une chute qui puisse entraîner une lésion traumatique.

Dans une LME, diverses causes peuvent être incriminées, notamment les chutes (chutes de hauteur, chutes simples), les accidents de la route, les accidents liés à la pratique d'un sport, la violence (Kang et al., 2017).

On peut classer ces causes en deux grandes catégories : les causes traumatiques et

les causes non traumatiques. Si on recense les taux d'incidence des lésions traumatiques et non traumatiques, on peut constater qu'un plus grand nombre de patients souffrent de lésions traumatiques. En effet, les LM traumatiques sont chiffrés à 26.48 par million de personnes, tandis que le taux des LM non traumatiques était de 17.93 par million de personnes (Lu et al., 2024).

La nature et l'étendue des déficits d'une LM varient en fonction de l'endroit et de la gravité de la blessure (Consortium national de formation en santé [CNFS], 2025) :

Niveau de la lésion	Impacts cliniques sur :
Lésion sacrée : de S1 à S5	Erection pénienne Fonctions vésicales et intestinales
Lésion lombaire : L1 à L5	Erection pénienne, fonctions vésicales et intestinales Éjaculation Mouvement du pied Flexion du genou Mouvement de hanche
Lésion thoracique : T1 à T12	Fonctions vésicales, intestinales, érection pénienne, éjaculation Mouvement des membres inférieurs Stabilité du tronc
Lésion cervicale : C1 à C7	Fonctions vésicales, intestinales, érection pénienne, éjaculation Mouvement des membres inférieurs Stabilité du tronc Fonctions respiratoires Déglutition Communication Limitation des mouvements de la tête et du cou Mouvement de l'épaule, du coude, du poignet, des mains et des doigts

Une LME est décrite comme étant complète ou incomplète. Une lésion complète signifie qu'il n'y a plus de communication nerveuse sous le site de la blessure. Les personnes atteintes perdent le contrôle, la sensibilité ou la fonction musculaire sous la blessure.

Une lésion incomplète signifie que la ME est toujours capable d'envoyer certains messages vers ou depuis le cerveau. Les personnes atteintes conservent une certaine sensibilité, une certaine fonction et un certain contrôle musculaire sous le site de la

lésion (National Institute of Neurological Disorders and Stroke [NINDS], 2025).

La distinction entre les deux lésions est faite grâce au score ASIA (American Spinal Injury Association). Cette échelle est utilisée pour évaluer le degré de déficience (Ditunno et al., 1994). Ce score ASIA est un examen fait pour dépister ou suivre l'évolution des lésions neurologiques. Il permet d'effectuer un examen sensitivomoteur bilatéral et d'identifier dans quel grade le patient se trouve. Cet examen clinique doit être répété pour permettre un suivi et la stabilité de la lésion (Benayoun & Pease, 2009).

Dans cette échelle, les patients sont classés en cinq catégories en fonction de la gravité de leur atteinte associée à un grade (**Annexe 1, Page 49**).

Les patients présentant un grade ASIA A sont les plus fréquents dans les cas de lésions traumatiques. Ces patients, classés par l'échelle ASIA comme ayant subi des lésions complètes, souffrent d'une perte totale des fonctions sensorielles et motrices en dessous du niveau de la lésion, ce qui entraîne la possibilité de morbidité la plus grave. Cela suggère que les événements traumatiques entraînent souvent des lésions neurologiques plus graves. À l'inverse, on constate qu'il y a une proportion plus élevée de patients atteints de lésions classées comme ASIA D, probablement liées à des causes non traumatiques comme des tumeurs comprimant progressivement différents tissus nerveux (Lu et al., 2024).

Il est à noter que les lésions ASIA A sont restées principalement complètes de l'admission à la sortie des patients du centre de soins et n'ont dans aucun cas atteint des niveaux fonctionnels. Seul un tiers des patients ASIA B ont montré une amélioration, dont 33,3 % étaient fonctionnels. L'amélioration chez les patients ASIA C est de 76,4 % et tous les patients ASIA D sont fonctionnels à la sortie (Vazquez et al., 2008). Cette échelle ASIA peut donc mettre en évidence les facteurs prédictifs d'une récupération, en effet les patients ayant un grade ASIA D après la lésion ont plus de chances d'acquérir une autonomie par rapport aux patients ASIA A où la récupération sera moins importante.

Dans ce travail, il paraît pertinent d'étudier les patients avec une paralysie incomplète (ASIA B à D) car une enquête a été menée en 2004 sur 681 personnes

atteintes de LME, il apparait que les personnes atteintes de LME incomplètes ont comme priorité la station debout et la marche alors que les patients avec une LME complète ont comme priorité la fonction intestinale et n'ont pas comme objectif la fonction locomotrice (Thorogood et al., 2023).

1.3. La prise en charge en kinésithérapie d'un blessé médullaire

Lors de son arrivée à l'hôpital, le blessé médullaire va subir des examens. Tout d'abord, un examen neurologique où l'on vient tester la sensibilité, les réflexes ainsi que le tonus musculaire. Ensuite, on cherche à dépister des troubles pelviens, des troubles neurovégétatifs et des troubles respiratoires. Par la suite, si cela est possible, des procédures de rééducation peuvent être mises en place. Idéalement, les soins doivent débiter au cours de l'hospitalisation en aigus afin de gagner de l'autonomie (Benayoun & Pease, 2009).

Le kinésithérapeute doit cibler son traitement afin de viser une récupération fonctionnelle. Pour ce faire, le kinésithérapeute doit d'abord effectuer un bilan sur les conditions de vie du patient avant la lésion en vue d'adapter son traitement pour un retour au domicile optimal.

Ce bilan doit être défini comme le plus complet possible afin d'avoir une idée des activités de la vie quotidienne à domicile. Pour ce faire, la Spinal Cord Independance Measure III (SCIM III) permet une mesure de l'indépendance des blessés médullaires qui comprend différents items tels que : les soins personnels, la respiration, le contrôle sphinctérien, la mobilité et les déplacements. Cette mesure est reproductible et spécifique même si elle se révèle peu sensible aux améliorations dans la marche (Bouchot-Marchal et al., 2011) (**Annexe 2, Page 50-51**).

Après avoir relaté les conditions de vie du patient, il est important de quantifier l'activité physique afin de savoir sur quelle composante notre traitement de kinésithérapie doit avoir une action.

Le traitement va donc pouvoir se baser sur le modèle de la Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF) (**Annexe 3, Page 52**) et sur ses différentes composantes ; à savoir : les fonctions organiques et anatomiques, les activités, la participation, les facteurs environnementaux et

personnels (Edwards & Jones, 2007). La prise en charge va aussi se baser sur la phase dans laquelle se trouve le patient. Dans la phase aigüe, les objectifs sont la prévention des nombreuses complications pouvant mettre en jeu le pronostic vital, ou pouvant retentir sur le processus de rééducation ou aggraver le pronostic fonctionnel. Ainsi, la prise en charge sera basée sur : la gestion des problèmes respiratoires, des problèmes cardiovasculaires, des thrombophlébites, de l'embolie pulmonaire, la prévention des escarres, de l'avenir urologique et génital, des problèmes digestifs et des complications neuro-orthopédiques (Perrouin-Verbe, 2005).

Lors de la phase de rééducation, l'objectif devient de survaloriser les capacités restantes et l'autonomie. Pour ce faire, une athlétisation du tronc et des membres, de la marche et de la verticalisation sont nécessaires. Les postures, les étirement, l'inhibition de la spasticité et le contrôle moteur sont les bases conceptuelles pour la prise en charge rééducative du patient incomplet moteur (ASIA C ou D). (Perrouin-Verbe, 2005).

Le but de l'intervention en kinésithérapie est une reconquête de l'indépendance (Barbin et al., 1998).

Dans un but de récupération fonctionnelle, la récupération de la marche est l'un des principaux objectifs à atteindre pour les patients après une LME, et elle survient en premier, du moins chez les patients présentant des lésions incomplètes (Kumru et al., 2024).

En effet, à elle seule, elle peut permettre d'agir sur les autres points de la rééducation, notamment dans la prévention des complications. La rééducation fonctionnelle à la marche peut être effectuée avec l'aide de plusieurs outils : un entraînement sur tapis roulant avec support du poids corporel, la stimulation électrique fonctionnelle, les appareils orthopédiques (Lam et al., 2007). Dans le cas des lésions incomplètes en aigües ou chroniques, la rééducation peut se faire assistée par robot (Swinnen et al., 2010). Les robots peuvent être non mobiles comme les tapis de marche avec soutien du poids corporel, les exosquelettes ou encore des robots de marche mobiles que les patients peuvent avoir dans leur quotidien (Miller et al., 2016).

Un autre moyen de la rééducation à la marche peut être utilisé, il s'agit de la

stimulation transcutanée de la moelle (tSCS). Cette méthode a été testée pour la première fois chez des sujets sains en 2019. Le résultat de cette étude a permis de montrer que la stimulation transcutanée de la moelle chez des sujets sains a amélioré l'acquisition et la rétention des capacités locomotrices. En effet, 30 jours après l'application de la stimulation transcutanée, les améliorations dans la locomotion restent présentes (Awosika et al., 2019). Il serait dès lors intéressant de connaître ce que la tSCS peut apporter à un patient blessé médullaire.

1.4. La stimulation transcutanée de la moelle épinière

La tSCS provient d'une variété de techniques de stimulation électrique thérapeutique ciblant les réseaux spinaux. Cette variété comprend : la stimulation épidurale implantée, la micro-stimulation intra spinale ainsi que la tSCS. La grande différence entre ces trois techniques est que la tSCS est une technique non invasive où les électrodes sont situées sur la surface de la peau au niveau de la région lombosacrée tandis que les deux autres sont des techniques invasives, elles sont donc implantées directement dans la ME, au niveau de la dure-mère spinale. La stimulation médullaire épidurale est apparue pour la première fois dans la littérature en 1967. C'est à partir de 1971 qu'elle commença à être utilisée pour réduire, notamment, la spasticité après une LM incomplète (Barss et al., 2022).

La tSCS consiste à placer des électrodes sur la surface de la peau, dans des dispositions spécifiques pour générer un flux de courant qui traverse quelque peu la dure-mère, stimulant la ME et les racines. De tels courants sont autorisés par la conductivité transversale de la colonne vertébrale, mais sont considérablement réduits par les disques intervertébraux et les ligaments. En utilisant des formes d'ondes distinctes, la tSCS permet par un courant électrique élevé d'accéder à la ME sans provoquer d'inconfort. Une fois que la peau est stimulée par l'une des techniques, elle peut provoquer une augmentation de l'activité neuronale (Mundra et al., 2023). La stimulation cutanée active les récepteurs sensoriels de la peau qui entraîne des signaux nerveux qui vont se propager jusqu'à la ME puis au cerveau. En effet, la stimulation neuronale module la dépolarisation des neurones, déclenchant ainsi des mécanismes de plasticité neuronale (Hogan et al., 2020).

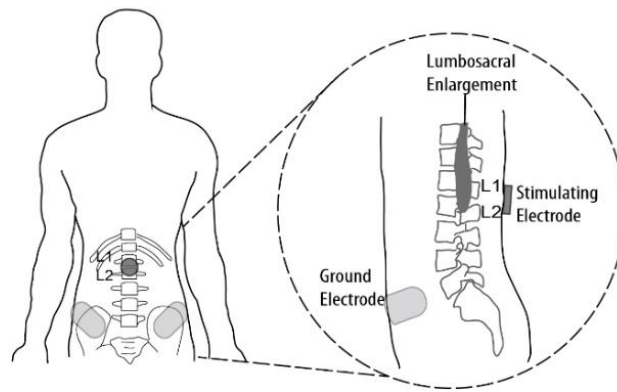


Fig.2. tSCS, Schéma du placement des électrodes de stimulation et de référence entre les processus épineux L1 et L2 et l'épine iliaque antéro-supérieure, respectivement, par rapport à l'élargissement lombo-sacré. (Moon et al., 2021)

Pour utiliser la tSCS, la majorité des études depuis 2013 s'accordent à dire que la fréquence de stimulation nécessaire pour augmenter la réponse motrice est d'environ 30 Hz formée avec un courant biphasique, courant ayant deux impulsions rectangulaires de même intensité mais de signes opposés, qui favoriserait la neurostimulation grâce au changement brusque de polarité. En termes d'intensité, la majorité des études s'appuie sur le ressenti subjectif du patient à la perception du courant, par ailleurs il faut noter une intensité minimale de 17.6 Volts afin que le courant passe à travers les tissus. Pour finir, en termes de durée d'intervention, on remarque une augmentation immédiate de la réponse motrice. Néanmoins, pour constater des effets après l'intervention, il faut une durée d'application d'au moins 20 minutes bien que l'on n'ait pas encore réussi à évaluer objectivement la durabilité de l'effet (Megía García et al., 2020).

Cet outil peut permettre d'améliorer la fonction neuromotrice des membres inférieurs chez les patients paralysés après une LM (Gerasimenko et al., 2016). Il est à noter aussi que cette intervention ajoutée à une rééducation basée sur l'activité peut permettre des bénéfices sur le pronostic fonctionnel du patient (Megía García et al., 2020).

1.5. Objectif de cette revue

Une revue narrative peut être définie comme une analyse documentaire qui permet d'avoir une vue générale sur un sujet précis pour soulever les problèmes négligés et encourager d'autres recherches sur le sujet. Le but de cette revue est de préparer le terrain pour un projet de recherche plus grand sur le même sujet (Nambiema et al., 2021).

Cette revue narrative a pour but de mettre en évidence l'intérêt de la tSCS dans la rééducation de la marche en kinésithérapie chez les blessés médullaires. En effet, cet outil dans le traitement des blessés médullaires est de plus en plus utilisé ces dernières années et se retrouve alors de plus en plus testé et décrit dans la littérature. Ce travail visera à analyser la modification des composantes de la condition physique à savoir l'équilibre fonctionnel, la force musculaire, la vitesse, l'endurance et la spasticité chez les patients blessés médullaires incomplets afin de voir si une réelle amélioration de la marche peut être constatée.

La question de recherche soulevée par ce travail sera : “ La tSCS a-t-elle un intérêt dans la rééducation de la marche en kinésithérapie chez les patients atteints de LM incomplètes ?”

Le but de cette revue narrative sera de fournir des recommandations basées sur des preuves ayant de bonnes rigueurs scientifiques pour éventuellement permettre une intégration de cet outil à la rééducation de la marche efficace ainsi de voir si l'utilisation de la tSCS peut permettre au patient une meilleure autonomie dans son quotidien.

2. METHODES

2.1. Protocole

Ce mémoire a été composé en suivant les lignes directrices PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*). Ce protocole est constitué d'une check-list de 27 items ainsi que d'un diagramme de flux. Cet outil aide à la collection des articles ainsi qu'à la rédaction.

2.2. Base de données

La sélection des articles scientifiques a été réalisée sur trois bases de données : Pubmed, Embase, Cochrane. Les recherches se sont étendues de septembre 2025 à février 2025.

2.3. Equation de recherche

Les critères PICO(S) (Population, Intervention, Comparison, Outcomes, Study design) ont été utilisés pour obtenir des mots clés correspondant à la question de recherche suivante : « Intérêt de la tSCS dans la rééducation de la marche en kinésithérapie chez les patients blessés médullaires ».

L'équation de recherche formulée dans Pubmed a été construite grâce à une association des différents mots clés mis en évidence par la méthode PICO(s) avec l'opérateur booléen "AND". PICO correspond aux paramètres Patient/Population - Intervention - Contrôle/Comparaison – Outcome.

L'opérateur booléen "AND" est un mot de liaison préétabli et disponible dans tous les outils de recherche documentaire. Il permet, quant à lui, de trouver des résultats contenant les termes PICO(s) liés entre eux (Aref, 2020).

Tableau 1 : Méthode PICO(S)

Population	Spinal cord injury
Intervention	Transcutaneous spinal cord stimulation
Comparison	/
Outcomes	/
Study design	Non-randomized controlled trial/Randomized controlled trial/Review/Meta-Analysis

L'équation de recherche obtenue fût la suivante : (spinal cord injury[MeSH Terms]) AND (transcutaneous spinal cord stimulation [MeSH Terms]).

Nous avons utilisé le thesaurus des MeSH terms qui est une liste organisée de termes, créée par la National Library of Medicine dans Pubmed. Cet outil permet de trier et chercher des informations médicales et de santé. L'utilisation des MeSH Terms nous a permis d'affiner notre recherche en intégrant automatiquement les synonymes des termes employés dans notre équation de recherche.

Cette équation de recherche a été ajustée pour nos deux autres bases de données utilisées pour notre revue narrative, à savoir Embase et Cochrane. L'association de ces mots-clés nous a permis de formuler quatre équations de recherche (**Annexe 4, Page 52**).

2.4. Critères d'éligibilité

Pour établir cette revue narrative, les articles ont été sélectionnés sur base de critères d'inclusion et d'exclusion.

Les critères d'**inclusion** sont les suivants :

- Etudes regroupant des patients atteints de lésions incomplètes de la ME
- Etudes qui analysent la marche

Les critères d'**exclusion** sont les suivants :

- Les articles publiés avant 2015

- Etudes traitant de la douleur neuropathique
- Les articles publiés dans une autre langue que le français ou l’anglais
- Les articles non disponibles en entier

2.5. Sélection des articles et évaluation de leur qualité méthodologique

Les recherches documentaires ont été effectuées dans les trois bases de données : Pubmed, Embase et Cochrane. Les articles sélectionnés par deux examinateurs ont été regroupés dans ZOTERO, logiciel de gestion des références. Ce logiciel est un outil très complet qui permet de structurer les sources utilisées, de fournir des bibliographies, de réutilisation des données collectées (Clavert, 2012).

Les articles ont été sélectionnés selon plusieurs étapes. Premièrement, un tri a été fait en fonction de l’année de publication pour enlever tous les articles publiés avant 2015. Ensuite, les doublons ont été supprimés ainsi que tous les articles publiés non rédigés en français ou en anglais. La quatrième étape a consisté à sélectionner les articles pertinents après l’examen des titres et des résumés. Cette étape a demandé un travail individuel des deux examinateurs, suivie d’une mise en commun des avis de chacun. Tous les articles ne comportant pas les critères d’éligibilité ont été exclus. Pour finir, les articles ne correspondant pas aux critères d’éligibilité à la suite de leur lecture en entier ont également été retirés de notre analyse.

La sélection des articles a été résumée dans un diagramme de flux PRISMA (**figure 3, Page 15**).

Nous avons par la suite utilisé les échelles « PEDro » (Physiotherapy Evidence Database) et l’échelle « Down and Black modifiée » pour évaluer la qualité méthodologique des articles.

L’échelle « PEDro » a été utilisée afin d’évaluer la qualité méthodologique des études randomisées. Cette échelle est constituée de 11 items et d’un score sur 10. Le premier item “les critères d’éligibilité ont été précisés” ne rentre pas dans le score total et s’intéresse à la validité externe de l’article. Par ailleurs, les critères 2

à 9 évaluent la validité interne des articles tandis que les critères 10 et 11 évaluent la qualité des statistiques utilisées. Le score de 0 est utilisé quand le critère n'est pas respecté tandis que le score de 1 est utilisé quand le critère est respecté dans l'étude (Cashin & McAuley, 2020). **(Annexe 5, page 53-54)**

Sur les 7 études sélectionnées considérées comme des études randomisées, une étude est de qualité excellente avec un score de 9/10 ; cinq études sont considérées de qualité bonne avec des scores de 6 à 8/10 ; enfin une seule étude a un score de 5/10 qui est considéré comme passable (Cashin & McAuley, 2020). **(Annexe 6, page 55)**

L'échelle « Down and Black modifiée », quant-à-elle, a été utilisée afin d'évaluer la qualité méthodologique des études non randomisées. Le score maximal attribué pour cette échelle est de 28. La cote de 1 est attribuée si le critère est respecté tandis que la cote de 0 est attribuée si le critère n'est pas respecté (van Raath et al., 2020). **(Annexe 7, page 55-58)**

Sur les deux études considérées comme des études non randomisées, l'une d'elles a obtenu un score de 16/28 et l'autre un score de 15/28, elles sont donc considérées comme de qualité moyenne (van Raath et al., 2020). **(Annexe 8, page 59)**

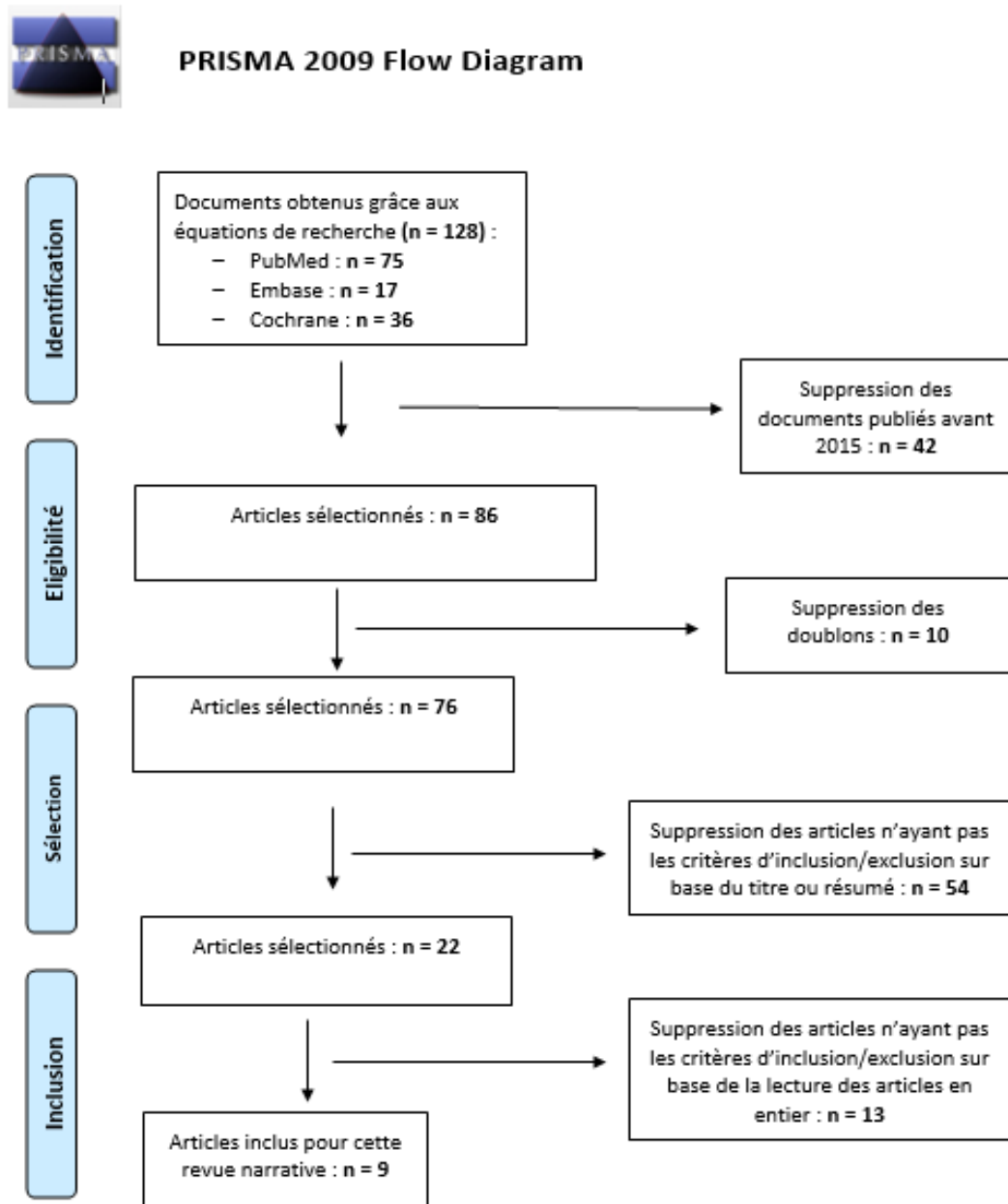
3. RESULTATS

3.1. Sélection des études

Le diagramme de flux PRISMA (**figure 3, Page 15**) permet de détailler la stratégie de recherche utilisée pour obtenir les articles inclus dans cette revue narrative. 128 articles ont été obtenus grâce aux trois bases de données : Pubmed (n =75), Embase (n =17) et Cochrane (n =36).

De ce chiffre, on exclut les articles publiés avant 2015 (86 articles restants). Nous avons, par la suite, supprimé les doublons grâce au logiciel ZOTERO (76 articles restants). Ensuite, à la lecture du titre et/ou du résumé, les articles qui ne correspondaient pas aux critères d'inclusion et d'exclusion ont été retirés (22 articles restants). Enfin, une lecture complète des articles restants a été effectuée, ce qui a permis d'inclure 9 études dans notre revue narrative.

Figure 3 : Diagramme PRISMA



From: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(6): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097

For more information, visit www.prisma-statement.org.

3.2. Description des participants, du protocole et des résultats du traitement de chaque étude

3.2.1. (Estes et al., 2021)

Introduction

Cette étude a cherché à démontrer l'efficacité de la tSCS associée à une thérapie de marche dans la réadaptation chez les patients atteints de LME.

Participants

Nombre de patients	18 patients au début Les données de 12 patients ont été recueillies
Age	De 18 à 65 ans
Genre	14 hommes, 4 femmes
Stade	2 à 6 mois après la blessure
Niveau de la lésion	Cervicale et thoracique
Score ASIA	ASIA B-C-D
Critères d'exclusion	Niveau de la lésion inférieure ou égale à T12 Lésions vertébrales progressives ou potentiellement progressives Antécédents d'irrégularités cardiovasculaires Difficultés à suivre les instructions Problèmes orthopédiques : flexion de hanche ou de genou > 10 degrés Femmes enceintes Personnes ayant des stimulateurs/dispositifs électroniques Personnes atteintes d'une infection active de tout type

Protocole de l'intervention

Modalités	Thérapie de traction : entraînement sur tapis roulant avec/sans support du poids corporel + avec/sans assistance manuelle ou robotique : choisi par le thérapeute en fonction du patient tSCS : - Stimulation électrique de 50 Hz - Impulsions biphasiques - Electrodes placées en T11-T12
Durée	4 semaines
Protocoles	2 groupes dont un groupe témoin. Ces 2 groupes ont reçu : - 2 premières semaines : 6 séances de 1h de thérapie de traction - 2 dernières semaines : 6 séances de 30 minutes de tSCS + thérapie de traction
Tests réalisés	Les tests ont été réalisés au début et à la fin des blocs de 2 semaines - Test de marche de 10 mètres (10MWT) : mesure la vitesse de marche - Logiciel GAITRite : calcul de l'asymétrie du pas - Test de marche de 2 minutes (TM2M) : mesure la distance de marche - SCATS : mesure la spasticité - mSCI-SET : mesure l'effet de la spasticité sur 33 aspects de la vie

Résultats du traitement

Durant les 2 premières semaines :

- Amélioration de la vitesse de marche de 0.16 m/s
- Amélioration de la distance de marche
- Pas d'amélioration significative de la spasticité

Durant les 2 semaines suivantes :

- Amélioration de la vitesse de marche de 0.16 m/s, pas d'amélioration significative pour le groupe témoin (car amélioration de 0.06 m/s)
 - Amélioration de la distance de marche de 15.25 m, pas d'amélioration significative pour le groupe témoin (car amélioration de 6.85 m)
 - Pas d'amélioration significative de la spasticité
-

3.2.2. (Krenn et al., 2023)

Introduction

Cette étude a cherché à mettre en avant à quelle fréquence de stimulation devons-nous travailler pour obtenir un résultat satisfaisant dans le traitement de la marche.

Participants

Nombre de patients	9 patients atteints de LME
Age	De 18.1 à 57.1 ans
Temps depuis la lésion	+ de 6 mois
Genre	8 hommes et 1 femme
Niveau de la lésion	Thoracique et cervicale
Score ASIA	C ou D (LME incomplète)
Critères d'exclusion	Tension artérielle instable Instabilité osseuse Plaies ouvertes Problèmes circulatoires Contre-indications cardiaques Différence significative de la longueur des jambes Blessure/maladie de hanche, de genou ou de cheville Limitations significatives d'amplitude des mouvements Grossesse

Protocole de l'intervention

Modalités	Tapis roulant (2 km/h soit 0.56 m/s) + support du poids corporel (de 40 à 60%) + orthèse de marche pour guider les hanches et les genoux tSCS : - Stimulation électrique de 1 à 100 Hz - Impulsions rectangulaires monophasiques Electrodes placées en T11-T12
Durée	1 séance
Protocoles	10 premiers cycles de marche : sans tSCS 6 ou 10 cycles de marche suivants : avec tSCS De 20 à 84 cycles de marche sont réalisés sans tSCS aléatoirement dans tout le protocole
Tests réalisés	Analyse de 310 cycles de marches consécutifs

Résultats du traitement

Les résultats ne sont pas les mêmes pour chaque patient.

D'après l'analyse des résultats, la fréquence qui doit être utilisée avec les patients ne peut pas être la même pour tous. En effet, la capacité de marche de chaque patient est hétérogène donc la fréquence de tSCS doit être adaptée en fonction du niveau et de la gravité de la lésion.

3.2.3. (Cirnigliaro et al., 2024)

Introduction

L'objectif intéressant pour cette revue narrative a été de voir la relation entre les changements de densité osseuse, de géométrie, de force et le changement dans la capacité motrice des membres inférieurs durant la marche.

Participants

Nombre de patients	16 patients atteints de LME
Age	Entre 21 et 58 ans
Genre	/
Temps depuis la lésion	+ de 6 mois
Niveau de la lésion	Cervicale et thoracique
Score ASIA	C ou D (LME incomplète)
Critères d'exclusion	Antécédents de fractures/maladies osseuses Grossesse Densité osseuse <0,60 gm/cm ² Patients déjà inscrits à un programme de kinésithérapie/ergothérapie

Protocole de l'intervention

Modalités	Exosquelette Elko : ajustement de l'amplitude de mouvement de hanche et de cheville de chaque individu selon 3 modes : - Assistance maximale : l'exosquelette apporte 100% d'aide - Assistance adaptative : s'adapte aux compétences du patient - Assistance fixe : pourcentage préprogrammé d'assistance tSCS : - Stimulation électrique de 5 à 60 Hz - Impulsions biphasiques Electrodes placées en T11-T12 ou en L1-L2 ou au coccyx 1
Durée	60 minutes d'entraînement de la marche assistée par exosquelette 60 minutes d'entraînement de la marche assistée par exosquelette + tSCS Au total, les sujets ont reçu 108 séances à raison de 3 séances par semaine pendant 36 semaines.
Protocoles	2 groupes de 8 patients : - Certains ont reçu un traitement basé sur la marche assistée par un exosquelette - D'autres ont reçu un traitement sur de la marche assistée par un exosquelette + tSCS
Tests réalisés	Imagerie DXA : mesure de la densité osseuse pQCT : mesure de la géométrie CT : mesure de la résistance Test de marche de 6 minutes (6MWT) 10MWT

Résultats du traitement

La tSCS a pu entraîner des forces mécaniques plus normales sur le squelette des membres inférieurs et donc une plus grande capacité pour la personne à supporter son poids. Ceci a pu donc engendrer une marche qui se rapproche plus de la normale.

3.2.4. [\(Comino-Suárez et al., 2025\)](#)

Introduction

L'objectif de cette étude a été de démontrer l'efficacité de la tSCS avec un entraînement à la marche assistée par robot sur la force musculaire des membres inférieurs et sur la fonction de la marche.

Participants

Nombre de patients	27 patients atteints de LME
Age	48 ± 15.36 ans
Genre	24 hommes et 3 femmes
Temps depuis la lésion	Plus de 6 mois
Niveau de la lésion	Thoracique ou cervicale
Score ASIA	C ou D (LME incomplète)
Critères d'exclusion	Implant métallique zone stimulation Dispositifs électriques implantés Antécédents d'épilepsies Incapacité à ajuster le harnais/sangle Contractures articulaires Densité osseuse réduite Poids > 135kg ou taille > 1,95m Fractures non consolidées Grossesse Tumeurs

Protocole de l'intervention

Modalités	Marche avec Lokomat qui est un appareil médical robotisé + soutien de 60% du poids corporel tSCS : - Stimulation électrique de 30 Hz - Impulsions biphasiques rectangulaires Electrodes placées en T11-T12
Durée	40 séances de 30 minutes pendant 8 semaines, soit 5 séances par semaine
Protocoles	5 premières séances : familiarisation avec le Lokomat 20 séances suivantes : tSCS + Lokomat 15 dernières séances : Lokomat seul 2 groupes de patients : - 14 participants reçoivent la tSCS réelle - 13 participants reçoivent la tSCS factice
Tests réalisés	Score moteur total des membres inférieurs Dynamométrie Echelle d'Aschworth modifiée des membres inférieurs 10MWT 6MWT Timed up and go (TUG) Indice de marche pour une LME

Résultats du traitement

Les résultats de cette étude ont permis de montrer que la tSCS a permis une amélioration significative du score moteur total des membres inférieurs, du 10MWT, du TUG et de l'indice de marche pour une LME. Ces effets ont été maintenus un mois après l'intervention.

Néanmoins, il n'y a pas eu d'amélioration significative constatée lors du 6MWT, ni lors de l'examen de la spasticité.

3.2.5. [\(Lin et al., 2022\)](#)

Introduction

Cette étude tend à déterminer si la tSCS a pu faciliter l'apprentissage moteur du contrôle de l'équilibre dynamique lors de la marche, et si elle a ainsi permis l'activation des muscles participants à l'équilibre latéral de l'articulation de la hanche, à savoir les abducteurs de hanche.

Participants	
Nombre de patients	15 patients atteints de LME
Age	De 24 à 62 ans
Genre	5 hommes et 10 femmes
Temps depuis la lésion	+ de 12 mois
Niveau de la lésion	Cervicale ou thoracique
Score ASIA	ASIA C-D
Critères d'exclusion	Condition médicale instable : escarre non cicatrisée, infection Dysfonctionnement cardiovasculaire, pulmonaire Implants métalliques dans la région vertébrale Antécédents de blessures orthopédiques connues : fractures Antécédents d'injection de toxine botulique

Protocole de l'intervention	
Modalités	Marche sur tapis roulant + système robotique à câbles personnalisés pour créer des perturbations dans le bassin tSCS anodique : - Stimulation électrique de 2.5 mA Electrodes placées en T10-T12
Durée	2 jours, séparés d'une semaine entre chaque jour
Protocoles	Intervalle d'une semaine entre les 2 protocoles Jour 1 : les patients ont effectué 3 séances de marche sur tapis roulant avec : - 1 minute sans perturbation du bassin ni tSCS - 10 minutes avec perturbation bilatérale du bassin + tSCS - 2 minutes sans perturbation du bassin ni tSCS Jour 2 : même protocole mais on applique la tSCS sans perturbation du bassin
Tests réalisés	Evaluation de l'équilibre latéral : marge minimale de stabilité (MoS) définie par la position de la cheville par rapport au centre de masse Evaluation de l'activité EMG

Résultats du traitement	
tSCS anodique : - Améliorations dans le contrôle de l'équilibre dynamique - Améliorations de l'activation des abducteurs de hanche Ces améliorations ont pu perdurer 20 minutes après la stimulation	

3.2.6. [\(Sayenko et al., 2019\)](#)

Introduction
 Cette étude a émis l'hypothèse que la tSCS permet de moduler des circuits spinaux chez l'homme qui va fournir des entrées sensorielles pendant la mise en charge pour permettre un maintien de la posture et de l'équilibre sans assistance externe.

Participants	
Nombre de patients	15 patients atteints de LME
Age	De 23 à 53 ans
Genre	3 femmes et 12 hommes
Temps depuis la lésion	Au moins 1 an
Niveau de la lésion	Thoracique ou cervicale
Score ASIA	A ou C (LME complète ou incomplète)
Critères d'exclusion	Niveau neurologique lésionnel trop élevé (au-dessus de C5) ou trop bas (en dessous de T12) Présence d'implant de cellules souches dans le site de la lésion Escarres Contractures

Protocole de l'intervention	
Modalités	Entraînement : station debout avec le moins d'appui possible sur les mains courantes + ajustements posturaux effectués avec une plateforme de force et un miroir + se pencher dans différentes directions avec des exercices tSCS : - Stimulation électrique de 0.2 à 30 Hz - Impulsions monophasiques ou biphasiques Electrodes placées en T11-T12 ou en L1-L2 tSCS à distance : - Stimulation électrique de 0.2 à 30 Hz - Impulsions monophasiques ou biphasiques Electrodes placées en T7-T8
Durée	Séance de 120 minutes
Protocoles	Tous les participants ont été testés debout dans 3 conditions : sans tSCS, avec une tSCS efficace et avec une tSCS factice 6 participants ont suivi 12 séances d'entraînement 3 jours par semaine avec 2 types d'exercices qui duraient de 1 à 2 minutes
Tests réalisés	Activité EMG des muscles des membres inférieurs

Résultats du traitement	
La tSCS a été un outil efficace pour aider à retrouver une station debout autonome. Les réseaux neuronaux spinaux non réactifs peuvent devenir réactifs grâce aux informations somatosensorielles déclenchées par la tSCS.	

3.2.7. [\(McKenzie et al., 2024\)](#)

Introduction	
L'objectif de cette étude est d'évaluer si l'hypoxie aigue intermittente (AIH) qui permet d'augmenter les sorties motrices, combinée à la tSCS, entraine une amélioration plus significative de la marche que lorsque ces deux techniques sont utilisées séparément.	

Participants	
Nombre de patients	10 patients atteints de LME
Age	De 21 à 69 ans
Genre	2 femmes et 8 hommes
Temps depuis la lésion	Plus d'1 an
Niveau de la lésion	Thoracique ou cervicale
Score ASIA	D (LME incomplète)
Critères d'exclusion	Patients avec contractures articulaires Lésions cérébrales Complications cardiopulmonaires

Protocole de l'intervention	
Modalités	AIH : expositions brèves et répétées à des mélanges de gaz à faible teneur en oxygène + entraînement à la marche au sol tSCS : - Stimulation électrique de 30 Hz - Impulsions biphasiques rectangulaires Electrodes placées en T11-T12 ou en L1-L2
Durée	5 séances de 30 minutes
Protocoles	Tous les participants ont reçu les 3 conditions : - AIH réelle + tSCS pendant un entraînement à la marche - AIH factice + tSCS pendant un entraînement à la marche - Entraînement à la marche seul Chaque séance : - 15 cycles d'AIH - 30 minutes de repos - 30 minutes d'entraînement à la marche + tSCS
Tests réalisés	Evaluation de l'échelle de Borg (6-20) La fréquence cardiaque La saturation en oxygène 6MWT : endurance 10MWT : vitesse TUG : équilibre fonctionnel et mobilité Dynamométrie : test de force en flexion plantaire isométrique

Résultats du traitement	
L'AIH associée à la tSCS et à un entraînement à la marche a donné de meilleurs résultats que chacune de ces interventions effectuées seules. En effet, des améliorations significatives ont été constatées pour le TUG ainsi que pour la vitesse de marche. De plus, les effets de ces interventions ont perduré même 5 jours après l'intervention. Néanmoins, aucune amélioration n'a été constatée pour le 6MWT.	

3.2.8. (Meyer et al., 2020)

Introduction

Cette étude a cherché à démontrer que la tSCS à 30 Hz entraînerait une facilitation des composantes réflexes précoces et une diminution des composantes réflexes tardives dans les circuits spinaux de la locomotion.

Participants

Nombre de patients	10 patients
Age	De 28 à 65 ans
Genre	9 hommes et 1 femme
Temps depuis la lésion	+ d'un an
Niveau de la lésion	Cervicale ou thoracique
Score ASIA	ASIA D
Critères d'exclusion	Lésions neurologiques à T12 Implants au niveau de T9 / ostéosynthèse

Protocole de l'intervention

Modalités	Mouvements rythmiques unilatéraux de la cheville + marche avec un harnais réglé pour chaque patient pour permettre une marche sans restriction tSCS : - Stimulation électrique de 15, 30 et 50 Hz - Impulsions biphasiques rectangulaires Electrodes placées en T11-T12
Durée	2 séances de 30 minutes séparées entre 1 à 21 jours entre chaque séance
Protocoles	Chaque protocole est répété 5 fois : - Sans tSCS - 3 répétitions sous tSCS à 15, 30 et 50 Hz - Sans tSCS Jour 1 : réalisation de mouvements contrôlés de la cheville Jour 2 : activité réflexe spinale et marche sur une distance de 7 mètres
Tests réalisés	- Activité EMG - Evaluation du contrôle de la cheville

Résultats du traitement

- Amélioration significative de la flexion dorsale de cheville de $4.6^{\circ} \pm 0.9^{\circ}$ que lors d'une stimulation de 30 Hz
- Amélioration de l'amplitude de mouvements actifs de la cheville de $2.9^{\circ} \pm 0.9^{\circ}$ surtout lors d'une stimulation de 30 Hz
- Pas d'amélioration de la coordination de l'articulation de la cheville

3.2.9. (Kumru et al., 2024)

Introduction

Cette étude a cherché à savoir si une tSCS multi segmentaire, c'est-à-dire une stimulation sur plusieurs sites en même temps, a été plus efficace qu'une tSCS à un ou deux segments de la ME pour la fonctionnalité de leurs membres inférieurs.

Participants

Nombre de patients	10 patients atteints de LME
Age	De 43.2 ± 11.5 ans
Genre	9 hommes et 1 femme
Temps depuis la lésion	13.5 ± 20.6 mois
Niveau de la lésion	Cervicale
Score ASIA	D (LME incomplète)
Critères d'exclusion	Conditions médicales instables Spasticité sévère Affectation des nerfs périphériques Ulcères dans la zone d'application de l'électrode Intolérance au tSCS

Protocole de l'intervention

Modalités	Marche au sol tSCS : - Stimulation électrique de 30 Hz - Impulsions biphasiques rectangulaires Electrodes placées en C5, L1, Coccyx-1
Durée	2 minutes par stimulation dans chaque condition
Protocoles	tSCS est répétée 2 fois à différents niveaux de la ME
Tests réalisés	6MWT Dynamométrie : Contraction maximale volontaire du quadriceps et du tibial antérieur

Résultats du traitement

La tSCS multi segmentaire comme celle sur un ou deux segments a permis une augmentation du temps de marche.

La tSCS multi segmentaire a permis aussi une augmentation volontaire de la force musculaire au niveau du tibial antérieur.

3.3. Synthèse des populations étudiées

	Population étudiée			Objectif de l'étude
	Age (années)	Sexe	Score ASIA	
(Estes et al., 2021)	18 à 65	14 hommes / 4 femmes	B – C ou D	Démontrer l'efficacité de la tSCS associée à une thérapie de marche dans la réadaptation
(Krenn et al., 2023)	18.1 à 57.1	8 hommes / 1 femme	C ou D	A quelle fréquence de stimulation doit-on utiliser la tSCS pour avoir un résultat satisfaisant dans la marche
(Cirnigliaro et al., 2024)	21 à 58	/	C ou D	Voir les changements de densité osseuse, de géométrie, de force et de changement dans la capacité motrice des membres inférieurs
(Comino-Suárez et al., 2025)	48 ± 15.36	24 hommes / 3 femmes	C ou D	Efficacité de la tSCS + un entraînement à la marche assistée par robot
(Lin et al., 2022)	24 à 62	5 hommes / 10 femmes	C ou D	Voir si la tSCS peut faciliter l'apprentissage moteur du contrôle de l'équilibre dynamique dans la marche
(Sayenko et al., 2019)	23 à 53	12 hommes / 3 femmes	A ou C	Voir si la tSCS peut moduler les circuits spinaux pendant la mise en charge
(McKenzie et al., 2024)	21 à 69	8 hommes / 2 femmes	D	Voir si l'AIH + tSCS a entraîné une amélioration plus importante dans la marche que lorsque les deux techniques sont utilisées séparément
(Meyer et al., 2020)	28 à 65	9 hommes / 1 femme	D	Voir si la tSCS a entraîné une facilitation des réflexes impliqués dans la locomotion
(Kumru et al., 2024)	43.2 ± 11.5	9 hommes / 1 femme	D	Comparer la tSCS multi segmentaire à la tSCS à un ou deux segments de la ME sur la fonction des membres inférieurs

3.4. Synthèse des interventions

	Traitement					
	Modalités				Durée	Protocole
	Traitement	tSCS				
		Fréquence	Type d'impulsion	Placement d'électrodes		
(Estes et al., 2021)	Entraînement sur tapis roulant avec ou sans support du poids corporel + avec ou sans assistance manuelle ou robotique	50 Hz	Biphasiques	T11-T12	4 semaines	2 groupes dont 1 témoin 2 semaines : 6 séances de 1h de traitement 2 semaines : 6 séances de 30 minutes de tSCS + traitement
(Krenn et al., 2023)	Tapis roulant + support du poids corporel + orthèse de marche	1 à 100 Hz	Rectangulaires monophasiques	T11-T12	1 séance	10 cycles de marche : sans tSCS 6 ou 10 cycles de marche : avec tSCS De 20 à 84 cycles de marche sans tSCS aléatoirement dans le protocole
(Cirnigliaro et al., 2024)	Traitement à la marche + exosquelette Elko	5 à 60 Hz	Biphasiques	T11-T12 L1-L2 Coccyx 1	108 séances : 3 séances de 60 minutes par semaine pendant 36 semaines	8 patients : marche par exosquelette 8 patients : marche par exosquelette + tSCS
(Comino-Suárez et al., 2025)	Marche avec Lokomat + soutien de 60% du poids du corps	30 Hz	Rectangulaires biphasiques	T11-T12	40 séances de 30 minutes pendant 8 semaines (5 séances par semaine)	5 séances : familiarisation avec le Lokomat 20 séances : tSCS réelle ou factice + Lokomat 15 séances : Lokomat seul
(Lin et al., 2022)	Marche sur tapis roulant + système pour perturber le bassin	2.5 mA	/	T10-T12	2 jours séparés d'une semaine	Jour 1 : 3 séances de marche avec : - 1 minute : sans perturbation du bassin ni tSCS - 10 minutes : perturbation du bassin + tSCS - 2 minutes : sans perturbation du bassin ni tSCS Jour 2 : même protocole + tSCS sans perturbation du bassin

(Sayenko et al., 2019)	Station debout + ajustements posturaux + exos	0.2 à 30 Hz	Monophasiques ou biphasiques	T7-T8 T11-T12 L1-L2	Séance de 120 minutes 3 jours par semaine	3 conditions : - Sans tSCS - Avec tSCS efficace - Avec tSCS factice
(McKenzie et al., 2024)	AIH + entraînement à la marche au sol	30 Hz	Rectangulaires biphasiques	T11-T12 L1-L2	5 séances de 30 minutes	3 conditions pendant un entraînement à la marche : - AIH réelle + tSCS - AIH factice + tSCS - Entraînement à la marche seul
(Meyer et al., 2020)	Mouvements de cheville + marche avec harnais	15 – 30 – 50 Hz	Rectangulaires biphasiques	T11-T12	2 séances de 30 minutes séparés par 1 à 21 jours	Jour 1 : mouvements de cheville Jour 2 : marche sur 7 mètres On répète 5 fois les conditions : - Sans tSCS - 3 fois avec tSCS - Sans tSCS
(Kumru et al., 2024)	Marche au sol	30 Hz	Rectangulaires biphasiques	C5 L1 Coccyx 1	2 minutes par stimulation	tSCS répétée 2 fois

3.5. Synthèse des tests et résultats

	Tests réalisés	Résultats tirés des études
(Estes et al., 2021)	10MWT Logiciel GAITRite TM2M SCATS mSCI-SET	2 premières semaines : - Amélioration de la vitesse et de la distance de marche - Pas d'amélioration de la spasticité 2 semaines suivantes : - Amélioration de la vitesse et de la distance de marche chez les patients avec la tSCS - Pas d'amélioration de la spasticité
(Krenn et al., 2023)	Analyse de 310 cycles de marches consécutifs	La fréquence doit être adaptée à chaque patient en fonction de leur lésion (niveau et gravité)
(Cirigliaro et al., 2024)	Imagerie DXA pQCT CT 6MWT 10MWT	tSCS a entraîné des forces mécaniques plus proches de la normale sur les membres inférieurs
(Comino-Suárez et al., 2025)	Score moteur total des membres inférieurs Dynamométrie Echelle d'Aschworth modifiée des membres inférieurs 10MWT 6MWT TUG Indice de marche pour une LME	tSCS : - Amélioration du score moteur total des membres inférieurs - Amélioration du 10MWT - Amélioration du TUG - Amélioration de l'indice de marche pour une LME - Pas d'amélioration dans le 6MWT - Pas d'amélioration dans l'échelle d'Aschworth Ces améliorations ont duré 1 mois après l'intervention
(Lin et al., 2022)	Evaluation de l'équilibre latéral Evaluation de l'activité EMG	tSCS : - Amélioration du contrôle de l'équilibre dynamique qui a perduré 20 minutes après la tSCS - Amélioration de l'activation des abducteurs de hanche qui a perduré 20 minutes après la tSCS
(Sayenko et al., 2019)	Activité EMG des muscles des membres inférieurs	tSCS sur les réseaux neuronaux spinaux non réactifs a pu les rendre actifs
(McKenzie et al., 2024)	Echelle de Borg (6-20) Fréquence cardiaque Saturation en oxygène 6MWT	AIH + tSCS : - Amélioration dans le TUG - Amélioration dans la vitesse de marche - Pas d'amélioration dans le 6MWT

	10MWT TUG Dynamométrie	Ces améliorations ont perduré 5 jours après l'intervention
(Meyer et al., 2020)	Activité EMG Evaluation du contrôle de la cheville	tSCS à 30 Hz : - Amélioration de la flexion dorsale de cheville - Amélioration de l'amplitude de mouvements actifs de la cheville - Pas d'amélioration de la coordination de l'articulation de la cheville
(Kumru et al., 2024)	6MWT Dynamométrie	tSCS multi segmentaire ou tSCS à un ou deux segments : amélioration du temps de marche tSCS multi segmentaire : amélioration volontaire de la musculaire du tibial antérieur

4. DISCUSSION

4.1. Rappel de l'objectif de la revue

L'objectif de cette revue de la littérature est d'évaluer l'efficacité de la stimulation transcutanée de la moelle épinière dans le contexte de la rééducation à la marche chez les patients présentant une LM incomplète.

4.2. Comparaison des études

Les études sélectionnées pour cette revue ont recueilli un profil de patients similaires, c'est-à-dire des patients avec une LM incomplète catégorisés par les scores ASIA B à D. Tous les patients étudiés sont des adultes âgés de 18 à 69 ans, ce qui permet d'évaluer les données sur un grand ensemble de population à différents stades de leur vie. Les sujets pris en compte ont des lésions à différents niveaux de la moelle en thoracique ou en cervicale. Les critères d'exclusion des études sont aussi souvent les mêmes, à savoir contractures, escarres, ostéosynthèses, fractures entre autres.

Malgré des critères d'inclusion et d'exclusion conjoints dans les différentes études, il est à noter que les protocoles utilisés sont divers en fonction de l'étude autant dans les thérapies proposées que dans la durée des traitements. Les preuves qu'une durée, un type ou des modalités de la tSCS dans la rééducation ne sont pas encore assez fortes que pour donner une thérapie universelle qui pourrait être utilisée dans la rééducation à la marche chez tout type de patients blessés médullaires. Dès lors, les chercheurs se trouvent encore en train de tester différentes modalités de cette thérapie. Cela limite la similarité des résultats et empêche de tirer des conclusions définitives sur l'efficacité optimale de cette technique.

4.3. Efficacité globale de la tSCS

Dans la plupart des études traitant de la tSCS, cette dernière est couplée avec une autre aide comme un tapis roulant, un support du poids corporel ou avec un traitement tel qu'un exosquelette ou une rééducation à la marche afin d'amplifier les effets de cette thérapie. Sept des études sélectionnées ont donc mis en place un traitement ou une aide en addition à la tSCS (Estes et al., 2021), (Krenn et al., 2023),

(Cirnigliaro et al., 2024), (Comino-Suárez et al., 2025), (Lin et al., 2022), (McKenzie et al., 2024), (Meyer et al., 2020). Seules deux études sélectionnées traitent de la marche seule (Kumru et al., 2024), (Sayenko et al., 2019). Que ce soit avec ou sans aide ou traitement adjuvants, des améliorations significatives sont relatées chez les patients atteints de LM incomplète ayant bénéficié de tSCS. Néanmoins, l'amélioration reste plus importante lorsque la tSCS est associée à une autre forme de rééducation, comme une aide à la marche ou une autre intervention. Cette observation pourrait s'expliquer par le fait que la tSCS pourrait accélérer les effets de la rééducation active en favorisant l'excitabilité des neurones ou la plasticité synaptique, et donc amplifier les effets d'un entraînement ciblé. Cela laisse paraître que la tSCS fonctionne mieux et permet au patient de retrouver une meilleure fonctionnalité dans la marche lorsqu'elle est utilisée en même temps qu'une autre partie de traitement. Il serait donc plus pertinent d'utiliser la tSCS comme adjuvant à un traitement de kinésithérapie plutôt que la tSCS seule. En effet, Griffin & Bradke (2020) ont mis en évidence que l'association de stratégies combinatoires de traitement a des résultats plus bénéfiques que les traitements individuels (Griffin & Bradke, 2020).

L'application de la tSCS peut entraîner des améliorations significatives de différents paramètres liés à la marche. Dans un grand nombre des études sélectionnées (Estes et al., 2021), (Comino-Suárez et al., 2025), (McKenzie et al., 2024), (Kumru et al., 2024), on peut observer une amélioration de la vitesse et la distance de marche avec l'ajout de la tSCS suppléée par un traitement en kinésithérapie. Effectivement, la combinaison entre la tSCS et la rééducation active de la marche semble favoriser un meilleur recrutement des circuits moteurs encore fonctionnels. La rééducation active joue un rôle majeur dans la récupération motrice, notamment en stimulant la plasticité du cerveau (Keci et al., 2019). La tSCS pourrait donc agir comme un soutien à ce processus, en modifiant la réponse du système nerveux.

Outre les performances locomotrices, des améliorations significatives ont été constatées dans d'autres domaines tout aussi importants pour la récupération de la marche.

Tout d'abord, au niveau musculaire, d'après certaines études réalisées, on peut constater une augmentation de la force musculaire de certains muscles ayant une action lors de la marche tels que les abducteurs de hanche (Lin et al., 2022), les fléchisseurs dorsaux de cheville (Meyer et al., 2020) ainsi que le tibial antérieur (Kumru et al., 2024). Cette augmentation de la force musculaire pourrait s'expliquer par une meilleure activation des muscles, probablement grâce à la tSCS, qui pourrait augmenter l'excitabilité des motoneurones et, par conséquent, donnant des contractions musculaires plus efficaces.

Comino-Suárez et al. (2025), Lin et al. (2022), Meyer et al. (2020), Kumru et al. (2024) ont remarqué une amélioration significative de la force musculaire dans les muscles des membres inférieurs, ce qui permet d'avancer que c'est grâce à cela qu'une meilleure stabilisation du tronc, une gestion plus efficace des appuis et un équilibre plus important en station debout est possible.

Ensuite, une amélioration de l'équilibre dynamique est aussi relatée lorsque les patients se trouvent en position debout (Comino-Suárez et al., 2025), (Lin et al., 2022), (McKenzie et al., 2024).

On peut étayer ces propos en citant l'étude de Couillandre et al. (2008) qui met en avant que l'entraînement musculaire modifie les paramètres liés à l'équilibre statique et à la fonction musculaire des sujets sains non sportifs. Ce type d'entraînement a amélioré de façon modérée la force des muscles quadriceps et érecteurs du rachis qui sont des muscles indispensables au maintien de l'équilibre debout (Couillandre et al., 2008).

Néanmoins, il est à rappeler que l'équilibre est un processus multifactoriel, qui repose non pas seulement sur la force des muscles, mais aussi sur les systèmes visuel, vestibulaire, proprioceptif et somatosensoriel (Şimşek & Şimşek, 2020). Certains de ces paramètres peuvent être perturbés chez un patient blessé médullaire ce qui peut rendre encore plus compliqué le maintien de la station debout.

Malgré les bénéfices relatés dans certains paramètres, les études sélectionnées ont aussi mis en évidence d'autres paramètres qui, quant-à-eux, n'ont pas montré d'améliorations significatives. Il s'agit du 6MWT (McKenzie et al., 2024) ; (Comino-Suárez et al., 2025) qui permet de mettre en avant l'endurance du patient. Les données de ce test ne s'avèrent pas significativement différentes avant et après

un traitement de tSCS. On peut se demander si le test n'est pas trop long et ne demande pas des différences trop grandes entre deux valeurs pour réellement conclure à une différence significative. D'après ces résultats, la tSCS donnerait des améliorations sur des tests de courte durée mais pas sur des tests de plus longue durée où il paraît plus difficile d'objectiver une différence significative.

Une deuxième donnée qui n'a pas eu de résultats significativement différents est la spasticité. En effet, l'étude d'Estes et al. (2021) qui est l'étude retenue dans laquelle la spasticité est prise en compte, n'a pas permis de mettre en évidence des différences en ce qui concerne la spasticité chez les patients recevant un traitement de tSCS.

Après ces résultats qui restent encourageants sur l'utilité de la tSCS chez les patients blessés médullaires, on pourrait se demander les effets à long terme de ce traitement. En effet, deux études mettent en avant qu'une exposition à la tSCS peut avoir des effets à moyen terme. Une étude relate des améliorations qui persistent après 5 jours, une autre étude va encore plus loin et met en évidence des améliorations jusqu'à un mois après l'intervention.

Il faut quand même se rendre compte que beaucoup d'études n'ont pas pris le temps d'étudier l'efficacité du traitement sur plusieurs jours ou même sur une plus longue période. Il est aussi important de signaler que la tSCS est utilisée dans les traitements depuis peu de temps, le recul peut donc paraître assez faible pour tirer des conclusions à propos de l'efficacité de la tSCS à long terme, c'est-à-dire sur plusieurs mois ou même plusieurs années. En effet, à notre connaissance, les études qui traitent de la tSCS chez des patients blessés médullaires ont réellement débuté en 2014 avec l'étude de Hofstoetter et al. (2014) qui examine les effets de la tSCS sur la spasticité des membres inférieurs (Hofstoetter et al., 2014).

4.4. Modalités de la tSCS

L'hétérogénéité des paramètres de stimulation (localisation, intensité, fréquence, durée d'application) de la tSCS constitue à la fois un défi pour la compréhension des résultats observés dans les différentes études. Cette diversité de protocoles rend la comparaison directe difficile et questionne l'individualisation de ces réglages en fonction des objectifs et du profil du patient.

La localisation des électrodes pour la tSCS est l'un des éléments auquel il faut faire attention car elle influe directement sur les effets de la stimulation. L'étude de Kumru & al. (2024) indique qu'il existe une variation de réponses en fonction de la zone choisie pour la stimulation. La tSCS cervicale, du fait de sa localisation, prédispose l'activation des membres supérieurs et la modulation des réflexes de la ME des membres inférieurs. En revanche, la tSCS au niveau lombaire, et plus exactement sur L1, cible plus spécifiquement les membres inférieurs et donc directement les réseaux de la marche. Ce niveau est particulièrement intéressant pour travailler les schémas moteurs de la marche. Enfin, la stimulation coccygienne (Coc1) a une action sur les racines S2-S4, cruciales pour le contrôle moteur distal des membres inférieurs comme la flexion des pieds et des orteils. Par conséquent, nous pouvons régler ce paramètre chez chacun des patients selon la zone ciblée lors de la rééducation (Krenn et al., 2023).

Il est également intéressant, selon Kumru & al. (2024), de combiner diverses localisations de stimulation de sorte à activer de manière plus complète et coordonnée les réseaux moteurs impliqués dans la locomotion.

La fréquence de stimulation utilisée pour la tSCS semble être également un facteur déterminant dans les effets observés de l'activation musculaire. Les études ne s'accordent pas sur la fréquence de stimulation, et les résultats sont très variés. A ce jour, il n'existe pas de consensus clair sur la fréquence optimale à utiliser.

La fourchette de fréquence de stimulation peut varier de 1 à 100 Hz en fonction des études, avec quand même une préférence pour une stimulation entre 30 et 50 Hz.

Le type de stimulation est aussi diversifié entre chaque étude. En effet, dans beaucoup de celles-ci, on retrouve une stimulation de type biphasique qui semble être celle qui fonctionne le mieux pour fournir des résultats concluants. Pour étayer ces propos, on peut citer l'étude de Megía García et al. (2020) qui explique que le courant biphasique n'a pas d'effet de polarisation électrochimique, améliorant ainsi sa tolérance et réduisant le risque de brûlures. Son application est donc permise à un niveau d'intensité plus élevé que le courant monophasique (Megía García et al., 2020).

En d'autres termes, même si la tSCS peut offrir de nouvelles options de traitement, le manque de standardisation des paramètres de stimulation complique la mise en œuvre de ces protocoles en pratique clinique. Ce manque de standardisation peut être expliqué par le fait que les chercheurs n'ont pas le recul nécessaire pour conclure qu'une modalité de traitement fonctionne mieux qu'une autre. Cette diversité indique qu'il est important d'ajuster les réglages selon les besoins spécifiques du patient. Il est essentiel de continuer les recherches pour mieux cerner les paramètres les plus efficaces en fonction des objectifs de rééducation.

4.5.Limites

Il y a plusieurs limitations importantes à cette revue, qui doivent être prises en considération lors de l'interprétation des résultats.

Premièrement, au niveau des populations, la plupart des études se sont basées sur des échantillons à petite échelle et ont compté souvent moins de 20 participants. Ainsi, cela a réduit considérablement la puissance des résultats, qui n'ont pas fourni des données à assez grande échelle que pour pouvoir affirmer qu'un traitement fonctionne pour la population de patients ayant des lésions médullaires.

On peut aussi se demander si ce faible nombre de patients n'est pas engendré par le fait de mettre en place trop de critères d'exclusion. Ainsi, avec des critères d'inclusion trop restreints, seul un faible nombre de volontaires peut être retenu dans l'étude et par extension, les résultats sont donc difficilement transposables à l'ensemble de la population de blessés médullaires.

De plus, l'étude de Sayenko & al. (2019) a inclus à la fois des patients classés ASIA A ainsi que des patients ASIA B et C, ce qui a rendu difficile l'interprétation spécifique des effets du traitement à notre population cible, à savoir les lésions médullaires incomplètes, ayant un score ASIA B, C ou D. Comme dit précédemment, les patients avec un score ASIA D ont plus de chances de devenir fonctionnels à la fin de leur rééducation il semblerait donc plus logique que la tSCS fonctionne mieux dans la rééducation de ces patients même si aucune étude ne met en avant cet aspect pour le moment.

Ensuite, de nombreuses études ont organisé des protocoles sur peu de séances, souvent sur de petites périodes de traitement. Cela peut être expliqué par le fait que cette thérapie ne soit utilisée que depuis peu de temps, les chercheurs se sont donc concentrés sur de petites périodes afin de voir si les résultats peuvent être significatifs pour pouvoir les transposer sur une plus longue durée par la suite. Ceci compromet l'observation des effets à moyen et à long terme. L'étude de Cirnigliaro & al. (2024) s'est détachée des autres études car le protocole utilisé était de plus longue durée à savoir : 3 séances de 60 minutes par semaine pendant 36 semaines, un total de 108 séances. Celle-ci a donc permis de mettre en évidence des résultats à plus long terme, contrairement aux autres études sélectionnées où la durée des protocoles est plus courte.

En plus d'avoir une vision restreinte sur l'effet de ce traitement à long terme, il est important de noter aussi que les effets secondaires de la tSCS ne sont pas étudiés. En effet, jusqu'à lors, aucune des études mises en évidence dans cette revue n'évoque d'effets secondaires que ce soit à court terme ou bien à plus long terme. Cependant, d'autres études sur la tSCS ont pu relever des effets indésirables, à savoir, des sensations de brûlures, de picotements, de démangeaisons légères, de rougeurs cutanées fréquentes (Zhao et al., 2023). Il serait donc pertinent pour les futures études de prendre en considération cet aspect essentiel qui peut être un frein à la rééducation par tSCS si les effets secondaires s'avèrent être plus importants que les améliorations fonctionnelles.

Une autre limite a été le manque d'uniformité entre les protocoles définis dans les études. Le nombre de patients, le type d'exercice, l'intervalle et la durée des interventions sont très variés. Il a donc été difficile de généraliser ces informations ou de créer un protocole unique pour tous les patients atteints de LM incomplètes. De toute évidence, cette variabilité peut refléter le besoin d'individualisation de l'intervention, mais en même temps elle peut aussi indiquer le manque de consensus dans la littérature. Compte tenu du manque d'un protocole standard de rééducation, il est difficile d'extraire les modalités claires pour une application clinique la plus optimale possible.

Enfin, il y a eu un nombre limité d'articles disponibles sur le sujet, et cela a montré

un intérêt relativement récent pour ce traitement en particulier dans la littérature. Il serait donc pertinent de continuer les recherches concernant la tSCS notamment en recrutant un nombre plus important de patients dans les études ainsi que de mettre en place des protocoles expérimentaux à plus long terme afin de permettre une meilleure compréhension des mécanismes d'action, d'évaluer son efficacité à moyen et long terme ainsi que de déterminer les protocoles les plus adaptés aux différents profils de patients. Une vision à plus long terme permettrait aussi de mettre en évidence des éventuels effets secondaires.

4.6.Perspectives

Les protocoles pour ce genre de traitement doivent pouvoir être adaptés en fonction de la conjoncture dans laquelle le patient se trouve. En effet, la durée, le matériel ne sont pas les mêmes en fonction de l'endroit où le patient se trouve ; s'il est en centre de révalidation, à l'hôpital ou s'il vient en ambulatoire notamment dans un cabinet ; le contenu de la prise en charge peut différer. Osterthun et al. (2009) a évoqué que les délais moyens passés à l'hôpital, en Belgique, étaient d'environ 52.8 jours. Ensuite, les patients ont la possibilité d'entrer en centre de réadaptation où la durée moyenne de leur séjour était d'environ 155 jours (Osterthun et al., 2009). Ces patients avaient donc la possibilité d'avoir un suivi en kinésithérapie au quotidien. D'autres patients peuvent bénéficier d'une prise en charge en cabinet, en rentrant donc dans les critères de l'INAMI comme pathologies lourdes dans la classification E, ils ont dès lors le droit à une séance de kinésithérapie par jour durant toute l'année (Institut National d'Assurance Maladie-Invalidité [INAMI], n. d.). Il semble quand même évident que les patients qui décident de rester en centre de réadaptation ont accès à plus de matériels, une structure plus adaptée pour ces patients et donc par extension une prise en charge plus optimale que ceux qui souhaitent aller dans un cabinet. Il serait donc intéressant de voir comment ce traitement par tSCS peut être adapté en fonction de l'endroit où le patient effectue sa rééducation afin de donner à chaque patient la chance de bénéficier d'une prise en charge la plus complète possible.

De plus, comme dit précédemment, des recherches doivent encore être effectuées pour répondre aux interrogations des praticiens sur cette technique de rééducation qui est appliquée depuis peu. C'est pour cela que beaucoup de recherches sont

encore en cours.

On peut citer en premier lieu, la recherche de Forrest (2023) qui réalise une étude avec un protocole sur 80 séances de kinésithérapie avec la tSCS, ce qui permettrait d'avoir une représentation sur les bienfaits de la tSCS à plus long terme (Forrest, 2023). Cette étude permet aussi de se rapprocher le plus possible des conditions de traitement effectuées en cabinet où les patients en tant que pathologies chroniques Fb ont le droit au minimum à 60 séances de kinésithérapie par an. Elle nous permettrait donc d'avoir une vision plus complète de l'effet du traitement en condition réelle de prise en charge.

D'après les différents points mis en avant lors de cette revue, pour une prise en charge idéale en kinésithérapie intégrant la tSCS, il serait pertinent de l'associer à d'autres modalités de traitements afin de maximiser les chances d'obtenir des résultats fonctionnels. L'avis scientifique a l'air de tendre vers l'exosquelette utilisé dans de nombreuses études car il facilite le réapprentissage du schéma de la marche. De plus, le courant le plus approprié serait le courant biphasique rectangulaire, qui est mieux toléré par les patients que le courant monophasique. La fréquence de stimulation serait de 30Hz, ce qui correspond au paramètre le plus souvent retrouvé, même s'il est évident qu'il faut prendre en compte le ressenti du patient et l'apparition des effets secondaires. La séance durerait 30 minutes pour éviter la fatigue excessive mais également éviter des effets indésirables, tout en permettant de consacrer du temps pour d'autres exercices durant la séance. Enfin, les exercices proposés seraient des exercices de renforcement musculaires, d'équilibre et de proprioception qui sont indispensables lors de la rééducation de la marche chez les patients atteints d'une LME.

D'autres études, encore en cours, elles-aussi (Craig Hospital, 2024), (Trumbower, 2024) cherchent à mettre en évidence la quantité d'assistance nécessaire à fournir au patient que ce soit physique ou technique pour suppléer la tSCS afin d'avoir des résultats significatifs dans la progression de la marche. En effet, une des questions à l'heure actuelle qui ne trouve pas encore de réponses satisfaisantes est la question des modalités de stimulation de cette technique, bien que certaines recommandations aient pu montrer un niveau de preuves satisfaisantes, aucune modalité claire n'est encore actée qui pourrait permettre au praticien de suivre une

description d'utilisation de la tSCS.

Il est aussi nécessaire de noter que toutes les recherches en cours sur la tSCS que nous avons relevée (Forrest, 2023), (Craig Hospital, 2024), (Trumbower, 2024) étudieront les composantes de celle-ci dès lors qu'elle est associée à un autre traitement ou une autre aide. Notamment, deux d'entre elles, (Forrest, 2023), (Craig Hospital, 2024) étudient la tSCS couplée avec une rééducation à la marche grâce à un exosquelette. Aucune des quatre études trouvées encore en cours n'étudieront la tSCS comme seul traitement dans la réadaptation à la marche. Il semblerait donc que l'avis scientifique se tournerait vers le fait que la tSCS est plus utile quand elle est couplée avec une autre rééducation notamment vers une rééducation à la marche par exosquelette.

Par ailleurs, d'autres aspects sont aussi abordés dans les études en cours sur la marche aidée par la tSCS, notamment la densité et la rigidité osseuse (Forrest, 2023) ainsi que la fonction intestinale et vésicale (Craig Hospital, 2024) mais aussi la modification respiratoire, la capacité vitale forcée et la toux volontaire (Trumbower, 2024). Ces études chercheront donc à s'intéresser à d'autres aspects qui peuvent être améliorés grâce la marche et qui n'ont pas encore été soulevés par les études antérieures. Ceci permettrait d'avoir une vision plus globale sur les bénéfices que peut apporter la tSCS aux patients victimes de LME incomplète.

A l'instar de Choi et al. (2019) et bien d'autres, la tSCS est, à l'heure actuelle, principalement étudiée dans le traitement des douleurs neuropathiques. Dès lors, aucune étude n'est menée en Belgique pour évaluer l'efficacité de la tSCS dans un objectif de rééducation à la marche chez les blessés médullaires incomplets. C'est pourquoi il serait donc intéressant d'examiner si les protocoles utilisés pour soulager les douleurs neuropathiques pourraient être adaptés dans le cadre d'une prise en charge visant la récupération des capacités locomotrices. (Choi et al., 2019)

5. CONCLUSION

Cette revue a comme objectif d'analyser l'efficacité de la tSCS dans le processus de rééducation à la marche chez les patients atteints de LM incomplètes. A l'issue de ce travail, plusieurs constats peuvent être faits et offrent des opportunités pour la pratique clinique et la recherche.

Les résultats montrent globalement une amélioration de la marche via différents paramètres comme la distance de marche, la vitesse de marche mais aussi la force musculaire ainsi que l'équilibre dynamique. Ces caractéristiques constituent les prérequis indispensables à la récupération d'une marche fonctionnelle et qualitative.

Toutefois, la diversité des protocoles d'application de la tSCS représente un obstacle majeur pour établir des conclusions définitives sur son efficacité et permettre de la mettre en œuvre chez une grande partie de la population.

De nouvelles recherches, mieux structurées sont indispensables afin d'affiner les modalités optimales d'applications de la tSCS, de comprendre ses mécanismes d'actions en profondeur et d'en évaluer les effets à long terme.

En conclusion, même si les données actuelles restent encore insuffisantes pour nous permettre d'utiliser de façon constante la tSCS dans la rééducation de la marche chez les patients atteints d'une LM incomplète, cette technique ouvre une nouvelle voie, pour enrichir les outils thérapeutiques et renforcer l'accompagnement vers une autonomie et une amélioration fonctionnelle.

6. BIBLIOGRAPHIE

- Aref, O. E. (2020). Méthodologie de recherche à l'ère du tout numérique. *Revue Linguistique et Référentiels Interculturels*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/liri-v1i1.21441>
- Awosika, O. O., Sandrini, M., Volochayev, R., Thompson, R. M., Fishman, N., Wu, T., Floeter, M. K., Hallett, M., & Cohen, L. G. (2019). Transcutaneous spinal direct current stimulation improves locomotor learning in healthy humans. *Brain Stimulation*, 12(3), 628-634. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.01.017>
- Barbin, J. M., Bilard, J., Ohanna, F., Gros, C., Varray, A., Rabischong, E., & Bui-Xuan, G. (1998). Enquête sur les conditions de vie de 291 blessés médullaires de retour à domicile. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 41(1), 35-40. [https://doi.org/10.1016/S0168-6054\(97\)83592-1](https://doi.org/10.1016/S0168-6054(97)83592-1)
- Barss, T. S., Parhizi, B., Porter, J., & Mushahwar, V. K. (2022). Neural Substrates of Transcutaneous Spinal Cord Stimulation : Neuromodulation across Multiple Segments of the Spinal Cord. *Journal of Clinical Medicine*, 11(3), 639. <https://doi.org/10.3390/jcm11030639>
- Beliez, L. (2014). *Mécanismes spinaux et supraspinaux impliqués dans le couplage entre les réseaux locomoteurs et posturaux*. [Thèse de doctorat. Université de Bordeaux] HALtheses. <https://theses.hal.science/tel-01135921v1>
- Benayoun, L., & Pease, S. (2009). Le blessé médullaire : De la phase préhospitalière à la réhabilitation. *Le Praticien en Anesthésie Réanimation*, 13(2), 90-103. <https://doi.org/10.1016/j.pratan.2009.03.003>
- Bouchot-Marchal, B., Hameau, S., Diaz, C. U., Halfen, S., Colom, G., Frémont, S., & Boirel, É. (2011). Les outils de mesure pour l'évaluation fonctionnelle du blessé médullaire. *Kinésithérapie, la Revue*, 11(114), 19-32. [https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(11\)75130-0](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(11)75130-0)
- Cashin, A. G., & McAuley, J. H. (2020). Clinimetrics : Physiotherapy Evidence Database (PEDro) Scale. *Journal of Physiotherapy*, 66(1), 59. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2019.08.005>
- Choi, Y.-A., Kim, Y., & Shin, H.-I. (2019). Pilot study of feasibility and effect of anodal transcutaneous spinal direct current stimulation on chronic neuropathic pain after spinal cord injury. *Spinal Cord*, 57(6), 461-470. <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0244-x>

- Ciriagliaro, C. M., Kuo, W., Forrest, G. F., Spungen, A. M., Parrott, J. S., Cardozo, C. P., Pal, S., & Bauman, W. A. (2024). Exoskeletal-assisted walking combined with transcutaneous spinal cord stimulation to improve bone health in persons with spinal cord injury : Study protocol for a prospective randomised controlled trial. *BMJ Open*, 14(9), e086062. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-086062>
- Clavert, F. (2012). Au-delà de la gestion des références bibliographiques : Zotero. *Diacronie*, N° 10, 2. <https://doi.org/10.4000/diacronie.2851>
- Consortium National de Formation en Santé. (2025). *Lésion médullaire*. CNFS. Consulté le 22 février 2025 sur <https://cnfs.ca/pathologies/infarctus-du-mycarde/lesion-medullaire>
- Comino-Suárez, N., Moreno, J. C., Megía-García, Á., Del-Ama, A. J., Serrano-Muñoz, D., Avendaño-Coy, J., Gil-Agudo, Á., Alcobendas-Maestro, M., López-López, E., & Gómez-Soriano, J. (2025). Transcutaneous spinal cord stimulation combined with robotic-assisted body weight-supported treadmill training enhances motor score and gait recovery in incomplete spinal cord injury : A double-blind randomized controlled clinical trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 22(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01545-8>
- Couillandre, A., Duque Ribeiro, M.-J., Thoumie, P., & Portero, P. (2008). Modification des paramètres d'équilibration et de force associés au reconditionnement sur plateforme motorisée de rééducation : Étude chez le sujet sain. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 51(2), 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.annrmp.2007.08.009>
- Craig Hospital. (2024). *Transcutaneous Spinal Cord Stimulation to Promote Walking Recovery After Spinal Cord Injury* (Clinical trial registration No. NCT05982171). [clinicaltrials.gov](https://clinicaltrials.gov/study/NCT05982171). <https://clinicaltrials.gov/study/NCT05982171>
- Ditunno, J. F., Young, W., Donovan, W. H., & Creasey, G. (1994). The International Standards Booklet for Neurological and Functional Classification of Spinal Cord Injury. *Spinal Cord*, 32(2), 70-80. <https://doi.org/10.1038/sc.1994.13>
- Edwards, I., & Jones, M. (2007). La Classification Internationale du Fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF). *Kinésithérapie, la Revue*, 7(71), 40-49. [https://doi.org/10.1016/S1779-0123\(07\)70504-1](https://doi.org/10.1016/S1779-0123(07)70504-1)
- Estes, S., Zarkou, A., Hope, J. M., Suri, C., & Field-Fote, E. C. (2021). Combined Transcutaneous Spinal Stimulation and Locomotor Training to Improve Walking Function and Reduce Spasticity in Subacute Spinal Cord Injury : A Randomized Study of Clinical Feasibility and Efficacy. *Journal of Clinical Medicine*, 10(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/jcm10061167>
- Forrest, G. (2023). *Exoskeleton and Spinal Cord Stimulation for SCI* (Clinical trial registration No. NCT03096197). [clinicaltrials.gov](https://clinicaltrials.gov/study/NCT03096197). <https://clinicaltrials.gov/study/NCT03096197>

- Gerasimenko, Y., Gad, P., Sayenko, D., McKinney, Z., Gorodnichev, R., Puhov, A., Moshonkina, T., Savochin, A., Selionov, V., Shigueva, T., Tomilovskaya, E., Kozlovskaya, I., & Edgerton, V. R. (2016). Integration of sensory, spinal, and volitional descending inputs in regulation of human locomotion. *Journal of Neurophysiology*, 116(1), 98-105. <https://doi.org/10.1152/jn.00146.2016>
- Griffin, J. M., & Bradke, F. (2020). Therapeutic repair for spinal cord injury : Combinatory approaches to address a multifaceted problem. *EMBO Molecular Medicine*, 12(3), e11505. <https://doi.org/10.15252/emmm.201911505>
- Hofstoetter, U. S., McKay, W. B., Tansey, K. E., Mayr, W., Kern, H., & Minassian, K. (2014). Modification of spasticity by transcutaneous spinal cord stimulation in individuals with incomplete spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 37(2), 202-211. <https://doi.org/10.1179/2045772313Y.00000000149>
- Hogan, M. K., Hamilton, G. F., & Horner, P. J. (2020). Neural Stimulation and Molecular Mechanisms of Plasticity and Regeneration : A Review. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 14, 271. <https://doi.org/10.3389/fncel.2020.00271>
- Kang, Y., Ding, H., Zhou, H., Wei, Z., Liu, L., Pan, D., & Feng, S. (2017). Epidemiology of worldwide spinal cord injury : A literature review. *Journal of Neurorestoratology*, 6, 1-9. <https://doi.org/10.2147/JN.S143236>
- Keci, A., Tani, K., & Xhema, J. (2019). Role of Rehabilitation in Neural Plasticity. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7(9), 1540-1547. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.295>
- Krenn, M. J., White, J. M., Stokic, D. S., & Tansey, K. E. (2023). Neuromodulation with transcutaneous spinal stimulation reveals different groups of motor profiles during robot-guided stepping in humans with incomplete spinal cord injury. *Experimental Brain Research*, 241(2), 365-382. <https://doi.org/10.1007/s00221-022-06521-5>
- Kumru, H., Ros-Alsina, A., García Alén, L., Vidal, J., Gerasimenko, Y., Hernandez, A., & Wrigth, M. (2024). Improvement in Motor and Walking Capacity during Multisegmental Transcutaneous Spinal Stimulation in Individuals with Incomplete Spinal Cord Injury. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(8), 4480. <https://doi.org/10.3390/ijms25084480>
- Lam, T., Eng, J. J., Wolfe, D. L., Hsieh, J. T., & Whittaker, M. (2007). Lam, Tania, Janice J Eng, Dalton L Wolfe, Jane T Hsieh, et Maura Whittaker. « A systematic review of the efficacy of gait rehabilitation strategies for spinal cord injury ». *Topics in spinal cord injury rehabilitation* 13, n° 1 (2007) : 32-57. <https://doi.org/10.1310/sci1301-32>. *Topics in spinal cord injury rehabilitation*, 13(1), 32-57. <https://doi.org/10.1310/sci1301-32>

- *Lésions de la moelle épinière*. (2020). Infosanté. Consulté le 5 mars 2025 sur <https://www.infosante.be/guides/lesions-de-la-moelle-epiniere>
- Lin, J.-T., Hsu, C.-J., Dee, W., Chen, D., Rymer, W. Z., & Wu, M. (2022). Anodal transcutaneous DC stimulation enhances learning of dynamic balance control during walking in humans with spinal cord injury. *Experimental Brain Research*, 240(7-8), 1943-1955. <https://doi.org/10.1007/s00221-022-06388-6>
- Lu, Y., Shang, Z., Zhang, W., Pang, M., Hu, X., Dai, Y., Shen, R., Wu, Y., Liu, C., Luo, T., Wang, X., Liu, B., Zhang, L., & Rong, L. (2024). Global incidence and characteristics of spinal cord injury since 2000–2021 : A systematic review and meta-analysis. *BMC Medicine*, 22, 285. <https://doi.org/10.1186/s12916-024-03514-9>
- McKenzie, K., Veit, N., Aalla, S., Yang, C., Giffhorn, M., Lynott, A., Buchler, K., Kishta, A., Barry, A., Sandhu, M., Moon, Y., Rymer, W. Z., & Jayaraman, A. (2024). Combining Neuromodulation Strategies in Spinal Cord Injury Gait Rehabilitation : A Proof of Concept, Randomized, Crossover Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 105(10), 1930-1937. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2024.06.011>
- Megía García, A., Serrano-Muñoz, D., Taylor, J., Avendaño-Coy, J., & Gómez-Soriano, J. (2020). Transcutaneous Spinal Cord Stimulation and Motor Rehabilitation in Spinal Cord Injury : A Systematic Review. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 34(1), 3-12. <https://doi.org/10.1177/1545968319893298>
- Meyer, C., Hofstoetter, U. S., Hubli, M., Hassani, R. H., Rinaldo, C., Curt, A., & Bolliger, M. (2020). Immediate Effects of Transcutaneous Spinal Cord Stimulation on Motor Function in Chronic, Sensorimotor Incomplete Spinal Cord Injury. *Journal of Clinical Medicine*, 9(11), 3541. <https://doi.org/10.3390/jcm9113541>
- Miller, L. E., Zimmermann, A. K., & Herbert, W. G. (2016). Clinical effectiveness and safety of powered exoskeleton-assisted walking in patients with spinal cord injury : Systematic review with meta-analysis. *Medical Devices (Auckland, N.Z.)*, 9, 455-466. <https://doi.org/10.2147/MDER.S103102>
- Moon, Y., Zuleger, T., Lamberti, M., Bansal, A., Mummidisetty, C. K., McKenzie, K. A., Yingling, L., Madhavan, S., Roth, E. J., Lieber, R. L., & Jayaraman, A. (2021). Characterization of Motor-Evoked Responses Obtained with Transcutaneous Electrical Spinal Stimulation from the Lower-Limb Muscles after Stroke. *Brain Sciences*, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/brainsci11030289>
- Mundra, A., Varma Kalidindi, K., Chhabra, H. S., & Manghwani, J. (2023). Spinal cord stimulation for spinal cord injury - Where do we stand? A narrative review. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 43, 102210. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2023.102210>

- Nambiema, A., Fouquet, J., Guilloteau, J., & Descatha, A. (2021). La revue systématique et autres types de revue de la littérature : Qu'est-ce que c'est, quand, comment, pourquoi ? *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 82(5), 539-552. <https://doi.org/10.1016/j.admp.2021.03.004>
- National Institute Of Neurological Disorders And Stroke (2025). *Spinal cord injury*. Consulté le 3 mars 2025 sur <https://www.ninds.nih.gov/health-information/disorders/spinal-cord-injury>
- Organisation mondiale de la Santé. (2001). *Classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé (CIF)* (p. 19).OMS. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42407>
- Organisation Mondiale de la Santé (2024). *Lésions de la moelle épinière*. OMS. Consulté le 26 février 2025 sur <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/spinal-cord-injury>
- Osterthun, R., Post, M. W. M., & van Asbeck, F. W. A. (2009). Characteristics, length of stay and functional outcome of patients with spinal cord injury in Dutch and Flemish rehabilitation centres. *Spinal Cord*, 47(4), 339-344. <https://doi.org/10.1038/sc.2008.127>
- PEDro. (2020). *Échelle PEDro - PEDro*. <https://pedro.org.au/french/resources/pedro-scale/>
- Perrouin-Verbe, B. (2005). La rééducation et la réadaptation des blessés médullaires. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 189(6), 1159-1174. [https://doi.org/10.1016/S0001-4079\(19\)33479-X](https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)33479-X)
- Poulain, F. (n. d.). *Localisation de la moelle épinière – Média LAROUSSE*. Consulté 30 mars 2025, à l'adresse https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Localisation_de_la_moelle_%C3%A9pini%C3%A8re/1002153
- *Remboursement de la kinésithérapie pour les pathologies des listes Fa et Fb | INAMI*. (n. d.). Consulté 16 mai 2025, sur <https://www.inami.fgov.be/fr/professionnels/professionnels-de-la-sante/kinesitherapeutes/remboursement-de-la-kinesitherapie-pour-les-pathologies-des-listes-fa-et-fb>
- Rubin, M. (2025) *Revue générale des affections de la moelle épinière*. Manuel MSD. <https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-neurologiques/troubles-de-la-moelle-%C3%A9pini%C3%A8re/revue-g%C3%A9n%C3%A9rale-des-affections-de-la-moelle-%C3%A9pini%C3%A8re>
- Rupp, R. (2020). Chapter 6—Spinal cord lesions. In N. F. Ramsey & J. del R. Millán (Éds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 168, p. 51-65). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63934-9.00006-8>

- Sayenko, D. G., Rath, M., Ferguson, A. R., Burdick, J. W., Havton, L. A., Edgerton, V. R., & Gerasimenko, Y. P. (2019). Self-Assisted Standing Enabled by Non-Invasive Spinal Stimulation after Spinal Cord Injury. *Journal of Neurotrauma*, 36(9), 1435-1450. <https://doi.org/10.1089/neu.2018.5956>
- Şimşek, T. T., & Şimşek, İ. E. (2020). Chapter 26—Balance and postural control. In S. Angin & İ. E. Şimşek (Éds.), *Comparative Kinesiology of the Human Body* (p. 467-475). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812162-7.00026-6>
- Swinnen, E., Duerinck, S., Baeyens, J.-P., Meeusen, R., & Kerckhofs, E. (2010). Effectiveness of robot-assisted gait training in persons with spinal cord injury : A systematic review. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 42(6), 520-526. <https://doi.org/10.2340/16501977-0538>
- Thorogood, N. P., Waheed, Z., Chernesky, J., Burkhart, I., Smith, J., Sweeney, S., Wudlick, R., Douglas, S., Wang, D., & Noonan, V. K. (2023). Spinal Cord Injury Community Personal Opinions and Perspectives on Spinal Cord Stimulation. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, 29(2), 1-11. <https://doi.org/10.46292/sci22-00057>
- Trumbower, R. (2024). *Breathing Low Oxygen to Enhance Spinal Stimulation Training and Functional Recovery for Aging Adults With Chronic SCI: The BO2ST-II Trial* (Clinical trial registration No. NCT06521723). [clinicaltrials.gov](https://clinicaltrials.gov/study/NCT06521723). <https://clinicaltrials.gov/study/NCT06521723>
- van Raath, M. I., Chohan, S., Wolkerstorfer, A., van der Horst, C. M. A. M., Limpens, J., Huang, X., Ding, B., Storm, G., van der Hulst, R. R. W. J., & Heger, M. (2020). *Modified Downs and Black checklist for assessment of methodological quality*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235657.s003>
- Vazquez, X. M., Rodriguez, M. S., Peñaranda, J. M. S., Concheiro, L., & Barus, J. I. M. (2008). Determining prognosis after spinal cord injury. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 15(1), 20-23. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2007.06.003>
- Zhao, H., Horn, U., Freund, M., Bujanow, A., Gundlach, C., Hartwigsen, G., & Eippert, F. (2023). *Assessing adverse effects and unspecific effects of transcutaneous spinal direct current stimulation (tsDCS)* (p. 2023.12.14.571694). [bioRxiv](https://doi.org/10.1101/2023.12.14.571694). <https://doi.org/10.1101/2023.12.14.571694>
- World Health Organization (2013) *Perspectives internationales sur les lésions de la moelle épinière*. Consulté le 3 mars 2025 sur <https://www.who.int/publications/i/item/international-perspectives-on-spinal-cord-injury>

7. ANNEXES

Annexe 1 : Score ASIA (*Ditunno et al., 1994*)

Grades	Fonctions
A	Lésion médullaire complète : absence de fonctions sensorielles et motrices dans les segments sacraux S4-S5
B	Lésion médullaire incomplète : fonctions sensorielles préservées en-dessous du niveau neurologique et s'étend jusqu'aux segments sacraux S4-S5, mais absence de fonction motrice
C	Lésion médullaire incomplète : fonctions motrices partiellement préservées sous le niveau neurologique dont la majorité des muscles clés ont une force musculaire < 3
D	Lésion médullaire incomplète : fonctions motrices partiellement préservées sous le niveau neurologique dont la majorité des muscles clés ont une force musculaire > 3
E	Fonctions sensorielles et motrices intactes

Annexe 2 : Spinal cord independence measure III (SCIM III) (Bouchot-Marchal et al., 2011)

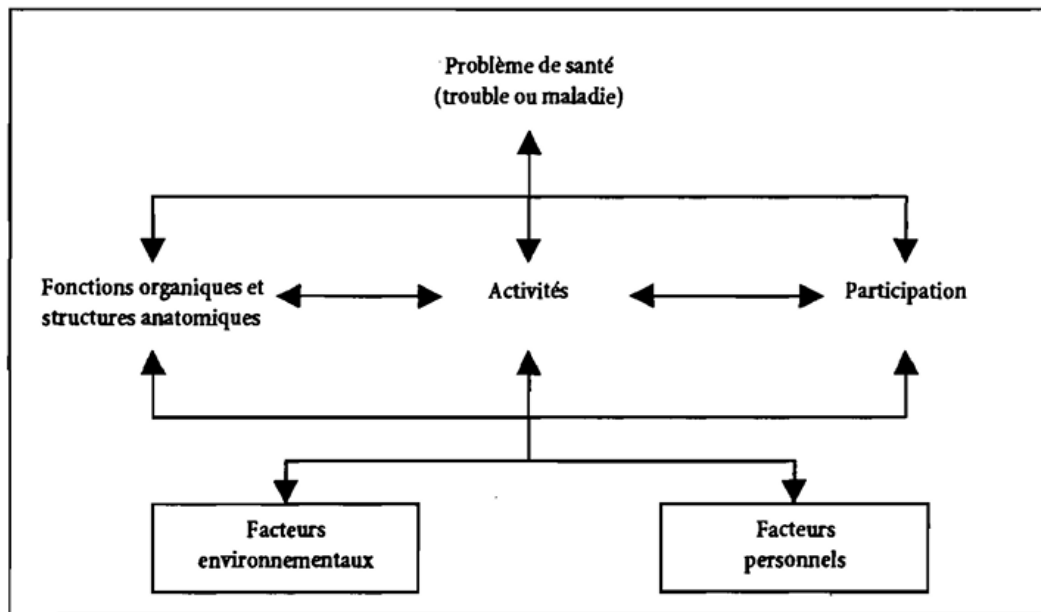
Tableau V. Spinal cord independence measure III (SCIM III).

SOINS PERSONNELS	
1. Alimentation (couper la viande, ouvrir une boîte, tenir un gobelet plein, verser du liquide, porter les aliments à la bouche) 0: Nutrition parentérale, gastrostomie ou assistance totale pour alimentation orale 1: Assistance partielle pour manger et/ou boire, pour aliments coupés, assiette et couverts adaptés, incapable de tenir un gobelet 2: Indépendant pour manger, besoin d'AT ou assistance seulement pour couper les aliments et/ou verser et/ou ouvrir une boîte 3: Indépendant dans toutes les tâches sans assistance ou AT	
2. Toilette (utiliser, manipuler les robinets, se laver, se sécher le corps et la tête) A. Partie supérieure du corps 0: Assistance totale 1: Assistance partielle 2: Indépendant avec AT ou installation spéciale 3: Indépendant sans AT ni installation spéciale	
B. Partie inférieure du corps 0: Assistance totale 1: Assistance partielle 2: Indépendant avec AT ou installation spéciale 3: Indépendant sans AT ni installation spéciale	
3. Habillage (préparation des habits, habillage, déshabillage, chaussage, mise en place des orthèses permanentes) A. Partie supérieure du corps 0: Assistance totale 1: Assistance partielle pour les vêtements sans boutons, fermetures éclair ou lacets (VSBFL) 2: Indépendant pour VSBFL: besoin AT et/ou installation spéciale 3: Indépendant pour VSBFL: pas besoin AT et/ou installation spéciale sauf pour BFL 4: Indépendant (pour tout type de vêtement) sans AT et/ou installation spéciale	
B. Partie inférieure du corps 0: Assistance totale 1: Assistance partielle pour les vêtements sans boutons, fermetures éclair ou lacets (VSBFL) 2: Indépendant pour VSBFL: besoin AT et/ou installation spéciale 3: Indépendant pour VSBFL: pas besoin AT et/ou installation spéciale sauf pour BFL 4: Indépendant (pour tout type de vêtement) sans AT et/ou installation spéciale	
4. Soins d'apparence (se laver les mains et le visage, se coiffer, brossage de dents, rasage, maquillage) 0: Assistance totale 1: Assistance partielle 2: Indépendant avec AT 3: Indépendant sans AT	
Sous total (0-20)	
RESPIRATION ET CONTRÔLE SPHINCTÉRIEN	
5. Respiration 0: Sonde trachéale (ST) et ventilation assistée (VA) permanente ou intermittente 2: Respire spontanément avec ST: besoin oxygène, assistance pour tousser, soins trachéaux 4: Respire spontanément avec ST + peu d'assistance pour tousser ou soins trachéaux 6: Respire spontanément sans ST + besoin oxygène et soins importants pour tousser, un masque ou VA 8: Respire sans ST, besoin d'un peu d'assistance mécanique pour tousser 10: Respiration normale sans aide ou AT	
6. Contrôle vésico-sphinctérien – Vessie 0: Sonde urinaire à demeure 3: Résidu post mictionnel (RPM) > 100 cm ³ , pas de sonde, pas de SI 6: RPM < 100 cm ³ , ou autosondages intermittents, aide nécessaire pour vidange vésicale 9: Auto sondages intermittents < 100 cm ³ , utilise une AT pour vidange vésicale sans assistance 11: Auto sondages intermittents, continent entre les sondages, sans AT 13: RPM < 100 cm ³ , vidange vésicale externe uniquement sans aide 15: RPM < 100 cm ³ , totalement continent sans vidange vésicale	
7. Contrôle sphincter anal 0: Évacuation des selles inappropriées, ou irrégulières, ou fréquence < à 1 fois/3 J 5: Évacuation régulière et adaptée avec assistance (ex: mise du suppo), rares fuites (< 1 fois/mois) 8: Évacuation régulière et adaptée sans assistance (rares fuites) 10 Évacuation régulière sans assistance pas d'accidents	
8. Utilisation des toilettes (hygiène périnéale, déshabillage, rhabillage, utilisation de couches ou de serviettes périodiques) 0: Besoin d'assistance totale 1: Assistance partielle, ne peut se laver seul 2: Assistance partielle, peut se laver seul 4: Indépendant dans toutes les tâches, nécessite AT ou installation spéciale 5: Indépendant sans AT ni installation spéciale	
Sous total (0-40)	

Tableau V. Spinal cord independence measure III (SCIM III) (suite).

MOBILITÉ (chambre et toilettes)	
9. Mobilité dans le lit et prévention des points d'appui 0: Besoin d'assistance totale dans toutes les activités: tourner le haut et le bas du corps dans le lit, s'asseoir, push up en fauteuil, avec ou sans AT, mais sans aide électrique 2: Peut accomplir une de ces activités sans aide 4: Peut accomplir deux ou trois de ces activités sans aide 6: Totalelement indépendant	
10. Transferts lit-fauteuil roulant (bloquer le fauteuil, soulever les appuis-pieds, enlever et ajuster les repose-bras, transfert, lever les pieds) 0: Besoin d'assistance totale 1: Besoin assistance partielle et/ou surveillance et/ou AT (ex: planche de transfert) 2: Indépendant (ou n'a pas besoin de fauteuil roulant)	
11. Transferts fauteuil roulant-WC (bloquer le fauteuil, soulever les appuis-pieds, enlever et ajuster les repose-bras, transfert, lever les pieds) 0: Besoin d'assistance totale 1: Besoin assistance partielle et/ou surveillance ou aménagement (ex: barre d'appui) 2: Indépendant ou n'a pas besoin de fauteuil roulant	
DÉPLACEMENTS (à l'intérieur ou à l'extérieur, sur surfaces planes)	
12. Déplacement à l'intérieur (courtes distances) 0: Assistance totale 1: A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM 2: Se déplace seul avec un FRM 3: Surveillance pour la marche (avec ou sans AT) 4: Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing) 5: Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque) 6: Marche avec une canne simple 7: Utilise seulement une orthèse 8: Marche sans AT	
13. Déplacements sur distances moyennes (10-100 m) 0: Assistance totale 1: A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM 2: Se déplace seul avec un FRM 3: Surveillance pour la marche (avec ou sans AT) 4: Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing) 5: Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque) 6: Marche avec une canne simple 7: Utilise seulement une orthèse 8: Marche sans AT	
13. Déplacements à l'extérieur (> 100 m) 0: Assistance totale 1: A besoin d'un FRE ou d'une aide pour déplacer le FRM 2: Se déplace seul avec un FRM 3: Surveillance pour la marche (avec ou sans AT) 4: Marche avec déambulateur ou cannes anglaises (swing) 5: Marche avec 2 cannes anglaises ou cannes simples (marche réciproque) 6: Marche avec une canne simple 7: Utilise seulement une orthèse 8: Marche sans AT	
15. Escaliers 0: Incapable de monter ou descendre des escaliers 1: Monte et descend au moins 3 marches avec aide ou surveillance d'un tiers 2: Monte et descend au moins 3 marches avec appui d'une rampe et/ou d'une canne 3: Monte et descend au moins 3 marches sans aucun appui ni surveillance	
16. Transferts fauteuil roulant-voiture (accéder à la voiture, bloquer le fauteuil roulant, enlever les appuis-pieds et repose-bras, transfert fauteuil roulant-voiture, mettre/sortir le fauteuil roulant) 0: Besoin d'assistance totale 1: Besoin d'assistance partielle et/ou surveillance et/ou aide technique 2: Indépendant sans aide technique	
17. Transfert fauteuil roulant-sol 0: Besoin d'assistance totale 1: Indépendant pour les transferts avec ou sans AT	
	Sous-total (0-40)
	TOTAL (sur 100)

Annexe 3 : Modèle de la CIF (Organisation mondiale de la Santé [OMS] 2001)



Annexe 4 : Equations de recherche en fonction des différentes bases de données

PUBMED :

- (spinal cord injury [MeSH Terms]) AND (transcutaneous spinal cord stimulation [MeSH Terms])
- ((transcutaneous spinal cord stimulation) AND (spinal cord injury)) AND (physiotherapy)) AND (rehabilitation)) AND (functional treatment)

EMBASE :

- 'Spinal cord injury'/de AND 'transcutaneous spinal cord stimulation'/exp

COCHRANE :

- 'Spinal cord injury' AND 'transcutaneous spinal cord stimulation' AND 'walk'

Annexe 5 : Critères de l'échelle « PEDro » (PEDro, 2020.)

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:

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

Annexe 6 : Score de l'échelle « PEDro »

Article	(Estes et al., 2021)	(McKenzie et al., 2024)	(Comino-Suárez et al., 2025)	(Sayenko et al., 2019)	(Lin et al., 2022)	(Kumru et al., 2024)	(Cirnigliaro et al., 2024)
Critères d'éligibilité	1	1	1	1	1	1	1
Répartition aléatoire	1	1	1	1	1	1	1
Assignation secrète	0	1	1	0	0	0	1
Groupes similaires	1	1	1	1	1	1	1
Sujets en aveugles	0	1	1	1	1	1	0
Thérapeutes en aveugles	0	0	0	0	0	0	0
Examineurs en aveugle	1	1	1	1	0	1	1
Suivi adéquat	1	1	1	1	1	1	0
Analyse en intention de traiter	0	0	1	0	0	1	1
Comparaison inter-groupes	1	1	1	1	1	1	1
Estimations des effets et variabilité	1	1	1	1	1	1	1
Total	5/10	8/10	9/10	7/10	6/10	8/10	7/10

Annexe 7 : Critères de l'échelle « Downs and black modifiée » (van Raath et al., 2020)

Item	Criteria	Answers
Reporting		
1	<i>Is the hypothesis/aim/objective of the study clearly described?</i>	Yes = 1 No = 0
2	<i>Are the main outcomes to be measured clearly described in the Introduction or Methods section? If the main outcomes are first mentioned in the Results section, the question should be answered no.</i>	Yes = 1 No = 0
3	<i>Are the characteristics of the patients included in the study clearly described?</i> In cohort studies and trials, inclusion and/or exclusion criteria should be given. In case-control studies, a case-definition and the source for controls should be given.	Yes = 1 No = 0
4	<i>Are the interventions of interest clearly described?</i> Treatments and placebo (where relevant) that are to be compared should be clearly described.	Yes = 1 No = 0
5	<i>Are the distributions of principal confounders in each group of subjects to be compared clearly described?</i> A list of principal confounders is provided. ^a	Yes = 2 Partially = 1 No = 0

6	<i>Are the main findings of the study clearly described?</i> Simple outcome data (including denominators and numerators) should be reported for all major findings so that the reader can check the major analyses and conclusions. (This question does not cover statistical tests which are considered below).	Yes = 1 No = 0
7	<i>Does the study provide estimates of the random variability in the data for the main outcomes?</i> In non-normally distributed data the interquartile range of results should be reported. In normally distributed data the standard error, standard deviation or confidence intervals should be reported. If the distribution of the data is not described, it must be assumed that the estimates used were appropriate and the question should be answered yes. ^b	Yes = 1 No = 0
8	<i>Have all important adverse events that may be a consequence of the intervention been reported?</i> This should be answered yes if the study demonstrates that there was a comprehensive attempt to measure adverse events. (A list of possible adverse events is provided).	Yes = 1 No = 0
9	<i>Have the characteristics of patients lost to follow-up been described?</i> This should be answered yes where there were no losses to follow-up or where losses to follow-up were so small that findings would be unaffected by their inclusion. This should be answered 'no' where a study does not report the number of patients lost to follow-up.	Yes = 1 No = 0
10	<i>Have actual probability values been reported (e.g. 0.035 rather than <0.05) for the main outcomes except where the probability value is less than 0.001?^c</i>	Yes = 1 No = 0
External validity		
11	<i>Were the subjects asked to participate in the study representative of the entire population from which they were recruited?</i> The study must identify the source population for patients and describe how the patients were selected. Patients would be representative if they comprised the entire source population, an unselected sample of consecutive patients, or a random sample. Random sampling is only feasible where a list of all members of the relevant population exists. Where a study does not report the proportion of the source population from which the patients are derived, the question should be answered as unable to determine.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
12	<i>Were those subjects who were prepared to participate representative of the entire population from which they were recruited?</i> The proportion of those asked who agreed should be stated. Validation that the sample was representative would include demonstrating that the distribution of the main confounding factors was the same in the study sample and the source population.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
13	<i>Were the staff, places, and facilities where the patients were treated, representative of the treatment the majority</i>	Yes = 1 No = 0

	<i>of patients receive?</i> For the question to be answered yes the study should demonstrate that the intervention was representative of that in use in the source population. The question should be answered no if, for example, the intervention was undertaken in a specialist centre unrepresentative of the hospitals most of the source population would attend.	Unable to determine = 0
Internal validity - bias		
14	<i>Was an attempt made to blind study subjects to the intervention they have received?</i> For studies where the patients would have no way of knowing which intervention they received, this should be answered yes.^d	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
15	<i>Was an attempt made to blind those measuring the main outcomes of the intervention?^d</i>	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
16	<i>If any of the results of the study were based on “data dredging”, was this made clear?</i> Any analyses that had not been planned at the outset of the study should be clearly indicated. If no retrospective unplanned subgroup analyses were reported, then answer yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
17	<i>In trials and cohort studies, do the analyses adjust for different lengths of follow-up of patients, or in case-control studies, is the time period between the intervention and outcome the same for cases and controls?</i> Where follow-up was the same for all study patients the answer should be yes. If different lengths of follow-up were adjusted for by, for example, survival analysis the answer should be yes. Studies where differences in follow-up are ignored should be answered no.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
18	<i>Were the statistical tests used to assess the main outcomes appropriate?</i> The statistical techniques used must be appropriate to the data. For example nonparametric methods should be used for small sample sizes. Where little statistical analysis has been undertaken but where there is no evidence of bias, the question should be answered yes. If the distribution of the data (normal or not) is not described it must be assumed that the estimates used were appropriate and the question should be answered yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
19	<i>Was compliance with the intervention/s reliable?</i> Where there was noncompliance with the allocated treatment or where there was contamination of one group, the question should be answered no. For studies where the effect of any misclassification was likely to bias any association to the null, the question should be answered yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
20	<i>Were the main outcome measures used accurate (valid and reliable)?</i> For studies where the outcome measures are clearly described, the question should be answered yes. For	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0

	studies which refer to other work or that demonstrates the outcome measures are accurate, the question should be answered as yes.	
Internal validity – confounding (selection bias)		
21	<i>Were the patients in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited from the same population?</i> For example, patients for all comparison groups should be selected from the same hospital. The question should be answered unable to determine for cohort and case-control studies where there is no information concerning the source of patients included in the study. ^d	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
22	<i>Were study subjects in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited over the same period of time?</i> For a study which does not specify the time period over which patients were recruited, the question should be answered as unable to determine. ^d	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
23	<i>Were study subjects randomized to intervention groups?</i> Studies which state that subjects were randomized should be answered yes except where method of randomization would not ensure random allocation. For example alternate allocation would score no because it is predictable. ^d	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
24	<i>Was the randomized intervention assignment concealed from both patients and health care staff until recruitment was complete and irrevocable?</i> ^d All non-randomized studies should be answered no. If assignment was concealed from patients but not from staff, it should be answered no.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
25	<i>Was there adequate adjustment for confounding in the analyses from which the main findings were drawn?</i> This question should be answered no for trials if: the main conclusions of the study were based on analyses of treatment rather than intention to treat; the distribution of known confounders in the different treatment groups was not described; or the distribution of known confounders differed between the treatment groups but was not taken into account in the analyses. In non-randomized studies if the effect of the main confounders was not investigated or confounding was demonstrated but no adjustment was made in the final analyses the question should be answered as no. ^d	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
26	<i>Were losses of patients to follow-up taken into account?</i> If the numbers of patients lost to follow-up are not reported, the question should be answered as unable to determine. If the proportion lost to follow-up was too small to affect the main findings, the question should be answered yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
Power		
27*	<i>Was a power analysis performed?</i>	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0

Annexe 8 : Echelle « Downs and black modifiée » : Scores

	(Krenn et al., 2023)	(Meyer et al., 2020)
Critère 1	1	1
Critère 2	1	1
Critère 3	1	1
Critère 4	1	1
Critère 5	1	1
Critère 6	1	1
Critère 7	1	1
Critère 8	0	0
Critère 9	1	1
Critère 10	1	0
Critère 11	0	0
Critère 12	0	0
Critère 13	0	0
Critère 14	0	0
Critère 15	0	0
Critère 16	0	0
Critère 17	1	1
Critère 18	1	1
Critère 19	1	1
Critère 20	1	1
Critère 21	1	1
Critère 22	0	0
Critère 23	0	0
Critère 24	0	0
Critère 25	1	1
Critère 26	1	1
Critère 27	0	0
Total	16/28	15/28

RÉSUMÉ

Objectif : Cette revue narrative vise à évaluer l'efficacité de la stimulation transcutanée de la moelle épinière (tSCS) dans le cadre de la rééducation à la marche chez les patients atteints d'une lésion médullaire incomplète.

Méthode : Une recherche minutieuse a été réalisée dans trois bases de données, PubMed, Cochrane et Embase. Les articles correspondants aux critères d'éligibilité ont été inclus. L'évaluation de la qualité méthodologique des études a été réalisée par les échelles « PEDro » et « Downs and Black modifiée ».

Résultats : 9 études ont été retenues. Après les avoir analysées, nous avons pu constater que la tSCS améliore la vitesse ainsi que la distance de marche, la force au niveau des muscles des membres inférieurs ainsi que l'équilibre dynamique. Cependant le protocole d'utilisation de la tSCS (localisation, fréquence, intensité) diffère d'une étude à l'autre.

Conclusion : La tSCS semble améliorer la marche chez les blessés médullaires en améliorant différents paramètres de la locomotion. Cependant, des études futures incluant des protocoles plus longs et mieux définis sont nécessaires afin de mieux comprendre l'utilisation de la tSCS et de mettre en place ses modalités.