



HAL
open science

Efficacité des techniques de neuromodulation TENS, TSCS, TDCS pour réduire la spasticité chez le patient blessé médullaire

Vanessa Nirlo

► **To cite this version:**

Vanessa Nirlo. Efficacité des techniques de neuromodulation TENS, TSCS, TDCS pour réduire la spasticité chez le patient blessé médullaire. Médecine humaine et pathologie. 2020. dumas-03115419

HAL Id: dumas-03115419

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03115419>

Submitted on 19 Jan 2021

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

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

**AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ
ÉCOLE DES SCIENCES DE LA RÉADAPTATION
FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE**

**EFFICACITÉ DES TECHNIQUES
DE NEUROMODULATION TENS, TSCS, TDCS
POUR RÉDUIRE LA SPASTICITÉ
CHEZ LE PATIENT BLESSÉ MÉDULLAIRE**

NIRLO Vanessa

Directeur de mémoire : M. ROSTAGNO Stéphan

Remerciements

Je souhaite remercier mon tuteur de mémoire M. Rostagno qui s'est rendu disponible toute l'année par des échanges réguliers, des conseils constructifs, et en particulier un fort soutien au niveau méthodologique. Son suivi et ses encouragements m'ont été d'une précieuse aide tout au long de la construction de ce travail, vraiment merci.

Je suis reconnaissante envers l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Marseille puisque grâce à l'élaboration de ce mémoire j'ai pu m'approprier une méthodologie de recherche que je souhaite mettre en œuvre tout au long de ma vie professionnelle.

Je remercie également mes amis ou famille pour leur soutien, relecture ou conseils, notamment Jill Nirlo, Julie Cartier, Caroline Ricavy, Silas Cuevas, merci merci !

SOMMAIRE

1	Introduction	4
1.1	La spasticité chez le blessé médullaire	4
1.1.1	Définition de la spasticité.....	4
1.1.2	Définition de la lésion médullaire	4
1.1.3	Prévalence.....	5
1.1.4	Manifestation clinique de la spasticité chez le blessé médullaire	5
1.1.5	Impact fonctionnel de la spasticité	6
1.2	Motricité volontaire et involontaire chez le sujet sain	7
1.2.1	Anatomie de la moelle épinière.....	7
1.2.2	Anatomie fonctionnelle de la moelle épinière.....	8
1.2.3	Motricité volontaire et involontaire chez le sujet sain	9
1.2.4	EMG et contraction musculaire	12
1.3	Physiopathologie de la spasticité chez le blessé médullaire	13
1.3.1	Bourgeonnement axonal	13
1.3.2	Augmentation de l'excitabilité des motoneurones.....	13
1.3.3	Augmentation de l'excitabilité des interneurones.....	13
1.4	Tonus musculaire et spasticité.....	14
1.5	Echelles de mesure de la spasticité.....	15
1.6	Traitements contre la spasticité	17
1.7	Hypothèse des techniques de neuromodulation TENS, TDCS, TSCS.....	17
1.8	Objectif de la revue : modèle PICO	20
2	Méthode	21
2.1	Critères d'éligibilité des études pour cette revue.....	21
2.2	Méthodologie de recherche des études.....	22
2.3	Méthode d'extraction et d'analyse des données	22
3	Résultats	24
3.1	Description des études	24
3.2	Risque de biais des études incluses	26
3.2.1	Validité interne des essais cliniques randomisés inclus dans la revue	26
3.2.2	Validité interne des séries de cas incluses dans la revue.....	29
3.3	Effets de l'intervention sur les critères de jugement de cette étude	30
3.3.1	Tableau des interventions étudiant la technique du TENS	31
3.3.2	Tableau des interventions étudiant les techniques TSCS et TDCS	34
4	Discussion.....	36
4.1	Analyse des principaux résultats	36
4.1.1	Analyse des résultats des études sur le TENS	36
4.1.2	Analyse des résultats des études sur le TSCS.....	41
4.1.3	Analyse des résultats des études sur le TDCS	42
4.2	Applicabilité des résultats en pratique clinique	43
4.3	Qualité des preuves.....	45
4.4	Biais potentiels de la revue.....	49
5	Conclusion.....	50
6	Bibliographie	51
7	Annexes.....	53

1 Introduction

1.1 La spasticité chez le blessé médullaire

1.1.1 Définition de la spasticité

La spasticité survient suite à une atteinte du système nerveux central avec lésion des motoneurones supérieurs [1]. Elle est notamment présente chez les patients atteints de blessure médullaire, trauma crânien, AVC, SEP. La spasticité est historiquement définie en 1980 par Lance comme « un désordre moteur caractérisé par une augmentation vitesse dépendante du réflexe tonique d'étirement (tonus musculaire), associé à des réflexes ostéotendineux augmentés, provenant d'une hyperexcitabilité du réflexe d'étirement et constituant une des composantes du syndrome du motoneurone supérieurs »[2]. La spasticité selon cette définition est due à une hyperactivité du réflexe myotatique ou hyperréflexie. Cependant un ensemble de symptômes le plus souvent associés à la spasticité mais ne répondant pas à cette définition, sont souvent inclus par le praticien dans le terme clinique de « spasticité ». En fonction des auteurs, la spasticité peut donc être comprise de façon restrictive dans le sens de la définition de Lance ou étendue à l'ensemble des symptômes associés [2].

La spasticité peut se résumer à une hyperactivité du réflexe myotatique, et au sens large s'ajoutent hypertonie spastique, altération des propriétés élastiques du muscle à l'origine de contractures, clonus, troubles de la commande motrice, et spasmes [3].

1.1.2 Définition de la lésion médullaire

La moelle épinière s'étend du tronc cérébral aux deux premières vertèbres lombaires. Elle joue un rôle essentiel dans la transmission des informations motrices et sensorielles vers et depuis le cerveau, ainsi que dans les réflexes de coordination. Une lésion médullaire est une lésion de la moelle épinière ou de ses racines nerveuses, elle entraîne une perte des fonctions motrices, sensorielles et/ou autonomes.

La nature et l'étendue des déficits d'une lésion médullaire varient en fonction de l'endroit et de la gravité de la blessure. Les dommages aux vertèbres cervicales peuvent entraîner une tétraplégie, et les dommages aux vertèbres thoraciques, lombaires ou sacrées peuvent entraîner une paraplégie.

Une lésion médullaire peut être complète, lorsqu'aucune fonction motrice ou sensorielle n'est conservée, ou incomplète lorsqu'un certain degré de contrôle moteur volontaire ou de sensation est préservé.¹

La norme internationale de classification neurologique des lésions médullaires est l'échelle de déficience ASIA, créé en 1982 par l'American Spinal Injury Association. L'ASIA est un examen standardisé comprenant un examen moteur basé sur le myotome, un examen sensoriel basé sur le dermatome, un examen ano-rectal.[4]

¹ <https://cnfs.ca/pathologies/lesion-medullaire>

Il en résulte un score moteur et sensoriel, le niveau neurologique moteur et sensoriel, le caractère complet ou incomplet de la lésion neurologique, le grade AIS et la zone de préservation partielle.

Une lésion médullaire complète est définie par l'absence de toutes les fonctions motrices et sensorielles, y compris les racines sacrées, en aval du site de la lésion. Ces blessures sont désignées comme étant de classe A sur le système AIS. Les blessures incomplètes (de la classe B à E) sont définies comme celles avec un certain degré de préservation partielle motrice ou sensorielle en aval du site de la blessure) [4].

1.1.3 Prévalence

Pendant les mois suivant la lésion médullaire, selon les études, 53 à 78 % des individus développent de la spasticité. Elle est plus fréquemment retrouvée chez des blessés médullaires de niveau neurologique cervical et dans les lésions incomplètes. Environ 41% des individus présentent la spasticité comme un obstacle majeur à la réintégration sociale et professionnelle. La spasticité ne s'empire pas avec le temps ou l'âge, mais peut avoir un impact sur l'adaptation émotionnelle, la dépendance, des problèmes de santé secondaires et une intégration environnementale[5].

1.1.4 Manifestation clinique de la spasticité chez le blessé médullaire

Lors d'une lésion médullaire la phase initiale ou de « choc spinal » est caractérisée par l'abolition de tous les réflexes ostéo-cutanés et tendineux, ainsi qu'une paralysie musculaire, et un tonus musculaire flasque en sous-lésionnel. Après plusieurs semaines ou mois apparaissent plusieurs réflexes comme les réflexes ostéo-tendineux, le réflexe de retrait des fléchisseurs, le signe de Babinski². C'est là que se manifeste la spasticité des blessés médullaires sous ses différentes formes cliniques : l'hyperréflexie, l'hypertonie spastique, les contractures, les clonus, le réflexe cutané de longue durée, les spasmes musculaires [6].

Ces notions sont définies de la manière suivante [7]:

- L'hyperréflexie est une exagération des réflexes ostéo-tendineux (réflexe rotulien, achilléen...).
- L'hypertonie spastique se manifeste par une hyperactivité du tonus musculaire sans élément déclencheur, ce qui entraîne une déficience des unités motrices impliquées dans une activité volontaire ou réflexe.
- L'altération des propriétés élastiques du muscle peut être à l'origine de contractures.
- Les clonus sont des contractions rythmiques involontaires déclenchées par un étirement.
- Les réflexes cutanés tels que le réflexe de retrait des fléchisseurs sont provoqués par des stimuli tactiles ou proprioceptifs. Ils s'intensifient et créent un phénomène de co-contraction, avec une activation inappropriée des muscles durant une activité volontaire.

² <http://www.chups.jussieu.fr/polys/orthopedie/polyortho/POLY.Chp.12.3.html>

- Les spasmes sont des mouvements soudains involontaires qui impliquent un groupe de muscles ou articulations en réponse à un stimulus somatique ou viscéral (chaleur, froid, distension de la vessie). Les spasmes des extenseurs causent temporairement une rigidité des membres inférieurs, ce qui peut aider à marcher mais ce phénomène est souvent douloureux. Ces spasmes peuvent être assez violents pour éjecter une personne de son fauteuil roulant.

La spasticité résulte de lésions des motoneurones supérieurs. Il existe par conséquent une grande variabilité des formes cliniques suivant l'emplacement de la lésion (cérébrale ou médullaire). Par exemple, suite à un AVC, l'exagération du tonus musculaire des fléchisseurs du membre supérieur est prépondérante, avec peu d'implication des spasmes musculaires. Chez les blessés médullaires, les spasmes excessifs des muscles extenseurs des membres inférieurs sont prépondérants. [6]

1.1.5 Impact fonctionnel de la spasticité

Le tableau suivant (Figure 1) résume les bienfaits potentiels et effets négatifs de la spasticité. L'impact fonctionnel de la spasticité est très variable. La spasticité peut être un signe clinique sans impact fonctionnel ou bien interférer avec les fonctions motrices résiduelles et causer de la douleur. Elle peut perturber les activités de la vie quotidienne, la mobilité, entraîner une perte de dextérité. Si elle n'est pas traitée, elle peut aussi causer un raccourcissement des muscles et tendons et entraîner des contractures. Elle peut aussi augmenter l'incidence des plaies de pression. La spasticité peut être exacerbée par de nombreux événements tels qu'infection urinaire, constipation, grossesse, température (froid ou chaud), anxiété ou stress mental, plaie de peau. La spasticité peut donc participer à réduire la qualité de vie de l'individu.

La spasticité varie d'un patient à l'autre, et la sévérité de la spasticité peut fluctuer durant la journée. Dans certains cas la spasticité peut être utile et faciliter la marche, la station debout et les transferts. En raison des divers critères de la spasticité, il faut bien connaître l'expérience de la personne en matière de spasticité et effectuer une évaluation clinique approfondie. [7]

Bienfaits potentiels^{9,10,15,16}

- Aide aux activités de la vie quotidienne (p. ex. facilite la préhension des objets)
- Améliore la circulation sanguine périphérique
- Facilite les mouvements de transferts
- Réduit l'atrophie musculaire; améliore la solidité des os
- Réduit l'incidence de fractures
- Améliore l'ambulation en raison de la rigidité musculaire

Effets négatifs^{9,10,15,16}

- Perturbe les activités de la vie quotidienne (p. ex. alimentation, habillement, hygiène)
- Douleur ou contractures
- Perturbe la mobilité
- Augmente l'incidence des plaies de pression
- Perte de dextérité
- Réduit la qualité de vie ou les besoins élevés (isolement social, troubles de l'humeur, problèmes relationnels, perturbation professionnelle)

Figure 1 Bienfaits potentiels et effets négatifs de la spasticité

1.2 Motricité volontaire et involontaire chez le sujet sain

Avant de développer les mécanismes du dysfonctionnement survenant chez l'individu spastique, voici quelques rappels sur l'anatomie et la physiologie de la moelle épinière et sur les voies de la motricité volontaire et involontaire chez l'individu sain.

1.2.1 Anatomie de la moelle épinière

La moelle épinière appartient au système nerveux central, elle est située à l'intérieur de la colonne vertébrale. Les nerfs spinaux sont issus de la moelle épinière³ (cf figure 2 et 3).

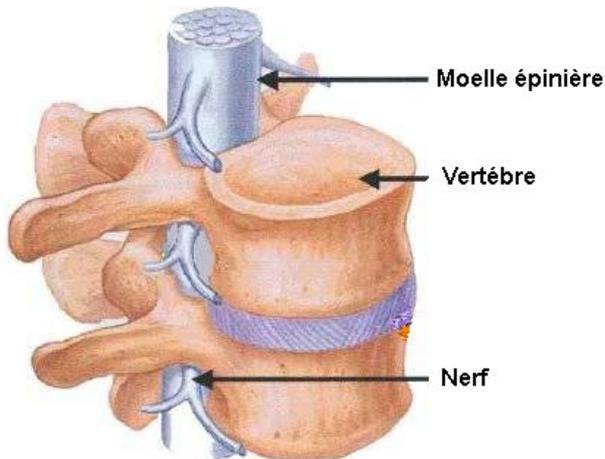


Figure 2 Moelle épinière au sein de la colonne vertébrale

La moelle épinière est divisée en 31 segments médullaires, à chaque segment se forme une paire de nerfs spinaux. Des racelles émergent de la moelle et forment deux racines : une racine ventrale et une racine dorsale qui présente un ganglion spinal. Les racines dorsales contiennent des axones sensitifs et les racines ventrales des axones moteurs. La substance grise est au centre de la moelle, entourée par la substance blanche (cf figure 3).

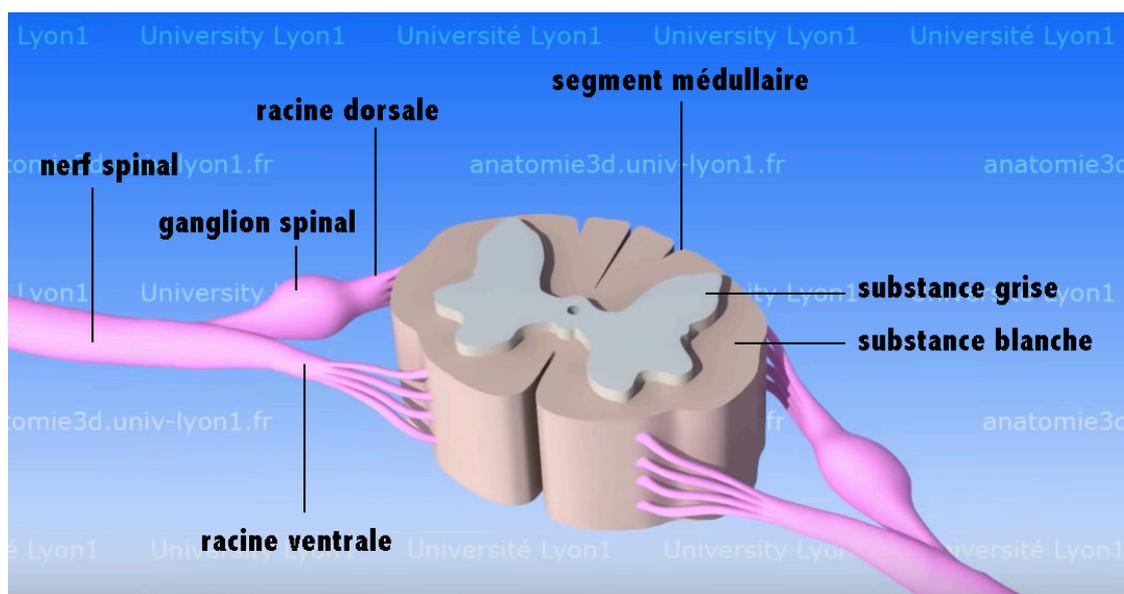


Figure 3 Un segment médullaire où se forme une paire de nerfs spinaux

³ <https://www.youtube.com/watch?v=3zT3eJM0d60>

1.2.2 Anatomie fonctionnelle de la moelle épinière

La substance blanche, en périphérie de la moelle, est composée d'axones myélinisés. Elle véhicule l'influx nerveux sensitif et moteur par de nombreux faisceaux ascendants (en bleu sur la figure 4) et descendants (en rouge sur la figure 4). Le faisceau pyramidal ou corticospinal est un faisceau moteur descendant, il joue un rôle essentiel dans la motricité volontaire. Les autres faisceaux moteurs extra-pyramidaux ont un rôle de gestion du mouvement.

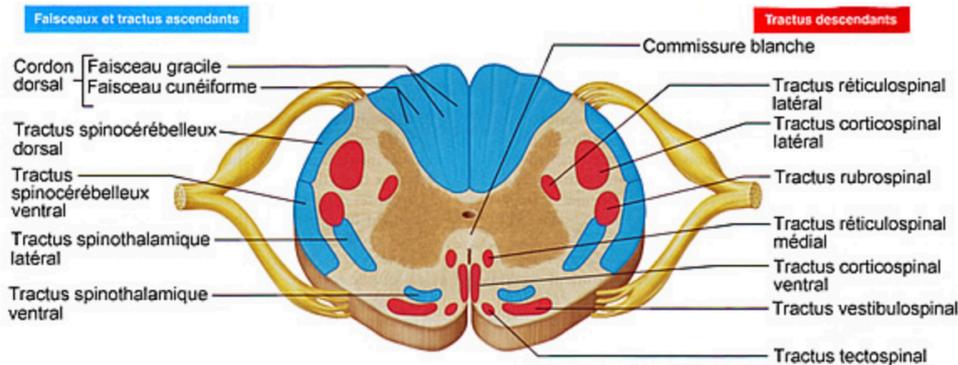


Figure 4 Substance blanche dans une coupe de la moelle épinière

La substance grise est au centre de la moelle en forme de « H ». Elle est composée de corps cellulaires et de dendrites, elle traite notamment l'information des réflexes spinaux.

Les expansions antérieures du « H » (ventrales) contiennent les corps cellulaires des motoneurones. Ils reçoivent les influx provenant du cortex moteur par les faisceaux corticospinaux descendants, et au niveau segmentaire ils reçoivent les influx d'interneurones et des fibres afférentes des fuseaux neuromusculaires.

Les expansions postérieures du « H » (dorsales) contiennent les fibres sensibles, dont les corps cellulaires sont situés dans les ganglions spinaux.

La substance grise contient également de nombreux interneurones qui transportent les influx moteurs, sensitifs ou réflexes des racines dorsales aux racines ventrales ou vers les segments médullaires sus et sous jacents⁴ (cf figure 5).

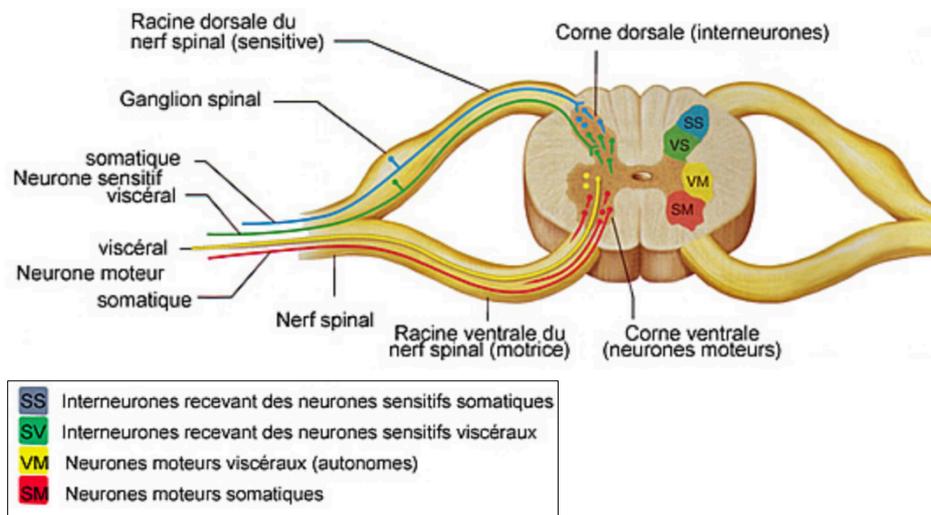


Figure 5 Substance grise dans une coupe de la moelle épinière

⁴<https://www.msmanuals.com/fr/professional/troubles-neurologiques>

1.2.3 Motricité volontaire et involontaire chez le sujet sain

Les motricités volontaire et involontaire sont indissociables, car elles participent ensemble à l'élaboration d'un mouvement volontaire.

Voici une explication simplifiée de la motricité volontaire. Un mouvement volontaire est commandé par un motoneurone central de la voie pyramidale (ou corticospinale = du cortex à la moelle épinière). Ce motoneurone central met en jeu des unités motrices, c'est-à-dire l'ensemble constitué par le motoneurone périphérique (ou motoneurone alpha) et les fibres musculaires qu'il innerve). Les fibres musculaires effectuent alors le mouvement. Ce mouvement volontaire nécessite plusieurs contrôles générés par le système dit « extra-pyramidal » qui sera responsable de la coordination des automatismes et de la synergie des mouvements. Le contrôle de la motricité se fait également au niveau médullaire par l'arc réflexe.

Ainsi, pour saisir un objet :

- Le cortex précentral et postcentral initie le mouvement.
- il est nécessaire de régler le tonus de chaque muscle en jeu par le réflexe myotatique et les réflexes synergiques entre groupes musculaires agonistes et antagonistes (c'est le rôle de l'étage spinal sous la commande des voies descendantes).
- il est mis en place une coordination de l'activité de l'ensemble des muscles du membre supérieur concerné mais aussi axiaux, des membres controlatéral et inférieurs.

La moelle doit intégrer de multiples informations et faire parvenir aux motoneurones un message de commande modulé, filtré et adapté à la situation périphérique. Ce rôle modulateur est dévolu aux interneurones, siège de la convergence de ces voies périphériques et supraspinales. Ils sont situés au niveau de la zone intermédiaire de la substance grise⁵.

Les voies de la motricité sont résumées de manière schématique dans la figure 6.

⁵ <http://campus.neurochirurgie.fr/spip.php?article355>

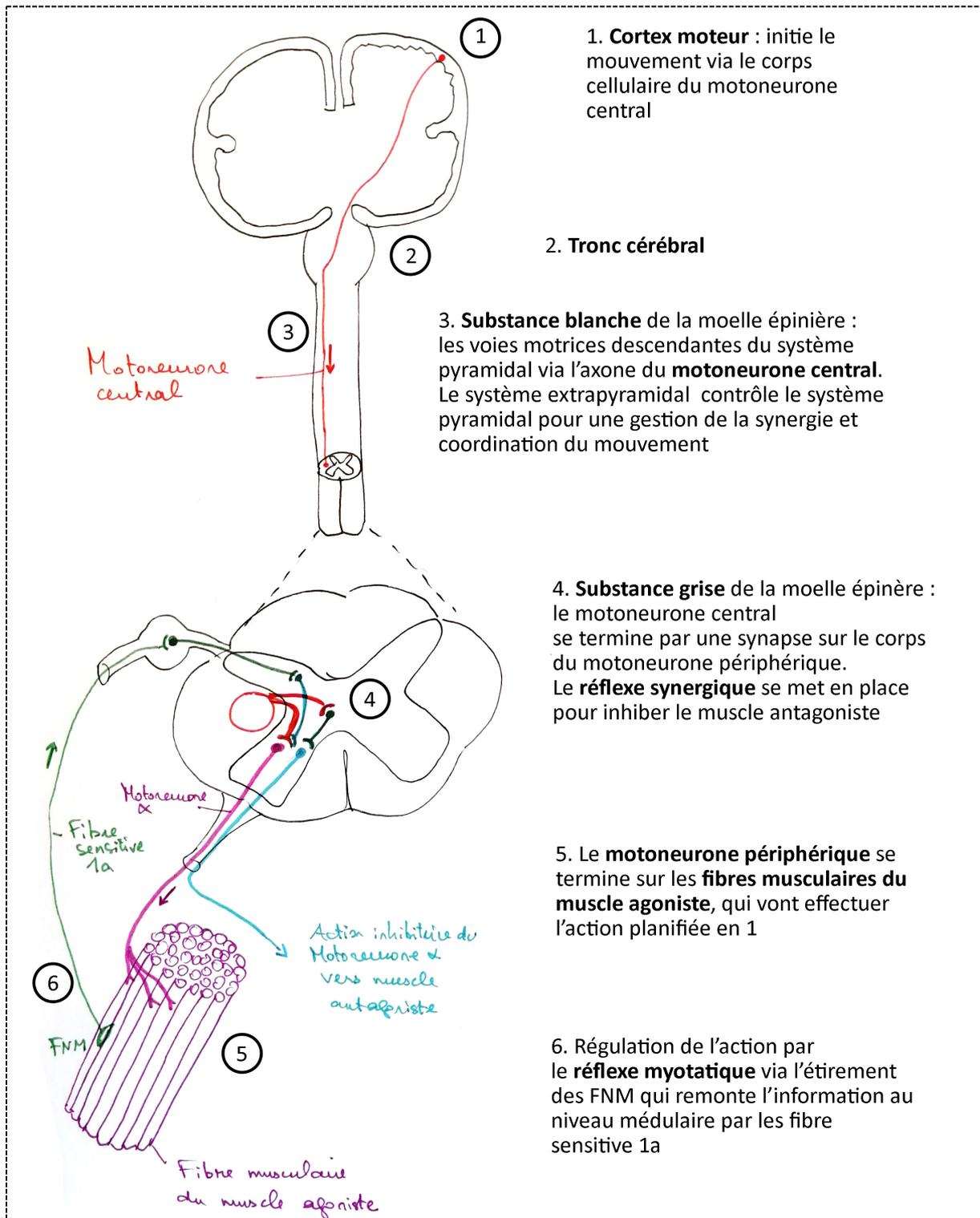


Figure 6 Résumé schématique des voies de la motricité

En réalité, la motricité volontaire est plus complexe. La plupart des actes moteurs volontaires issus des centres encéphaliques sont réalisés par le biais de projections descendantes qui modulent l'activité des interneurons interposés sur les circuits réflexes médullaires. Seule une minorité des projections motrices corticospinales font synapse directement sur les motoneurons spinaux.

Les ordres moteurs d'origine encéphaliques consistent, pour la plupart, à moduler des activités réflexes qui siègent à l'étage spinal.

La motricité involontaire ou réflexe est une activité physiologique décrite par l'Université de Rennes⁶ comme l'activité d'un effecteur, non volontaire, régulièrement déclenché par l'activité d'un récepteur sensoriel. L'information emprunte une voie plus ou moins complexe appelée arc réflexe qui unit les afférences sensorielles et efférences effectrices (interneurone, motoneurone).

Les réflexes spinaux les plus importants sont : le réflexe d'étirement (= stretch reflex = réflexe myotatique), le réflexe myotatique inverse, le réflexe de flexion.

Le réflexe à l'étirement correspond à la contraction d'un muscle en réponse à son étirement. Ce réflexe représente l'activité la plus rapide sur le plan moteur. Il contribue au tonus musculaire et joue un rôle fondamental dans les processus antigravitaires.

Ce réflexe trouve son origine dans les FNM (= fuseaux neuromusculaires situés au sein du muscle). Les afférences sensibles (fibres 1a) issues des FNM sont des axones myélinisés qui se divisent au sein de la substance grise de la moelle épinière et émettent des branches collatérales qui excitent :

- Les motoneurones alpha du muscle étiré, situé dans la corne antérieure de la moelle par une synapse excitatrice.
- Les interneurons médullaires qui inhibent les motoneurones alpha des muscles antagonistes du muscle étiré.

Ces fibres représentent la branche périphérique de l'axone des neurones sensoriels dont les corps cellulaires sont localisés dans le ganglion spinal rachidien. La branche proximale de ces axones pénètre dans la moelle épinière par les racines dorsales et remonte vers les centres supérieurs.

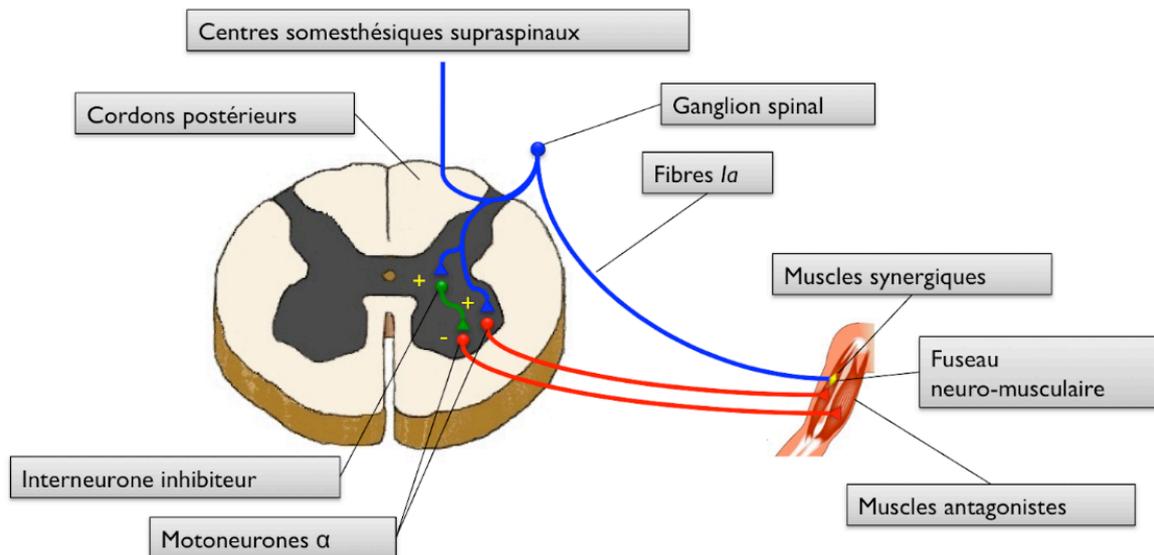


Figure 7 Arc réflexe du réflexe à l'étirement

⁶ <https://sites.google.com/site/aphysionado/home/fonctionssn/systmoteur/reflex>

1.2.4 EMG et contraction musculaire

Lorsque l'être humain réalise une activité physique les muscles squelettiques se contractent. Leur activité électrique pendant le mouvement peut être vue sur un EMG de manière non invasive.

Lorsqu'un nerf périphérique est sujet à une stimulation électrique cutanée (par le biais d'une électrode par exemple), des potentiels d'action sont induits dans le muscle squelettique innervé qui se contracte. Le potentiel d'action induit (= action provoquée = stimulation électrique percutanée) est enregistré sur un EMG de potentiel évoqué (=provoqué). On y trouve la H-wave, M-wave et F-wave (cf figure 8), qui ont un rôle dans la physiopathologie de la spasticité (cf chapitre 1.3).

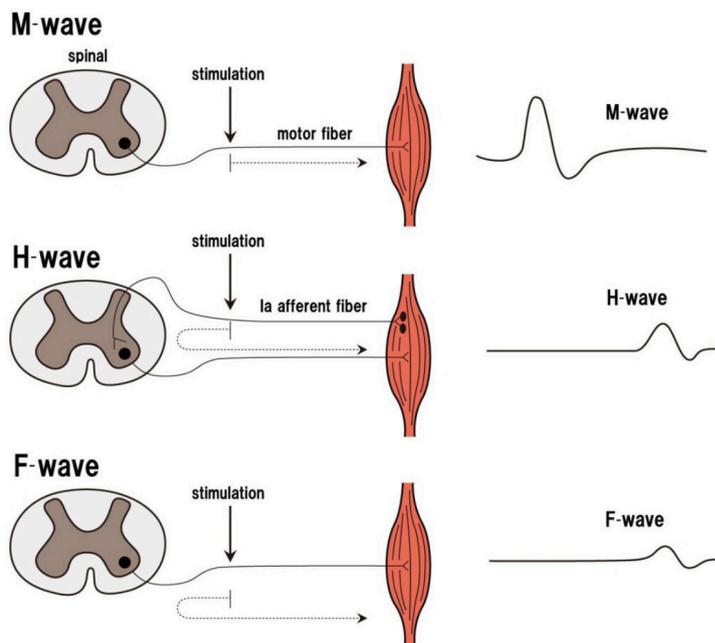


Figure 8 : EMG de potentiel évoqué chez le sujet sain.

M-wave : l'excitabilité est transmise via la fibre efférente.

H-wave : l'excitabilité est transmise via le réflexe monosynaptique.

F-wave : L'excitabilité est transmise via une conduction antidromique (= conduction en sens inverse du sens habituel).

La H-wave (=H-reflex) a été découverte en 1918 par Johann Hoffmann. Une faible stimulation électrique peut exciter un groupe de fibres 1a issues du FNM du muscle, et les impulsions sont conduites jusqu'à la moelle épinière. Les fibres 1a afférentes connectent par une synapse au motoneurone dans la moelle épinière. Un potentiel excitateur post-synaptique cause l'excitation du motoneurone alpha dans la corne antérieure de la moelle épinière. Le potentiel d'action qui atteint le muscle squelettique via le motoneurone alpha exciteur est appelé H-wave. A l'exception du muscle soléaire et fléchisseur radial du carpe, la H-wave ne peut être induite que lors d'un mouvement volontaire.

La M-wave résulte de l'activation directe de motoneurones alpha par l'augmentation progressive de la stimulation électrique, ce qui arrive lorsque l'activité de la fibre 1a est augmentée.

La F-wave survient lorsqu'un motoneurone alpha reçoit une forte stimulation électrique. Son impulsion antidromique est conduite par les axones des motoneurones ayant reçu le stimulus. L'influx va atteindre le muscle squelettique après être passé par la corne antérieure de la moelle épinière. [8]

1.3 Physiopathologie de la spasticité chez le blessé médullaire

La pathogenèse de la spasticité du patient blessé médullaire demeure incertaine. De nombreuses théories existent, impliquant différents phénomènes de plasticité cérébrale. Voici les plus hautement probables selon une étude datant de 2010 [6].

1.3.1 Bourgeoisement axonal

Un des mécanismes impliqué dans la spasticité serait lié à la dégénérescence axonale des neurones spinaux suite à la lésion médullaire. Après plusieurs semaines post-trauma, les afférences locales restantes bourgeonnent pour créer des nouvelles terminaisons synaptiques dans l'espace vacant, et améliorer l'efficacité des connexions spinales. La présence de potentiels excitateurs post-synaptiques chez des individus spastiques corrobore la théorie du bourgeoisement des afférences 1a et de la formation de nouvelles synapses avec le motoneurone. Cependant ce bourgeoisement se faisant de manière anarchique, cela pourrait contribuer à la spasticité par le renforcement des circuits spinaux existants et/ou l'augmentation synaptique des afférences vers l'interneurone ou motoneurone. Cela expliquerait la rupture de l'équilibre entre afférences excitatrices et inhibitrices vers le motoneurone.

1.3.2 Augmentation de l'excitabilité des motoneurones

Un mécanisme très probablement impliqué dans la physiopathologie de la spasticité est l'augmentation de l'excitabilité des motoneurones. Chez les sujets spastiques suite à une blessure médullaire, il existe une augmentation du ratio des potentiels résultant de stimulations électriques des axones sensitifs et moteurs (H_{max}/M_{max}) au repos. Cette augmentation de l'amplitude et la persistance de la F-wave (potentiel électrique résultant de l'activation antidromique des motoneurones) confirment l'hypothèse de l'augmentation de l'excitabilité du motoneurone.

Durant les spasmes, l'activité des unités motrices montre une augmentation de la fréquence de décharge du motoneurone, causant des contractions vigoureuses. Cette augmentation de l'excitabilité du motoneurone est attribuée à l'altération des propriétés intrinsèques du motoneurone telles que l'activation de courants efférents persistants (= PIC = persistent inward currents) et la dépolarisation du potentiel de la membrane.

1.3.3 Augmentation de l'excitabilité des interneurones

Un autre mécanisme très probablement impliqué dans la physiopathologie de la spasticité est l'excitabilité des interneurones. Par exemple, la magnitude des réflexes des fléchisseurs transmis par un trajet polysynaptique est toujours augmentée chez les individus spastiques après blessure médullaire. Une augmentation du ratio des efférences excitatrices/inhibitrices au motoneurone venant de l'interneurone est observée lors du développement de la spasticité.

Ainsi, selon les recherches actuelles, la spasticité du sujet blessé médullaire serait probablement due à 3 phénomènes : le bourgeonnement axonal, l'augmentation de l'excitabilité des motoneurones et l'augmentation de l'excitabilité des interneurones.

1.4 Tonus musculaire et spasticité

Certaines échelles de mesure de la spasticité, notamment l'échelle Ashworth, évaluent le tonus musculaire pour donner un score de spasticité. Pourtant spasticité et tonus musculaire sont deux choses différentes. Il a été montré que certains patients atteints d'un AVC développent une hypertonie sans augmentation du réflexe myotatique associé donc sans spasticité. Les définitions des notions de spasticité, réflexe d'étirement et tonus musculaire sont les suivantes :

La spasticité, comme précisé au chapitre 1.1.1, est définie comme « un désordre moteur caractérisé par une augmentation vitesse dépendante du réflexe tonique d'étirement (tonus musculaire), associé à des réflexes ostéotendineux augmentés, provenant d'une hyperexcitabilité du réflexe d'étirement et constituant une des composantes du syndrome du motoneurone supérieur ». La notion de vitesse est importante.

Le réflexe d'étirement a deux composantes : phasique et tonique. Le réflexe d'étirement tonique est celui dans lequel un stimulus (= un étirement) produit une décharge asynchrone des motoneurones, entraînant une contraction maintenue pour une altération ou un maintien de posture. Cette contraction est un réflexe tonique et constitue la base du tonus musculaire. A l'opposé, le réflexe d'étirement phasique (testé par le réflexe rotulien) consiste en une décharge synchrone des motoneurones causée par une brève stimulation des FNM ou de leurs voies afférentes. La composante du réflexe d'étirement contribuant à la spasticité est son volet tonique.

Le tonus musculaire quant à lui est mis en évidence en évaluant la résistance à la mobilisation passive d'un segment de membre. Cette résistance est due à différents facteurs :

- l'inertie physique de l'extrémité du membre
- les caractéristiques mécano-élastiques des tissus musculaires et conjonctifs
- le réflexe d'étirement tonique

En cas de blessure médullaire ou autre lésion du système nerveux central, l'inertie du membre est inchangée donc l'augmentation de résistance ressentie par l'examineur à la mobilisation passive d'un segment de membre en cas de spasticité peut être due à deux facteurs : un changement dans l'unité musculotendineuse (contracture) et/ou changements dans l'arc réflexe (hyperactivité du réflexe tonique à l'étirement).

Ainsi, spasticité et tonus musculaire sont liés, puisque la spasticité est une augmentation vitesse dépendante du réflexe tonique d'étirement, et que ce réflexe est une composante du tonus musculaire. Cependant dans le tonus musculaire il n'y a pas de notion de vitesse, mais il y a une notion de caractéristique élastique du muscle.

Les écrits de Lance permettent de clarifier la distinction entre hypertonie et spasticité : Si le clinicien détecte un changement de résistance à la mobilisation passive (= changement de tonus musculaire) lorsque la vitesse de mobilisation augmente, alors il détecte de la spasticité. [9]

1.5 Echelles de mesure de la spasticité

En raison des divers critères de la spasticité, il faut bien connaître l'expérience de la personne en matière de spasticité et effectuer une évaluation clinique approfondie. Les échelles de mesure de la spasticité chez les blessés médullaires les plus fréquemment utilisées dans la pratique clinique sont les suivantes : la Modified Ashworth Scale (MAS), la Ashworth Scale (AS), la Penn Spasm Frequency Scale (PSFS), la Visual Analogue Scale (VAS), la Spinal Cord Assessment Tool for Spastic reflexes (SCATS), la Wartenberg Pendulum Test (WPT) (cf. figure 9) [5].

Attribute	AS/MAS	PSFS	SCATS	VAS	WPT
Acceptability	<ul style="list-style-type: none"> Well tolerated by patients and performed during routine assessments. 				<ul style="list-style-type: none"> Well tolerated by patients but assessment is not routine.
Feasibility	<ul style="list-style-type: none"> Simple to administer and no specialized equipment required. 				<ul style="list-style-type: none"> Video or goniometer recording equipment required. Post-assessment analysis required (not immediate)
Interpretability	<ul style="list-style-type: none"> Ample training required to increase inter-rater reliability²⁵ Standardization of technique required²⁶ Reliability differs from muscle to muscle²⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> Time context needs to be standardized (i.e. present or general)³⁸ 	<ul style="list-style-type: none"> Not widely used 	<ul style="list-style-type: none"> Widely used and validated in multiple indications and domains 	<ul style="list-style-type: none"> Not tested for SCI
Advantages and/or limitations	<ul style="list-style-type: none"> Assesses single joint, velocity-dependent movement Limited IRR for LE spasticity in SCI²⁶ 	<ul style="list-style-type: none"> Shown to not adequately record flexor and extensor spasms¹² 	<ul style="list-style-type: none"> Asses multijoint spasticity 	<ul style="list-style-type: none"> Versatile Precise patient instruction required 	<ul style="list-style-type: none"> Velocity-dependent movement initiated by gravity (i.e. standardized) for quadriceps. More refined quantification of spasticity Very few muscles can be tested.

Abbreviations: AS, Ashworth Scale; IRR, inter-rater reliability; LE, lower extremity; MAS, Modified Ashworth Scale; PSFS, Penn Spasm Frequency Scale; SCATS, Spinal Cord Assessment Tool for Spastic reflexes; VAS, Visual Analogue Scale; WPT, Wartenberg Pendulum Test.

Figure 9 Utilité clinique des outils de mesure de la spasticité chez le blessé médullaire

La Modified Ashworth Scale (MAS), la Ashworth Scale (AS) sont les plus utilisées en pratique clinique. Elles ont été développées dans un premier temps pour les patients atteints de Sclérose en plaque, puis généralisées à tous les patients spastiques. Mais il semble important de préciser que les caractéristiques de la spasticité sont différentes selon l'étiologie. Elles évaluent le tonus musculaire. Ces échelles sont bien tolérées en routine et simple à administrer. Cependant elles nécessitent un entraînement important afin d'améliorer la fiabilité inter-évaluateurs, une standardisation des techniques est requise (notamment la vitesse appliquée à l'étirement passif qui peut varier entre examinateurs), et la fiabilité dépend des muscles testés (bonne pour les adducteurs et fléchisseurs, mauvaise pour les fléchisseurs plantaires). Egalement, il n'est possible de tester qu'une articulation à la fois, et la fiabilité inter-évaluateur est limitée pour le membre inférieur chez le blessé médullaire.

La Penn Spasm Frequency Scale (PSFS) a deux composantes : une première qui permet d'évaluer l'occurrence des spasmes, la deuxième évalue la sévérité des spasmes. Elle est bien tolérée en routine et simple à administrer. La notion de temporalité (évaluation à l'instant présent ou en général ?) de l'échelle doit être standardisée. Cette échelle n'est pas adaptée pour évaluer les spasmes des fléchisseurs et des extenseurs. La fiabilité inter- intra évaluateur n'a pas été établie pour les blessés médullaires. La validité a été partiellement établie par des corrélations avec l'AS ou la SCATS.

La Spinal Cord Assessment Tool for Spastic reflexes (SCATS) inclut les clonus, les spasmes des flechisseurs et extenseurs, l'hypertonie spastique. Elle est bien tolérée en routine et simple à administrer. Elle est plus récente et encore peu utilisée, mais elle est intéressante car elle permet de mesurer la spasticité sur plusieurs articulations. La validation de cet outil de mesure a été réalisée grâce à des corrélations avec des mesures EMG. La corrélation dépend des spasmes évaluée : bonne corrélation pour les fléchisseurs de genou, moins bonne pour les fléchisseurs plantaires. Il y a une bonne corrélation avec les scores Ashworth, et la SCATS donne des informations supplémentaires comme la spasticité sur plusieurs articulations.

La Visual Analogue Scale (VAS) est une échelle analogique qui permet au patient de coter leur perception de leur spasticité. Elle est bien tolérée en routine et simple à administrer. Elle est très utilisée et validée dans de multiples indications. Mais elle est versatile, et nécessite des instructions précises à donner au patient. Il a été démontré de significatives corrélations avec les échelles VAS et MAS. La temporalité, de même qu'avec la PSFS, doit être précisée afin de standardiser le moment de la mesure.

La Wartenberg Pendulum Test (WPT) a été développé pour mesurer l'hypertonie du membre inférieur chez le patient Parkinsonien. Elle est bien tolérée par les patients mais pas en routine. Un équipement d'enregistrement vidéo ou goniomètre est requis. Une analyse post-évaluation est requise. Sa validité n'a pas été testée chez les blessés médullaires. Elle évalue le mouvement vitesse-dépendant par la gravité pour le quadriceps. Elle permet de quantifier de manière précise la spasticité. Très peu de muscles peuvent être testés. Une bonne corrélation a été trouvée avec l'AS.

La Composite Spasticity Score (CSS), aussi appelée Composite Spasticity Index (CSI)⁷ est une autre échelle non incluse au tableau (figure 9) et retrouvée dans plusieurs études. Cet outil a été développé pour mesurer la spasticité chez les patients atteints d'AVC, de paralysie cérébrale et de lésion de la moelle épinière. Elle comprend 3 items : l'hyperréflexie tendineuse, la résistance à l'étirement passif, et les clonus. La somme de ces 3 scores donne la sévérité de la spasticité. Une étude a relevé une excellente fidélité du test-retest, c'est à dire que si une même personne effectue le test à plusieurs reprises, les résultats seront très proches. La validité de contenu a été évaluée par une étude pour les patients atteints d'AVC. Selon cette étude l'échelle CSI est pertinente pour mesurer la spasticité au niveau des AVC. Aucune étude n'a évalué la sensibilité, spécificité et fidélité inter-évaluateur de l'échelle.

Toutes ces échelles doivent continuer à être étudiées afin de pouvoir attester d'une bonne fidélité inter et intra évaluateur, validité pour mesurer la spasticité, et sensibilité au changement afin de pouvoir être utilisées en toute confiance.

⁷ https://www.stroking.ca/en/assess_domain/sp/

1.6 Traitements contre la spasticité

Les niveaux de preuve des techniques contre la spasticité sont variables de 1b à 4 (cf. figure 10). Les plus probablement efficaces dans l'avancement actuel de la recherche sont les suivantes, avec un niveau de preuve entre 1 et 2 [5].

Dans les techniques passives, l'hippothérapie, les techniques de neurofacilitation combinée au baclofen, les mouvements passifs rythmiques, la verticalisation prolongée, les systèmes de pédalage électrique pourraient réduire la spasticité.

Dans les techniques basées sur un mouvement actif, l'hydrothérapie, la stimulation électrique fonctionnelle avec pédalage assisté, la marche assistée, et les exercices assistés par robot pourraient réduire à court terme la spasticité.

Les techniques basées sur une stimulation électrique directe du muscle peuvent réduire la spasticité, mais il y a un risque qu'une stimulation à long terme l'augmente.

Dans les autres techniques, le TENS, la vibration pénienne et rectale peuvent également réduire la spasticité à court terme.

Niveau de preuve scientifique fourni par la littérature	Grade des recommandations
Niveau 1 – Essais comparatifs randomisés de forte puissance – Méta-analyse d'essais comparatifs randomisés – Analyse de décision basée sur des études bien menées	A Preuve scientifique établie
Niveau 2 – Essais comparatifs randomisés de faible puissance – Études comparatives non randomisées bien menées – Études de cohorte	B Présomption scientifique
Niveau 3 – Études cas-témoins	C Faible niveau de preuve
Niveau 4 – Études comparatives comportant des biais importants – Études rétrospectives – Séries de cas	

Figure 10 Gradation des recommandations selon ANAES (= Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé)

1.7 Hypothèse des techniques de neuromodulation TENS, TDCS, TSCS

D'après la physiopathologie, la spasticité résulterait d'un manque de modulation des interneurons et motoneurons, ce qui a comme conséquence une hyper excitabilité des interneurons médiateurs de l'excitation polysynaptique, une augmentation de l'excitabilité des motoneurons. Les options actuelles pour le management clinique de la spasticité sont les traitements pharmacologiques anti-spasticité comme le Baclofen, ou des injections intramusculaires de toxine botulique. Ces traitements ont comme effet de réduire les transmissions afférentes aux motoneurons ou les messages efférents aux muscles. Les traitements oraux ont comme effet une dépression du système nerveux central, pouvant entraîner des effets secondaires, notamment faiblesse et vertiges. Il est donc nécessaire de penser à des traitements alternatifs [10].

Le TENS (= Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation) est une technique de neurostimulation électrique transcutanée utilisée dans des douleurs chroniques d'étiologie diverses. Les appareils de neurostimulation transcutanée TENS sont des dispositifs médicaux

conçus pour délivrer une stimulation électrique par l'intermédiaire d'électrodes adhésives appliquées sur la peau (cf figure 11). Différents territoires électriques peuvent être stimulés. Les appareils offrent une grande variété de paramètres de stimulation⁸. L'hypothèse que le TENS puisse moduler la spasticité vient de plusieurs mécanismes tels que la modulation de l'inhibition réciproque, la réduction de l'excitabilité du réflexe à l'étirement, l'augmentation de l'inhibition présynaptique. Chez l'individu sain, le TENS peut réduire l'excitabilité corticomotrice des régions stimulées, et ainsi moduler la plasticité cérébrale. Le TENS peut être appliqué sur le muscle spastique, son antagoniste, le trajet du nerf ou sur des points d'acupuncture. Une revue de littérature réalisée sur l'individu après un AVC prouve que le TENS peut être utilisé comme technique adjuvante pour réduire la spasticité avec une haute fréquence (90-100Hz), une session longue durée (>30 min), une longue durée d'intervention (> 2 semaines), une intensité 2 fois plus importante que le seuil de sensibilité, et une électrode placée le long du nerf ou sur le corps du muscle [11] .



Figure 11 Appareil TENS

La technique TSCS (= Transcutaneous Spinal Cord Stimulation) est une technique de neurostimulation électrique transcutanée non invasive datant de 2010. Les appareils de neurostimulation transcutanée TSCS délivrent une stimulation électrique par l'intermédiaire d'électrodes adhésives appliquées sur la peau. Une paire d'électrodes est placée de part et d'autre de la colonne vertébrale thoracique (vertèbres T11, T12), et l'autre paire est placée de part et d'autre de l'ombilic (cf figure 12). Le TSCS est issu d'une technique prometteuse mais invasive, « epidural spinal cord stimulation », qui consiste en une stimulation électrique grâce à des électrodes implantées à proximité des fibres afférentes postérieures des racines lombaires. L'analyse des effets de cette technique a motivé le développement de la technique TSCS qui a la même cible, tout en étant non invasive. Dans cette technique, les électrodes TSCS stimulent de manière continue les afférences spinales à de multiples niveaux segmentaires. Un large diamètre des racines des fibres dorsales est stimulé afin de moduler le circuit du réflexe spinal. Les premières études sur cette technique datent de 2013, et 3 études ont mesuré une bonne tolérance des patients à cette technique [12][13].

⁸ https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2009-10/evaluation_tens.pdf

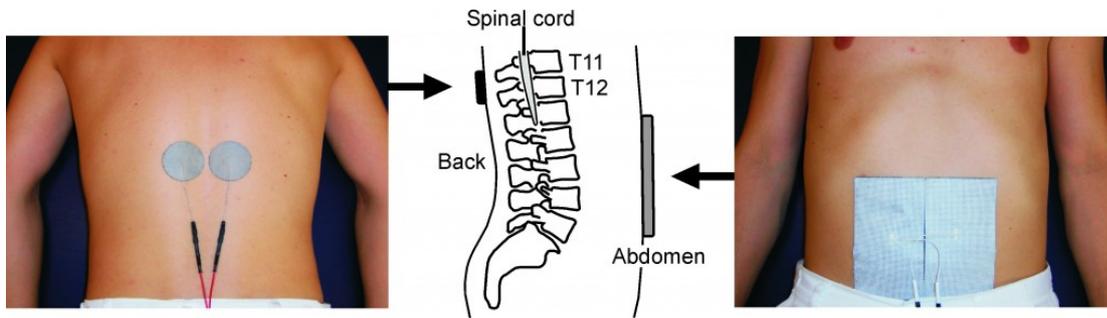


Figure 12 Placement des électrodes de TSCS

La technique TDCS (= transcranial direct current stimulation) est une technique de neuromodulation électrique cérébrale non invasive. Les appareils de TDCS délivrent un courant électrique de faible intensité à une partie du cerveau, ce courant passe au travers de deux électrodes placées sur la tête (cf figure 13). Le TDCS a été développée pour réduire la spasticité chez les paralysés cérébraux. Les connexions supraspinales contribuent à moduler l'excitabilité du réflexe spinal, donc une stimulation à la source du cortex peut être utilisée pour favoriser la voie descendante aux circuits inhibiteurs dans la moelle épinière et ainsi moduler l'excitabilité du circuit du réflexe spinal. Le TDCS est une technique de stimulation non invasive du cerveau, elle augmente l'excitabilité corticospinale chez des personnes blessées médullaires. Cette technique n'a pas encore été validée scientifiquement chez des personnes blessées médullaires. Aucun effet secondaire grave n'a été rapporté, seules de rares lésions cutanées sont possibles et réversibles. [12][14][15]



Figure 13 Dispositif TDCS

Au vue de la physiopathologie de la spasticité, l'hypothèse que ces trois techniques de neuromodulation puissent avoir une action sur les nouvelles synapses des motoneurones, l'excitabilité des motoneurones et des interneurones semble possible mais doit être étudiée.

Ces techniques présentent l'intérêt de coûts faibles, d'où une praticité d'utilisation, notamment pour la technique du TENS vu que de nombreux praticiens utilisent déjà ce dispositif pour lutter contre la douleur. Ce critère de praticité explique l'exclusion de techniques de neuromodulation qui nécessitent des installations coûteuses, comme le rTMS (= repetitive Transcranial Magnetic Stimulation). La praticité de ces techniques sélectionnées vient également du fait que ces dispositifs peuvent facilement être utilisés en autonomie par le patient à domicile, et qu'il y a peu d'effets secondaires.

1.8 Objectif de la revue : modèle PICO

Le management de la spasticité demeure un challenge, notamment à cause de ses formes multiples, de la multitude de mécanismes impliqués, et de la variabilité inter-individus. Les options couramment utilisées pour la gestion de la spasticité implique d'abord la physiothérapie et la médication orale anti spasticité, puis les injections intramusculaires de toxine botulique, et des approches invasives comme les pompes intrathécale ou rhizotomie.

Les techniques de neuromodulation TENS, TDCS, TSTS développés dans cette revue sont des techniques dont la mise en place est peu coûteuse, avec peu d'effets secondaires, et qui peuvent se pratiquer en autorééducation. Or, jusqu'à présent aucune revue de littérature n'a été réalisée sur ce sujet sur une population de patients blessés médullaires.

Afin de rédiger la question clinique de cette présente revue de littérature, l'outil PICO est utilisé. Cet acronyme avec traduction de l'anglais signifie :

- P = *Population/Patient/Problem* = Population/Patient/Problème
- I = *Intervention* = Intervention ou stratégie de prise en charge
- C = *Comparison* = comparateur
- O = *Outcome* = Critère de jugement

Cela permet dans le cadre de cette revue de préciser les critères suivants :

Population : Adultes blessés médullaires spastiques

Intervention : Séance de TENS ou TDCS ou TSCS

Comparateur : Le comparateur, s'il existe, peut être un traitement placebo, pas d'intervention, ou une autre intervention

Critère de jugement : Intensité de la spasticité par une évaluation clinique

<p>Cette revue a pour but d'évaluer l'efficacité des techniques de neuromodulation TENS, TDCS, TSCS pour réduire la spasticité chez le patient blessé médullaire.</p>

2 Méthode

2.1 Critères d'éligibilité des études pour cette revue

Afin de réaliser cette revue de littérature une recherche sera faite sur les différentes bases de données informatiques. Les critères de sélection des articles après lecture du titre, du résumé ou du texte complet sont les suivants :

Population

Les essais cliniques inclus dans cette revue sont menés auprès d'adultes blessés médullaires spastiques. Leur sélection est basée sur les critères d'éligibilité suivants :

- Les patients sont des adultes d'âge supérieur à 18 ans
- Les patients sont blessés médullaires, quel que soit le niveau neurologique
- Ils doivent présenter de la spasticité

Les essais sont exclus s'ils concernent des animaux, des enfants, d'autres patients que les blessés médullaires, la spasticité vésicale uniquement.

Intervention

Les interventions étudiant l'effet du TENS ou TDCS ou TSCS sur la spasticité des blessés médullaires sont inclus. Ces techniques peuvent être appliquées seules ou en addition à d'autres techniques : thérapie physique, intervention médicamenteuse, chirurgicale. Le choix de techniques de neuromodulation passives, donc non associée à un mouvement, permet d'exclure les techniques les techniques FES (functional electrical stimulation) et les stimulations fonctionnelles au vélo assisté.

Comparateur

Les interventions avec ou sans comparateur sont incluses. Le groupe contrôle, s'il existe, peut être un groupe avec traitement placebo, un groupe sans intervention ou avec une autre intervention.

Critère de jugement

Les interventions incluses doivent présenter une évaluation clinique (Ashworth Scale...) de la spasticité avant et après intervention.

Schéma d'étude

Cette revue a pour but d'étudier l'efficacité d'un traitement, ce qui est une thérapeutique. Afin de répondre à ce type de question, le type d'étude le plus adapté est l'essai clinique randomisé, ce qui est un type d'étude comparant un groupe expérimental et un groupe contrôle pour évaluer l'efficacité d'une thérapie. Pour pouvoir inclure les techniques émergentes TDCS et TSCS, les essais cliniques non randomisés et série de cas sont également inclus. Les revues de littérature et cas cliniques sont exclus.

2.2 Méthodologie de recherche des études

Cette revue de littérature a été réalisée en respectant lorsque possible les recommandations PRISMA⁹. La recherche de littérature est faite par une seule personne sur les bases de données PubMed et PEDro en septembre 2019.

La recherche a été conduite en combinant les mots se rapportant à la neuromodulation (TENS, TDCD, TSCS), la spasticité et les blessés médullaires reliés entre eux par l'opérateur Booléen AND. Pour chacun de ces trois termes, tous les synonymes (=mesh) trouvés sur le site Hetop¹⁰ sont reliés par l'opérateur Booléen OR. La recherche de ces mots clés est faite exclusivement dans le titre et résumé d'articles. L'équation de recherche sur le site PubMed est la suivante :

```
((((((((((((neuromodulation[Title/Abstract]) OR electric* stimulation[Title/Abstract]) OR transcutaneous stimulation[Title/Abstract]) OR transcranial stimulation[Title/Abstract]) OR TDCS[Title/Abstract]) OR transcranial direct current stimulation[Title/Abstract]) OR TENS[Title/Abstract]) OR transcutaneous electrical nerve stimulation[Title/Abstract]) OR TSCS[Title/Abstract]) OR transcutaneous spinal cord stimulation[Title/Abstract])) AND (((((spasticit*[Title/Abstract]) OR dyston*[Title/Abstract]) OR hyperton*[Title/Abstract]) OR clonus[Title/Abstract]) OR spasm*[Title/Abstract])) AND (((spinal cord injur*[Title/Abstract]) OR SCI[Title/Abstract]) OR parapleg*[Title/Abstract]) OR tetrapleg*[Title/Abstract]))
```

2.3 Méthode d'extraction et d'analyse des données

Méthode de sélection des études

La sélection des études selon les critères d'éligibilité est faite dans un premier temps sur la lecture du titre, puis du résumé de l'article, puis du texte complet.

Évaluation de la qualité méthodologique des études sélectionnées

L'échelle PEDro est utilisée pour évaluer la validité interne des essais cliniques randomisés, l'échelle « Critical appraisal checklist for case series from Joanna Briggs Institute » est utilisée pour évaluer la validité interne des séries de cas. Les biais identifiés ne sont pas critères d'exclusion mais seront à prendre en considération au moment de l'analyse des résultats.

Extraction des données

Pour chaque article inclus sont extraites des données suivantes :

- La date de publication de l'étude, nom de l'auteur principal, type d'étude
- Le nombre, l'âge, le sexe des participants, le type de lésion, son ancienneté, la spasticité initiale
- Le type d'intervention de l'étude, les muscles traités, le groupe contrôle, les réglages, placement des électrodes, durée du traitement
- L'échelle de mesure de spasticité, les résultats

⁹https://www.researchgate.net/publication/268227501_Traduction_francaise_des_lignes_directrices_PRISMA_pour_l'ecriture_et_la_lecture_des_revues_systematiques_et_des_meta-analyses

¹⁰<https://www.hetop.eu/hetop/>

Méthode de synthèse des résultats

Les résultats sont synthétisés dans un tableau récapitulatif de toutes les interventions. L'analyse des résultats de plusieurs études est groupée sous forme de méta-analyse lorsque les études sont des essais cliniques randomisés, et que les données sont suffisantes. Dans ce cas, plusieurs critères sont étudiés. Ainsi l'effet du TENS sur la spasticité du blessé médullaire sera analysé :

- Quelque soit le protocole de TENS
- En tant qu'adjuvant à une autre technique (thérapie physique, chirurgicale) par rapport à l'effet du TENS seul
- En fonction du muscle traité
- En fonction de la durée du traitement
- En comparant effet immédiat et prolongé
- En comparaison à un autre traitement sans TENS

Ces différents critères seront étudiés séparément puis synthétisés dans un tableau récapitulatif.

Pour chaque critère, si les données le permettent, les données chiffrées d'écart type et d'intervalle de confiance seront extraites ou calculées et schématisés dans un Forest plot grâce au logiciel Review Manager.

Les articles concernant des études autres que des cas cliniques randomisés, ou les essais cliniques randomisés n'ayant pas les données nécessaires pour intégrer les méta-analyses seront étudiés individuellement selon une analyse narrative.

3 Résultats

3.1 Description des études

Un total de 219 articles ont été identifiés sur les différentes bases de données (cf. figure 14).

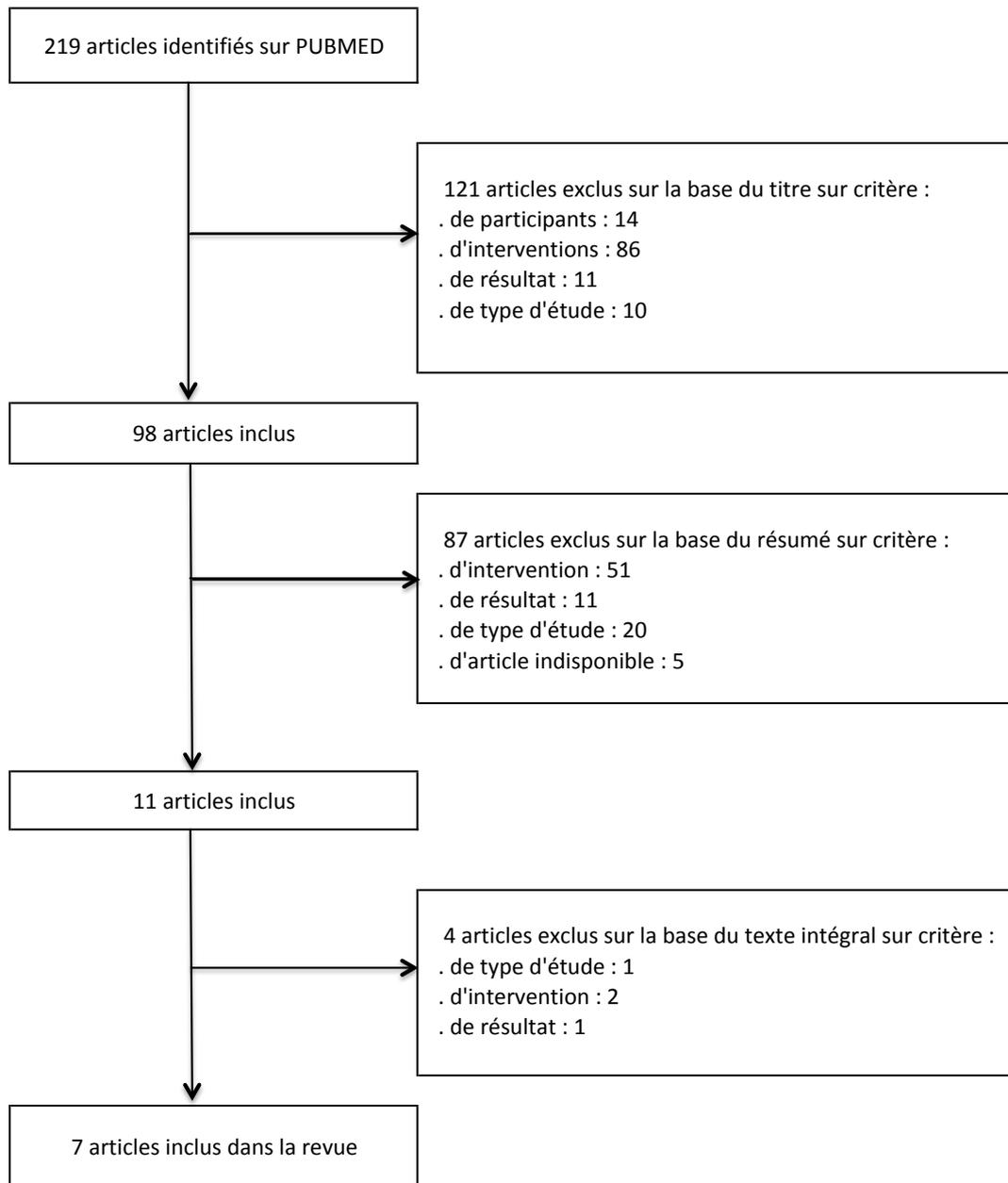


Figure 14 Diagramme de flux

Les 7 articles inclus sont nommés de la manière suivante dans le reste de cette revue de littérature. Les études Sivaramakrishnan2018[16], Oo2014[17], Pinghochung2010[18], Aydn2005[19], Hofstoetter2019[10], Estes2017[12], Hofstoetter2014[20].

Les études Sivaramakrishnan2018, Oo2014, Pinghochung2010, Aydn2005, Estes2017 sont des essais cliniques randomisés, les études Hofstoetter2019 et Hofstoetter2014 sont des cas cliniques.

Tableaux des données des patients

Les études Sivamakrishnan2018, Oo2014, Pinghochung2010 et Aydn2005 étudient l'effet du TENS sur la spasticité du blessé médullaire, les données des patients sont détaillées dans le tableau suivant (cf. figure 15).

Etudes	Patients inclus	Age moyen +/- SD		Sexe	Niveau atteinte neuro	Grade ASIA	Ancienneté lésion (en mois)		Spasticité initiale	
		Groupe exp	Groupe ctrl				Groupe exp	Groupe ctrl	Groupe exp	Groupe ctrl
Sivamakrishnan 2018	10	39 +/-13		1F 9H	Cervical et thoracique	A à E	1 à 26		3 (MAS)	3 (MAS)
Oo 2014	16	33 +/-13	40 +/-13	1F 15H	Non précisée	A à D	3.2 +/-1.7	3.1 +/-1.9	11.75 +/-0.89 (CSS)	12.25 +/-0.89 (CSS)
Pinghochung 2010	18	49 +/-14	52 +/-19	4F 14H	Cervical et thoracique	A à D	1 à 91		10.5 +/-1.51 (CSS)	11.63 +/-1.77 (CSS)
Aydn 2005	21	29 +/-7	32 +/-16	15F 6H	Cervical et thoracique	A à D	11.4 +/-13.9	11.4 +/-11.7	19.2 +/-3.7 (LLAS)	20.1 +/-4 (LLAS)

Figure 15 Données des patients issus des études sur le TENS.

SD = Standard déviation = écart type, exp = expérimental, ctrl = contrôle, MAS = modified Ashworth Scale, CSS = Composite Spasticity Scale, LLAS = Lower limb Ashworth Scale

Les études Hofstoetter2019, Estes2017, et Hofstoetter2014 étudient l'effet du TSCS et/ou TDCS sur la spasticité du blessé médullaire. Les données des patients sont détaillées dans le tableau suivant (cf. figure 16).

Etudes	Patients inclus	Age moyen +/- SD	Sexe	Niveau atteinte neuro	Grade ASIA	Ancienneté lésion (en mois)	Spasticité initiale
Hofstoetter 2019	12	41 +/-19	3F 9H	Cervical et thoracique	A à D	12 à 576	31.75 (somme MAS)
Estes 2017	10	24 à 61	2F 8H	Non précisée	B à D	24 à 145	Avant TSCS : 47.7 +/-4.64 Avant TDCS : 50.7 +/-6.12 (Amplitude FSE)
Hofstoetter 2014	3	28 à 38	1F 2H	Cervical et thoracique	D	108 à 144	0.9 +/-0.3 (index test pendulaire)

Figure 16 Données des patients issus des études sur le TSCS, TDCS

SD = Standard déviation = écart type, MAS = modified Ashworth Scale, FSE = First Swing Excursion

Les données des patients permettent de savoir quel échantillon de la population a été étudié, des données plus précises sont communiquées dans chacune des études. La spasticité initiale est difficile à comparer entre études puisque les échelles de mesures sont différentes.

3.2 Risque de biais des études incluses

3.2.1 Validité interne des essais cliniques randomisés inclus dans la revue

Les tableaux suivants représentent les risques de biais, donc la validité interne des études incluses. Le premier est un tableau de l'échelle PEDro pour les 5 essais cliniques randomisés inclus (cf. figure 17).

Etudes	Critères PEDro											SCORE TOTAL (sans le critère 1)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Critères d'éligibilité	Répartition aléatoire	Assignment secrète	Comparabilité de base	Sujets aveugles	Thérapeutes aveugles	Évaluateurs aveugles	Suivi adéquat	Analyse en intention de traiter	Comparaison entre les groupes	Estimation ponctuelle et variabilité	
Sivaramakrishnan2018	x	x	0	0	x	0	x	x	x	x	0	6
Oo2014	x	x	x	x	0	0	x	x	x	x	x	8
Pinghochung2010	x	x	x	x	x	0	0	x	x	x	x	8
Aydn2005	x	0	0	0	0	0	0	x	x	x	x	4
Estes2017	x	x	0	0	0	0	0	x	x	x	x	5

Critères PEDro détaillés:

1. les critères d'admissibilité ont été spécifiés
2. les participants ont été assignés de façon aléatoire dans les groupes (lors d'une étude à devis croisé, l'ordre dans lequel les participants ont reçu les interventions a été déterminé de façon aléatoire)
3. l'assignation des participants à un groupe a été dissimulée
4. au début de l'étude, les groupes étaient similaires en ce qui concerne les indicateurs pronostiques les plus importants
5. les participants ignoraient le groupe auquel ils avaient été assignés
6. les intervenants ignoraient le groupe auquel les participants avaient été assignés
7. les évaluateurs ayant mesuré au moins un résultat clé ignoraient le groupe auquel les participants avaient été assignés
8. les mesures d'au moins un résultat clé ont été obtenues chez plus de 85% des participants initialement assignés aux groupes
9. tous les participants pour qui des mesures de résultats étaient disponibles ont reçu l'intervention assignée. Lorsque ce n'était pas le cas, les données d'au moins un résultat clé ont été analysées selon l'intention de traiter
10. les résultats des comparaisons statistiques intergroupes sont fournis pour au moins un résultat clé
11. L'étude fournit à la fois une mesure de l'ampleur de l'effet et une mesure de dispersion pour au moins un résultat clé

Figure 17 Tableau évaluant la qualité interne des 5 essais cliniques randomisés inclus selon l'échelle PEDro

Critère 1 : Critères d'éligibilité

Les critères d'éligibilité sont précisés dans chaque étude. Elles incluent toutes des patients blessés médullaires âgés de plus de 18 ans ayant une spasticité des membres inférieurs. L'étude Oo2014 et l'étude Aydn2005 ajoutent comme critère que les patients rapportent une spasticité douloureuse ou qui entraîne des limitations d'activité ou les deux. L'étude Oo2014 a comme critère que l'ancienneté de la lésion soit inférieure à 6 mois, alors que l'étude Estes2017 a comme critère que l'ancienneté de la lésion médullaire doit être supérieure à 1 an. L'étude Aydn2005 ajoute comme critère que la lésion médullaire doit être d'origine traumatique.

Critère 2 : Randomisation

La randomisation aléatoire a été appliquée à 4 sur 5 études. Les études Sivaramakrishnan2018 et Estes2017 ne précisent pas la technique de randomisation. L'étude Oo2014 précise que la randomisation a été faite par la méthode de randomisation par bloc, et l'étude Pinghochung2010 précise que la randomisation a été faite par tirage au sort avec une pièce de monnaie.

Dans l'étude Aydin, les groupes ont été attribués par ordre d'arrivée, ce qui ne constitue pas une randomisation valide. Il y a donc un biais d'allocation ce qui rend les groupes non comparables au départ.

Critère 3 : Assignation secrète

Seulement 2 études sur 3 précisent que la personne à l'origine de l'inclusion des sujets dans l'étude ne connaissait pas l'assignation des sujets au groupe expérimental ou contrôle. Cela constitue un biais de sélection et peut rendre la randomisation invalide, car la personne qui inclut les sujets risque par exemple d'exclure un patient s'il risque de ne pas répondre positivement à l'étude.

Critère 4 : Comparabilité

Seulement 2 études sur 5 présentent des groupes comparables au début de l'étude.

Les études Sivaramakrishnan2018, Aydn2005 et Estes2017 présentent les données démographiques ainsi que la spasticité initiale de la population incluse, mais ne précisent pas si les groupes sont comparables. Un calcul montrant qu'il n'y a pas de différence significative notamment de la spasticité initiale entre les groupes aurait dû être réalisé. Cela peut entraîner un biais de sélection et potentiellement biaiser les résultats si les groupes ne sont effectivement pas comparables.

Les études Oo2014 et Pinghochung2010 détaillent les caractéristiques démographiques des 2 groupes et montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les 2 groupes avec un $p > 0,05$ concernant l'âge, l'ancienneté de la lésion, la mesure de spasticité selon l'échelle Composite Spasticity Scale.

Critère 5, 6, 7 : Aveuglement

Dans les études Sivaramakrishnan2018 et Pinghochung2010, les patients et évaluateurs sont en aveugle donc ne connaissent pas l'attribution des participants aux groupes, mais pas le thérapeute car il doit mettre en place le dispositif de TENS ou placebo (ou FES).

Dans l'étude Oo2014, seul l'évaluateur est en aveugle. Dans cette étude le groupe traité par le TENS est comparé à un groupe sans aucun traitement, l'aveuglement des patients dans ces conditions semblait donc impossible.

Dans l'étude Estes2017, ni les patients, ni le thérapeute, ni l'évaluateur n'est en aveugle.

Dans toutes les études il y a donc un potentiel biais d'évaluation car les patients, thérapeutes et évaluateurs ne sont pas toujours en aveugle, leur comportement peut donc influencer sur les résultats des études.

Critère 8 : Suivi adéquat

Dans toutes les études le résultat clé donc la spasticité a été mesuré chez plus de 85% des participants.

Critère 9 : Analyse en intention de traiter

Dans toutes les études il n'y a eu aucun sujet n'ayant pas reçu le traitement, donc il n'était pas nécessaire de réaliser une catégorie « en intention de traiter ». Il n'y a donc pas de biais de suivi.

Critère 10 : Comparaison entre les groupes

Toutes les études comparent entre groupes expérimentaux et groupes contrôle.

Critère 11 : Mesure ampleur de l'effet et dispersion

La mesure de l'ampleur de l'effet et la dispersion est donnée dans toutes les études sauf Sivaramakrishnan2018. Dans cette dernière étude, seule la moyenne des résultats est donnée, il manque la mesure de la dispersion puisque l'intervalle de confiance n'est pas donné.

Autres biais rencontrés

Les études Sivaramakrishnan2018 et Estes2017 sont des essais cliniques randomisés croisés. Leur croisement peut de fait entraîner un biais de report, notamment si l'effet du premier traitement persiste et s'additionne au deuxième traitement.

3.2.2 Validité interne des séries de cas incluses dans la revue

Le tableau suivant permet l'analyse de la validité interne des séries de cas selon l'échelle « Critical appraisal checklist for case series » de l'institut Joanna Briggs (cf figure 18).

Études	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
Hofstoetter2019	no	yes	yes	no	no	yes	yes	yes	yes	yes	7
Hofstoetter2013	no	yes	yes	no	no	yes	yes	yes	yes	yes	7

1. Were there clear criteria for inclusion in the case series?
2. Was the condition measured in a standard, reliable way for all participants included in the case series?
3. Were valid methods used for identification of the condition for all participants included in the case series?
4. Did the case series have consecutive inclusion of participants?
5. Did the case series have complete inclusion of participants?
6. Was there clear reporting of the demographics of the participants in the study?
7. Was there clear reporting of clinical information of the participants?
8. Were there outcomes or follow up results of cases clearly reported?
9. Was there clear reporting of the presenting site(s)/clinic(s) demographic information?
10. Was statistical analysis appropriate?

Figure 18 Tableau évaluant la qualité interne des séries de cas selon l'échelle « Critical appraisal checklist for case series (from Joanna Briggs Institute) »

Les deux séries de cas incluses ont un score total de 7/10 chacun selon l'échelle « Critical appraisal checklist for case series ».

Critère 1 : Critère d'inclusion

Dans les deux cas, l'inclusion des patients, le critère 1, n'est pas explicite. En effet l'auteur développe seulement les critères d'exclusion et décrit les patients sélectionnés. Il peut donc y avoir un biais de recrutement, puisque les patients peuvent avoir été sélectionnés spécifiquement pour l'étude.

Critère 2 : Condition de mesure

Dans les deux études les conditions expérimentales sont détaillées et permettent la mise en place d'un traitement standard (le même pour tous les patients) et fiable donc reproductible.

Ces séries de cas par définition ne comportent pas de groupe contrôle, il y a donc nécessairement un biais d'évaluation, puisque les patients et évaluateurs et thérapeutes ne sont pas en aveugle. Également, l'absence de groupe contrôle fait qu'il est impossible de déterminer si l'effet mesuré est dû au hasard ou bien au traitement évalué. Leurs données ne seront donc pas exploitables de la même manière que celles des essais cliniques randomisés.

Critère 3 : Validité des outils de mesure

Les deux études utilisent des outils de mesure valides pour mesurer la spasticité, elles utilisent le test pendulaire de Wartenberg. Cet outil n'a pas été testé chez le blessé médullaire mais permet de quantifier de manière précise la spasticité et on retrouve une bonne corrélation avec l'échelle d'Ashworth.

Critère 4 : Inclusion consécutive des participants

Les études ne précisent pas les dates d'inclusion dans l'étude, donc ne valident pas ce critère. De la même manière que pour le critère 1, cela peut entraîner un biais de recrutement.

Critère 5 : Inclusion complète des participants

Les études ne précisant pas les modalités d'inclusion dans l'étude, elles ne valident pas ce critère, il n'est pas possible de savoir si tous les participants correspondant aux critères ont été inclus dans telle période.

Critère 6 : Données démographiques des participants

Les deux études incluses rapportent de manière précise les données démographiques des participants, notamment le sexe, l'âge, le niveau de l'atteinte médullaire, le grade ASIA, la spasticité initiale.

Critère 7 : Information clinique des participants

Les informations cliniques des patients, comme le détail de leur prise en charge médicamenteuse ou résultats aux tests de marche sont communiqués clairement dans les deux études.

Critère 8 : Résultats clairs

Dans les deux études, les résultats sont donnés sous forme de graphiques, et la moyenne et écart-types avant et après intervention sont donnés pour les résultats du critère de jugement principal, l'évaluation clinique de la spasticité.

Critère 9 : Informations cliniques et démographiques

Certaines maladies ont une prévalence différente selon les régions et selon la démographie. Les critères sont suffisamment décrits dans les deux études pour que d'autres chercheurs puissent savoir si cet échantillon est représentatif d'une autre population.

Critère 10 : Analyse statistique appropriée

Les moyennes et écart-type des résultats des tests cliniques de spasticité avant et après intervention sont appropriés pour pouvoir analyser les résultats. De nombreux résultats sont également donnés sous forme de graphiques, ceux-là sont moins appropriés à une analyse statistique.

3.3 Effets de l'intervention sur les critères de jugement de cette étude

Le critère de jugement principal est commun à toutes les études, c'est l'intensité de la spasticité. Les résultats des études incluses sont tous présentés dans un tableau récapitulatif des interventions de chacune des études incluses, l'analyse des résultats est faite dans la partie discussion au chapitre 4.1.

3.3.1 Tableau des interventions étudiant la technique du TENS

Le tableau suivant (cf. figure 19) décrit les interventions et résultats des études faites sur la technique TENS.

Etudes	Technique	Muscles traités	Paramètres TENS	Placement électrodes	Durée	Mesures de spasticité, échelles, résultats
Sivaramakrishna 2018	Groupe exp TENS Groupe ctrl FES Croisement après 24h	Adducteur de hanche, extenseur de genou, fléchisseurs plantaires	. <i>Durée</i> : 30 min . <i>Fréquence</i> : 100 Hz . <i>Intensité</i> : réglage augmenté jusqu'à inconfort, puis diminué, sans contraction musculaire, intensité max 20 mA . <i>Courant</i> : biphasique carré, impulsion 0.3 msec	. Pour quadriceps et adducteurs : 1 E active face antérieure de cuisse 1 E de retour au tiers inférieur médial de la cuisse . Pour fléchisseurs plantaires : 2 E sur le mollet.	2 jours	. <i>Mesures</i> : avant intervention, à t0, 1h, 4h, 24h . <i>Echelles</i> : MAS, SCATS . <i>Résultats</i> : Non interprétables car écart type et intervalle de confiance non communiqués, donc pas de comparaison intergroupe possible. Selon l'auteur, $p > 0.01$ donc pas de différence statistique significative entre groupes.
Oo 2014	Groupe exp TENS + 60 min de thérapie physique Groupe ctrl 60 min de thérapie physique	Fléchisseurs plantaires de cheville	. <i>Durée</i> : 60 min . <i>Fréquence</i> : 100 Hz . <i>Intensité</i> : 15 mA, sans contraction musculaire . <i>Courant</i> : biphasique rectangulaire, impulsion 0.2 msec	Sur le trajet du nerf fibulaire commun : 1 E anode en arrière de la tête fibulaire 1 E cathode 2 cm latéralement au tibia et 2 cm sous la tête fibulaire	21 jours	. <i>Mesures</i> : avant intervention, à t0, à 3 semaines . <i>Echelles</i> : CSS . <i>Résultats</i> : diminution significative de la spasticité immédiate après 1 séance, avec un score CSS intergroupe amélioré de 1.63 [-2.61 à -0.65]. Diminution significative de la spasticité immédiate après 3 semaines, avec un score CSS intergroupe amélioré de 2.13 [-3.15 à -1.11].
Pinghochung 2010	Groupe exp TENS Groupe ctrl Stimulation placebo	Fléchisseurs plantaires de cheville	. <i>Durée</i> : 60 min . <i>Fréquence</i> : 100 Hz . <i>Intensité</i> : 15mA . <i>Courant</i> : impulsion 0.25 msec	Sur le trajet du nerf fibulaire commun : en arrière de la tête de la fibula	1 jour	. <i>Mesures</i> : avant intervention, à t0 . <i>Echelles</i> : CSS . <i>Résultats</i> : Diminution significative de la spasticité immédiate après 1 séance, avec un score CSS intergroupe amélioré de 4.10 [-6.31 à -1.89].
Aydn 2005	Groupe exp TENS Groupe ctrl Baclofen	Extenseurs et fléchisseurs de hanche, genou et cheville	. <i>Durée</i> 15 min . <i>Fréquence</i> : 100 Hz . <i>Intensité</i> 50 mA, sans contraction musculaire . <i>Courant</i> : biphasique carré, impulsion 100 msec	Nerf tibial	14 jours	. <i>Mesures</i> : avant intervention et 15 min après la dernière intervention . <i>Echelles</i> : SFS, LLAS, CS, DTRS, PSRS . <i>Résultats</i> : Pas de différence significative intergroupe à court et long terme avec un score LLAS intergroupe amélioré de 4.00 [-21.66 à 13.66].

Figure 19 Tableau des interventions des études évaluant l'efficacité de la technique TENS

TENS = Transcutaneous electrical nerve stimulation, FES = Functional Electrical Stimulation, E = Électrodes, MAS = Modified Ashworth Scale, SCATS = Spinal Cord Assessment Tool for Spastic reflexes, CSS = Composite Spasticity Score (hyperréflexie tendineuse + résistance à l'étirement passif + clonus de cheville), SFS = Spasm Frequency Scale, LLAS = Lower Limb Ashworth Score, CS = Clonus ankle, DTRS = Deep Tendon Reflex Score, PSRS = Plantar Stimulation Response Score

Groupe contrôle

Dans les études évaluant la technique TENS, les groupes contrôle sont hétérogènes. L'étude Sivamakrishnan2018 compare le groupe TENS à un groupe contrôle sur lequel est appliquée la technique FES. L'étude Oo2014 compare le groupe TENS et activité physique à un groupe contrôle soumis seulement à une activité physique. L'étude Pinghochung2010 compare le groupe TENS à un groupe qui reçoit une stimulation placebo. L'étude Aydin2005 compare le groupe TENS à un groupe qui reçoit un traitement médicamenteux au Baclofen.

Muscles traités

Tous les articles étudient les muscles fléchisseurs plantaires de cheville. Les études Sivamakrishnan2018 et Aydin2005 étudient également les muscles extenseurs de genou. L'étude Sivamakrishnan2018 inclut aussi les muscles adducteurs de hanche. L'étude Aydin2005 inclut aussi les muscles extenseurs et fléchisseurs de hanche, fléchisseurs de genou, fléchisseurs dorsaux de cheville.

Paramètres du TENS

Les études Oo2014 et Pinghochung2010 ont quasiment les mêmes paramètres de réglage du TENS. Les réglages sont les suivants : séance de 60 min, fréquence 100Hz, intensité 15 mA (sans contraction musculaire), courant biphasique rectangulaire avec impulsion entre 0.2 et 0.25 msec. Les électrodes sont placées sur le trajet du nerf fibulaire commun (anode en arrière de la tête fibulaire, cathode 2 cm latéralement au tibia et 2 cm sous la tête fibulaire). L'étude Sivamakrishnan2018 a des réglages similaires aux études Pinghochung2010 et Oo2014, sauf qu'elle présente une séance TENS de 30 min contrairement aux autres qui sont de 60 min. L'étude Aydin2005 met en place des paramètres différents des 3 autres : la durée est de 15 min, l'intensité est de 50 mA (les autres sont de 15 mA), l'impulsion de 100 msec (les autres sont entre 0,2 et 0,3 msec).

Placement des électrodes du TENS

L'étude Sivamakrishnan2018 présente un placement des électrodes sur le corps du muscle. Dans les études Oo20014 et Pinghochung2010 le placement des électrodes se fait sur le trajet du nerf fibulaire. Dans l'étude Aydin2005 les électrodes sont sur le trajet du nerf tibial.

Durée de l'intervention

L'étude Pinghochung2010 dure 1 jour, avec seulement une séance de TENS. L'étude Sivamakrishnan2018 dure 2 jours avec une séance de TENS ou FES, puis un croisement après 24h. L'étude Aydin2005 dure 2 semaines, avec une séance de TENS par jour de semaine. L'étude Oo20014 est celle qui dure le plus longtemps, 3 semaines. Seules les études Aydin2005 et Oo20014 peuvent témoigner de l'effet du TENS sur une prise en charge à long terme.

Évaluation de la spasticité

Les études ont toutes évalué la spasticité avant intervention, puis à t0 (immédiatement après intervention). Ainsi, l'effet immédiat du TENS sur la spasticité est évalué par toutes les études. L'effet à court terme (15 min, 1h) est évalué par les études Sivamakrishnan2018 et Aydin2005. L'effet à long terme (4h, 24h après intervention) est évalué seulement par l'étude Sivamakrishnan2018.

Il y a une multiplicité des échelles d'évaluation de la spasticité. Dans l'étude Sivamakrishnan2018, les échelles de spasticité utilisées sont la MAS (Modified Ashworth Scale) et SCATS (Spinal Cord Assessment Tool for Spastic reflexes). Les études Oo20014 et Pinghochung2010 utilisent l'échelle CSS (Composite Spasticity Score). L'étude Aydn2005 évalue la spasticité par les échelles SFS (Spasm Frequency Scale), LLAS (Lower Limb Ashworth Scale), CS (Clonus ankle), DTRS (Deep Tendon Reflex Score), PSRS (Plantar Stimulation Response Score).

Les résultats des études Oo20014 et Pinghochung2010 montrent une diminution significative de la spasticité immédiate après une séance de TENS. Les résultats de l'étude Aydn2005 montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre 2 semaines de séance de TENS et 2 semaines de traitement au Baclofen. L'étude Sivamakrishnan2018 ne détaille pas suffisamment ses résultats pour pouvoir les interpréter, mais l'auteur affirme qu'il n'y a pas de différence significative entre groupe TENS et groupe FES.

3.3.2 Tableau des interventions étudiant les techniques TSCS et TDCS

Le tableau suivant (cf. figure 20) décrit les interventions des études faites sur les techniques de TSCS et TDCS.

Etudes	Technique	Paramètres TDCS, TSCS	Placement électrodes	Durée	Mesures de spasticité, échelles, résultats
Hofstoetter 2019	Groupe exp TSCS	. <i>Durée</i> : 30 min . <i>Fréquence</i> : 50 Hz . <i>Courant</i> : biphasique rectangulaire	Patient en DD, 1 pair d'E anodes entre processus épineux de T11 et T12 de part et d'autre de la colonne vertébrale, et 1 pair de cathode en paraombilical	1 jour	. <i>Mesures</i> : avant intervention, t0, 2h . <i>Echelles</i> : Somme score MAS des muscles du membre inférieur, pendulum test Wartenberg . <i>Résultats</i> : Diminution de la spasticité pré-post-test avec sur la somme MAS une différence de 31.75 (IQR 18.63 à 37.38) à 23.50 (14.63 à 32.25) immédiatement après intervention, et à 24.75 (18.63 à 37.38) 2h après intervention. Dans les 2 cas $p \leq 0.01$ donc il y a une différence statistique significative entre avant et après traitement.
Estes 2017	Groupe exp TSCS	. <i>Durée</i> : 30 min . <i>Fréquence</i> : 50 Hz . <i>Courant</i> : biphasique rectangulaire	Patient en DD, 1 pair d'E anodes entre processus épineux de T11 et T12 de part et d'autre de la colonne vertébrale, et 1 pair de cathode en paraombilical	1 jour	. <i>Mesures</i> : avant intervention, t0, 45 min . <i>Echelles</i> : pendulum test, FSE . <i>Résultats</i> : Après TSCS, diminution de la spasticité à t0, avec une différence d'amplitude FSE intergroupe améliorée de 15.15 IC [-16.08 à -14.21]. Après 45 min, différence d'amplitude intergroupe améliorée de 17.53 [-18.59 à -16.46].
	Groupe ctrl Stimulation placebo	. <i>Durée</i> : 20 min . <i>Intensité</i> : 2 mA	Anode placée 1 cm en avant du vertex et cathode placée par dessus l'inion	1 jour	. <i>Mesures</i> : avant intervention, t0, 45 min . <i>Echelles</i> : pendulum test, FSE . <i>Résultats</i> : Après TDCS, diminution de la spasticité à t0, avec une différence d'amplitude FSE intergroupe améliorée de 8.81 IC [-9.34 à -8.27]. Après 45 min, différence d'amplitude FSE intergroupe améliorée de 10.72 [-10.00 à 11.43].
Hofstoetter 2014	Groupe exp TSCS	. <i>Durée</i> : 30 min . <i>Fréquence</i> : 50 Hz . <i>Courant</i> : symétrique biphasique rectangulaire de 2msec de large	1 pair d'E au niveau des processus épineux T11-T12, de part et d'autre de la colonne. 1 paire d'E de référence en bas de l'abdomen, symétrique par rapport à l'ombilic. Courant symétrique biphasique rectangulaire de 2 ms de large.	1 jour	. <i>Mesures</i> : avant intervention, t0 . <i>Echelles</i> : Wartenberg pendulum test (si ≥ 1 pas de spasticité, 0 spasticité extrême) . <i>Résultats</i> : Diminution de la spasticité pré-post-test avec sur l'index du Wartenberg pendulum test une différence de 0.8 IC [-0.19 à 1.79] à 0.9 [0.15 à 1.64] immédiatement après intervention.

Figure 20 Tableau des interventions sur les techniques TSCS et TDCS

TSCS = Transcutaneous Spinal Cord Stimulation, TDCS = Transcranial Direct Current Stimulation, E = Électrodes, exp = expérimental, DD = décubitus dorsal, MAS = Modified Ashworth Scale, FSE = First Swing Excursion, IC = intervalle de confiance à 95%, IQR = Interquartile Range

Groupe contrôle

Seule l'étude Estes2017 est un essai clinique randomisé incluant donc un groupe contrôle avec stimulation placebo. Les études ne seront donc pas toutes comparables entre elles. Puisque les études Hofstoetter2014 et Hofstoetter2019 n'ont pas de groupe contrôle, leurs résultats doivent être interprétés en considération. En effet, les résultats mesurés peuvent être dus au hasard et non au TSCS.

Paramètres et placement d'électrodes

Concernant la technique TSCS, les paramètres des 3 études Hofstoetter2019, Estes2017 et Hofstoetter2013 utilisent les mêmes paramètres, réglages et placement d'électrodes.

L'étude Estes2017 est la seule à étudier la technique TDCS, les paramètres, réglages et placement d'électrodes ne peuvent donc pas être comparés à d'autres études.

Durée d'intervention

Toutes les études décrivent une séance unique sur 1 jour.

Évaluation de la spasticité

Dans toutes les études une mesure est effectuée avant intervention, et une immédiatement après. L'étude Estes2017 décrit également une mesure 45 min après intervention, et l'étude Hofstoetter2019 décrit une mesure 2h après intervention.

Les échelles cliniques de mesure de la spasticité qui sont utilisées dans les études sont variées. Les études Hofstoetter2019 et Hofstoetter2014 décrivent l'utilisation du test pendulaire. L'étude Hofstoetter2019 utilise comme échelle la somme du score MAS du membre inférieur.

Résultats

Les résultats de l'étude Estes2017 montrent une diminution de la spasticité immédiate et après 45 min de l'intervention TSCS. Les études Hofstoetter2019 et Hofstoetter2014 montrent également une diminution de la spasticité mesurée avant et après intervention.

L'étude Estes 2017 montre une diminution de la spasticité immédiate et qui perdure après 45 min de l'intervention TDCS.

L'analyse des résultats est faite au chapitre 4.1.2.

4 Discussion

4.1 Analyse des principaux résultats

4.1.1 Analyse des résultats des études sur le TENS

Les études Oo2014, Pinghochung2010 et Aydin2005 sont incluses dans une méta-analyse afin de synthétiser tous leurs résultats sur les effets du TENS sur la spasticité. L'étude Sivaramakrishnan2018 est exclue de la méta-analyse car ses résultats ne sont pas exploitables, puisque l'écart-type des mesures n'est pas communiqué. Cette dernière est décrite dans une analyse narrative.

L'effet d'une séance de TENS sur la spasticité du patient blessé médullaire

Les études Oo2014 et Pinghochung2010 sont incluses dans cette méta-analyse. Les résultats de ces études montrent les effets immédiats d'une séance de TENS sur la spasticité. Ces résultats sont représentés dans le Forest Plot (cf. figure 21). Les deux études regroupent à elles deux un total de 18 patients dans le groupe expérimental. Le score CSS (=composite spasticity scale) est chiffré de 1 à 16, il s'agit d'une variable continue.

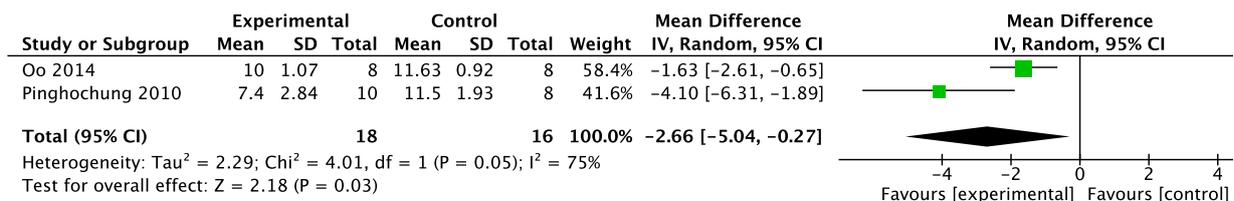


Figure 21 Forest Plot des effets immédiats d'une séance de TENS (évaluation de la spasticité sur l'échelle CSS)

Etude oo2014 = comparaison TENS + thérapie physique / thérapie physique

Etude Pinghochung2010 = comparaison TENS / placebo

Les résultats montrent que l'effet immédiat d'une séance de TENS est une diminution de la spasticité du blessé médullaire, la taille d'effet est cliniquement significative et l'effet va toujours dans le sens d'une amélioration. Plus précisément, la taille d'effet de ces deux études est estimée par une différence des moyennes intergroupe de **-2.66** et un intervalle de confiance à 95% de **[-5.04 à -0.27]**, ce qui est l'intervalle dans lequel se situe probablement l'effet moyen du traitement TENS sur la spasticité. Cela signifie que l'effet immédiat d'une séance de TENS est une diminution d'en moyenne 2.66 points du score de spasticité CSS, soit 16.6% de ce score. L'intervalle de confiance à 95% n'inclut pas le 0 donc l'effet va toujours dans le sens d'une amélioration donc une diminution du score CSS de spasticité. L'intervalle de confiance total a une largeur de 4.7 points, soit 29% du score total, l'effet total est donc peu précis puisque les résultats sont répartis sur un large intervalle. La taille d'effet de la moyenne intergroupe de l'étude Oo2014 de 1.63 est inférieure à celle de l'étude Pinghochung2010 de 4.1, mais l'intervalle de confiance de l'étude Oo2014 **[-2.61 à -0.65]** est inférieur à celui de Pinghochung2010 **[-6.31 à -1.89]**, donc l'effet est plus précis.

L'effet de plusieurs semaines de TENS comparé à une séance unique de TENS sur la spasticité du blessé médullaire

Les études Oo2014 et Pinghochung2010 sont incluses dans cette méta-analyse. Dans l'étude Oo2014, la mesure de la spasticité est faite immédiatement après la première séance et immédiatement après 3 semaines de séances. Dans l'article Pinghochung2010, la mesure de spasticité est faite immédiatement après la première séance.

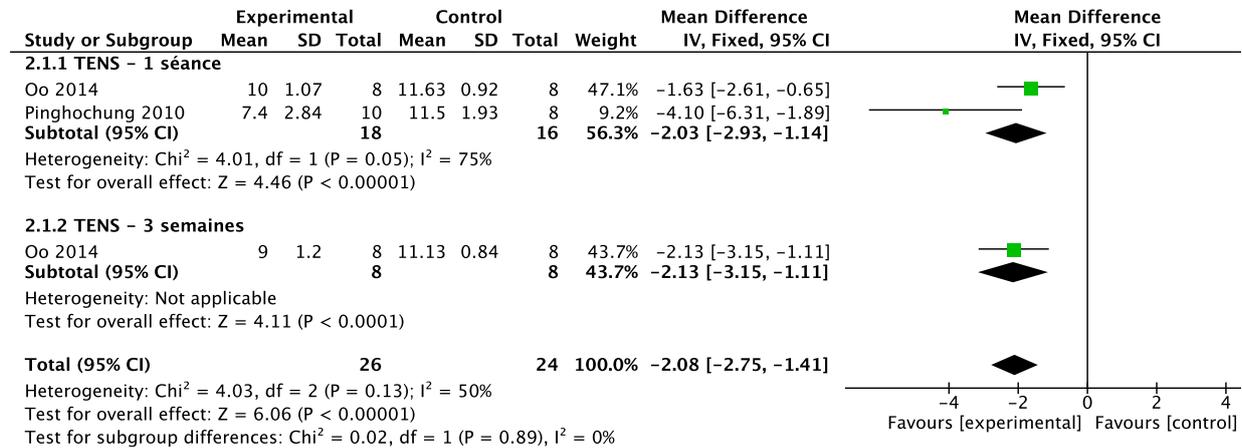


Figure 22 Forest Plot des effets immédiats de 3 semaines de TENS comparé à 1 séance unique de TENS (évaluation de la spasticité sur l'échelle CSS de 1 à 16)

Etude oo2014 = comparaison TENS + thérapie physique / thérapie physique

Etude Pinghochung2010 = comparaison TENS / placebo

Ces résultats (cf figure 22) montrent que l'effet immédiat sur la spasticité du blessé médullaire après 3 semaines de TENS est quasiment identique à l'effet immédiat d'une séance unique de TENS. Plus précisément, la taille d'effet après 3 semaines de TENS est estimée par une différence des moyennes intergroupe de **-2.13** points avec un intervalle de confiance à 95% [**-3.15 à -1.11**]. Ainsi l'effet immédiat de 3 semaines de TENS est une diminution d'en moyenne 2.13 points du score de spasticité CCS soit 13.3% du score. L'intervalle de confiance n'inclut pas le 0, donc l'effet va toujours dans le sens d'une amélioration donc une diminution de la spasticité. L'intervalle de confiance a une largeur de 2.04 points, soit 12.75% du score total, l'effet est donc précis puisque les résultats ne sont pas répartis sur un large intervalle. La taille d'effet après une séance unique de TENS est estimée à **-2.03** points avec intervalle de confiance [**-2.93 à -1.14**]. La différence des tailles d'effet d'une séance et de 3 semaines de séances de TENS est de 2.13-2.03 = 0.1 points, ce qui est une valeur proche de 0. Selon ces études, la différence d'effet est donc très faible et non cliniquement significative entre une séance unique de TENS et 3 semaines de TENS.

L'effet prolongé d'une séance de TENS comparé à l'effet immédiat sur la spasticité du blessé médullaire

Aucune étude incluse ne mesure l'effet prolongé d'une séance de TENS. Seule l'étude Aydn2005 donne une mesure de l'effet prolongé du TENS, mais après 2 semaines de séances, et non après une séance unique. Cette analyse ne peut donc pas être effectuée.

L'effet immédiat d'une séance de TENS en tant que technique adjuvante comparé à une séance de TENS seul sur la spasticité du blessé médullaire

Les études Oo2014 et Pinghochung2010 sont incluses dans cette méta-analyse.

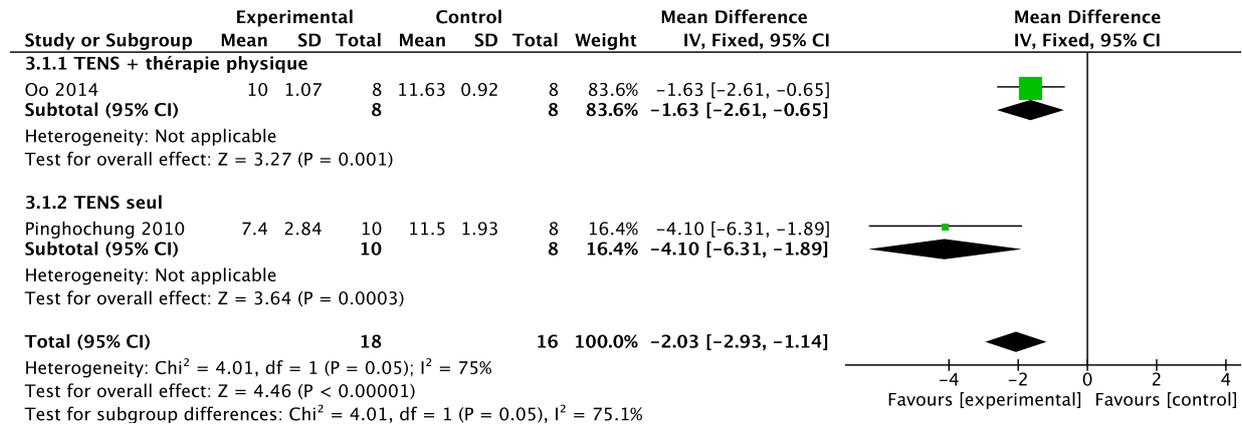


Figure 23 Forest Plot des effets immédiats d'une séance de TENS en tant qu'adjuvant à une séance de thérapie physique comparé à une séance de TENS seule (évaluation de la spasticité sur l'échelle CSS de 1 à 16)

Etude oo2014 = comparaison TENS + thérapie physique / thérapie physique

Etude Pinghochung2010 = comparaison TENS / placebo

Ces résultats (cf figure 23) nous montrent que l'effet immédiat du TENS utilisé seul est plus important mais moins précis que celui du TENS utilisé en tant que technique adjuvante à une séance de thérapie physique. Plus précisément, dans l'étude Oo2014, la taille d'effet du TENS utilisé en adjuvant à une séance de thérapie physique est estimée par une différence des moyennes intergroupe de **-1.63** points, alors que dans l'étude Pinghochung2010, la taille d'effet du TENS utilisé seul est de **-4.10** points. Or $4.10 > 1.63$ donc la spasticité diminue plus fortement (-4.10 points sur le score CSS de spasticité) lorsque utilisée seule que lorsqu'elle est utilisée en tant que technique adjuvante (-1.63). Donc la taille d'effet du TENS seul est plus importante que la taille d'effet du TENS en tant qu'adjuvant. De plus, dans l'étude Oo2014 l'intervalle de confiance à 95% est de **[-2.61 à -0.65]** et dans l'étude Pinghochung2010 il est de **[-6.31 à -1.89]**. Dans les deux cas l'intervalle de confiance n'inclut pas le 0, donc l'effet va toujours dans le sens d'une amélioration donc une diminution de la spasticité. L'intervalle de confiance **[-2.61 à -0.65]** est plus petit que **[-6.31 à -1.89]**, donc l'effet du TENS utilisé comme adjuvant à la thérapie physique est plus précis (intervalle de confiance plus petit) que l'effet du TENS utilisé seul.

L'effet immédiat d'une séance de TENS sur la spasticité du blessé médullaire en fonction du muscle traité

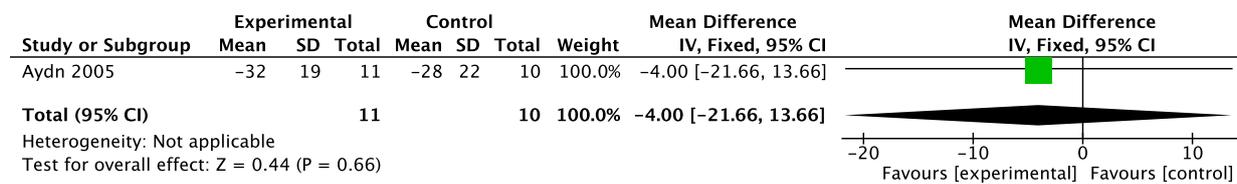
Aucune étude incluse n'est comparable puisque les études Oo2014 et Pinghochung2010 mesurent la spasticité des muscles fléchisseurs plantaires, et l'étude Aydn2005 mesure un score général sur tous les muscles du membre inférieur. Cette analyse ne peut donc pas être effectuée.

L'effet immédiat d'une séance de TENS sur la spasticité du blessé médullaire en fonction de la durée de la séance

Aucune étude n'est incluse dans cette analyse, puisque les études Oo2014 et Pinghochung2010 mesurent toutes deux la spasticité après une séance de 60 min de TENS, et l'étude Aydn2005 ne mesure pas la spasticité après une séance unique de TENS.

L'effet de 2 semaines de séances de TENS comparé à un traitement médicamenteux (Baclofen)

L'étude Aydn2005 est incluse dans cette méta-analyse. Elle compare un groupe expérimental traité au TENS à un groupe contrôle traité au Baclofen, la mesure de la spasticité est faite immédiatement après 2 semaines de séances.



**Figure 24 Forest Plot des effets immédiats de 2 semaines de TENS (évaluation de la spasticité sur l'échelle LLAS de 1 à 24)
Etude Aydn2005 = comparaison TENS / Baclofen**

Les résultats (cf figure 24) montrent que l'effet immédiat sur la spasticité après 2 semaines de TENS n'est pas différent de l'effet après 2 semaines de Baclofen. Plus précisément, la taille d'effet est estimée par une différence des moyennes intergroupe de **-4.0** selon le score LLAS (=Lower Limb Ashworth Scale), avec un intervalle de confiance à 95% de **[-21.66 à 13.66]**. Le score LLAS est chiffré de 1 à 24 points, c'est une variable continue. L'intervalle de confiance est large et il inclut le 0, ce qui signifie que l'effet du TENS peut être bénéfique ou délétère par rapport à une thérapie au Baclofen. Ces résultats nous indiquent qu'il n'y a pas de différence significative d'effet entre les 2 techniques comparées.

Les résultats ces méta-analyses sur les effets du TENS sur la spasticité du blessé médullaires sont synthétisés dans le tableau suivant (cf. figure 25).

Synthèse des méta-analyses : les effets du TENS sur la spasticité du blessé médullaire

Effet du TENS sur la spasticité du blessé médullaire	Etude incluse	Paramètres TENS, placement électrodes, durée du traitement	Muscles cibles	Résultats
Effet immédiat d'une séance de TENS	2 études : Oo2014 Pinghochung 2010	. <i>Durée</i> : 60 min . <i>Fréquence</i> : 100 Hz . <i>Intensité</i> : 15 mA, sans contraction musculaire . <i>Courant</i> : biphasique rectangulaire, impulsion 0.2-0.25 msec . <i>Electrodes</i> : sur le trajet du nerf fibulaire commun . <i>Traitement</i> : entre 1 et 21 jours	Triceps sural	L'effet est une diminution de 2.66 points de spasticité (sur l'échelle CSS de 1 à 16), l'effet est modéré. L'intervalle de confiance est [-5.04 à -0.27], il est large donc l'effet n'est pas précis mais il y a toujours une diminution de la spasticité.
Effet immédiat de plusieurs semaines de TENS comparé à une séance unique de TENS				Il n'y a pas de différence significative sur la spasticité entre l'effet d'une séance de TENS -2.03 [-2.93 à -1.14] et l'effet de 3 semaines de séances -2.13 [-3.15 à -1.11] sur l'échelle CSS de 1 à 16.
Effet immédiat d'une séance de TENS en tant que technique adjuvante comparé à une séance de TENS seul				L'effet du TENS utilisé seul -4.10 [-6.31 à -1.89] est plus important mais moins précis que le TENS utilisé en adjuvant -1.63 [-2.61 à -0.65], mesures d'effet selon l'échelle CSS de 1 à 16.
Effet immédiat de 2 semaines de TENS comparé à un traitement au Baclofen	1 étude : Aydn2005	. <i>Durée</i> 15 min . <i>Fréquence</i> : 100 Hz . <i>Intensité</i> 50 mA, sans contraction musculaire . <i>Courant</i> : biphasique carré, impulsion 100 msec . <i>Electrodes</i> : nerf tibial . <i>Traitement</i> : 14 jours	Muscles du membre inférieur	Pas de différence significative entre groupes à court et long terme, avec un score de spasticité LLAS amélioré de 4.00 mais un intervalle de confiance de [-21.66 à 13.66] donc large et incluant le 0.

Figure 25 Tableau des interventions des études évaluant l'efficacité de la technique TENS

Etude oo2014 = comparaison TENS + thérapie physique / thérapie physique

Etude Pinghochung2010 = comparaison TENS / placebo

Etude Aydn2005 = comparaison TENS / Baclofen

Score CSS = Composite Spasticity Scale de 1 à 16, Score LLAS = Lower Limb Spasticity Ashworth Scale de 1 à 24

Analyse narrative de l'article Sivaramakrishnan2018

Dans l'étude Sivaramakrishnan2018, le groupe expérimental est traité au TENS et le groupe contrôle au FES. Les mesures de spasticité sont effectuées juste après la stimulation, à 1h, 4h, 24h. Les résultats des mesures de spasticité sur l'échelle MAS (=Modified Ashworth Scale) sont communiqués sous forme de moyenne pour chaque groupe de muscle, à différents moments. Cependant la taille d'effet n'est pas communiquée sous forme d'écart type (qui donne la dispersion à la moyenne des mesures), ni d'intervalle de confiance (qui donne la précision de la taille de l'effet), et ils ne peuvent pas être calculés. Seul le calcul du $p > 0,01$ atteste que la différence intergroupe est statistiquement non significative. Mais il reste impossible d'interpréter les résultats et commenter la taille de l'effet ni la signification clinique de ces résultats.

Synthèse des toutes les études sur les effets du TENS sur la spasticité du blessé médullaire

Les résultats des deux études Oo2014 et Pinghochung2010 regroupent 18 patients. Ils suggèrent que le TENS serait efficace pour réduire la spasticité des fléchisseurs plantaires immédiatement après stimulation (cf figures 21 et 25). Une séance unique de TENS aurait la même efficacité qu'une prise en charge sur plusieurs semaines à raison d'une séance de TENS par jour. Le TENS utilisé seul serait plus efficace mais moins précis qu'utilisé en tant que technique adjointe à une technique de thérapie physique. Ces deux études ont de bons scores à l'échelle PEDRO 8/10, cependant elles ne valident pas les critères des sujets, thérapeutes et évaluateurs en aveugle. Cela peut potentiellement invalider les résultats, qui ne peuvent donc pas être affirmés avec certitude. Notons que dans ce type d'étude le thérapeute peut difficilement être en aveugle puisque qu'il doit mettre en route la stimulation TENS, mais les sujets et évaluateurs pourraient être mis en aveugle.

Les résultats de l'étude Aydn2005 regroupant 21 patients suggèrent qu'il n'y aurait pas de différence d'efficacité entre 2 semaines de TENS et 2 semaines de traitement médicamenteux au Baclofen. Cette étude a un score Pedro faible avec 4/10, et notamment la randomisation de cette étude est invalide, l'assignation secrète n'est pas précisée, les données ne permettent pas de savoir si les groupes sont comparables au départ, et les sujets, thérapeutes et évaluateurs ne sont pas en aveugle. Ces résultats sont donc à prendre avec précaution et aucune hypothèse sur le pratique clinique ne peut être émise à partir des résultats de cette étude.

4.1.2 Analyse des résultats des études sur le TSCS

Les études Hofstoetter2019 et Hofstoetter2014 sont des cas cliniques, l'étude Estes2017 est un essai clinique randomisé. Elles sont toutes trois décrites sous forme d'analyses narratives.

Analyse narrative des études Hofstoetter2019 et Hofstoetter2014

L'étude Hofstoetter2019 est une série de cas qui étudie un groupe expérimental de 12 patients traités au TSCS. Les mesures de spasticité sont faites selon la somme du score MAS (chiffré de 0 à 96) immédiatement après la stimulation, puis 2h après. Le score passe d'une médiane avant intervention de 31.75 avec intervalle interquartile (18.63 à 37.38) à une médiane immédiatement après intervention de 23.50 (14.63 à 32.25), soit une diminution pré-post-test de 8.25 points sur la somme du score MAS, avec $p=0.03 < 0.01$. Des mesures sont aussi faites 2h après la stimulation. Le score passe à une médiane 2h après intervention de 24.75 (18.63 à 37.38) soit une diminution pré-post-test de 7 points sur la somme du score MAS, avec $p=0.01$. La valeur des $p \leq 0.01$ donc les résultats sont statistiquement significatifs.

L'étude Hofstoetter2014 est une série de cas du même auteur qui étudie un groupe expérimental de seulement 3 patients traités au TSCS. Les mesures de spasticité sont faites immédiatement après la stimulation selon l'échelle d'index du Wartenberg pendulum test (si ≥ 1 pas de spasticité, 0 spasticité extrême). Le score passe d'une moyenne de 0.8 avec intervalle de confiance [-0.19 à 1.79] à une moyenne de 0.9 [0.15 à 1.64]. La différence pré-post-test nous montre une diminution de 0.1 points sur le score de spasticité.

Analyse narrative de l'étude Estes2017

Cet article est un essai clinique randomisé croisé qui étudie un groupe de 10 patients, avec un groupe expérimental soumis au TSCS, et un groupe contrôle soumis à une stimulation placebo, avec croisement après 48h. Les évaluations sont faites selon la mesure de la First Swing Excursion du Pendulum Test immédiatement après stimulation, puis après 45 min. Le score est chiffré de 0 (spasticité extrême) à 100 (pas de spasticité), il s'agit d'une variable continue.

L'effet immédiat du TSCS est une différence des moyennes intergroupe de 15.15 points du FSE avec intervalle de confiance à 95% de [-16.08 à -14.21]. L'effet du TSCS après 45 min est une diminution des moyennes intergroupe de 17.53 [-18.59 à -16.46]. Les intervalles de confiance n'incluent pas le 0 donc l'effet va toujours dans le sens d'une amélioration.

Synthèse sur les effets du TSCS sur la spasticité du blessé médullaire

Les résultats des deux études Hofstoetter2019 et Hofstoetter2014 montrent qu'après une séance de 30 min de TSCS la spasticité a diminué de manière statistiquement significative. Les résultats de l'étude Hofstoetter2019 permettent d'ajouter que cet effet perdure jusqu'au minimum 2h après la séance. Cependant ces études étant des séries de cas donc par définition sans groupe contrôle, il est impossible de conclure que cette diminution de spasticité est due à la stimulation TSCS ou au hasard.

L'étude Estes2017 est un essai clinique randomisé. Ses résultats montrent qu'une séance de TSCS pourrait entraîner une diminution de la spasticité du quadriceps. Cependant, cette étude a un score de seulement 5/10 sur l'échelle PEDRO. Les critères d'assignation secrète et la comparabilité des groupes ne sont pas précisés, et les sujets, évaluateurs et thérapeutes ne sont pas en aveugle. Cette étude n'a donc pas une bonne validité interne, ce qui peut potentiellement biaiser ses résultats. Il faut par conséquent considérer ces résultats avec précaution, et ils devront être confirmés par d'autres études à venir. Il n'est pas possible de tirer des conclusions de ces résultats et des hypothèses sur l'utilité du TSCS en pratique clinique.

Les résultats de ces études doivent être confirmés par d'autres articles, et notamment par des essais cliniques randomisés avec une bonne validité interne afin de pouvoir évaluer la signification clinique de leurs résultats et l'applicabilité clinique de cette technique.

4.1.3 Analyse des résultats des études sur le TDCS

Seul l'article Estes2017 étudie l'effet du TDCS. Il est décrit dans une analyse narrative.

Cet article est décrit précédemment au chapitre 4.1.2. C'est un essai clinique randomisé croisé qui étudie un groupe de 10 patients, avec un groupe expérimental soumis au TDCS, et un groupe contrôle soumis à une stimulation placebo, avec croisement après 48h.

L'effet immédiat du TDCS est une diminution des moyennes intergroupe de 8.81 points de spasticité avec intervalle de confiance à 95% de [-9.34 à -8.27]. L'effet du TDCS après 45 min est une diminution des moyennes intergroupe de 10.72 [-11.43 à -10.00]. Les

intervalles de confiance n'incluent pas le 0 donc l'effet va toujours dans le sens d'une amélioration donc une diminution de spasticité.

Les résultats de cette étude montrent donc qu'une séance de TDCS pourrait entraîner une diminution de la spasticité du quadriceps. Cependant, comme vu au chapitre 4.1.2, cette étude n'a donc pas une bonne validité interne, ce qui peut potentiellement biaiser ses résultats. Il n'est pas possible de tirer des conclusions de ces résultats et des hypothèses sur l'utilité du TDCS en pratique clinique.

4.2 Applicabilité des résultats en pratique clinique

L'applicabilité des résultats du TENS en pratique clinique pour réduire la spasticité chez les blessés médullaires

Afin de valider l'applicabilité des résultats de cette revue en pratique clinique, il faut que la population étudiée soit représentative de la population à traiter, que l'intervention soit peu contraignante et bien décrite, que les comparateurs des études soient similaires, et que les critères de jugement soient identiques et que les échelles utilisées soient valides.

La population étudiée par les articles de cette revue de littérature n'est pas représentative de la population générale en pratique clinique. D'une part le nombre de participants à cette étude, 34 pour les 2 études principalement analysées, est insuffisant pour généraliser ces résultats à l'ensemble de la population. Il est nécessaire de réaliser plus d'études comportant une plus large population afin de renforcer les résultats de ces études. D'autre part, les participants de cette étude sont toujours des patients d'hôpitaux universitaires ou de centres de rééducation, et ne sont pas nécessairement représentatifs de l'ensemble de la population des personnes blessées médullaires.

L'intervention de séances de TENS nécessite une mise en place peu contraignante, un matériel peu coûteux. Le matériel nécessaire de boîtiers et électrodes est déjà massivement présents dans les centres de rééducation. De plus, le TENS est responsable de peu d'effets secondaires. Le protocole et réglage du TENS sont suffisamment bien décrits par écrit, notamment dans l'étude Oo2014, afin qu'ils puissent être reproduits. Les interventions décrites, notamment les études Oo2014 et Pinghochung2010 évaluent uniquement l'effet immédiat du TENS sur la spasticité du muscle triceps sural.

Les comparateurs des études concernant le TENS sont des groupes contrôle toujours différents : groupe traité au FES, sans rien, stimulation placebo, Baclofen. Cela rend les études peu comparables entre elles. Il serait intéressant que les études à venir sur l'efficacité du TENS soient faites uniquement en comparaison à une stimulation placebo, afin qu'elles ciblent au plus près l'effet du TENS et qu'elles soient comparables entre elles.

Le critère de jugement de ces études est l'intensité de la spasticité. Les échelles utilisées sont l'échelle d'Ashworth et la Composite Spasticity Scale. Leur propriétés psychométriques en terme de fidélité inter et intra évaluateur, la validité de ces échelles pour évaluer la spasticité, de sensibilité, spécificité ne sont pas encore étudiés suffisamment. Il faut là encore réaliser davantage d'études afin d'étudier plus en détail ces échelles de mesure afin de savoir laquelle est la plus à même de détecter l'intensité de la spasticité chez les patients blessés médullaires.

Ainsi, les résultats encourageants de ces méta-analyses avec une taille d'effet cliniquement significative poussent à valider l'utilisation du TENS en pratique clinique comme technique seule ou adjuvante à d'autres techniques pour réduire à court terme la spasticité des fléchisseurs plantaires. Cependant, l'efficacité du TENS pour réduire la spasticité doit continuer à être étudiée par d'autres essais cliniques randomisés afin que la population étudiée soit plus représentative, que les critères d'intervention soient confirmés, que les groupes contrôles soient comparables entre eux, et que les échelles de spasticité soient validées.

L'applicabilité des résultats du TSCS en pratique clinique pour réduire la spasticité chez les blessés médullaires

La population étudiée par les articles de cette revue de littérature n'est pas représentative de la population générale. Le nombre de participants à ces 3 études est de 25, c'est insuffisant pour généraliser ces résultats à l'ensemble de la population. Il semble nécessaire de réaliser d'autres d'essais cliniques randomisés comportant une plus large population afin de pouvoir renforcer les résultats de ces études. Les 3 études incluses ne précisant pas l'origine des participants, il est impossible de savoir si les participants de cette étude sont représentatifs de l'ensemble de la population des personnes blessées médullaires.

L'intervention de TSCS nécessite une mise en place peu contraignante puisque le matériel nécessaire est un stimulateur électrique, déjà largement utilisé dans les centres de rééducation. Par rapport au TENS seuls les réglages changent, et ils sont décrits dans les protocoles des études afin d'être reproduits facilement. Plusieurs études ont mesuré une bonne tolérance des patients à cette technique.

Le comparateur du seul essai clinique randomisé inclus était un groupe avec stimulation placebo. Davantage d'études doivent être réalisées avec groupe contrôle placebo afin de pouvoir renforcer ou non les résultats de cette étude.

Le critère de jugement de ces études est l'intensité de la spasticité. Les échelles utilisées sont l'échelle d'Ashworth, le « First Swing Excursion » du test pendulaire, et l'indice du test pendulaire de Wartenberg. Leur validité n'a pas été testée chez les blessés médullaires, et des études complémentaires doivent être faites pour étudier leur propriétés psychométriques en termes de fidélité inter et intra évaluateur, la validité de ces échelles pour évaluer la spasticité, de sensibilité, spécificité.

Pour résumer, les résultats encourageants de ces études ne sont pas suffisants pour généraliser l'utilisation du TSCS en pratique clinique, mais montrent un potentiel de cette technique qui justifie que de nouveaux essais cliniques randomisés soient réalisés afin d'évaluer l'effet du TSCS sur la spasticité du blessé médullaire. Les effets doivent être évalués à court, moyen et long terme. Cette technique étant récente, les effets secondaires doivent continuer à être étudiés.

L'applicabilité des résultats du TDCS en pratique clinique pour réduire la spasticité chez les blessés médullaires

Seul un essai clinique randomisé croisé étudie cette technique, donc la population étudiée n'est pas représentative de la population générale.

L'intervention de TDCS est plus contraignante que les précédentes car elle nécessite des machines spécifiques dont les centres de rééducation ne sont pas équipés, et de plus le fait d'appliquer les électrodes sur le crâne peut sembler psychologiquement plus invasif que sur le reste du corps. Aucun effet adverse grave n'a été rapporté, mais il existe des cas de lésions cutanées.

Le comparateur du seul essai clinique randomisé inclus était un groupe avec stimulation placebo. Davantage d'études doivent être réalisées avec groupe contrôle placebo afin de pouvoir renforcer ou non les résultats de cette étude.

Le critère de jugement de cette étude est l'intensité de la spasticité. L'échelle utilisée est le « First Swing Excursion » du test pendulaire. Comme dit précédemment, sa validité n'a pas été testée chez les blessés médullaires, et des études complémentaires doivent être faites pour étudier leurs propriétés psychométriques en terme de fidélité inter et intra évaluateur, la validité de ces échelles pour évaluer la spasticité, de sensibilité, spécificité.

Pour résumer, les résultats de cette étude sont encourageants et montrent le potentiel de cette technique pour justifier que de nouveaux essais cliniques randomisés soient réalisés afin d'évaluer l'effet du TDCS sur la spasticité du blessé médullaire. Les effets doivent être évalués à court, moyen et long terme.

4.3 Qualité des preuves

La HAS préconise le système GRADE (= Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation)¹¹ afin d'évaluer la qualité des données scientifiques et pouvoir élaborer des recommandations. Cette présente analyse des données de cette revue s'appuie sur une évaluation GRADE, sans pour autant la respecter dans son intégralité.

Qualité des preuves de la technique TENS

Afin de juger de la qualité scientifique des preuves de l'efficacité du TENS pour lutter contre la spasticité chez le blessé médullaire, il est nécessaire d'analyser les essais cliniques randomisés de la méta-analyse décrite précédemment (cf. figure 21) afin de leur donner un score de qualité.

¹¹<https://www.hygienes.net/boutique/hygienes-2/elaboration-de-recommandations-comment-utiliser-la-methode-grade/>

Etude	Méthode de l'étude	Cohérence des données	Critère de jugement	Ampleur de l'effet	Précision des données	Scores
Oo 2014	Randomisé, Bonne validité interne, Pas en double aveugle	Études hétérogènes : Groupes contrôles différents	direct	Différence des moyennes intergroupe -1.63 (sur échelle de 1 à 16) : Effet moyen	-2.61 à -0.65 Effet précis	2 = Bas
Pinghochung 2010	Randomisé, Bonne validité interne, Pas en double aveugle	(placebo et pas de traitement) i2 = 75% > 50%	direct	Différence des moyennes intergroupe -4.10 (sur échelle de 1 à 16) : Effet important	-6.31 à -1.89 Effet peu précis	2 = Bas

Figure 26 Tableau de qualité des essais cliniques randomisés sur la technique du TENS

Le tableau précédent (cf. figure 26) montre les calculs de scores de la qualité de la littérature étudiée. Les scores de départ sont 4/4 pour ces essais cliniques randomisés, puis on « décôte » en prenant compte des différents facteurs de qualité. L'étude Oo2014 et l'étude Pinghochung2010 ont vu leur score diminuer de 1 point pour risque de biais (pas en double aveugle), et 1 point pour l'hétérogénéité des résultats entre études. L'ode ratio ou risque relatif ne pouvant être calculé puisque la variable est continue, il est impossible d'augmenter le niveau de preuve au vu de la taille d'effet. Les études Oo2014 et Pinghochung2010 ont donc un score final de 2, ce qui est bas.

La méta-analyse prenant en compte ces 2 études présente donc un risque de biais (puisque les études ne sont pas en double aveugles), et des résultats hétérogènes.

Afin de déterminer la force de recommandation, la balance bénéfique/risque doit être étudiée. La taille d'effets mesurés est modérée, mais il n'y a pas d'effet indésirable du TENS. La durée d'efficacité est de courte durée et ses effets à moyen et long terme ne sont pas connus.

Les stratégies alternatives pour diminuer la spasticité sont les traitements médicamenteux qui comportent des effets adverses, ainsi que la chirurgie (injection de toxine botulique) qui constitue une technique invasive.

Enfin, le ratio coût-efficacité doit être pris en compte. Le coût du TENS est peu élevé, et le matériel nécessaire est déjà massivement répandu dans les centres de rééducations.

En synthétisant toutes ces données, il peut être suggéré que l'efficacité d'une séance de TENS pour lutter contre la spasticité à court terme chez le blessé médullaire ait une force de recommandation d'un niveau de preuve intermédiaire, gradation B car reposant sur des essais randomisés avec biais.

Qualité des preuves des techniques TSCS

Afin de juger de la qualité scientifique des preuves de l'efficacité d'une séance de TSCS pour lutter contre la spasticité chez le blessé médullaire, il est nécessaire d'analyser les études décrites dans le tableau des interventions du TSCS (cf. figure 20). Les études incluses dans cette partie sont un essai clinique randomisé qui donne lieu à une gradation 4 = élevée selon le système GRADE, et deux séries de cas qui donnent lieu à une gradation 1 = faible.

Etude	Méthode de l'étude	Cohérence des données	Critère de jugement	Ampleur de l'effet	Précision des données	Scores
Estes 2017	Randomisé, pas d'assignation secrète, pas de comparabilité de base, pas en double aveugle	Études hétérogènes : avec ou sans groupe contrôle, pas les mêmes échelles.	direct	Différence des moyennes intergroupe -15.15 (sur échelle de 0 à 100) : Effet moyen	IC de -16.08 à 14.21 : Effet précis	1 = Bas
Hofstoetter 2019	Non randomisé, bonne validité interne, pas de groupe contrôle		direct	Différence pré-post-test . à t0 : -8.25 (sur échelle de 0 à 96) = Effet faible . après 2h : 7 = Effet faible	NC	0
Hofstoetter 2014	Non randomisé, bonne validité interne, pas de groupe contrôle		direct	Différence pré-post-test à t0 de 0.1 points (sur échelle de 0 à 1) Effet faible	0.15 à 1.64 Effet peu précis	0

Figure 27 Tableau de qualité des essais cliniques randomisés sur la technique du TSCS

NC = Non communiquées, IC = intervalle de confiance à 95%

Le tableau précédent (cf. figure 27) montre les calculs de scores de la qualité de la littérature étudiée. Les scores de départ sont 4/4 pour les essais cliniques randomisés et 1 pour les séries de cas, puis on « décôte » en prenant compte des différents facteurs de qualité. L'étude Estes2017 a vu son score diminuer de 2 points pour risque de biais importants, et 1 point pour hétérogénéité des études, il lui reste donc 1 point, ce qui est un score très faible. L'ode ratio ou risque relatif ne pouvant être calculé puisque la variable est continue, il est impossible d'augmenter le niveau de preuve au vu de la taille d'effet. Les études Hofstoetter perdent 1 point pour non randomisation, ce qui amène leur score à 0.

Afin de déterminer la force de recommandation, la balance bénéfique/risque doit être étudiée. Dans l'essai clinique randomisé, la taille d'effets mesurés est moyenne. Les effets indésirables du TSCS ne sont pas connus car c'est une technique récente. L'effet mesuré est à court terme, immédiatement après la stimulation. Les effets à moyen et long terme ne sont pas connus.

Les stratégies alternatives pour diminuer la spasticité sont les traitements médicamenteux qui comportent des effets adverses, ainsi que la chirurgie (injection de toxine botulique) qui constitue une technique invasive.

Enfin, le ratio coût-efficacité doit être pris en compte. Le coût du TSCS est peu élevé, et le matériel nécessaire est déjà massivement répandu dans les centres de rééducations.

En synthétisant toutes ces données, il peut être suggéré que l'efficacité d'une séance de TSCS pour lutter contre la spasticité à court terme chez le blessé médullaire ait une force de recommandation d'un faible niveau de preuve scientifique, gradation C car reposant sur des essais randomisés de faible puissance avec de nombreux biais et sur des séries de cas.

Qualité des preuves des techniques TDCS

Afin de juger de la qualité scientifique des preuves de l'efficacité d'une séance de TDCS pour lutter contre la spasticité chez le blessé médullaire, il est nécessaire d'analyser l'étude décrite Estes2017, seul article étudiant cette technique. C'est un essai clinique randomisé donc de gradation initiale 4 = élevée selon le système GRADE.

Le tableau précédent (cf. figure 27) montre les calculs de scores de la qualité de l'étude Estes2017. Elle a un score de 1 point, ce qui est un score très faible.

Afin de déterminer la force de recommandation, la balance bénéfique/risque doit être étudiée. Dans l'essai clinique randomisé, la taille d'effets mesurés est moyenne. Les effets indésirables du TDCS ne sont pas connus car c'est une technique récente, et le fait de placer des électrodes sur le crâne est dissuasive pour la population. L'effet mesuré est à court terme, immédiatement après la stimulation. Les effets à moyen et long terme ne sont pas connus.

Les stratégies alternatives pour diminuer la spasticité sont les traitements médicamenteux qui comportent des effets adverses, ainsi que la chirurgie (injection de toxine botulique) qui constitue une technique invasive.

Enfin, le ratio coût-efficacité doit être pris en compte. Le coût du TDCS est peu élevé mais non présent dans les centres de rééducations.

En synthétisant toutes ces données, il peut être suggéré que l'efficacité d'une séance de TDCS pour lutter contre la spasticité à court terme chez le blessé médullaire ait une force de recommandation d'un faible niveau de preuve scientifique, gradation C car reposant sur un seul essai randomisé de faible puissance avec de nombreux biais.

4.4 Biais potentiels de la revue

L'auteur de cette revue déclare n'avoir aucun conflit d'intérêt. Cette revue de littérature présente des biais qui sont évalués selon la grille d'évaluation de la qualité méthodologique des revues systématiques AMSTAR¹² (cf figure 28).

	Items	oui	non	Impossible de répondre	sans objet
1	Un plan de recherche établi a priori est-il fourni ? <i>Commentaires : La question de recherche et critères d'inclusion sont déterminés avant le début de la revue, mais il n'y a pas approbation d'un comité d'éthique.</i>		×		
2	La sélection des études et l'extraction des données ont-ils été confiés à au moins deux personnes ? <i>Commentaires : Le travail de fin d'étude est un travail individuel</i>		×		
3	La recherche documentaire était-elle exhaustive ? <i>Commentaires : 2 source électronique ont été utilisée : Pubmed et Pedro. Les mots clefs sont exposés, et tables des matières de revues de littérature récentes consultées. Mais les avis d'expert et littérature grise n'ont pas été consultés.</i>		×		
4	La nature de la publication (littérature grise, par exemple) était-elle un critère d'inclusion ? <i>Commentaires : Les revues de littératures ont été exclues de cette revue</i>		×		
5	Une liste des études (incluses et exclues) est-elle fournie ? <i>Commentaires : La liste des études incluses et exclues est fournie en annexe</i>	×			
6	Les caractéristiques des études incluses sont-elles indiquées ? <i>Commentaires : Les données démographiques des études incluses sont regroupées sous forme de tableau</i>	×			
7	La qualité scientifique des études incluses a-t-elle été évaluée et consignée ? <i>Commentaires : La validité interne des études a été évaluée.</i>	×			
8	La qualité scientifique des études incluses dans la revue a-t-elle été utilisée adéquatement dans la formulation des conclusions ? <i>Commentaires : La qualité des études incluses a été prise en compte dans les conclusions de cette étude</i>	×			
9	Les méthodes utilisées pour combiner les résultats des études sont-elles appropriées ? <i>Commentaires : Les tests d'homogénéité ont été faits dans les Forest Plot</i>	×			
10	La probabilité d'un biais de publication a-t-elle été évaluée ? <i>Commentaires : Il n'y a pas d'outils graphiques associés à des tests statistiques dans cette revue de littérature.</i>		×		
11	Les conflits d'intérêt ont-ils été déclarés ? <i>Commentaires : les conflits d'intérêt sont déclarés en 4.4</i>	×			

Figure 28 Grille AMSTAR de cette revue de littérature

Il y a plusieurs limites à la validité cette méta-analyse. D'abord, le nombre insuffisant d'articles inclus. En effet, 3 articles semblent insuffisants pour pouvoir tirer des conclusions sur une pratique clinique, notamment à cause du nombre insuffisant de patients ayant participé. Également, de nombreux critères ne sont pas analysables faute d'articles, comme par exemple l'effet prolongé du TENS sur la spasticité, ou l'effet du TENS sur les autres muscles que les fléchisseurs plantaires. De plus, les articles inclus dans cette méta-analyse

¹² https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/DocuMetho/Amstar_FR_21012015.pdf

sont hétérogènes et donc ne sont pas comparables en tout point, puisque les groupes contrôles, réglages du TENS, échelles de mesures ne sont pas toujours identiques. Les autres essais cliniques randomisés non inclus à la méta-analyse n'ont pas une bonne validité interne ou bien des résultats non interprétables. Les deux séries de cas ont par définition une faible puissance des résultats puisqu'il n'y a pas de groupe contrôle.

Également, la grille AMSTAR nous montre que cette revue de littérature comporte des biais méthodologiques, en partie dus au fait que cette revue est un travail de fin d'études.

5 Conclusion

Limitations de cette revue de littérature

Cette revue de littérature cible la réduction de spasticité et non pas l'impact fonctionnel et l'impact sur la qualité de vie qui pourraient être associés à l'amélioration de la spasticité. De plus, cette revue n'inclut pas la littérature grise, il peut ainsi exister d'autres articles sur le sujet. Également, cette revue inclut un nombre insuffisant d'articles pour chaque technique étudiée, cela limite la puissance des résultats analysés. Ces articles ont par ailleurs une forte hétérogénéité, un nombre faible de patients inclus, et une validité interne variable. Cette revue comporte enfin des biais méthodologiques étant donné que c'est un travail fait dans le cadre d'un mémoire de fin d'étude d'étudiant.

Implications pour la pratique clinique

Les résultats montrent que la technique du TENS pour réduire à court terme la spasticité du triceps sural peut être utilisée en pratique clinique chez le patient blessé médullaire. Les articles inclus n'étudient pas les effets à moyen et long terme, et l'effet sur les autres muscles que le triceps sural.

Les modalités de TENS étudiés dans cette étude sont que :

- Une séance unique ou plusieurs séances ont le même effet sur la spasticité
- Le TENS utilisé seul est plus efficace que lorsqu'il est utilisé en tant que technique adjuvante
- Une séance de TENS et un traitement au Baclofen pendant 2 semaines ont le même effet sur la spasticité

Les résultats et validité interne des études concernant les techniques de TSCS et TDCS pour réduire la spasticité chez le blessé médullaire sont encourageants mais insuffisants pour valider leur utilisation en pratique clinique.

Implications pour la recherche

Les techniques de TENS, TSCS, TDCS étudiées dans cette revue nécessitent des recherches complémentaires. Du point de vue de la recherche, davantage d'essais cliniques randomisés de bonne validité interne doivent être menés afin d'étudier des résultats sur un plus grand nombre de participants. Ces essais cliniques doivent idéalement être comparables entre eux donc avec groupe contrôle similaire (stimulation placebo par exemple), réglages et échelle de mesure identiques. Les résultats doivent être mesurés à court, moyen et long terme afin de pouvoir préciser la durée des effets mesurés. Également, les études à venir devront étudier l'effet du TENS sur la spasticité des autres muscles notamment le quadriceps, les adducteurs. Il serait intéressant que les futures études intègrent une mesure de gain fonctionnel (la marche, par exemple), et une échelle de qualité de vie. Également, des études diagnostiques doivent être réalisées sur la validité des échelles de mesure utilisées pour mesurer la spasticité.

6 Bibliographie

- [1] C. Trompetto *et al.*, « Pathophysiology of Spasticity: Implications for Neurorehabilitation », *BioMed Res. Int.*, vol. 2014, p. 1-8, 2014, doi: 10.1155/2014/354906.
- [2] P. Marque et D. Brassat, « Physiopathologie de la spasticité », *Rev. Neurol. (Paris)*, vol. 168, p. S36-S44, avr. 2012, doi: 10.1016/S0035-3787(12)70045-0.
- [3] J. Lorentzen, M. Pradines, J.-M. Gracies, et J. Bo Nielsen, « On Denny-Brown's 'spastic dystonia' – What is it and what causes it? », *Clin. Neurophysiol.*, vol. 129, n^o 1, p. 89-94, janv. 2018, doi: 10.1016/j.clinph.2017.10.023.
- [4] L. Harvey et D. Graves, « International Standards for the Neurological Classification of Spinal Cord Injury », *J. Physiother.*, vol. 57, n^o 2, p. 129, 2011, doi: 10.1016/S1836-9553(11)70027-3.
- [5] J. T. Hsieh *et al.*, « Spasticity Following Spinal Cord Injury », p. 135.
- [6] S. M. Elbasiouny, D. Moroz, M. M. Bakr, et V. K. Mushahwar, « Management of Spasticity After Spinal Cord Injury: Current Techniques and Future Directions », *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 24, n^o 1, p. 23-33, janv. 2010, doi: 10.1177/1545968309343213.
- [7] J. M. Ccfp et K. Ryan, « Démythifier la spasticité en première ligne », p. 7.
- [8] S. Kai et K. Nakabayashi, « Evoked EMG Makes Measurement of Muscle Tone Possible by Analysis of the H/M Ratio », in *Electrodiagnosis in New Frontiers of Clinical Research*, Dr. H. Turker, Éd. InTech, 2013.
- [9] S. Morris, « Ashworth And Tardieu Scales: Their Clinical Relevance For Measuring Spasticity In Adult And Paediatric Neurological Populations », *Phys. Ther. Rev.*, vol. 7, n^o 1, p. 53-62, mars 2002, doi: 10.1179/108331902125001770.
- [10] U. S. Hofstoetter *et al.*, « Transcutaneous Spinal Cord Stimulation Induces Temporary Attenuation of Spasticity in Individuals with Spinal Cord Injury », *J. Neurotrauma*, vol. 37, n^o 3, p. 481-493, févr. 2020, doi: 10.1089/neu.2019.6588.
- [11] A. Mahmood, S. K. Veluswamy, A. Hombali, A. Mullick, M. N, et J. M. Solomon, « Effect of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation on Spasticity in Adults With Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis », *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 100, n^o 4, p. 751-768, avr. 2019, doi: 10.1016/j.apmr.2018.10.016.

- [12] S. P. Estes, J. A. Iddings, et E. C. Field-Fote, « Priming Neural Circuits to Modulate Spinal Reflex Excitability », *Front. Neurol.*, vol. 8, févr. 2017, doi: 10.3389/fneur.2017.00017.
- [13] A. Megía García, D. Serrano-Muñoz, J. Taylor, J. Avendaño-Coy, et J. Gómez-Soriano, « Transcutaneous Spinal Cord Stimulation and Motor Rehabilitation in Spinal Cord Injury: A Systematic Review », *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 34, n° 1, p. 3-12, janv. 2020, doi: 10.1177/1545968319893298.
- [14] B. Aree-uea *et al.*, « Reduction of Spasticity in Cerebral Palsy by Anodal Transcranial Direct Current Stimulation », vol. 97, n° 9, p. 9, 2014.
- [15] H. Matsumoto et Y. Ugawa, « Adverse events of tDCS and tACS: A review », *Clin. Neurophysiol. Pract.*, vol. 2, p. 19-25, 2017, doi: 10.1016/j.cnp.2016.12.003.
- [16] A. Sivaramakrishnan, J. M. Solomon, et N. Manikandan, « Comparison of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and functional electrical stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury - A pilot randomized cross-over trial », *J. Spinal Cord Med.*, vol. 41, n° 4, p. 397-406, juill. 2018, doi: 10.1080/10790268.2017.1390930.
- [17] W. M. Oo, « Efficacy of Addition of Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation to Standardized Physical Therapy in Subacute Spinal Spasticity: A Randomized Controlled Trial », *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 95, n° 11, p. 2013-2020, nov. 2014, doi: 10.1016/j.apmr.2014.06.001.
- [18] B. Ping Ho Chung et B. Kam Kwan Cheng, « Immediate effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on spasticity in patients with spinal cord injury », *Clin. Rehabil.*, vol. 24, n° 3, p. 202-210, mars 2010, doi: 10.1177/0269215509343235.
- [19] G. Aydn, S. Tomruk, I. Kele??, S. ??zbudak Demir, et S. Orkun, « Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Versus Baclofen in Spasticity:: Clinical and Electrophysiologic Comparison », *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 84, n° 8, p. 584-592, août 2005, doi: 10.1097/01.phm.0000171173.86312.69.
- [20] U. S. Hofstoetter *et al.*, « Effects of transcutaneous spinal cord stimulation on voluntary locomotor activity in an incomplete spinal cord injured individual », *Biomed. Eng. Biomed. Tech.*, janv. 2013, doi: 10.1515/bmt-2013-4014.

7 Annexes

Liste des abréviations

AVC : accident vasculaire cérébral
 TENS : Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation
 TSCS : Transcutaneous Spinal Cord Stimulation
 TDCS : Transcranial Direct Current Stimulation
 FES : Functional Electrical Stimulation
 FNM : Fuseau Neuro Musculaire
 OTG : Organe Tendineux de Golgi
 EMG : ElectroMyoGramme
 AS : Ashworth Scale
 MAS : Modified Ashworth Scale
 PSFS : Penn Spasm Frequency Scale
 SCATS : Spinal Cord Assessment Tool for Spastic reflexes
 VAS : Visual Analogue Scale
 WPT : Wartenberg Pendulum Test
 ECR : Essai clinique Randomisé
 GRADE : Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation

Liste des 219 articles inclus (en blanc) et exclus (en gris) de la recherche sur Pubmed.

Titre	Auteurs
Elicited Finger and Wrist Extension Through Transcutaneous Radial Nerve Stimulation.	Zheng Y
Transcutaneous Spinal Cord Stimulation Induces Temporary Attenuation of Spasticity in Individuals with Spinal Cord Injury	Hofstoetter US
Phenol Neurolysis for Management of Focal Spasticity in the Distal Upper Extremity.	Karri J
Residual descending motor pathways influence spasticity after spinal cord injury.	Sangari S
Effect of electrical stimulation on muscle atrophy and spasticity in patients with spinal cord injury - a systematic review with meta-analysis.	homaz SR
Spasticity and preservation of skeletal muscle mass in people with spinal cord injury.	Cha S
FES Coupled With A Powered Exoskeleton For Cooperative Muscle Contribution In Persons With Paraplegia.	Murray SA
The Effects of Electrical Stimulation Parameters in Managing Spasticity After Spinal Cord Injury: A Systematic Review.	Bekhet AH
Afferent stimulation inhibits abnormal cutaneous reflex activity in patients with spinal cord injury spasticity syndrome	Gómez-Soriano J
Comparison of Single-Session Dose Response Effects of Whole Body Vibration on Spasticity and Walking Speed in Persons with Spinal Cord Injury.	Estes S
Supplemental Stimulation Improves Swing Phase Kinematics During Exoskeleton Assisted Gait of SCI Subjects With Severe Muscle Spasticity.	Ekelem A, Goldfarb M.
Does galvanic vestibular stimulation decrease spasticity in clinically complete spinal cord injury?	Čobeljić RD
Effects of Neuromuscular Electrical Stimulation in People with Spinal Cord Injury.	Bochkezanian V
Mapping and neuromodulation of lower urinary tract function using spinal cord stimulation in female rats	Chang HH
Development of practical functional electrical stimulation cycling systems based on an electromyography study of the Cybathlon 2016.	Arnin J
Assessment of Spasticity by a Pendulum Test in SCI Patients Who Exercise FES Cycling or Receive Only Conventional Therapy.	Popovic-Maneski L
Non-invasive brain stimulation to promote motor and functional recovery following spinal cord injury	Gunduz A
Cadence Tracking and Disturbance Rejection in Functional Electrical Stimulation Cycling for Paraplegic Subjects: A Case Study.	Fonseca LOD
Comparison of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and functional electrical stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury - A pilot randomized cross-over trial	Sivaramakrishnan A
Non-pharmacological interventions for spasticity in adults: An overview of systematic reviews	Khan F
An integrated gait rehabilitation training based on Functional Electrical Stimulation cycling and overground robotic exoskeleton in complete spinal cord injury patients: Preliminary results.	Mazzoleni S
Body System Effects of a Multi-Modal Training Program Targeting Chronic, Motor Complete Thoracic Spinal Cord Injury.	Gant KL
Transcutaneous electrical stimulation of somatic afferent nerves in the foot relieved symptoms related to postoperative bladder spasms.	Zhang C
Practice patterns for spasticity management with phenol neurolysis.	Karri J
Breakthroughs in the spasticity management: Are non-pharmacological treatments the future?	Naro A
Priming Neural Circuits to Modulate Spinal Reflex Excitability.	Estes SP

Genital nerve stimulation is tolerable and effective for bladder inhibition in sensate individuals with incomplete SCI.	Brose SW
Increases in human motoneuron excitability after cervical spinal cord injury depend on the level of injury.	Thomas CK
Epidural and transcutaneous spinal electrical stimulation for restoration of movement after incomplete and complete spinal cord injury.	Mayr W
An ovine model of spinal cord injury.	Wilson S
Short-Term Plasticity in a Monosynaptic Reflex Pathway to Forearm Muscles after Continuous Robot-Assisted Passive Stepping.	Nakajima T
Does therapeutic electrical stimulation improve function in children with disabilities? A comprehensive literature review.	Bosques G
Maintenance of cutaneous muscular neuronal excitability after leg-cycling predicts lower limb muscle strength after incomplete spinal cord injury.	Piazza S
Effect of Dual Therapy with Botulinum Toxin A Injection and Electromyography-controlled Functional Electrical Stimulation on Active Function in the Spastic Paretic Hand.	Tsuchiya M
Biology of Muscle Atrophy and of its Recovery by FES in Aging and Mobility Impairments: Roots and By-Products.	Carraro U
Functional Electrical Stimulation as a Safe and Effective Treatment for Equine Epaxial Muscle Spasms: Clinical Evaluations and Histochemical Morphometry of Mitochondria in Muscle Biopsies.	Ravara B
Transvertebral direct current stimulation paired with locomotor training in chronic spinal cord injury: A case study.	Powell ES
Experiencing Functional Electrical Stimulation Roots on Education, and Clinical Developments in Paraplegia and Tetraplegia With Technological Innovation.	Varoto R
Noninvasive Spinal Cord Stimulation: Technical Aspects and Therapeutic Applications.	Nardone R
Spinal Rhythm Generation by Step-Induced Feedback and Transcutaneous Posterior Root Stimulation in Complete Spinal Cord-Injured Individuals.	Minassian K
Deep anterior cerebellar stimulation reduces symptoms of secondary dystonia in patients with cerebral palsy treated due to spasticity.	Sokal P
Periodic modulation of repetitively elicited monosynaptic reflexes of the human lumbosacral spinal cord.	Hofstoetter US
Facilitation of descending excitatory and spinal inhibitory networks from training of endurance and precision walking in participants with incomplete spinal cord injury.	Zewdie ET
It takes two: noninvasive brain stimulation combined with neurorehabilitation.	Page SJ
The effect of functional electrical stimulation cycling on late functional improvement in patients with chronic incomplete spinal cord injury.	Yaşar E
Electrical stimulation and motor recovery.	Young W.
Botulinum toxin injection techniques for the management of adult spasticity.	Walker HW
A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: Effects on walking competency.	Kapadia N
[Functional neurosurgery for spasticity].	Ayuzawa S
Trigemino-cervical reflex in spinal cord injury.	Gündüz A
High-frequency transcutaneous electrical nerve stimulation alleviates spasticity after spinal contusion by inhibiting activated microglia in rats.	Hahm SC
Functional electrical stimulation and spinal cord injury.	Ho CH
Spinal cord injury rehabilitation: which way forward?	Karimi M
Efficacy of addition of transcutaneous electrical nerve stimulation to standardized physical therapy in subacute spinal spasticity: a randomized controlled trial.	Oo WM.
Hybrid gait training with an overground robot for people with incomplete spinal cord injury: a pilot study.	Del-Ama AJ
Recovery of neuronal and network excitability after spinal cord injury and implications for spasticity.	D'Amico JM
Four weeks of functional electrical stimulated cycling after spinal cord injury: a clinical cohort study.	Kuhn D
Implanted neuroprosthesis for restoring arm and hand function in people with high level tetraplegia.	Memberg WD
Does patterned afferent stimulation of sacral dermatomes suppress urethral sphincter reflexes in individuals with spinal cord injury?	McCain JL
Trans-spinal direct current stimulation alters muscle tone in mice with and without spinal cord injury with spasticity.	Ahmed Z.
Clinical assessment of spasticity in individuals with spinal cord injury.	Tancredo JR
Functional electrical stimulation cycling has no clear effect on urine output, lower limb swelling, and spasticity in people with spinal cord injury: a randomised cross-over trial.	Ralston KE
FES-cycling training in spinal cord injured patients.	Mazzoleni S
Lower extremity functional electrical stimulation cycling promotes physical and functional recovery in chronic spinal cord injury.	Sadowsky CL
Modification of spasticity by transcutaneous spinal cord stimulation in individuals with incomplete spinal cord injury.	Hofstoetter US
Selective effects of baclofen on use-dependent modulation of GABAB inhibition after tetraplegia.	Barry MD
Human spinal cord injury: motor unit properties and behaviour.	Thomas CK
Alterations in body composition and spasticity following subtetanic neuromuscular electrical stimulation training in spinal cord injury.	Carty A
Challenges and opportunities in restoring function after paralysis.	Peckham PH
Breathing-controlled Electrical Stimulation (BreESim) for management of neuropathic pain and spasticity.	Li S
Recovery of assisted overground stepping in a patient with chronic motor complete spinal cord injury: a case report.	Murillo N
Spinal cord stimulation: therapeutic benefits and movement generation after spinal cord injury.	Tator CH
Advances in the rehabilitation management of acute spinal cord injury.	Ditunno JF

A comparison of closed-loop control algorithms for regulating electrically stimulated knee movements in individuals with spinal cord injury.	Lynch CL
Neuromuscular electrical stimulation-assisted grasp training and restoration of function in the tetraplegic hand: a case series.	Martin R
Somatosympathetic Vasoconstrictor Reflexes in Human Spinal Cord Injury: Responses to Innocuous and Noxious Sensory Stimulation below Lesion.	Macefield VG
Function of group IB inhibition during assisted stepping in human spinal cord injury.	Knikou M
Monitoring of spasticity and functional ability in individuals with incomplete spinal cord injury with a functional electrical stimulation cycling system.	Reichenfeller W
A report of anticipated benefits of functional electrical stimulation after spinal cord injury.	Gorgey AS
Neuromodulation of lower limb motor control in restorative neurology.	Minassian K
Non-invasive neuromuscular electrical stimulation in patients with central nervous system lesions: an educational review.	Schuhfried O
Surgical restoration of arm and hand function in people with tetraplegia.	Bryden AM
Treatment of rat spinal cord injury with the neurotrophic factor albumin-oleic acid: translational application for paralysis, spasticity and pain.	Avila-Martin G
Do additional inputs change maximal voluntary motor unit firing rates after spinal cord injury?	Zijdewind I
The effect of electrical passive cycling on spasticity in war veterans with spinal cord injury.	Rayegani SM
Reduced reciprocal inhibition during assisted stepping in human spinal cord injury.	Knikou M
Including nonideal behavior in simulations of functional electrical stimulation applications.	Lynch CL
Axonal integrity of corticospinal projections to the upper limbs in patients with pure hereditary spastic paraplegia.	Lang N
Amplifier design for EMG recording from stimulation electrodes during functional electrical stimulation leg cycling ergometry.	Shalaby R
Effect of intrathecal baclofen, botulinum toxin type A and a rehabilitation programme on locomotor function after spinal cord injury: a case report.	Santamato A
New strategies of pelvic nerves stimulation for recovery of pelvic visceral functions and locomotion in paraplegics.	Possover M
Immediate effect of transcutaneous electrical nerve stimulation on spasticity in patients with spinal cord injury.	Ping Ho Chung B
Effects of baclofen on motor units paralysed by chronic cervical spinal cord injury.	Thomas CK
Strategies to restore motor functions after spinal cord injury.	Boulenguez P
Intrathecal administration of GABA agonists in the vegetative state.	Taira T.
Management of spasticity after spinal cord injury: current techniques and future directions.	Elbasiouny SM
Flexor reflex decreases during sympathetic stimulation in chronic human spinal cord injury.	Garrison MK
FES-propelled cycling of SCI subjects with highly spastic leg musculature.	Szecs J
Screening and habituation of functional electrical stimulation-leg cycle ergometry for individuals with spinal cord injury: a pilot study.	Tawashy AE
Non-pharmacological treatment and prevention of bone loss after spinal cord injury: a systematic review.	Biering-Sørensen F
The sacral LION procedure for recovery of bladder/rectum/sexual functions in paraplegic patients after explantation of a previous Finetech-Brindley controller.	Possover M
Changes in spastic muscle tone increase in patients with spinal cord injury using functional electrical stimulation and passive leg movements.	Krause P
Selective activation of muscle and skin nociceptors does not trigger exaggerated sympathetic responses in spinal-injured subjects.	Burton AR
Changes in sensory-evoked synaptic activation of motoneurons after spinal cord injury in man.	Norton JA
Post-activation depression of soleus stretch reflexes in healthy and spastic humans.	Grey MJ
Dorsal rhizotomy combined with anterior sacral root stimulation for neurogenic bladder.	Vignes JR
The importance of neurorehabilitation to the outcome of neuromodulation in spasticity.	Petropoulou KB
Modulation of motoneuronal firing behavior after spinal cord injury using intraspinal microstimulation current pulses: a modeling study.	Elbasiouny SM
Bone adaptation to altered loading after spinal cord injury: a study of bone and muscle strength.	Rittweger J
Hip-phase-dependent flexion reflex modulation and expression of spasms in patients with spinal cord injury.	Knikou M.
Posterior root-muscle reflexes elicited by transcutaneous stimulation of the human lumbosacral cord.	Minassian K
AACPDM systematic review of the effectiveness of therapy for children with cerebral palsy after botulinum toxin A injections.	Lannin N,
Comparison of electric stimulation methods for reduction of triceps surae spasticity in spinal cord injury.	van der Salm A
Depression of involuntary activity in muscles paralyzed by spinal cord injury.	Butler JE
Effect of electrical stimulation of hamstrings and L3/4 dermatome on gait in spinal cord injury.	van der Salm A
Effect of penile vibratory stimulation on spasticity in men with spinal cord injury.	Alaca R
Abdominal electric stimulation facilitates penile vibratory stimulation for ejaculation after spinal cord injury: a single-subject trial.	Goetz LL
Transcutaneous electrical nerve stimulation versus baclofen in spasticity: clinical and electrophysiologic comparison.	Aydin G
The use of hydrotherapy for the management of spasticity.	Kesiktas N
Gait analysis in children and adolescents with spinal cord injuries.	Smith PA
Clinical applications of electrical stimulation after spinal cord injury.	Creasey GH
Degradation of neuronal function following a spinal cord injury: mechanisms and countermeasures.	Dietz V
Contribution of muscle afferents to prolonged flexion withdrawal reflexes in human spinal cord injury.	Hornby TG
Stepping-like movements in humans with complete spinal cord injury induced by epidural stimulation of the lumbar cord: electromyographic study of compound muscle action potentials.	Minassian K
Spastic long-lasting reflexes in the awake rat after sacral spinal cord injury.	Bennett DJ

Spastic long-lasting reflexes of the chronic spinal rat studied in vitro.	Li Y
Preliminary observations of a synergistic bladder-sphincter relationship following spinal cord injury in a quadruped animal.	Walter JS
Forces consistent with plateau-like behaviour of spinal neurons evoked in patients with spinal cord injuries.	Nickolls P
Long-term user perceptions of an implanted neuroprosthesis for exercise, standing, and transfers after spinal cord injury.	Agarwal S
[Physiotherapy for spasticity].	Albert T
Pain and rehabilitation after spinal cord injury: the case of sensory spasticity?	Sjölund BH.
Appearance of reciprocal facilitation of ankle extensors from ankle flexors in patients with stroke or spinal cord injury.	Crone C
Windup of flexion reflexes in chronic human spinal cord injury: a marker for neuronal plateau potentials?	Hornby TG
Spinally generated electromyographic oscillations and spasms in a low-thoracic complete paraplegic.	Norton JA
Implantable devices for pain control: spinal cord stimulation and intrathecal therapies.	Krames E.
TENS attenuates response to colon distension in paraplegic and quadriplegic rats.	Collins HL
Reflex effects of induced muscle contraction in normal and spinal cord injured subjects.	Knikou M
Excessive reflexes in spinal cord injury triggered by electrical stimulation.	Mela P
Spinal cord stimulation facilitates functional walking in a chronic, incomplete spinal cord injured.	Herman R
Effects of functional electrical stimulation training for six months on body composition and spasticity in motor complete tetraplegic spinal cord-injured individuals.	Sköld C
Physiologic bladder evacuation with selective sacral root stimulation: sinusoidal signal and organ-specific frequency.	Sievert KD
Electrical stimulation in spinal cord injury.	Sadowsky CL.
Test bed with force-measuring crank for static and dynamic investigations on cycling by means of functional electrical stimulation.	Gföhler M
Neural prostheses.	Prochazka A
Electrical stimulation for modulation of spasticity in hemiplegic and spinal cord injury subjects.	Alfieri V.
Epidural electrical stimulation of posterior structures of the human lumbosacral cord: 3. Control Of spasticity.	Pinter MM
Analysis of passive elastic joint moments in paraplegics.	Edrich T
Focus on current research: improving the mobility of paraplegic patients.	Dietz V.
From spinal shock to spasticity: neuronal adaptations to a spinal cord injury.	Hiersemenzel LP
Restoration of bladder function in spastic neuropathic bladder using sacral deafferentation and different techniques of neurostimulation.	Schumacher S
Effects of intrathecal clonidine injection on spinal reflexes and human locomotion in incomplete paraplegic subjects.	Rémy-Néris O
Problems associated with FES-standing in paraplegia.	Bajd T
Model-based development of neuroprosthesis for paraplegic patients.	Riener R.
Optimal control of walking with functional electrical stimulation: a computer simulation study.	Popović D
Spasticity in rats with sacral spinal cord injury.	Bennett DJ
Bone fracture during electrical stimulation of the quadriceps in a spinal cord injured subject.	Hartkopp A
Functional neuromuscular stimulator for short-distance ambulation by certain thoracic-level spinal-cord-injured paraplegics.	Graupe D
Can muscle models improve FES-assisted walking after spinal cord injury?	Bobet J.
Alteration in rate modulation of reflexes to lumbar motoneurons after midthoracic spinal cord injury in the rat. I. Contusion injury.	Thompson FJ
[Value of functional electrostimulation in patients with paraplegia].	Hesse S
Epidural spinal cord stimulation for the control of spasticity in spinal cord injury patients lacks long-term efficacy and is not cost-effective.	Midha M
Feedback control of unsupported standing in paraplegia--part I: optimal control approach.	Hunt KJ
Treatment of external urethral sphincter hypertonicity by pudendal nerve block using phenol solution in patients with spinal cord injury.	Ko HY
Physiologic responses during functional electrical stimulation leg cycling and hybrid exercise in spinal cord injured subjects.	Mutton DL
Reciprocating gait orthosis powered with electrical muscle stimulation (RGO II). Part II: Medical evaluation of 70 paraplegic patients.	Solomonow M
Reciprocating gait orthosis powered with electrical muscle stimulation (RGO II). Part I: Performance evaluation of 70 paraplegic patients.	Solomonow M
Experience of clinical use of the Odstock dropped foot stimulator.	Burridge J
Comparison of simulation and experiments of different closed-loop strategies for functional electrical stimulation: experiments in paraplegics.	Quintern J
Spinal cord stimulation: a quarter century of development and investigation. A review of its development and effectiveness in 1,336 cases.	Waltz JM.
Therapeutic neural effects of electrical stimulation.	Daly JJ
Effects of transcuteaneous electrical nerve stimulation on H-reflex and spinal spasticity.	Goulet C
Estimating mechanical parameters of leg segments in individuals with and without physical disabilities.	Stein RB
[Elbow contracture caused by increased tonus of the flexor muscles].	Glaesener JJ
[A case of spasticity following spinal cord injury improved by epidural spinal cord stimulation].	Nomura Y
Epidural spinal cord stimulation in the management of spasms in spinal cord injury: a prospective study.	Barolat G
Spinal cord stimulation in the treatment of paraplegic pain.	Cioni B
The quantitative measurement of spasticity: effect of cutaneous electrical stimulation.	Seib TP
Hyperselective posterior rhizotomy in treatment of spasticity of paralytic limbs.	Xu L
[Hyperselective posterior rhizotomy in the treatment of spasticity of paralytic limbs].	Xu L
The role of functional electrical stimulation in the rehabilitation of patients with incomplete spinal cord injury-observed benefits during gait studies.	Granat MH

Long-term use of computerized bicycle ergometry for spinal cord injured subjects.	Sipski ML
Inhibiting the hyperreflexic bladder with electrical stimulation in a spinal animal model.	Walter JS
Surface and epidural lumbosacral spinal cord evoked potentials in chronic spinal cord injury.	Stětkárová I
Segmental recovery of amino acid neurotransmitters during posterior epidural stimulation after spinal cord injury.	Simpson RK Jr
Effect of functional neuromuscular stimulation on anterior tibial compartment pressure.	Doyle J
Optimal stimulation of paralyzed muscle after human spinal cord injury.	Stein RB
Functional electrical stimulation and suppression of spasticity following spinal cord injury.	Ragnarsson KT
Neuromuscular stimulation in spinal cord injury. II: Prevention of secondary complications.	Yarkony GM
Upper extremity applications of functional neuromuscular stimulation.	Billian C
Rehabilitation in spinal cord disorders. 3. Comprehensive management of spinal cord injury.	Closson JB
Adaptive control of functional neuromuscular stimulation-induced knee extension exercise.	Ezenwa BN
[Surgical treatment of spastic bladder paralysis in paraplegic patients. Sacral deafferentation with implantation of a sacral anterior root stimulator].	Sauerwein D.
Neural stimulation for spinal spasticity.	Kanaka TS
Use of functional electrical stimulation in the rehabilitation of patients with incomplete spinal cord injuries.	Bajd T
Spasticity in spinal cord injured patients: 2. Initial measures and long-term effects of surface electrical stimulation.	Robinson CJ
Spasticity in spinal cord injured patients: 1. Short-term effects of surface electrical stimulation.	Robinson CJ
Femoral obturator and sciatic neurectomy with iliocostalis and psoas muscle section for spasticity following spinal cord injury.	Benzel EC
Treatment of spinal spasticity by electrical stimulation.	Franek A
Surgical management of spasticity and spasms in spinal cord injury: an overview.	Barolat G.
Electrical stimulation for control of paralysis and therapy of abnormal movements.	Vodovnik L
Microsurgical procedures in the peripheral nerves and the dorsal root entry zone for the treatment of spasticity.	Sindou M
Spinal cord stimulation for amelioration of spasticity: experimental results.	Maiman DJ
Spinal cord stimulation and motor disorders.	Waltz JM
[Effect of stimulation of the sensory nucleus of the thalamus on dyskinesia and spasticity].	Siegfried J.
Spinal cord stimulation for the control of spasticity in patients with chronic spinal cord injury: II. Neurophysiologic observations.	Dimitrijevic MR
Spinal cord stimulation for the control of spasticity in patients with chronic spinal cord injury: I. Clinical observations.	Dimitrijevic MM
Effect of electric stimulation by our method on changes in selected clinical parameters in patients with spasticity in cases of paresis caused by spinal cord injury.	Franek A
Temporary suppression of clonus in humans by brief photostimulation.	Walker JB.
Electrical stimulation in treating spasticity resulting from spinal cord injury.	Bajd T
Immediate effects of spinal cord stimulation in spinal spasticity.	Barolat-Romana G
Activation of paraplegic patients by functional electrical stimulation: training and biomechanical evaluation.	Braun Z
Electrical stimulation of the conus medullaris for bladder emptying in a paraplegic.	Carlsson CA
[Our experiences of PISCES (percutaneously inserted spinal cord electrical stimulation) in SMON and other neurologic disorders].	Tani S
Effects of electrical stimulation on spinal spasticity.	Vodovnik L
Rehabilitation following brain damage: some neurophysiological mechanisms. The effects of repetitive stimulation in recovery from damage to the central nervous system.	Illis LS.
Clinical evaluation of the effect of spinal cord stimulation on motor performance in patients with upper motor neuron lesions.	Campos RJ
Dantrolene sodium: a review of its pharmacological properties and therapeutic efficacy in spasticity.	Pinder RM
Electrical stimulation of the conus medullaris in the paraplegic. A 5-year review.	Nashold BS
Application of engineering principles in management of spinal cord injured patients.	Reswick JB

RÉSUMÉ

Introduction/Objectifs : La spasticité, symptôme fréquemment retrouvé chez les patients blessés médullaires, peut réduire l'indépendance fonctionnelle du sujet. Cette revue propose d'étudier les techniques de neuromodulation TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation), TSCS (Transcutaneous Spinal Cord Stimulation), TDCS (Transcranial Direct Current Stimulation) sur la spasticité du sujet blessé médullaire.

Méthodologie de recherche : Les bases de données utilisées pour sélectionner les articles sont PubMed, PEDro. Les études pour être incluses doivent respecter les critères suivants : étudier les effets d'une des techniques TENS, TSCS, TDCS ; inclure des sujets blessés médullaires adultes spastiques ; présenter une évaluation clinique de la spasticité avant et après intervention. Les risques de biais des articles sélectionnés sont évalués selon les échelles Pedro et Joanna Briggs.

Résultats : Pour la technique TENS, 4 articles totalisant 65 participants sont inclus. Les résultats montrent qu'une séance de TENS est efficace pour réduire la spasticité à court terme du muscle triceps sural. Pour les techniques TSCS et TDCS, 3 articles sont inclus, soit 25 participants. Les résultats montrent qu'une séance de TSCS ou de TDCS permet de diminuer à court terme la spasticité du quadriceps.

Discussion : Le TENS est recommandé en pratique clinique par une gradation B (présomption scientifique) et le TSCS et TDCS par une gradation C (faible niveau de preuve). De par le faible nombre d'études, les biais des études incluses et les biais de cette présente revue, il est nécessaire de continuer les recherches à ce sujet.

Mots clefs : neuromodulation, TENS, TSCS, TDCS, spasticité, blessé médullaire

ABSTRACT

Introduction : Spasticity is a symptom frequently found in patients with spinal cord injuries. It can cause a reduction in functional independence. This systematic review studies the effects of 3 neuromodulation techniques on spasticity among these patients : TENS (Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation), TSCS (Transcutaneous Spinal Cord Stimulation) and TDCS (Transcranial Direct Current Stimulation).

Methodology : PubMed and PEDro databases were used for the research. Studies were included if they respected the following inclusion criteria : study of the TENS, TSCS or TDCS techniques ; adults with spinal cord injury and spasticity; clinical evaluation of spasticity before and after intervention. PEDro and Joanna Briggs scales were applied to test risk of bias of the selected articles.

Results : In order to study TENS, 4 articles on 65 patients were selected. Results show that a single TENS session is effective in reducing short-term spasticity on the sural triceps. About TSCS and TDCS, 3 articles were included. Results show that a single session of TSCS or TDCS reduces short-term spasticity on the quadriceps.

Discussion : TENS is recommended for clinical use with a grade B recommendation (scientific presumption), TSCS or TDCS with a grade C recommendation (low scientific evidence). The insufficient number of articles included, bias in these articles and in the present revue indicates that further scientific research on the subject is needed.

Keywords : neuromodulation, TENS, TSCS, TDCS, spasticity, spinal cord injury