

A eletroestimulação em pessoas com lesão medular melhora a locomoção? Revisão Sistemática

Does electrostimulation in people with spinal cord injury improve locomotion? Systematic Review

¿la electroestimulación en personas con lesión medular mejora la locomoción? Revisión Sistemática

Renan Maués dos Santos¹, Beatriz Brito Gomes²,
Bruna Castro Malato³, Brenno Ribeiro Braz⁴,
Hugo Miranda de Souza Coroa⁵, Anselmo de Athayde Costa e Silva⁶,
Suellen Alessandra Soares de Moares⁷

1.Fisioterapeuta, aluno do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0172-9699>

2.Fisioterapeuta, aluna do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0337-4537>

3.Acadêmica de Fisioterapia, Faculdade de Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-3159-0431>

4.Acadêmico de Fisioterapia, Faculdade de Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-7849-7188>

5.Acadêmico de Fisioterapia, Faculdade de Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-1602-9380>

6.Professor de Educação Física, docente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5265-619X>

7.Fisioterapeuta, docente do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano, Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8616-6885>

Resumo

Introdução. A Lesão da Medula Espinal (LME) resulta na interrupção da comunicação nervosa das vias sensoriais e/ou motoras que conectam a medula com a periferia do corpo comprometendo a locomoção. A estimulação elétrica funcional (EEF) realizada nos membros inferiores apresenta potencial para promover melhorias na locomoção em pessoas com LME.

Objetivos. Identificar se a utilização da EEF em pessoas com LME melhora aspectos relacionados à locomoção, bem como os parâmetros utilizados. **Método.** Esta revisão sistemática seguiu o protocolo PRISMA e foi realizada nas bases de dados MEDLINE, PEDro, Scielo e Science Direct através de descritores em inglês. A qualidade metodológica foi avaliada pela *Physiotherapy Evidence Database* (PEDro). Foram obtidos 280 artigos, publicados entre 1980 e 2023, porém após triagem, apenas 11 foram incluídos. **Resultados.** Há muita heterogeneidade entre as amostras e número de participantes, o que limita o uso de análises mais robustas, sendo assim, os resultados sugerem que todos os estudos apresentaram melhora em aspectos clínicos de avaliação, sendo apenas uma melhora estatisticamente significativa em seis deles, de modo que em um não houve superioridade para os desfechos quanto ao uso do FES. Os instrumentos mais utilizados nas análises compreenderam a velocidade da marcha e o teste de caminhada de 10m. Quanto aos parâmetros da EEF, eles variaram de 20 a 50Hz de frequência e de 200 a 500µs de tempo de pulso. **Conclusão.** A EEF pode contribuir para a melhora da VM em indivíduos com LME, especialmente quando associada ao treino locomotor com suporte de peso.

Unitermos. Reabilitação; Pessoa com Deficiência Física; Lesão da Medula Espinal; Estimulação Elétrica; Marcha

Abstract

Introduction. Spinal Cord Injury (SCI) is a serious clinical condition resulting in the interruption of nervous communication in the sensory and/or motor pathways that connect the spinal cord with the periphery of the body, compromising locomotion. Functional electrical stimulation (FES) performed on the lower limbs has the potential to promote gait restoration in people with SCI. **Objectives.** Identify the effects of FES on locomotion in individuals with SCI, as well as the main parameters for its application in treatment. **Method.** This systematic review followed the PRISMA protocol and was carried out in the MEDLINE, PEDro, Scielo and Science Direct databases using descriptors in English. The methodological quality was assessed by the Physiotherapy Evidence Database (PEDro). A total of 280 articles published between 1980 and 2023 were obtained, but after screening, only 11 were included. **Results.** There is a lot of heterogeneity between the samples and number of participants, which limits the use of more robust analyses, therefore, the results suggest that all studies showed improvements in clinical aspects of evaluation, with only one statistically significant improvement in six of them, so that in one there was no superiority for the outcomes regarding the use of FES. The instruments most used in the analysis included gait speed and the 10m walk test. As for the EEF parameters, they range from 20 to 50Hz in frequency and from 200 to 500 μ s in pulse time. **Conclusion.** FES can contribute to improving MV in individuals with SCI, especially when associated with weight-bearing locomotor training.

Keywords. Rehabilitation; Person with Physical Disability; Spinal Cord Injury; Electrical Stimulation; Gait

RESUMEN

Introducción. La Lesión de la Médula Espinal (LME) es una condición clínica grave que resulta en la interrupción de la comunicación nerviosa en las vías sensoriales y/o motoras que conectan la médula espinal con la periferia del cuerpo, comprometiendo la locomoción. La estimulación eléctrica funcional (FES) realizada en las extremidades inferiores tiene el potencial de promover la restauración de la marcha en personas con LME. **Objetivos.** Identificar los efectos del uso de EEF sobre la locomoción en personas con LME, así como los principales parámetros del uso de este recurso durante el tratamiento. **Método.** Esta revisión sistemática del protocolo PRISMA se realizó en las bases de datos MEDLINE, PEDro, Scielo y *Science Direct* utilizando descriptores en inglés. Se evaluó la calidad metodológica mediante la Base de Datos de Evidencia de Fisioterapia (PEDro). Se obtuvieron 280 artículos, publicados entre 1980 y 2023, pero luego de la selección solo se incluyeron 11. **Resultados.** Existe mucha heterogeneidad entre las muestras y el número de participantes, lo que limita el uso de análisis más sólidos. Por tanto, los resultados sugieren que todos los estudios mostraron mejoras en los aspectos clínicos de la evaluación, con sólo una mejoría estadísticamente significativa en seis de ellos, por lo que en uno no hubo superioridad de los resultados en cuanto al uso de FES. Los instrumentos más utilizados en los análisis fueron la velocidad de marcha y la prueba de caminata de 10m. En cuanto a los parámetros EEF, variaron de 20 a 50Hz en frecuencia y de 200 a 500 μ s en tiempo de pulso. **Conclusión.** EEF puede contribuir a mejorar la VM en personas con LME, especialmente cuando se asocia con entrenamiento locomotor con carga de peso.

Palabras clave. Rehabilitación; Persona con Discapacidad Física; Lesión de la Médula Espinal; Estimulación Eléctrica; Marcha

Trabalho realizado na Universidade Federal do Pará. Belém-PA, Brasil.

Conflito de interesse: não

Recebido em: 17/02/2025

Aceito em: 30/04/2025

Endereço para correspondência: Suellen AS Moraes. Universidade Federal do Pará. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano. Belém-PA, Brasil. Telefone: (91)98131-2696. E-mail: suellen@ufpa.br

INTRODUÇÃO

A Lesão da Medula Espinal (LME) caracteriza-se como um dano que ocorre em algum segmento da medula espinhal e pode causar disfunção motora, sensorial e autônoma¹. Os desfechos clínicos após LME dependem de fatores como a severidade e local da lesão, bem como da integridade sensorial e motora abaixo do nível da lesão, incluindo se a lesão é completa ou incompleta². Mundialmente, cerca de 20,6 milhões de pessoas convivem com a LME, sendo mais prevalente no sexo masculino e tendo como causas principais as quedas e acidentes automobilísticos³.

As LME afetam a qualidade de vida, pois dependendo da localização e gravidade do dano, déficits motores e sensoriais tais como espasticidade, paralisia, atrofia muscular, dor neuropática e distúrbios da marcha podem ser manifestados⁴. Pessoas com LME podem perder total ou parcialmente a capacidade de andar, tornando prioritário o seu ganho de mobilidade e autonomia. Além disso, a alteração da marcha está associada ao desenvolvimento de distúrbios secundários, como desmineralização óssea, atrofia muscular ou infecções do trato urinário⁵. Estes indivíduos apresentam algum grau de melhora na funcionalidade no primeiro ano do processo de reabilitação, com tendência a redução ao longo dos anos⁶. Na fase crônica, indivíduos com marcha residual podem obter ganhos através de treinamento intensivo de marcha associado a outras tecnologias⁷.

Intervenções voltadas para o treino locomotor podem melhorar a funcionalidade após LME incompleta devido ao

estímulo à neuroplasticidade. Entre estas intervenções, a estimulação elétrica funcional (EEF) no membro inferior demonstra potencial para promover melhorias na marcha⁸. A EEF compreende na aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade aos tecidos neuromusculares através de eletrodos na pele ou diretamente nos nervos, e seu uso visa contrações musculares involuntárias e gera movimentos funcionais, como caminhar e andar de bicicleta, além de ser uma abordagem amplamente reconhecida e crucial no processo de reabilitação motora e na melhora da qualidade de vida em indivíduos com deficiências neurológicas⁹.

O uso de EEF no longo prazo tem se mostrado eficaz na no processo de reabilitação funcional de indivíduos com distúrbios de movimento decorrente de acidente vascular cerebral e LME¹⁰. A EEF pode ser prescrita para aumentar a força do músculo, resistência óssea, condicionamento cardiovascular ou auxiliar no ganho de funções¹¹. Além disso, pode fornecer um contexto sensorial favorável ao movimento, ao controle motor e ao recrutamento de fibras musculares para gerar movimento¹².

Destacamos que não há uma revisão abrangente das intervenções de treinamento de marcha focadas na análise da capacidade de caminhada, incluindo variáveis como velocidade e distância entre pessoas com LME¹³. Sendo assim, devido aos possíveis impactos positivos que o uso do EEF pode promover na locomoção de pessoas com LME, esta revisão sistemática (RS) tem como objetivo identificar se a utilização da EEF em pessoas com LME melhora aspectos

relacionados à locomoção, bem como estabelecer os parâmetros utilizados.

MÉTODO

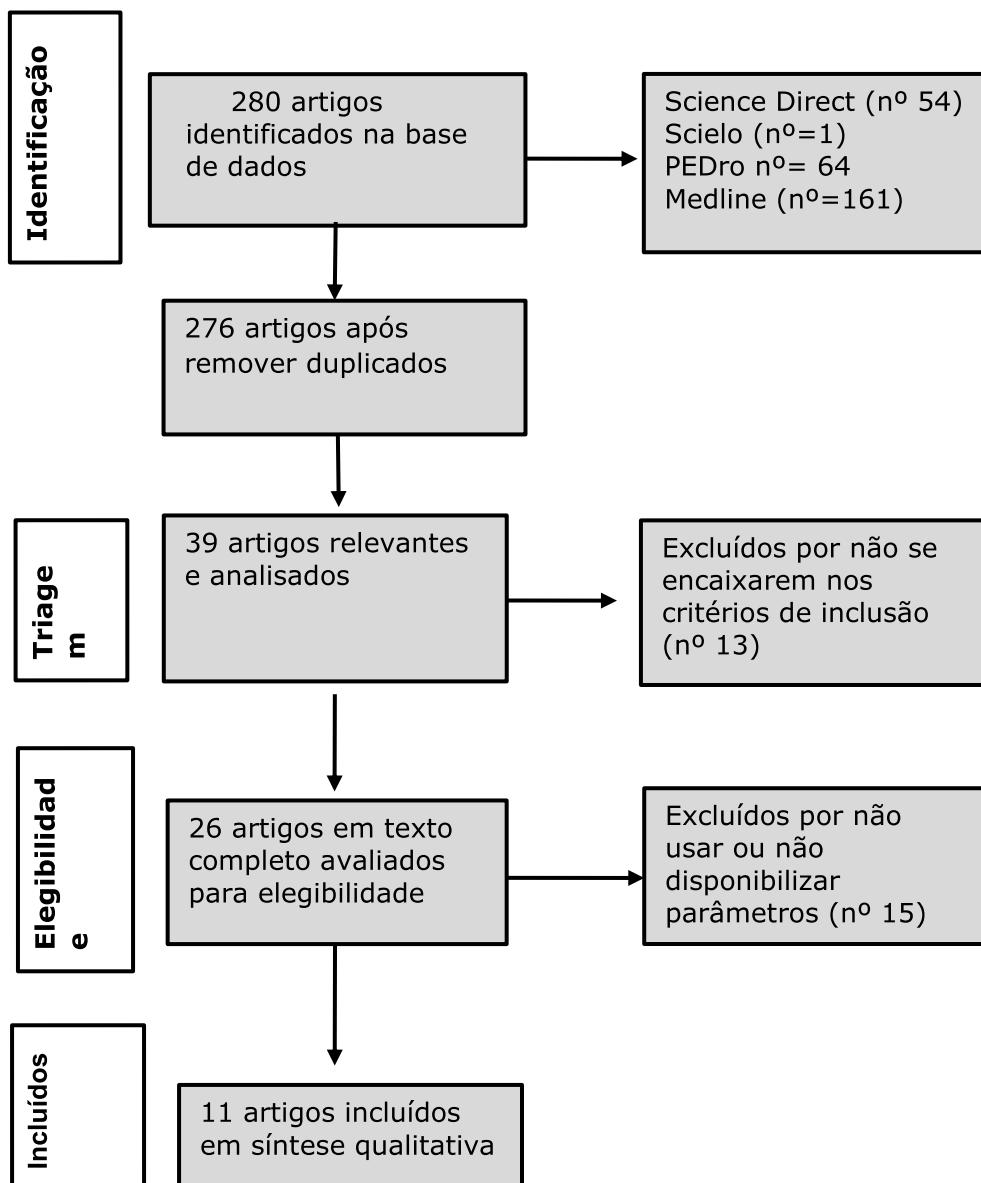
Protocolo e registro

Esta revisão sistemática é baseada nas diretrizes do PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). O detalhamento do processo de busca e extração de dados está disponibilizado no fluxograma disposto na Figura 1. Foram procurados artigos originais publicados entre 1990 e 2023, nas bases de dados MEDLINE, PEDro, Scielo e *Science Direct* somente no idioma inglês, utilizando o acrônimo PICO. Neste acrônimo: “P” - População, sendo pessoas com LME, “I” - Intervenção, a Estimulação Elétrica Funcional, “C” - Comparação, o tratamento convencional do processo de reabilitação comparado ao EEF ou comparação entre modos/parâmetros de eletroestimulação, e, por fim “O” - Desfecho (*Outcome*), sendo a melhora da marcha (distância, tempo, nível de independência para marcha, etc.).

Foram utilizadas as palavras-chave indexadas nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) AND e OR. As pesquisas dos descritores foram feitas separadamente e de acordo com as bases de dados. Os descritores de pesquisa incluíram MEDLINE: (Spinal Cord Injury) AND (Electric Stimulation Therapy) OR (Functional electric stimulation) AND (gait); PEDro (Spinal Cord Injury) AND (Electric Stimulation Therapy) OR (Functional Electrical Stimulation)

AND (Gait); Scielo (Electrical Stimulation) AND (spinal cord injury) OR (Spinal Cord Injuries) AND (gait) e Science Direct: “functional electrical stimulation” and “spinal cord injury” and “gait”.

Figura 1 - Fluxograma de artigos desta revisão sistemática.



Fluxograma dos passos desta revisão sistemática desde a identificação dos artigos nas bases de dados até a inclusão na síntese qualitativa. A figura não possui cor de fundo e tem 4 quadros brancos com borda preta na lateral esquerda e 8 quadros cinzas com borda preta no centro/direita. Em cada quadro há a identificação da etapa (na esquerda) ou a descrição do que ocorreu na etapa (centro e direita).

Critérios de Elegibilidade

Para atingir todas as evidências relevantes, foram incluídos ensaios clínicos randomizados e não randomizados, séries de casos e estudos de caso único, publicados no idioma inglês. Os artigos deveriam incluir apenas pessoas com LME e deveriam utilizar a técnica de estimulação elétrica funcional e ter como intuito avaliar algum parâmetro de locomoção.

Critérios de exclusão

Foram excluídos: 12 revisões sistemáticas, sete artigos duplicados, 193 estudos que não estavam de acordo com o tema, 23 cujo resumo não condizia com os critérios da pesquisa, dois por indisponibilidade dos artigos, um por não estar disponível na íntegra, seis por não incluir apenas pessoas com LME, um por não usar EEF e quatro por não avaliar a marcha em sua pesquisa.

Medição de resultados

Adicionalmente, foi aplicado o Método de Avaliação da Escala de Qualidade PEDro para orientar a revisão sistemática da literatura e a implementação de práticas baseadas em evidências. Os artigos foram pontuados de acordo com a escala metodológica PEDro, cuja pontuação varia de 0 a 10, sendo atribuída de acordo com critérios de rigor científico. Os resultados das intervenções encontradas foram analisados quanto à presença e classificação de LME,

formas de aplicação e parâmetros utilizados no EEF, além do tipo de treino locomotor e indicadores relativos a esse treino.

Extração e gerenciamento de dados

Os dados foram extraídos dos artigos elegíveis por um revisor e checados pelo segundo revisor, e, em caso de discordância, um terceiro avaliador checava o artigo. Os dados foram: título do trabalho, ano de publicação, tipo de estudo, tipo e nível da LME, forma de aplicação e parâmetros do EEF, período de tratamento, duração do estudo, instrumentos de mensuração e desfechos relacionados à marcha. Todos os dados foram categorizados e organizados em planilhas.

RESULTADOS

Foram identificadas 280 referências a partir das buscas com os descritores. Destas, quatro estavam duplicadas e foram eliminadas, resultando em 276 resumos e títulos disponíveis para seleção de elegibilidade. Após a avaliação de elegibilidade, restaram apenas 39 resumos potencialmente relevantes que foram analisados, dos quais apenas 11 estudos^{8,14-23} preencheram os critérios de inclusão e foram submetidos à extração de dados completos (Figura 1).

Inicialmente analisamos a qualidade metodológica dos estudos selecionados, realizada de acordo com a escala PEDro (Tabela 1). Foi obtido uma pontuação média de 3,27 pontos nos estudos, sendo encontrado déficits

metodológicos na alocação dos sujeitos e falta de avaliadores e pacientes cegos quanto a intervenção. Além disso, o fator de impacto da revista de cada artigo também foi determinado, e variou de 0 a 64,8.

Tabela 1. Avaliação Metodológica segundo a escala PEDro.

Critérios	Street et al. 2017⁸	Kapadia et al. 2014²¹	Field 2001¹⁴	Hesse et al. 2004²³	Johnston et al. 2003¹⁵	Stampacchia et al. 2020²²	Johnston et al. 2003¹⁶	Gallien et al. 1995¹⁸	Tefertiller 2017²⁰	Granat et al. 1993¹⁷
Critérios de elegibilidade	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
Alocação aleatória	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alocação oculta	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Comparabilidade inicial	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Sujeitos cegos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Terapeutas cegos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avaliadores cegos	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Acompanhamento adequado	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1
Análise por intenção de tratar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comparação entre grupos	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1
Estimativas pontuais e variabilidade	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
Escore total	3/10	5/10	3/10	2/10	4/10	1/10	3/10	3/10	1/10	4/10
Fator de impacto	1,8	1,8	3,6	2,1	1,8	2,1	2,1	2,1	2,2	2,1

Na Tabela 2 estão identificados os parâmetros e protocolos de intervenção com EEF em pessoas com LME para melhora da locomoção. Sobre a forma de aplicação dos eletrodos, no artigo de Street 2017⁸ os eletrodos de

superfície foram embutidos na órtese, sete estudos utilizaram eletrodos autoadesivos de superfície; um artigo não especifica a aplicação¹⁴ e em dois estudos foram utilizados eletrodos intramusculares percutâneos^{15,16}. Sendo assim, os eletrodos de superfície autoadesivos constituíram a principal forma de aplicação da corrente.

Tabela 2. Protocolos de intervenção com EEF em pessoas com LME para melhora de locomoção.

Autores	Forma de aplicação dos eletrodos	Músculos estimulados	Ajuste dos Parâmetros	Tempo total de intervenção	Periodicidade
Street 2017 ⁸	Eletrodos de superfície (embutido)	Glúteo, isquiotibiais e dorsiflexores	F: 40Hz, T: até 360µs e I: até 100mA	6 meses	Uso contínuo durante a intervenção
Kapadia et al. 2014 ²¹	Eletrodos autoadesivos de superfície.	Quadríceps, isquiotibiais, dorsiflexores e flexores plantares	F: 40Hz, T: 0 a 300µs e I: 8 - 125mA	16 semanas/ Follow-up 12 meses	45 min por sessão, 3 dias/semana.
Field 2001 ¹⁴	Não especificado	Estímulo do nervo fibular comum.	T: 500µs com duração de pulso de 1µs	12 semanas	1:30h por sessão, 3 dias/semana.
Hesse et al. 2004 ²³	Eletrodos autoadesivos de superfície.	Quadríceps e Biceps femoral de ambos os membros.	F: 20Hz, T: 200µs, I:80mA	3 meses	20 a 25 min, diariamente.
Johnston et al. 2003 ¹⁵	Eletrodos intramusculares percutâneos.	Glúteo máximo e médio, Adutor magno, Vasto lateral, Psoas, bíceps femoral.	F: 20-30Hz, T: 0-200µs; I: 20 mA	1 ano	60 min, diariamente.
Stampacchia et al. 2020 ²²	Eletrodos autoadesivos de superfície.	Grupo A: Flexores do quadril e tornozelo. Grupo B: Quadríceps e bíceps femoral	Grupo A: F: 35Hz, T: 250µs, I: 30-70 mA Grupo B: F: 50Hz, T: 300µs, I: 25-75 mA	14 semanas	30-60 min por sessão, 3 dias/semana.
Johnston et al. 2003 ¹⁶	Eletrodos intramusculares percutâneos.	Glúteo médio e máximo, fibras posteriores do adutor magno, sartório	F: 20Hz, T: 200µs, I: 20mA	De 2 a 4 semanas	2 vezes ao dia, 5 vezes por semana.
Gallien et al. 1995 ¹⁸	Eletrodos autoadesivos de superfície.	Quadríceps, glúteos, espinhais	F: 24Hz, T: 300µs, I: 300mA	Não descreve	2h, 3 a 5 vezes por semana.
Tefertiller et al. 2017 ²⁰	Eletrodos autoadesivos de superfície.	Quadríceps, isquiotibiais, glúteos, flexores plantares e dorsiflexores.	F: 50 Hz, T: 500µs	12 semanas	45 min, 3 vezes por semana.
Granat et al. 1993 ¹⁷	Eletrodos de superfície	Quadríceps, abdutores do quadril, isquiotibiais e eretores da espinha	F: 25Hz, T: 300µs, ON: 4s, OFF: 8s	24 semanas	30 min, 5 vezes por semana.
Granat et al. 1992 ¹⁹	Eletrodos de superfície	quadríceps prioritariamente, abdutores do quadril e eretores da espinha.	F: 25Hz; T: 300µs; I: 20 a 100mA	6 meses	Uso contínuo

F: frequência; T: tempo de pulso, I: intensidade; Follow up: acompanhamento.

A respeito dos músculos estimulados, os artigos descrevem diversos músculos, tais como flexores (isquiotibiais) e extensores do joelho (quadríceps), flexores plantares (gastrocnêmio) e dorsiflexores do tornozelo (tibial anterior). Apesar de aplicações diversificadas, em sete estudos foi realizada a estimulação do quadríceps, sendo este o grupo muscular mais estimulado; em dois artigos^{15,16} o glúteo máximo e médio, adutor magno, vasto lateral e psoas e em outros dois estudos ocorreu a estimulação do Nervo Fibular Comum^{8,14}.

No que diz respeito aos parâmetros utilizados, em nove artigos foi explicitado os dados relacionados a frequência, amplitude e intensidade da EEF, com valores referentes a frequência mínima de 20 e máxima de 50Hz; tempo de pulso com valor mínimo de 200 e máximo de 500µs e intensidade mínima de 8 e máxima de 300 mA. Em Field-Fote 2001¹⁴ foi descrito como parâmetro somente o tempo de pulso e apenas Granat 1993¹⁷ descreve adicionalmente o tempo ON e OFF.

O período total dos protocolos de intervenção variou bastante, e apenas Gallien 1995¹⁸ não especificou o período de duração da intervenção, além disso, o menor período de intervenção foi de duas a quatro semanas²⁰. O período total de intervenção dos protocolos variou de duas semanas até um ano. Em relação ao tempo de duração das sessões, em nove artigos foi informado o tempo de aplicação da EEF, com tempo variando de 20min até 2 horas, entretanto, dois

artigos^{8,19} utilizaram a estimulação em tempo contínuo (tempo não estabelecido).

Na Tabela 3 são apresentadas as características da LME, grupos e características da lesão, presença de grupo controle, de co-intervenção, variáveis de locomoção, instrumentos para mensuração da locomoção e desfechos específicos de locomoção obtidos a partir do estímulo com EEF. A maioria dos artigos selecionou o público com lesões medulares incompletas, sendo considerado em apenas dois estudos as lesões completas¹⁶⁻¹⁸. Na classificação pela escala ASIA, os sujeitos da pesquisa variaram entre C e D, e em quatro estudos essa informação não foi fornecida. Em relação ao nível das lesões, em quatro artigos as lesões foram torácicas, em cinco foram incluídas lesões desde a cervical até a sacral e, em duas pesquisas¹⁴⁻²⁰, não houve descrição do nível da lesão.

O quantitativo de indivíduos envolvidos em cada artigo foi relativamente pequeno, com números que variaram de 3 a 36 pessoas, com idade entre 12 e 58 anos. Quanto a intervenção conduzida, dos 11 estudos analisados, cinco apresentaram intervenção da EEF associado ao treino locomotor com suporte parcial de peso^{14,20,21,22,23} em dois artigos^{8,16} foi realizada a estimulação da EEF associado ao uso de dispositivo auxiliar de locomoção; em outros quatro estudos ocorreu o estímulo da EEF com treino de marcha associada a órtese^{15,17-20}. Sendo assim, observa-se que a utilização da EEF associado a treino locomotor com suporte de peso é a intervenção mais frequente.

Tabela 3. Resultados de intervenção com EEF em pessoas com LME para melhora de locomoção.

Autores	Características da LM	Grupos/ intervenção	Co-intervenção	Variáveis de L/M	Instrumentos para mensuração
Street 2017 ⁸	Incompleta, T12 ou superior. ASIA C e D	24 sujeitos. Estimulação com EEF para a fase de balanço e apoio da marcha. 53±15	Uso de muleta ou andador	VM	TC10m (m/s)
Kapadia et al. 2014 ²¹	Incompleta, nível: C2 e T12. ASIA C ou D	GI: 16 sujeitos. EEF + treino locomotor com SPP. 56,59±14 anos GC: 11 sujeitos. Exercícios individualizados com treinamento de resistência e aeróbico. 54,06±16,45	Esteira com SPP corporal	DC (m), tempo despendido para percorrer 10m (s), independência funcional (escore locomotor)	TC6min, TC10m (s) e MIF
Field 2001 ¹⁴	Incompleta, tetraplegia e paraplegia. Asia C	19 sujeitos. Estímulo com EEF + treino locomotor com SPP. 31,7±9,4 anos	Esteira com SPP	VM (m/s) e DC (m)	Teste de caminhada no solo (2m) e esteira
Hesse et al. 2004 ²³	Incompleta, nível: C5-L2. ASIA C ou D	4 sujeitos. Treino locomotor em treinador de marcha eletromecânico combinado com EEF. 50,25±8 anos	Simulador de marcha (elíptico) com sistema de suspensão parcial de peso	DC (m) e VM (m/s)	TC6min e TC10m
Johnston et al. 2003 ¹⁵	Incompleta, nível: C6-S1 (ASIA C)	3 sujeitos. Estímulo com EEF implantado, ON vs OFF. 12 a 17 anos	Fortalecimento e treino de marcha com ótese AFO	DC (m), Velocidade de caminhada (cm/s), CP (cm) e cadência (passos/min)	Análise da marcha
Stampacchia et al. 2020 ²²	Completa e incompleta, nível: C1 a S5	36 sujeitos. GA: BWSTRT depois sessões com EEF+OG. 58,3±12,0 anos. GB: EEF-C depois sessões com ORET. 38,9±11,1 anos	Exoesqueleto e SPP	CFM, velocidade e resistência	TC10m (s), TC6min (m)
Johnston et al. 2003 ¹⁶	Torácica completa (paraplegia) e 1 indivíduo com tetraplegia	9 sujeitos. Estímulo de EEF implantado como ótese. 12,6±5 anos	Exercício de força e resistência com EEF implantado + muleta ou andador	Análise do tempo despendido na tarefa	TC6min (m) e mobilidade em subir e descer escadas (s)
Gallien et al. 1995 ¹⁸	Completa, nível: T4 e T10	13 sujeitos. Estímulo de ótese com EEF – Parastep. 27±7 anos	Barra paralela, Andador e ótese AFO	VM (m/s) e distância percorrida (m)	Análise da marcha
Tefertiller et al. 2017 ²⁰	Incompleta, ASIA C e D	10 sujeitos ao final. Estímulo com EEF no Elíptico e em pista. 34±15,4 anos	Elíptico com SPP	VM, resistência e CFM	TC10m (m/s), TC6min (m) e WISCI-II
Granat et al. 1993 ¹⁷	Incompleta, ASIA C e D, nível C4 – L1	6 sujeitos. Estímulo com EEF para marcha em pista. 31,5±7 anos	AFO, KAFO e muletas	VM (m/s), CP (m) e cadência (passos/min)	Análise de vídeo da marcha
Granat et al. 1992 ¹⁹	Incompleta, nível T12 ou acima	6 sujeitos. Estímulo com EEF para marcha em pista. 29,5±7,8 anos	Ótese AFO, muletas e andador	VM	Análise de vídeo da marcha (m/s)

Locomoção/Marcha (L/M); Teste de caminhada dos 6min (TC6min); teste de caminhada de 10m (TC10m); Metros (m); Minutos (min); Velocidade de marcha (VM); Distância caminhada (DC); teste *Timed Up and Go* (TUG); Suporte Parcial de Peso (SPP); Capacidade funcional da marcha (CFM); *Spinal cord independence measure* (SCIM); Índice de Caminhada para Lesão da Medula Espinal (WISCI-II); MCID: *minimally clinically important difference*; *Overground Robotic Exoskeleton Training* (ORET); *Body Weight Support treadmill-based robotic training* (BWSTRT); EEF for Overground Gait (FESEEF-OG); FESEEF-Cycling (FESEEF-C). Follow-up: acompanhamento; CP: comprimento do passo.

Em relação às variáveis relacionadas à locomoção, a mais utilizada foi a Velocidade da Marcha (VM). Em dois artigos^{8,21} a VM foi analisada isoladamente, no entanto, em mais sete artigos essa variável foi inserida juntamente com distância da caminhada, comprimento do passo, cadência, resistência, capacidade funcional da marcha (CFM) e distância percorrida. Em um artigo foi observado a distância da caminhada, tempo despendido para percorrer 10m e a independência funcional (escore locomotor)²¹. Além disso, em Granat 1992²⁰ foi observado a análise do tempo despendido na tarefa.

Em relação aos instrumentos para mensuração de locomoção utilizados, o teste de caminhada de 10m (TC10m) aparece em cinco estudos, isoladamente ou combinado com o teste de caminhada de 6min (TC6min), que também foi referido em cinco estudos, sendo, portanto, os instrumentos mais utilizados. Outros instrumentos citados compreenderam o *Spinal cord independence measure* (SCIM), o *Walking Index for Spinal Cord Injury* (WISCI-II), o teste de caminhada no solo de 2m (TC2m) e a caminhada livre ou em esteira. Em Johnston 2003¹⁵, além do TC6min houve também a análise da mobilidade em subir e descer escadas.

Os dados elencados na Tabela 4 resumem os valores principais referentes à locomoção, significância estatística e interpretação de resultados. Dos 11 artigos da nossa RS, cinco não realizaram teste estatístico^{15,17,18,21,23}, e em seis ele está inserido nas metodologias^{8,14,16,20-22}, sendo que nestas

pesquisas ocorreu melhora dos parâmetros estudados. Além disso, é importante destacar que a melhora somente dos aspectos clínicos foi observada em três estudos^{17,19,23}, todos sem a aplicação de testes estatísticos.

Os resultados da Tabela 4 mostram que dos estudos que traziam informações a respeito de VM, três mostraram aumento dessa variável^{8,14,20}, em outro observou-se apenas a melhora do TC6²¹ e em dois estudos não houve melhora dessa variável, mas de outras relacionadas a locomoção^{16,22}. Mesmo com as melhorias observadas, em um estudo que comparou FES e um programa de exercícios, não foi observado superioridade entre as intervenções propostas.

DISCUSSÃO

O objetivo principal desta RS foi identificar os efeitos da utilização da EEF na melhora da locomoção em pessoas com LME e, secundariamente, identificar os parâmetros utilizados durante o tratamento. Os resultados dos estudos mostraram que o treino com EEF promoveu melhora clínica da VM para os sujeitos, mas sem poder estatístico. Além disso, a melhora clínica observada esteve associada a utilização da EEF em conjunto com o treino locomotor com suporte de peso. Em alguns estudos, o sexo, idade, tipo e nível de lesão, tempo de intervenção e número de participantes não foi informado e notamos grande heterogeneidade entre os grupos, que se configuravam pequenos.

Tabela 4. Resultados dos artigos analisados referentes a parâmetros da marcha, significância estatística e interpretação dos resultados.

Autores	Resultados principais	≤ 0,05	Interpretação
Street 2017 ⁸	↑VM: 0,61m/s → 0,72m/s	Sim	Aumento da VM
Kapadia et al. 2014 ²¹	GI: ↑ TC6min: 187,9m → 232,5m ↓ TC10M: 42,8 → 42,2 ↑ MIF: 4,70 → 5,19 GC: ↑ TC6min: 79,4m → 126,4m ↓ TC10M: 49,1 s → 35,1 s ↑ MIF: 4,18 → 5,09	Sim (Somente o TC6min)	GI e GE apresentaram melhora na marcha, mas o GI não foi superior a um programa de exercícios adaptados
Field 2001 ¹⁴	↑ VM: 0,12m/s → 0,21m/s ↑ TWS: 0,23m/s → 0,49m/s ↑ DC: 93m → 243m	Sim	Melhora da marcha
Hesse et al. 2004 ²³	↑ DC: #1: 34m → 296m; #2: 14m → 99m; #3: 0m → 17m; #4: 13m → 112m ↑ VM: #1: 0,32m/s → 0,81m/s; #2: 0,12m/s → 0,26m/s; #3: 0m/s → 0,15m/s; #4: 0,16m/s → 0,65m/s	Ausente/ Não realizada	Melhora clínica da capacidade de marcha de todos os pacientes
Johnston et al. 2003 ¹⁵	DC: Baseline FES OFF: 67,3/ Após 12 meses: ↑ DC: FES ON 265,1 VC: Baseline FES OFF: 32,2/ Após 12 meses: ↑ VC: FES ON = 47,2	Não	A FES melhorou a eficiência e os parâmetros somente na DC e VC para FES ON
Stampacchia et al. 2020 ²²	Grupo A: ↓TC10m: 26,6s → 18,6s ↑TC6min 124,1m → 195,6m Grupo B: ↓TC10m 98,3s → 74,2 25s ↑TC6min 36,2m → 49m	Sim, em todas as variáveis	O treino de BWSTRT e FESEEF-OG (grupo A) e o exoesqueleto + FES (grupo B) obtiveram melhora
Johnston et al. 2003 ¹⁶	TC6min: 31,3s (LLB) → 37s (FES) (sem diferença) Ficar de pé e alcançar: 109,4s (LLB) → 59,5s (FES) Sentado para em pé: 50,2s (LLB) → 24,4s (FES) Em pé para sentado: 53,8 (LLB) → 30,6s (FES)	Sim, exceto TC6	A FES implantada melhorou a mobilidade e independência e reduziu a necessidade de assistência. Não houve melhora para o TC6
Gallien et al. 1995 ¹⁸	↑ Distância percorrida: 73,25±102 VM: 0,2±0,1	Não	A estimulação + Parastep tornou a marcha dos participantes independente. Não houve melhora nos parâmetros mensurados
Tefertiller et al. 2017 ²⁰	↑VM: 0,13 ↑ resistência 35,6, MCID 5/10 sujeitos. ↑ de escore WISCI-II, 5/10 sujeitos,ns.	Sim	Houve melhora na velocidade, resistência e escore de marcha
Granat et al. 1993 ¹⁷	↑VM, em 3 sujeitos 0,35±0,01 → 0,38 ±0,002 0,08±0,01 → 0,09±0,01 0,06±0,01 → 0,07±0,001	Ausente/ Não realizada	Houve melhora clínica em força, espasticidade, além da capacidade de um sujeito de ficar e andar de forma independente
Granat et al. 1992 ¹⁹	VM órtese: 0,40 VM EEF: 0,42	Não	Houve melhora clínica para ficar de pé e caminhar. Não houve melhora nas variáveis mensuradas

Teste de caminhada dos 6min (TC6min); teste de caminhada de 10m (TC10m); Metros (m); Minutos (min); segundos (s); Velocidade da marcha (VM); Distância caminhada (DC); Velocidade de Caminhada (VC); teste *Timed Up and Go* (TUG); Capacidade funcional da marcha (CFM); *Spinal cord independence measure* (SCIM); Índice de Caminhada para Lesão da Medula Espinal (WISCI-II); MCID: *minimally clinically important difference*; *Overground Robotic Exoskeleton Training* (ORET); *Body Weight Support treadmill-based robotic training* (BWSTRT); EEF for *Overground Gait* (FESEEF-OG); FESEEF-Cycling (FESEEF-C). Follow-up: acompanhamento; CP: comprimento do passo; - Velocidade de Caminhada na Esteira (TWS); #: paciente analisado.

No entanto, esses resultados não podem ser descartados com base em um tamanho de amostra insuficiente ou número insuficiente de ensaios.

Em relação a parâmetros de locomoção, a VM foi o parâmetro dinâmico mais utilizado, no entanto, apesar dos artigos verificarem o aumento do parâmetro em questão juntamente com a EEF, eles não foram unânimes em relação à metodologia empregada. Essa lógica seguiu no estudo de Kapadia 2014²¹ realizado em indivíduos com LME incompleta, recrutados e randomizados para treino de caminhada assistida por EEF (grupo intervenção) e programa de treinamento aeróbico e de exercício resistido (grupo controle), sendo que na análise intragrupo ocorreu o aumento da VM em ambos os grupos, indicando que ambas as terapias trariam benefícios semelhantes.

Além disso, os resultados de um treinamento para recuperação da função de caminhada em LME incompleta por meio das EEF foram analisados através de um efeito de treinamento e efeitos ortóticos (diferença entre a velocidade de caminhada com e sem EEF) inicialmente no primeiro dia e após seis meses. Houve melhoria da VM e sugere-se que o uso independente e diário de EEF em casa pode ser útil para produzir mudanças significativas na caminhada⁸. Em conjunto com a EEF, dois estudos^{20,23} usaram de forma combinada com a EEF um sistema de suspensão parcial de peso com treino na esteira ou em um elíptico, respectivamente, obtendo bons resultados tanto para a Distância caminhada (DC) quanto para a VM.

No entanto, em Granat 1992¹⁹ o uso da EEF em pacientes com LME para melhora da marcha não obteve diferença significativa após a intervenção, tanto com o auxílio da órtese como somente com a EEF. Gallien 1995¹⁸, também sem resultados significantes, teve 11 pacientes após 32 sessões, com protocolo de extensão de joelhos associado a EEF, sentar e levantar e deambulação desde que conseguissem realizar. Os autores reconheceram a necessidade de melhoria do equipamento e limitação da amostra.

Sobre as melhorias na VM a melhora na deambulação funcional em pacientes com LME é caracterizada por aumento da velocidade ou distância de caminhada após a intervenção com o uso da EEF²⁴. Em outro estudo, 40 indivíduos com LME incompleta que utilizaram a EEF de uma a duas horas por dia obtiveram aumento na força e resistência muscular, além de melhorar na VM, balanço e comprimento do passo²⁵. Por fim, os protocolos com EEF mostraram melhora no comprimento da passada e VM²⁶. No entanto, um estudo descreve que embora a EEF pareça ser o melhor tratamento para melhorar a VM em pacientes com LME, a atual qualidade de evidências é comprometida por limitados ensaios clínicos controlados e pelo tamanho e heterogeneidade da amostra²⁷.

Um outro ponto a ser destacado são os testes utilizados, sendo eles o TC10m e o TC6min. Entretanto, a literatura diverge sobre a sua utilização para medir o tempo ou a distância percorrida em pessoas com LME. É destacado que

o TC6min é um dos principais testes que avaliam a caminhada em indivíduos com LME, e é amplamente utilizado para medir resistência e propriedades métricas, porém a fadiga em excesso pode prejudicar o teste²⁸. Foi utilizado o TC10m como ferramenta de monitoramento alternativa ao TC6min, mas foi apropriado apenas para os pacientes com boa capacidade de caminhar²⁹.

Nossos achados mostram também que o treino locomotor em pessoas com LME é desenvolvido em grande parte em sistemas de suspensão parcial de peso. Dessa forma, o treinamento com EEF e Suporte de Peso trazem melhoria na locomoção, sendo este último como ferramenta terapêutica no retreinamento da marcha humana³⁰. Em um ensaio clínico randomizado foi indicado que o treinamento em esteira com EEF teve um efeito positivo nos parâmetros da marcha e que isso pode potencialmente acelerar o treinamento da marcha em sujeitos com LME incompleta³¹. No entanto, outro estudo, indicam que o treinamento da marcha em suporte de peso em esteira ou em solo em indivíduos com LME deve ser mais bem elucidado, já que poucos estudos foram encontrados e concentrados a discutir seus benefícios³².

Nos parâmetros de dosimetria da EEF para a contração muscular necessária para realizar a marcha, a frequência mínima foi de 20Hz e máxima de 50Hz; o tempo de pulso variou de 200 a 500μs e a intensidade mínima foi de 8 e máxima de 300mA. Correntes com estas características são capazes de estimular fibras profundas e de maior limiar de

excitabilidade³³. Contudo, a modulação da frequência está mais relacionada ao recrutamento do tipo de fibra muscular, e consequentemente ao condicionamento da contração, de modo que faixas superiores a 30Hz geram estímulos nas fibras de contração rápida e lenta³⁴. Dessa forma, é crucial continuar a investigação sobre como otimizar os parâmetros dessa estimulação e integrá-los para a melhora da marcha, já que os parâmetros de dosimetria estão de acordo com o que é encontrado na literatura.

Em relação ao baixo número de participantes nos estudos, em um estudo com mais de 1.500 pessoas com LME, mostra que a acessibilidade ineficiente das infraestruturas, transporte e serviços públicos interferem negativamente na inserção e adesão dessas pessoas nas terapias³⁵. É válido destacar que há um número crescente de publicações com foco nos dados epidemiológicos da LME, porém, a ausência de um formulário padrão de notificação do trauma dificulta a comparação dos dados entre diferentes fontes³⁶.

No que diz respeito ao nível da lesão, os dados desta RS mostraram variações do nível cervical até sacral, porém, com a maioria se concentrando a nível cervical. Em uma revisão sistemática e de meta-análise sobre a Epidemiologia Global de LME traumática³⁷, as lesões a nível cervical (46%) são mais recorrentes que as lombossacras (24%), sendo corroborado por outro artigo³⁸, que descreve o nível cervical (57%), torácico (40%) e lombar (3%) como os mais frequentes, nesta ordem.

Uma das limitações mais importantes observadas nos estudos está relacionada a falta de padronização dos eletrodos em relação a sua aplicação, se o eletrodo ficaria no ventre ou na origem/inserção do músculo a ser estimulado. Outro ponto a ser destacado é o baixo número de indivíduos nos artigos, o que limita as conclusões acerca dos resultados. Além disso, quase todos os artigos não possuem boa escala metodológica pela PEDro, já que grande parte não possui grupo controle e intervenção, falta de sujeitos, avaliadores cegos, alocação oculta e aleatória. Os estudos também não mencionaram a fonte de financiamento e as medidas adotadas para evitar potenciais vieses. Estes pontos fragilizam conclusões precisas a respeito da intervenção fisioterapêutica por meio da EEF em pessoas com LME com o objetivo de averiguar a melhora da marcha. Por fim, esta RS é importante pois abre caminhos para a melhoria da prática fisioterapêutica no âmbito da LME de modo a oferecer o melhor tratamento para o paciente.

CONCLUSÃO

A EEF pode contribuir para a melhora da VM em indivíduos com LME, especialmente quando associada ao treino locomotor com suporte de peso. No entanto, as evidências disponíveis são limitadas por falhas metodológicas e amostras reduzidas, não permitindo afirmar sua superioridade em relação a outras intervenções fisioterapêuticas. Em relação aos parâmetros, a frequência recomendada se dá entre 20 e 50Hz, tempo de pulso entre

200 a 500 μ s e intensidade entre 9 a 300mA. Estudos futuros com maior rigor metodológico são necessários para melhor esclarecer seus efeitos na reabilitação da locomoção.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESP) da Universidade Federal do Pará.

REFERÊNCIAS

1. Anjum A, Yazid MD, Daud MF, Idris J, Ng AMH, Selvi NA, et al. Spinal Cord Injury: Pathophysiology, Multimolecular Interactions, and Underlying Recovery Mechanisms. *Inter J Mol Sci* 2020;21:7533. <https://doi.org/10.3390/ijms21207533>
2. Alizadeh A, Dyck SM, Karimi-Abdolrezaee S. Traumatic Spinal Cord Injury: An Overview of Pathophysiology, Models and Acute Injury Mechanisms. *Front Neurol* 2019;10:282. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00282>
3. Guan B, Anderson D, Chen L, Feng S, Zhou H. Global, regional and national burden of traumatic brain injury and spinal cord injury, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *BMJ Open* 2023;13:e075049–9. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-075049>
4. Nistor-Cseppento CD, Gherle A, Negruț N, Bungau SG, Sabau AM, Radu AF, et al. The Outcomes of Robotic Rehabilitation Assisted Devices Following Spinal Cord Injury and the Prevention of Secondary Associated Complications. *Medicina* 2022;58:1447. <https://doi.org/10.3390/medicina58101447>
5. del Valle AE, del Busto JEB, Belisón AS, Cuenca-Zaldívar JN, Martínez-Pozas O, Martínez-Lozano P, et al. Effects of a Gait Training Program on Spinal Cord Injury Patients: A Single-Group Prospective Cohort Study. *J Clin Med* 2023;12:7208. <https://doi.org/10.3390/jcm12237208>
6. Hofer AS, Schwab ME. Enhancing rehabilitation and functional recovery after brain and spinal cord trauma with electrical neuromodulation. *Curr Opin Neurol* 2019;32:828–35. <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000750>
7. Edwards DJ, Forrest G, Cortes M, Weightman MM, Sadowsky C, Chang SH, et al. Walking improvement in chronic incomplete spinal cord injury with exoskeleton robotic training (WISE): a randomized controlled trial. *Spinal Cord* 2022;60:522–32. <https://doi.org/10.1038/s41393-022-00751-8>
8. Street T, Singleton C. A clinically meaningful training effect in walking speed using functional electrical stimulation for motor-incomplete

- spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2017;41:361-6. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1392106>
9. Mayer L, Warring T, Agrella S, Rogers HL, Fox EJ. Effects of Functional Electrical Stimulation on Gait Function and Quality of Life for People with Multiple Sclerosis Taking Dalfampridine. *Inter J MS Care* 2015;17:35-41. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2013-033>
10. Melo PL, Silva MT, Martins JM, Newman DJ. Technical developments of functional electrical stimulation to correct drop foot: Sensing, actuation and control strategies. *Clin Biomech* 2015;30:101-13. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.11.007>
11. Craven BC, Giangregorio LM, Alavinia SM, Blencowe LA, Desai N, Hitzig SL, et al. Evaluating the efficacy of functional electrical stimulation therapy assisted walking after chronic motor incomplete spinal cord injury: effects on bone biomarkers and bone strength. *J Spinal Cord Med* 2017;40:748-58. <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1368961>
12. Gurcay E, Karaahmet OZ, Cankurtaran D, Nazlı F, Umay E, Güzel S, et al. Functional electrical stimulation cycling in patients with chronic spinal cord injury: a pilot study. *Inter J Neurosci* 2022;132:421-7. <https://doi.org/10.1080/00207454.2021.1929212>
13. Ma DN, Zhang XQ, Ying J, Chen ZJ, Li LX. Efficacy and safety of 9 nonoperative regimens for the treatment of spinal cord injury: A network meta-analysis. *Medicine* 2017;96:e8679. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000008679>
14. Field-Fote EC. Combined use of body weight support, functional electric stimulation, and treadmill training to improve walking ability in individuals with chronic incomplete spinal cord injury. *Arc Phys Med Rehab* 2001;82:818-24. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.23752>
15. Johnston TE, Finson RL, Smith BT, Bonaroti DM, Mulcahey MJ. Technical Perspective Functional Electrical Stimulation For Augmented Walking In Adolescents With Incomplete Spinal Cord Injury. *J Spinal Cord Med* 2003;26:390-400. <https://doi.org/10.1080/10790268.2003.11753711>
16. Johnston TE, Betz RR, Smith BT, Mulcahey MJ. Implanted functional electrical stimulation: an alternative for standing and walking in pediatric spinal cord injury. *Spinal Cord* 2003;41:144-52. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101392>
17. Granat MH, Ferguson ACB, Andrews BJ, Delargy M. The role of functional electrical stimulation in the rehabilitation of patients with incomplete spinal cord injury - observed benefits during gait studies. *Spinal Cord* 1993;31:207-15. <https://doi.org/10.1038/sc.1993.39>
18. Gallien P, Brissot R, Eyssette M, Tell L, Barat M, Wiart L, et al. Restoration of gait by functional electrical stimulation for spinal cord injured patients. *Spinal Cord* 1995;33:660-4. <https://doi.org/10.1038/sc.1995.138>
19. Granat M, Keating JF, Smith ACB, Delargy M, Andrews BJ. The use of functional electrical stimulation to assist gait in patients with incomplete spinal cord injury. *Disabil Rehab* 1992;14:93-7. <https://doi.org/10.3109/09638289209167078>

- 20.Tefertiller C, Gerber D. Step Ergometer Training Augmented With Functional Electrical Stimulation in Individuals With Chronic Spinal Cord Injury: A Feasibility Study. *Artif Org* 2017;41:E196-202. <https://doi.org/10.1111/aor.13060>
- 21.Kapadia N, Masani K, Craven BC, Giangregorio LM, Hitzig SL, Richards K, Popovic MR. A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: Effects on walking competency. *J Spinal Cord Med* 2014;37:511-24. <https://doi.org/10.1179/2045772314Y.0000000263>
- 22.Stampacchia G, Olivieri M, Rustici A, D'Avino C, Gerini A, Mazzoleni S. Gait rehabilitation in persons with spinal cord injury using innovative technologies: an observational study. *Spinal Cord* 2020;58:988-97. <https://doi.org/10.1038/s41393-020-0454-2>
- 23.Hesse S, Werner C, Bardeleben A. Electromechanical gait training with functional electrical stimulation: case studies in spinal cord injury. *Spinal Cord* 2004;42:346-52. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101595>
- 24.Lam T, Eng J, Wolfe D, Hsieh J, Whittaker M. A Systematic Review of the Efficacy of Gait Rehabilitation Strategies for Spinal Cord Injury. *Topics Spinal Cord Inj Rehab* 2007;13:32-57. <https://doi.org/10.1310/sci1301-32>
- 25.Stein RB. Functional Electrical Stimulation after Spinal Cord Injury. *J Neurotr* 1999;16:713-7. <https://doi.org/10.1089/neu.1999.16.713>
- 26.Tajali S, Iwasa SN, Sin V, Atputharaj S, Kapadia ND, Musselman KE, et al. The Orthotic Effects of Different Functional Electrical Stimulation Protocols on Walking Performance in Individuals with Incomplete Spinal Cord Injury: A Case Series. *Topics Spinal Cord Inj Rehab* 2023;29(Suppl):142-52. <https://doi.org/10.46292/sci23-00021s>
- 27.Patathong T, Klaewkasikum K, Woratanarat P, Rattanasiri S, Anothaisintawee T, Woratanarat T, et al. The efficacy of gait rehabilitations for the treatment of incomplete spinal cord injury: a systematic review and network meta-analysis. *J Orthop Surg Res* 2023;18:60. <https://doi.org/10.1186/s13018-022-03459-w>
- 28.Willi R, Widmer M, Merz N, Bastiaenen CHG, Zörner B, Bolliger M. Validity and reliability of the 2-minute walk test in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord* 2022;61:15-21. <https://doi.org/10.1038/s41393-022-00847-1>
- 29.Amatachaya S, Naewla S, Srisim K, Arrayawichanon P, Siritaratiwat W. Concurrent validity of the 10-meter walk test as compared with the 6-minute walk test in patients with spinal cord injury at various levels of ability. *Spinal Cord* 2014;52:333-6. <https://doi.org/10.1038/sc.2013.171>
- 30.Dietz V, Colombo G, Jensen L, Baumgartner L. Locomotor capacity of spinal cord in paraplegic patients. *Ann Neurol* 1995;37:574-82. <https://doi.org/10.1002/ana.410370506>
- 31.Postans N, Hasler P, Granat H, Maxwell J. Functional electric stimulation to augment partial weight-bearing supported treadmill training for patients with acute incomplete spinal cord injury: A pilot

- study. Arc Phys Med Rehab 2004;85:604-10.
<https://doi.org/10.1016/j.apmr.2003.08.083>
- 32.Yang F-A, Chen S-C, Chiu J-F, Shih Y-A, Liou T-S, Escorpizo R, et al. Body weight-supported gait training for patients with spinal cord injury: a network meta-analysis of randomised controlled trials. Sci Rep 2022;12:19262. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23873-8>
- 33.Linder S. Functional electrical stimulation to enhance cough in quadriplegia. Chest 1993;103:166-9.
<https://doi.org/10.1378/chest.103.1.166>
- 34.Segers J, Hermans G, Bruyninckx F, Meyfroidt G, Langer D, Gosselink R. Feasibility of neuromuscular electrical stimulation in critically ill patients. J Critic Care 2014;29:1082-8.
<https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2014.06.024>
- 35.Reinhardt J, Ballert C, Brinkhof MWG, Post MWM. Perveceid impact of environmental barriers on participation among people living with spinal cord injury in switzerland. J Rehab Med 2016;48:210-8.
<https://doi.org/10.2340/16501977-2048>
- 36.Jazayeri SB, Maroufi SF, Mohammadi E, Ohadi MAD, Hagen E-M, Chalangari M, et al. Incidence of traumatic spinal cord injury worldwide: A systematic review, data integration, and update. World Neurosurg 2023;18:100171.
<https://doi.org/10.1016/j.wnsx.2023.100171>
- 37.Kumar R, Lim J, Mekary RA, Rattani A, Dewan MC, Sharif SY, et al. Traumatic Spinal Injury: Global Epidemiology and Worldwide. World Neurosurg 2018;113:345-63.
<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.02.033>
- 38.Arriola M, López L, Camarot T. Clinical and epidemiological profile and functionality achieved in patients with traumatic spinal cord injury assisted at the Rehabilitation and Physical Medicine Service at the University Hospital. Rev Méd Urug 2021;37:2.
<https://doi.org/10.29193/rmu.37.2.7>