

Aplicabilidade da estimulação elétrica funcional nas diferentes disfunções motoras de origem neurológica: uma revisão narrativa¹

MATHEUS HENRIQUE ALMEIDA DA SILVA

Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: teu.1997@hotmail.com

VITOR PONTES SOARES

Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: vitorsoares.fisio@gmail.com

MATHEUS SALES

Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: mss.fisioufba@gmail.com

MATHEUS CARNEIRO EUSTAQUIO

Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: matheus.carneiro@ufba.br

MILENA MARIA MENDES GRANDIDIER DIAS

Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: milenagrandidier@gmail.com

DANIELE COSTA BORGES SOUZA

Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: dinniborges@hotmail.com

LUCAS DE ARAÚJO WANDERLEY ROMEIRO

Vitae Soluções em Engenharia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: lucasromeiro@vitaesolucoes.com.br

BRUNO EURICO FERREIRA GUIMARÃES CAVALCANTI

Vitae Soluções em Engenharia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: brunocavalcanti@vitaesolucoes.com.br

¹ Gostaríamos de agradecer à Financiadora de Inovação e Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, Brasil, por dispor de programa de fomento a pesquisas. Iniciativas como essas fortalecem o desenvolvimento da ciência no país.

Recebido em: 21/06/2023

Aprovado em: 16/08/2023



BRUNO SOARES RABELO

Vitae Soluções em Engenharia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: brunorabelo@vitaesolucoes.com.br

NILDO MANOEL DA SILVA RIBEIRO

Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, Brasil.

E-mail: nildoribeiro67@gmail.com

Resumo

A eletroestimulação funcional (*Functional Electrical Stimulation – FES*) tem se tornado uma importante intervenção para recuperação da estrutura e função muscular, promovendo contrações com potencial de gerar movimentos funcionais, como utilizar uma caneta para escrever, levar um copo d'água à boca e até mesmo caminhar. Embora haja uma vasta evidência acerca dos benefícios da FES, faz-se necessário compreender sua aplicação nas diferentes disfunções motoras, assim como os parâmetros utilizados em cada uma delas. O objetivo deste estudo foi revisar na literatura as aplicabilidades da FES nas diferentes disfunções motoras de origem neurológica. Trata-se de uma revisão narrativa baseada numa ampla busca nas bases de dados de estudos realizados com a utilização da FES em diferentes disfunções motoras, independentemente da patologia. Foram encontradas diversas possibilidades de uso da FES, sendo estruturadas neste estudo partindo das informações gerais sobre FES, desde os equipamentos e suas programações, instalação e tipos de eletrodos, frequência, largura de pulso e tempo de aplicação; FES para disfunções do membro superior e inferior hemi/parapariético; e FES nos transtornos de movimento. Frequentemente encontrada como ferramenta para reabilitação de pessoas com acidente vascular cerebral, paralisia cerebral e lesão medular, este artigo aborda informações sobre a forma e a segurança na aplicação da FES. No entanto, os estudos publicados possuem baixo tamanho amostral e qualidade metodológica para indicação clínica. Ensaio clínico randomizados mais robustos são imprescindíveis para fortalecer as indicações da FES, além de evidenciar a importância dessa abordagem tanto de forma isolada quanto de forma conjunta na utilização de órteses estáticas ou dinâmicas. A FES pode ser uma valiosa aliada na reabilitação de disfunções motoras.

Palavras-chave

Estimulação elétrica. Eletroterapia. Transtornos das habilidades motoras. Prática clínica baseada em evidências. Procedimento terapêutico.

Applicability of functional electrical stimulation in different motor dysfunctions of neurological origin

Abstract

Functional electro stimulation (FES) has become an important intervention for recovery of muscle structure and function, generating contractions with the potential to generate functional movements, such as using a pen to write, bringing a glass of water to your mouth and even walking. Although there is vast evidence about the benefits of FES, it is necessary to understand its application in different motor disorders, as well as the parameters used in each one of them. The objective of this study was to review in the literature the applicability of FES in different motor dysfunctions of neurological origin. This is a narrative review based on a broad search in the databases of studies carried out with the use of FES in different motor dysfunctions, regardless of the pathology. Several possibilities of using the FES were found, being structured in this study based on general information about FES, from the equipment and its programming, installation and types of electrodes, frequency, pulse width and application time; FES for hemi/paraparetic upper and lower limb disorders; and FES in movement disorders. Frequently found as a tool for the rehabilitation of people with stroke, cerebral palsy and spinal cord injury, this article addresses information about the form and safety in the application of the FES. However, the published studies have a low sample size and methodological quality for clinical indication. More robust randomized clinical trials are essential to strengthen FES indications, in addition to highlighting the importance of this approach both in isolation and in conjunction with the use of static or dynamic orthoses. The FES can be a valuable ally in the rehabilitation of motor dysfunctions.

Keywords

Electrical stimulation. Electrotherapy. Motor skill disorders. Evidence-based clinical practice. Therapeutic procedure.

Aplicabilidad de la estimulación eléctrica funcional en diferentes disfunciones motores de origen neurológico

Resumen

La electroestimulación funcional (*Functional Electrical Stimulation* – FES) se ha convertido en una intervención importante para la recuperación de la estructura y función muscular, generando contracciones con el potencial de generar movimientos funcionales, como usar un bolígrafo para escribir, llevar un vaso de agua a la boca e incluso caminar. Aunque existe una amplia evidencia sobre los beneficios de la FES, es necesario comprender su aplicación en diferentes trastornos motores, así como los parámetros utilizados en cada uno de ellos. El objetivo de este estudio fue revisar en la literatura la aplicabilidad de la FES en diferentes disfunciones motoras de origen neurológico. Esta es una revisión narrativa basada en una búsqueda amplia en las bases de datos de estudios realizados con el uso de FES en diferentes disfunciones motoras, independientemente de la patología. Se encontraron varias posibilidades de uso del FES, siendo estructurado en este estudio en base a información general sobre el FES, desde el equipo y su programación, instalación y tipos de electrodos, frecuencia, ancho de pulso y tiempo de aplicación; FES para trastornos hemi/paraparéticos de las extremidades superiores e inferiores; y FES en los trastornos del movimiento. Frecuentemente encontrada como herramienta para la rehabilitación de personas con accidente cerebrovascular, parálisis cerebral y lesión medular, este artículo aborda informaciones sobre la forma y seguridad en la aplicación de la FES. Sin embargo, los estudios publicados tienen un tamaño muestral y una calidad metodológica bajos para la indicación clínica. Los ensayos clínicos aleatorizados más sólidos son esenciales para fortalecer las indicaciones de FES, además de resaltar la importancia de este enfoque tanto de forma aislada como junto con el uso de ortesis estáticas o dinámicas. El FES puede ser un valioso aliado en la rehabilitación de disfunciones motoras.

Palabras clave

Estimulación eléctrica. Electroterapia. Trastornos de habilidades motoras. Práctica clínica basada en evidencia. Procedimiento terapéutico.

INTRODUÇÃO

A utilização de recursos elétricos para promover o movimento foi observada por Luigi Galvani em 1790 após aplicar fios elétricos na musculatura das pernas de sapos. Em 1831, Michael Faraday mostrou que a corrente elétrica pode estimular nervos para ativar certos movimentos (Beck *et al.*, 2011). Diversas são as técnicas e os aparelhos que oferecem esse recurso com o objetivo de facilitar o movimento, como a estimulação elétrica funcional (FES – *functional electrical stimulation*). A FES é considerada um subtipo da estimulação elétrica neuromuscular (*Neuromuscular Electrical Stimulation* – NMES), que promove um estímulo elétrico capaz de facilitar o movimento de forma funcional (Marquez-Chin; Popovic, 2020).

Estudos clínicos e experimentais vêm demonstrando a possibilidade de aprimorar estruturas musculares comprometidas, como em indivíduos hemiplégicos, por meio da ativação muscular utilizando estimulação elétrica (Jang; Park, 2021; Xu *et al.*, 2015). Em termos fisiológicos, a passagem de corrente elétrica de baixa intensidade através dos tecidos biológicos pode promover uma série de efeitos, como observado no aumento da frequência de potenciais de ação do neurônio motor quando o estímulo elétrico consegue atingir a despolarização da célula nervosa. Dessa forma, ocorre a liberação de acetilcolina na junção neuromuscular, seguida da entrada de íons Ca^{2+} no retículo sarcoplasmático, e, posteriormente, ligação entre actina e miosina, favorecendo a contração muscular (Cecatto; Chadi, 2012).

A abordagem utilizada pela FES é passar uma corrente elétrica entre almofadas condutoras presas à pele sobre um músculo ou grupo de músculos alvo, com o objetivo de estimular movimentos funcionais, como utilizar uma caneta para escrever, levar uma garrafa de água à boca e caminhar longas distâncias (Enoka; Amiridis; Duchateau, 2020; Marquez-Chin; Popovic, 2020). Dessa forma, a depender do objetivo proposto para cada indivíduo, a FES pode ser utilizada com o intuito de melhorar a força muscular e aumentar a amplitude de movimento em diferentes disfunções motoras (Doucet; Lam; Griffin, 2012).

A utilização da FES vem sendo estudada e aprimorada. Contudo, tão importante quanto entender a vasta possibilidade de utilizar esse recurso em diferentes indivíduos, é necessário entender sua efetividade, os parâmetros definidos e, além disso, compreender as possíveis complicações e precauções necessárias para sua utilização, visto que há uma lacuna na literatura em formar esse entendimento sobre o tema. Portanto, este estudo tem como objetivo

revisar na literatura as possibilidades clínicas e funcionais de aplicabilidade do FES nas diferentes disfunções motoras de origem neurológica.

MÉTODO

Esta pesquisa trata-se de uma revisão narrativa que descreve as possibilidades clínicas e funcionais de aplicabilidade da FES nas diferentes disfunções motoras de origem neurológica. Foi realizada uma revisão da literatura com a utilização das bases de dados eletrônicas Medline/PubMed, Lilacs, SciELO e Cochrane, com publicações desde a origem das bases de dados até julho de 2022, nos idiomas inglês e português. Para a busca, foram utilizados como descritores os termos: *electric stimulation*, *neurologic manifestations*, *motor dysfunction*. As referências dos estudos encontrados também foram utilizadas para esta revisão. A partir dos estudos encontrados, serão abordados neste estudo os aspectos gerais da eletroestimulação funcional e suas aplicabilidades nos membros superiores e inferiores, e nos transtornos do movimento.

ELETROESTIMULAÇÃO FUNCIONAL

A terapia por estimulação elétrica (*Electrical Stimulation – ES*) é uma modalidade terapêutica voltada para diversos acometimentos funcionais que utiliza correntes elétricas para desde estimulação sensorial até a promoção de contração muscular, independentemente de ação voluntária. Essa ferramenta pode ser dividida em basicamente três subtipos: FES com finalidade de geração de contração muscular de modo a gerar movimento; eletroestimulação transcutânea (*Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation – TENS*), objetivando a modulação de dor por meio de estimulação sensorial, podendo ou não alcançar contração muscular; e, por fim, a estimulação elétrica neuromuscular, que é utilizada na modulação de estímulos musculares para gerar contrações relativamente fortes e isométricas, sendo, na maioria das vezes, voltada para indivíduos com alteração neurológica (Maffioletti *et al.*, 2018).

Especificidades técnicas

A FES é encontrada na literatura como um subtipo de NMES, devido à característica de geração de contração muscular, cujas evidências de indicação vêm se ampliando, elevando a necessidade do entendimento do seu funcionamento específico (Nussbaum *et al.*, 2017). A corrente elétrica utilizada para geração de contração muscular nos equipamentos de NMES é a corrente pulsada assimétrica bifásica, iniciada por uma onda quadrada numa direção,

seguida de uma corrente em direção contrária de duração mais longa, de modo a balancear carga com pulso eletroquimicamente neutro. Essa corrente é gerada num dispositivo eletroestimulador com parâmetros internos de frequência e amplitude de intensidade (Doucet; Lam; Griffin, 2012).

A aplicação dos eletrodos para a corrente pulsada assimétrica bifásica pode ser monopolar ou bipolar – no segundo não se diferencia cátodo e ânodo, visto que as ondas que fluirão de forma bidirecional serão de formas e intensidades iguais em cada fase, e o uso é recomendado na estimulação de grandes grupos musculares; já com os eletrodos monopolares, o ânodo deve ser posicionado proximalmente, em região de passagem de nervo comum ao músculo estimulado, e o cátodo no ventre muscular ou ponto motor, definindo um circuito de fluxo de onda de ânodo para cátodo. Existem eletrodos que utilizam goma autoadesiva ou gel condutor, com necessidade de fixação por cinta ou fita adesiva (Nussbaum *et al.*, 2017). O ponto motor é a região da área da pele acima do músculo em que o limiar de intensidade para que uma corrente seja capaz de deflagrar um estímulo motor seja o menor possível, reduzindo o desconforto e maximizando a tolerância e a efetividade da intervenção. Para rastreamento e localização do ponto motor, é necessária a fixação do ânodo em região anatômica de passagem do nervo comum e o cátodo via eletrodo de caneta ou fixado na mão com gel na ponta do dedo, sendo considerado ponto motor o local onde ocorra contração muscular em maior intensidade e recrutamento de unidades motoras (Gobbo *et al.*, 2014).

Entre os critérios para escolha do tamanho do eletrodo estão o tamanho do músculo e a intensidade de onda a ser propagada pelo aparelho, identificação de ponto motor e espessura do tecido que encobre o músculo, sendo a densidade da corrente inversamente proporcional ao tamanho do eletrodo, gerando impacto no conforto de sua utilização. Eletrodos-padrão (5x5 cm) são recomendados para músculos médios como deltoides, flexores e extensores palmares, tríceps sural e pré-tibiais, enquanto eletrodos grandes (5x10 cm ou 10x10 cm) são recomendados para grupos musculares maiores, como quadríceps, isquiotibiais e musculatura da coluna. O tamanho dos eletrodos interfere na precisão da aplicação da corrente, em que eletrodos pequenos podem não recrutar as unidades motoras alvo, e os eletrodos grandes podem recrutar musculaturas adjacentes indesejadas (Nussbaum *et al.*, 2017). A distância dos eletrodos pode interferir na dispersão de ondas, e a posição do membro recomendada é a de folga articular, de modo a não gerar mecanismos intrínsecos de contração ou relaxamento muscular.

Parâmetros terapêuticos

Basicamente, devemos ter conhecimento dos seguintes parâmetros (Doucet; Lam; Griffin, 2012; Maffiuletti *et al.*, 2018; Nussbaum *et al.*, 2017):

- Modo: síncrono quando todos os canais acionam correntes ao mesmo tempo, ou recíproco quando os canais alternam o acionamento de correntes entre si.
- Uso de variação de intensidade e frequência (VIF): indicado em grandes músculos quando houver intenção de envio de duplos trens de frequência.
- Tempo de aplicação da terapia: variando entre 30 minutos e 1 hora na literatura.
- Frequência ou taxa de pulso medida em Hertz (Hz) ou pps: variando entre 10 e 50 Hz para grupos musculares médios e grandes, e de 50 a 100 Hz para músculos pequenos.
- Largura de pulso: entre 350 e 500 microssegundos para músculos médios, até 1.000 microssegundos para grandes grupos musculares, e de 150 a 350 microssegundos para músculos pequenos.
- Tempo de subida (*rise*): variando entre 1 e 2 segundos.
- Tempo de descida ou (*decay*): variando entre 1 e 2 segundos.
- Tempo *on* ou tempo de contração muscular: encontrados valores entre 10 e 20 segundos de contração.
- Tempo *off* ou tempo de relaxamento e descanso muscular: definido em relação ao tempo *on* com proporções de 1:3 a 1:5, ficando o tempo *off* entre 30 e 50 segundos.
- Intensidade: variando nos estudos entre 60 mA e 100 mA para deflagração da contração muscular e de movimentos funcionais.

Os estudos utilizando NMES e FES possuem variações importantes em parâmetros, no entanto, entende-se que os músculos capazes de gerar movimento se beneficiam de eletrodos entre médio e grande, larguras de pulso de moderada a alta, para alcance de maiores profundidades e amplitudes de tecido, menores frequências para redução de fadiga e melhor qualidade de contração, relação de tempo *on:off* de 1:3, de modo a reduzir fadiga e otimizar contrações em sequência.

Eletroestimuladores

Pode ser encontrada no mercado uma ampla gama de equipamentos para aplicação da NMES, com diversas configurações para aplicação de FES, TENS e outras modalidades de correntes elétricas, alimentados por rede de eletricidade ou por baterias. A intensidade dos dispositivos deve ser maior do que 80 mA para a produção de contrações tetânicas quando utilizadas em grandes grupos musculares, chamada tensão muscular evocada, sendo necessárias intensidades cada vez maiores até a geração de movimento funcional (Nussbaum *et al.*, 2017). O funcionamento desses equipamentos ocorre habitualmente pelo envio de trens pré-programados de estímulos elétricos para nervos e músculos, atingindo também outros tecidos que não costumam ser alvos, através de eletrodos posicionados na superfície da pele (Maffiuletti *et al.*, 2018).

As programações dos equipamentos costumam vir em protocolos pré-programados para condições em que a literatura aponta eficácia, sendo disponibilizadas intervenções utilizando os três subtipos de NMES. No entanto, as evidências apontam que esses protocolos não são atualizados, ou seja, o profissional precisa ter a compreensão e a capacidade de racionalizar o uso de cada parâmetro para aplicação nas diferentes condições clínicas a fim de poder determinar os parâmetros ideais. Algumas funções disponibilizadas nos equipamentos são bastante interessantes, como o salvamento de protocolos determinados manualmente, o bloqueio de modificações paramétricas, recursos de estimulação recíproca sequencialmente (recíproca-síncrona) e o desligamento automático programado pelo tempo (Nussbaum *et al.*, 2017).

Ainda acerca dos estímulos neuromusculares, Milosevic *et al.* (2020) trazem que a FES gera efeitos além de uma simples contração muscular, podendo induzir alterações neurofisiológicas centrais de curto e longo prazo. No entanto, para que isso ocorra, deve haver um sincronismo entre o impulso descendente e o estímulo gerado pela FES. Tendo isso em vista, tem-se emergido estudos que fazem a associação da FES com a interface cérebro/máquina. As evidências atuais sugerem que o uso dessa interface associada à FES gera efeitos mais positivos no reaprendizado motor do que o uso da FES isolada, visto que ocorre um aprendizado associativo (Milosevic *et al.*, 2020). A junção desses dois componentes terapêuticos é uma futura promessa para potencializar o ganho motor e a melhora funcional nos indivíduos com lesões neurológicas.

Segurança para aplicação

É importante observar, enquanto aspectos de segurança para a aplicação das NMES, a capacidade sensorial do paciente, ou de fornecer *feedback* acerca das sensações da aplicação. Embora o tipo usual para NMES tenha baixíssimo potencial lesivo devido à neutralidade eletroquímica de pulso na pele, dos eletrodos e dos condutores, recomenda-se a verificação do tecido aplicado de modo a prevenir possíveis queimaduras ou lesões de pele atribuídas à corrente. A fadiga muscular também deve ser evitada, sendo necessário encontrar parâmetros, equipamentos e disposição de eletrodos ideal para contração efetiva, sem esses possíveis efeitos indesejados (Nussbaum *et al.*, 2017).

FES PARA DISFUNÇÕES DO MEMBRO SUPERIOR

A utilização da ES em membros superiores é vista de forma expressiva no ambiente da reabilitação. Muitos profissionais, principalmente fisioterapeutas, utilizam a FES para reabilitar pacientes com paralisia cerebral (PC), lesão medular (LM) e sequelas pós acidente vascular cerebral (AVC), indivíduos que apresentam alterações motoras significativas, como hemiparesia, espasticidade e luxação de ombro, por exemplo. Além disso, a utilização da FES em membros superiores tem como um dos objetivos principais estimular a neuroplasticidade em tarefas específicas, visto que a motricidade desses membros traz como grandes desafios o aprimoramento de habilidades que regem a praxia fina (Ijzerman; Renzenbrink; Geurts, 2009).

A PC é conhecida como a incapacidade mais comum que acomete crianças, trazendo um conjunto de distúrbios motores que comprometem as atividades funcionais dessa população. Aprender a ler, segurar um brinquedo e participar de atividades recreativas, por exemplo, são vistos como grande desafio para esse público, devido às repercussões presentes no controle de movimento dos membros superiores (Hallman-Cooper; Cabrero, 2022). Nesse contexto, a utilização da FES em membros superiores é vista como um recurso para ajudar no controle das disfunções motoras em indivíduos com PC. Ou *et al.* (2023) observaram uma efetiva melhora de função relacionada à mão, força muscular e espasticidade de crianças com PC. Garzon *et al.* (2018) também demonstram efeitos positivos da FES em crianças com PC durante o movimento funcional da mão, uma vez que ele fortalece o músculo estimulado e reduz a cocontração muscular. Foram utilizados quatro tamanhos de eletrodos bipolares em músculos de antebraço e mão, com frequência de 40 Hz,

largura de pulso de 400 Hz, tempo de aceleração e desaceleração entre 0,5 e 2 segundos. Porém, é necessário cautela ao aplicar no público infantil, uma vez que os parâmetros divergem entre os públicos adulto e infantil. Além disso, foi observado em sua revisão que, quando combinado com outras terapêuticas, como órteses motoras, terapia de contenção induzida do membro afetado, treinamento sensório-motor e treino orientado à tarefa, obtêm-se ganhos no aprendizado motor ainda mais expressivos.

No estudo de Kuroda *et al.* (2022), foi realizado um treinamento inovador utilizando a combinação da FES com um dispositivo robótico híbrido. Esse dispositivo, denominado *Hybrid Assistive Limb*[®] (HAL), é utilizado nos membros superiores e possibilita o movimento de flexão/extensão de cotovelo. O HAL usa um sistema de controle baseado em sinal bioelétrico (BES) e promove uma assistência no torque nas articulações com o acionamento voluntário do usuário. Três crianças com espasticidade foram acompanhadas durante oito meses realizando uma ou duas sessões por semana, com 50 minutos cada sessão. Cada indivíduo realizou um treinamento repetitivo de 50 a 100 vezes o movimento de flexão e extensão do cotovelo. Em seguida, foi implementada a prática da terapia de contenção induzida por movimento executando atividades lúdicas. Após a intervenção, foi possível observar melhorias significativas na função motora de membros superiores e no uso de mãos paralisadas. Outros estudos pequenos também associaram a FES à terapia de contenção induzida do movimento (Xu *et al.*, 2012) e à toxina botulínica (Rodríguez-Reyes *et al.*, 2010), mostrando resultados positivos na função do membro superior de crianças com PC. Porém, a baixa quantidade de estudos e a heterogeneidade dos protocolos utilizados não permitem padronizar a forma de aplicação efetiva desse recurso, o que precisa ser melhor explorado.

Em indivíduos com LM em nível cervical C5/C6, a utilização da FES tem como principais objetivos reduzir deformidades e oferecer maior independência para realizar as atividades de vida diárias (AVD), com ganho de amplitude de movimento e força muscular de preensão, extensão/flexão do punho, pronação do antebraço e extensão do cotovelo (Ho *et al.*, 2014). Patil *et al.* (2015) conduziram uma revisão sistemática para sumarizar as evidências da FES nas atividades funcionais de membro superior em pessoas com LM. Foram incluídos cinco estudos, em que todos mostraram efeitos positivos da FES, principalmente em lesões crônicas. Porém, apenas dois estudos eram ensaios clínicos randomizados com amostras pequenas. Kapadia *et al.* (2011) foi um dos ensaios clínicos incluídos, com o objetivo de avaliar a eficácia a curto e longo

prazo da utilização da FES na musculatura flexora dos dedos em indivíduos que sofreram LM incompleta C4-C7. Os participantes do estudo realizaram o protocolo durante oito semanas, cinco sessões por semana, com duração de 60 minutos, com os parâmetros ajustados para oferecer uma onda bifásica, pulso variando entre 8-50 mA, 250 ms de largura de pulso e frequência de 40 Hz. Durante a estimulação elétrica, os mesmos realizavam atividades funcionais como segurar um livro, cartas, montar blocos de brinquedos e pegar objetos pequenos como pipoca. Ao final do estudo, observaram melhoras significativas na independência funcional e na função manual. No entanto, apesar de haver resultados promissores, ainda é incerto como aplicar de forma eficaz a FES para a função do membro superior em pessoas com LM.

Alguns estudos vêm mostrando resultados positivos ao utilizar a FES em pacientes que desenvolveram o ombro doloroso após AVC, principalmente na redução da subluxação na fase aguda (Arya; Pandian; Puri, 2018; Vafadar; Côté; Archambault, 2015). Karahmet *et al.* (2019) realizaram um estudo piloto mostrando efeitos positivos da FES na dor, na independência funcional e na subluxação do ombro em indivíduos pós-AVC agudo-subagudo. No entanto, a revisão sistemática de Vafadar, Côté e Archambault (2015) não encontrou efeitos benéficos na dor e função do membro superior, apenas na subluxação do ombro hemiplégico na fase aguda, confirmado também pela revisão de Arya, Pandian e Puri (2018). Portanto, ainda não está claro como a FES pode ser utilizada para melhorar a dor e a função do ombro hemiplégico, porém parecem estar consolidados na literatura seus efeitos positivos na subluxação de ombro na fase aguda pós-AVC, o que ainda precisa de padronização dos protocolos.

FES PARA DISFUNÇÕES DE MEMBRO INFERIOR

A aplicabilidade da FES como uma das abordagens terapêuticas na reabilitação em membros inferiores vem crescendo notoriamente nos últimos anos, principalmente em relação a melhorias na qualidade da marcha em pacientes com alguma condição neurológica. Entre as condições neurológicas mais frequentes, encontra-se o pé caído, um sintoma comum em diversos distúrbios do SNC, como AVC, LM e esclerose múltipla (EM).

Uma revisão sistemática com meta-análise realizada por Fang *et al.* (2023) comparou o uso de cinco modalidades diferentes de eletroestimulação e as ranquearam. Dentre as modalidades analisadas, a FES se mostrou superior

às outras modalidades de eletroestimulação para o tratamento das disfunções de membro inferior após AVC. Os autores trouxeram que a FES é uma das modalidades mais efetivas para melhora do equilíbrio e independência para as AVD pós-AVC. Cunha *et al.* (2021) apontaram que houve melhora na velocidade da marcha, mobilidade de tornozelo, equilíbrio e mobilidade funcional em indivíduos pós-AVC quando submetidos ao dispositivo FES (estimulando o nervo fibular) combinado aos exercícios supervisionados (treino de marcha) em comparação aos exercícios supervisionados isolados. Além disso, a FES se mostra mais eficiente que a órtese AFO para melhora da mobilidade ativa de tornozelo, visto que a AFO rígida não envolve os circuitos neuromusculares, sendo apenas um componente passivo. Para o dispositivo FES combinado aos exercícios não supervisionados, os autores não encontraram efeitos, e para a combinação com atividades regulares em casa, os resultados foram inconclusivos.

Cerca de 75% das pessoas com EM relatam limitações na caminhada, impactando diretamente sua qualidade de vida (Hobart *et al.*, 2013). A causa mais comum de comprometimento na marcha de pessoas com EM é o pé caído, impactando o aumento do gasto energético, a diminuição da velocidade de marcha, o aumento de instabilidades e o risco de quedas (Gunn *et al.*, 2014). A revisão sistemática realizada por Miller *et al.* (2017) teve como objetivo avaliar a eficácia da FES para pé caído na velocidade da marcha de pessoas com EM, aplicando a estimulação elétrica ao nervo fibular comum, no qual quase metade dos estudos utilizaram o Odstock Dropped Foot de canal único, encontrando um aumento na velocidade de caminhada para curtas distâncias, e recomendou que o mesmo fosse utilizado para tratamentos complementares, reduzindo limitações da marcha e com potencial para otimizar resultados funcionais na EM.

As principais queixas dos pacientes com LM são as atividades de mudar a posição básica do corpo, transferir a própria posição e principalmente a atividade de andar (Vianna *et al.*, 2019). Nesse sentido, a FES pode ser utilizada como dispositivo ortótico para facilitar a marcha e favorecer a neuroplasticidade, melhorando a mobilidade funcional (Giangregorio *et al.*, 2012).

Kapadia *et al.* (2014) demonstrou que a caminhada assistida por FES foi considerada um método promissor para melhorar a caminhada em indivíduos com LM incompleta. Os pacientes receberam estimulação FES durante a deambulação em esteira com suporte de peso corporal e sistema de Arnês, sendo realizado por três dias na semana, por 16 semanas, usando dois estimuladores

elétricos não invasivos de quatro canais que usam eletrodos de estimulação autoadesivos de superfície. Os sinais de estímulo foram balanceados, bifásicos e modulados em largura de pulso com regulação de corrente constante, e os principais músculos visados pela FES foram quadríceps, isquiotibiais, dorsiflexores e flexores plantares bilaterais. Essa intervenção foi superior ao treinamento aeróbico e de resistência na melhora da mobilidade.

A *FES-cycling* é uma modalidade de FES que promove contrações cíclicas nos músculos dos membros inferiores, de forma cronometrada, impulsionando o cicloergômetro, sendo indicada para variadas condições neurológicas com alto comprometimento, tais como a EM e a LM (Davis; Hamsaid; Fornusek, 2008; Ho *et al.*, 2014). Scally *et al.* (2020), por meio de uma revisão sistemática, demonstraram uma possível redução no risco de doenças cardiovasculares, juntamente com reduções na espasticidade após o treinamento com *FES-cycling* em pessoas com EM, além de ser bem tolerado. Desfechos positivos também foram encontrados em pessoas com LM, em que Van Der Sheer *et al.* (2021) mostraram que o treinamento com *FES-cycling* melhora a saúde muscular dos membros inferiores de adultos com LM e pode aumentar a produção de energia e a capacidade aeróbica. Ambas as revisões reiteram sobre a necessidade de mais estudos com melhor qualidade metodológica para resultados mais fidedignos.

FES PARA TRANSTORNOS DO MOVIMENTO

Há evidências iniciais mostrando efeitos potenciais do uso de FES como terapia alternativa na melhora de diversos sinais e sintomas secundários aos transtornos no movimento. Foram observados efeitos no tremor essencial (Karamesinis; Sillitoe; Kouzani, 2021; Kim *et al.*, 2020) e de repouso (Meng *et al.*, 2022) e na bradicinesia (Popa; Taylor, 2015; Taylor *et al.*, 2021), repercutindo em melhora da destreza manual, na redução do congelamento da marcha, na redução da frequência e do risco de queda, no aumento do passo e da velocidade de marcha (Grimaldi; Fernandez; Manto, 2013; Popa; Taylor, 2015; Taylor *et al.*, 2021).

O tremor se apresenta como uma manifestação clínica muito comum (Bhidayasri, 2005). Pode ser definido como um movimento involuntário, rítmico e oscilatório, em uma ou mais partes do corpo, manifestado com frequência ou amplitude fixa relativa (Deuschl; Bain; Brin, 1998). Podem ser classificados de acordo com a circunstância (repouso ou ação), parte do corpo envolvida, frequência e etiologia de base (Kamble; Pal, 2018; Puschmann;

Wszolek, 2011). A mão é o local mais comum, podendo impactar as AVD (Louis; Machado, 2015). A terapia farmacológica, lesões cirúrgicas focais e a estimulação cerebral profunda são tratamentos benéficos para redução do tremor, porém sua efetividade varia por indivíduo, além de oferecer muitos efeitos colaterais e riscos ao usuário (Kamble; Pal, 2018; Meng *et al.*, 2022). O uso da ES surge como uma alternativa não invasiva, de baixo custo e segura para a redução desse sintoma (Meng *et al.*, 2022).

Meng *et al.* (2022) realizaram uma revisão sistemática sobre a ES periférica na supressão de tremores parkinsonianos, resumizando as estratégias de ES, os parâmetros e locais de aplicação e os desfechos clínicos alcançados. A FES demonstrou maiores efeitos clínicos sobre o tremor dentre os diferentes tipos de ES, reduzindo em torno de 50% da frequência do tremor. Duas estratégias de estimulação com a FES foram eficazes: estimulação a cocontração e a estimulação contínua. Como o punho é o local mais frequente do tremor no membro superior, os músculos flexor radial do carpo, extensor radial do carpo, flexor ulnar do carpo e extensor ulnar do carpo são os locais mais comuns de aplicação da FES. Vale ressaltar que normalmente o tremor de origem distal pode ser transmitido para articulações proximais, o que influencia a escolha do músculo-alvo. Correntes bifásicas, com amplitude de pulso entre 100 e 300 μ s, frequência de 20 a 40 Hz e uma intensidade mínima que gere uma contração eficiente sem gerar desconforto são indicados para tremores parkinsonianos. Porém, para uma supressão eficaz, é necessária uma identificação acurada do tremor, por meio de eletromiografia e sensores inerciais, caracterizando a sua amplitude e frequência. Por fim, os autores trazem que os mecanismos terapêuticos não estão claros e que houve uma heterogeneidade nos protocolos aplicados, o que dificulta a padronização da sua aplicabilidade clínica (Meng *et al.*, 2022). Portanto, o uso da FES no tremor parkinsoniano não está claro ainda quanto a sua eficácia e utilidade na prática clínica.

Diferentemente do tremor parkinsoniano, que em sua maioria ocorre em repouso, o tremor essencial é do tipo tremor de ação (Louis; Machado, 2015), o que pode repercutir em limitações em atividades como beber, comer e escrever, reduzindo a qualidade de vida (Chandran; Pal, 2013). A FES também surge como uma alternativa às terapias invasivas e de difícil acesso, em que já podem ser vistos alguns estudos mostrando taxas de redução do sintoma entre 42-81% (Gallego *et al.*, 2011; Karamesinis; Sillitoe; Kouzani, 2021; Kim *et al.*, 2020; Prochazka; Elek; Javidan, 1992). No entanto, há uma dificuldade em transferir o uso da FES para o ambiente domiciliar, devido ao manejo

cauteloso dos parâmetros a fim de evitar a fadiga muscular e o desconforto (Pascual-Valdunciel *et al.*, 2022). Além disso, os estudos com FES supracitados são preliminares, com tamanho amostral pequeno, o que não permite a generalização dos resultados e a indicação clínica.

Um dos sinais cardinais da doença de Parkinson (DP) e presente em outros parkinsonismo atípicos, a bradicinesia significa lentidão do movimento, que pode interferir na mobilidade funcional dos indivíduos, a exemplo da marcha parkinsoniana (Bologna *et al.*, 2020). Pensando nisso, Mann, Finn e Taylor (2008) propuseram a utilização da FES nos músculos dorsiflexores no início da marcha de pessoas com DP, mostrando uma redução dos episódios de congelamento, aumento da velocidade de marcha, tamanho do passo e redução da frequência de quedas (Mann; Finn; Taylor, 2008). Os estudos seguintes confirmaram a sua eficácia, com resultados positivos também na destreza manual, equilíbrio e qualidade de vida dessas pessoas (Popa; Taylor, 2015; Taylor *et al.*, 2021). Taylor *et al.* (2021) conduziram então um ensaio clínico de viabilidade investigando os efeitos da FES na redução da bradicinesia de pessoas com DP. Os participantes foram ensinados a usar uma órtese elétrica vestível para pé caído no dia a dia, fora do ambiente ambulatorial, por 22 semanas. Apenas foram vistos como efeitos adversos casos de irritação de pele, comuns no uso desse tipo de órtese. Houve uma mudança substancial e duradoura na velocidade de marcha dos participantes. No entanto, podem ser vistos ainda estudos de viabilidade clínica, tornando a sua indicação clínica incerta. Ainda são necessários ensaios clínicos robustos sobre a eficácia da FES para a sua aplicabilidade clínica na bradicinesia.

CONCLUSÃO

Diante do tema proposto nesta revisão, podem ser observados alguns benefícios da utilização da FES em diversas disfunções motoras, principalmente aquelas que possuem etiologia do SNC, como LM, EM, PC, subluxação de ombro hemiplégico pós-AVC e transtornos do movimento. Ainda são necessários estudos mais robustos nas diferentes disfunções motoras. Novos estudos trarão a importância dessa abordagem tanto de forma isolada quanto conjunta, como na utilização de órteses estáticas ou dinâmicas. Contudo, é imprescindível salientar a necessidade de um olhar ímpar na prática clínica ao abordar diferentes indivíduos com diferentes condições clínicas, visto que há uma lacuna sobre o consenso de uma padronização dos protocolos na literatura.

CONFLITO DE INTERESSE

O projeto ao qual este levantamento bibliográfico está integrado foi financiado pela Financiadora de Inovação e Pesquisa (06/2020 nº 03.22.0019.00). Os autores declaram possuir plena autonomia de decisão acerca dos processos metodológicos e dos resultados apresentados no trabalho, não havendo influência da financiadora em qualquer etapa deste trabalho, ou quanto à qualidade científica demonstrada.

REFERÊNCIAS

- ARYA, K. N.; PANDIAN, S.; PURI, V. Rehabilitation methods for reducing shoulder subluxation in post-stroke hemiparesis: a systematic review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, v. 25, n. 1, jan. 2018. DOI 10.1080/10749357.2017.1383712
- BECK, E. K. *et al.* Efeitos da estimulação elétrica funcional no controle neuromuscular artificial. *Revista Neurociências*, v. 19, n. 3, p. 530-541, 30 set. 2011. DOI 10.4181/RNC.2010.06ip.11
- BHIDAYASIRI, R. Differential diagnosis of common tremor syndromes. *Postgraduate Medical Journal*, v. 81, n. 962, dez. 2005. DOI <https://doi.org/10.1136/pgmj.2005.032979>
- BOLOGNA, M. *et al.* Evolving concepts on bradykinesia. *Brain: A Journal of Neurology*, v. 143, n. 3, p. 727-750, 1º mar. 2020. DOI 10.1093/brain/awz344
- CECATTO, R. B.; CHADI, G. Functional electrical stimulation (FES) and neuronal plasticity: a historical review. *Acta Fisiátrica*, v. 19, n. 4, p. 246-257, 2012. DOI 10.5935/0104-7795.20120040
- CHANDRAN, V.; PAL, P. K. Quality of life and its determinants in essential tremor. *Parkinsonism & Related Disorders*, v. 19, n. 1, jan. 2013. DOI 10.1016/j.parkrel-dis.2012.06.011
- CUNHA, M. J. DA *et al.* Functional electrical stimulation of the peroneal nerve improves post-stroke gait speed when combined with physiotherapy. A systematic review and meta-analysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, v. 64, n. 1, p. 101388, 2021. DOI 10.1016/j.rehab.2020.03.012
- DAVIS, G. M.; HAMZAID, N. A.; FORNUSEK, C. Cardiorespiratory, metabolic, and biomechanical responses during functional electrical stimulation leg exercise: health and fitness benefits. *Artificial Organs*, v. 32, n. 8, p. 625-629, Aug. 2008. DOI 10.1111/j.1525-1594.2008.00622.x

DEUSCHL, G.; BAIN, P; BRIN, M. Consensus statement of the Movement Disorder Society on Tremor. Ad Hoc Scientific Committee. *Movement Disorders*, v. 13, Sup. 3, p. 2-23,1998. DOI 10.1002/mds.870131303

DOUCET, B. M.; LAM, A.; GRIFFIN, L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, v. 85, n. 2, p. 201-215, jun. 2012.

ENOKA, R. M.; AMIRIDIS, I. G.; DUCHATEAU, J. Electrical stimulation of muscle: electrophysiology and rehabilitation. *Physiology*, v. 35, n. 1, p. 40-56, 1º jan. 2020. DOI 10.1152/physiol.00015.2019

FANG, Y. *et al.* Optimization of electrical stimulation for the treatment of lower limb dysfunction after stroke: a systematic review and Bayesian network meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*, v. 18, n. 5, p. e0285523, 2023. DOI 10.1371/journal.pone.0285523

GALLEGO, J. A. *et al.* A soft wearable robot for tremor assessment and suppression. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, p. 2249-2254, 2011. DOI 10.1109/ICRA.2011.5979639

GARZON, L. C. *et al.* The use of functional electrical stimulation to improve upper limb function in children with hemiplegic cerebral palsy: a feasibility study. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, v. 5, dez./jan. 2018. DOI 10.1177/2055668318768402

GIANGREGORIO, L. *et al.* A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: effects on body composition. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, v. 35, n. 5, p. 351-360, set. 2012. DOI 10.1179/2045772312Y.0000000041

GOBBO, M. *et al.* Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, v. 11, p. 17, 25 fev. 2014. DOI 10.1186/1743-0003-11-17

GRIMALDI, G.; FERNANDEZ, A.; MANTO, M. Augmented visual feedback counteracts the effects of surface muscular functional electrical stimulation on physiological tremor. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, v. 10, p. 100, 24 set. 2013. DOI 10.1186/1743-0003-10-100

GUNN, H. *et al.* Frequency, characteristics, and consequences of falls in multiple sclerosis: findings from a cohort study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 95, n. 3, p. 538-545, mar. 2014. DOI 10.1016/j.apmr.2013.08.244

HALLMAN-COOPER, J. L.; CABRERO, F. R. *Cerebral palsy*. StatPearls [Internet], [s.l.] StatPearls Publishing, 2022.

HO, C. H. *et al.* Functional electrical stimulation and spinal cord injury. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, v. 25, n. 3, p. 631, ago. 2014. DOI 10.1016/j.pmr.2014.05.001

HOBART, J. *et al.* Timed 25-foot walk: direct evidence that improving 20% or greater is clinically meaningful in MS. *Neurology*, v. 80, n. 16, p. 1509-1517, 16 abr. 2013. DOI 10.1212/WNL.0b013e31828cf7f3

IJZERMAN, M. J.; RENZENBRINK, G. J.; GEURTS, A. C. H. Neuromuscular stimulation after stroke: from technology to clinical deployment. *Expert Review of Neurotherapeutics*, v. 9, n. 4, p. 541-552, abr. 2009. DOI 10.1586/ern.09.6

JANG, E. M.; PARK, S. H. Effects of neuromuscular electrical stimulation combined with exercises versus an exercise program on the physical characteristics and functions of the elderly: a randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 5, 3 mar. 2021. DOI 10.3390/ijerph18052463

KAMBLE, N.; PAL, P. K. Tremor syndromes: a review. *Neurology India*, v. 66, n. Supplement, mar. 2018. DOI 10.4103/0028-3886.226440

KAPADIA, N. *et al.* A randomized trial of functional electrical stimulation for walking in incomplete spinal cord injury: effects on walking competency. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, v. 37, n. 5, p. 511-524, set. 2014. DOI 10.1179/2045772314Y.0000000263

KAPADIA, N. M. *et al.* Functional electrical stimulation therapy for grasping in traumatic incomplete spinal cord injury: randomized control trial. *Artificial Organs*, v. 35, n. 3, p. 212-216, mar. 2011. DOI 10.1111/j.1525-1594.2011.01216.x

KARAAHMET, O. Z. *et al.* Effects of functional electrical stimulation-cycling on shoulder pain and subluxation in patients with acute-subacute stroke: a pilot study. *International Journal of Rehabilitation Research*, v. 42, n. 1, p. 36-40, 2019. DOI 10.1097/MRR.0000000000000319

KARAMESINIS, A.; SILLITOE, R. V.; KOUZANI, A. Z. Wearable peripheral electrical stimulation devices for the reduction of essential tremor: a review. *IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions*, v. 9, p. 80066-80076, 28 maio 2021. DOI 10.1109/access.2021.3084819

KIM, J. *et al.* A wearable system for attenuating essential tremor based on peripheral nerve stimulation. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, v. 8, p. 2000111, 6 abr. 2020. DOI 10.1109/JTEHM.2020.2985058

KURODA, M. M. *et al.* Voluntary-assisted upper limb training for severe cerebral palsy using robotics devices and neuromuscular electrical stimulation: three case reports. *Progress in Rehabilitation Medicine*, v. 7, 15 set. 2022. DOI 10.2490/prm.20220050

LOUIS, E. D.; MACHADO, D. G. Tremor-related quality of life: a comparison of essential tremor vs. Parkinson's disease patients. *Parkinsonism & Related Disorders*, v. 21, n. 7, p. 729-735, 1º jul. 2015. DOI 10.1016/j.parkreldis.2015.04.019

- MAFFIULETTI, N. A. *et al.* Clinical use of neuromuscular electrical stimulation for neuromuscular rehabilitation: what are we overlooking? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 99, n. 4, p. 806-812, 2018. DOI 10.1016/j.apmr.2017.10.028
- MANN, G. E.; FINN, S. M.; TAYLOR, P. N. A pilot study to investigate the feasibility of electrical stimulation to assist gait in Parkinson's disease. *Neuromodulation: Journal of the International Neuromodulation Society*, v. 11, n. 2, p. 143-149, abr. 2008. DOI 10.1111/j.1525-1403.2008.00157.x
- MARQUEZ-CHIN, C.; POPOVIC, M. R. Functional electrical stimulation therapy for restoration of motor function after spinal cord injury and stroke: a review. *Biomedical Engineering Online*, v. 19, n. 1, p. 34, 24 maio 2020. DOI 10.1186/s12938-020-00773-4
- MENG, L. *et al.* Peripheral electrical stimulation for parkinsonian tremor: a systematic review. *Frontiers in Aging Neuroscience*, v. 14, p. 795454, 7 fev. 2022. DOI 10.3389/fnagi.2022.795454
- MILLER, L. *et al.* Functional electrical stimulation for foot drop in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis of the effect on gait speed. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 98, n. 7, p. 1435-1452, jul. 2017. DOI 10.1016/j.apmr.2016.12.007
- MILOSEVIC, M. *et al.* Why brain-controlled neuroprosthetics matter: mechanisms underlying electrical stimulation of muscles and nerves in rehabilitation. *Biomedical Engineering Online*, v. 19, n. 1, p. 1-30, 2020. DOI 10.1186/s12938-020-00824-w
- NUSSBAUM, E. L. *et al.* Neuromuscular electrical stimulation for treatment of muscle impairment: critical review and recommendations for clinical practice. *Physiotherapy Canada*, v. 69, n. 5, 2017. DOI 10.3138/ptc.2015-88
- OU, C. *et al.* Neuromuscular electrical stimulation of upper limbs in patients with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, v. 102, n. 2, p. 151-158, 2023. DOI 10.1097/PHM.0000000000002058
- PASCUAL-VALDUNCIEL, A. *et al.* Non-invasive electrical stimulation of peripheral nerves for the management of tremor. *Journal of the Neurological Sciences*, v. 435, p. 120195, 15 abr. 2022. DOI 10.1016/j.jns.2022.120195
- PATIL, S. *et al.* Functional electrical stimulation for the upper limb in tetraplegic spinal cord injury: a systematic review. *Journal of Medical Engineering & Technology*, v. 39, n. 7, p. 419-423, 2015. DOI 10.3109/03091902.2015.1088095
- POPA, L.; TAYLOR, P. Functional electrical stimulation may reduce bradykinesia in Parkinson's disease: a feasibility study. *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering*, v. 2, p. 2055668315607836, 26 out. 2015. DOI 10.1177/2055668315607836

PROCHAZKA, A.; ELEK, J.; JAVIDAN, M. Attenuation of pathological tremors by functional electrical stimulation. I: Method. *Annals of Biomedical Engineering*, v. 20, n. 2, 1992. DOI 10.1007/BF02368521

PUSCHMANN, A.; WSZOLEK, Z. K. Diagnosis and treatment of common forms of tremor. *Seminars in Neurology*, v. 31, n. 1, fev. 2011. DOI 10.1055/s-0031-1271312

RODRÍGUEZ-REYES, G. *et al.* Botulinum toxin, physical and occupational therapy, and neuromuscular electrical stimulation to treat spastic upper limb of children with cerebral palsy: a pilot study. *Artificial Organs*, v. 34, n. 3, mar. 2010. DOI 10.1111/j.1525-1594.2009.00768.x

SCALLY, J. B. *et al.* Evaluating functional electrical stimulation (FES) cycling on cardiovascular, musculoskeletal and functional outcomes in adults with multiple sclerosis and mobility impairment: a systematic review. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, v. 37, jan. 2020. DOI 10.1016/j.msard.2019.101485

TAYLOR, P. N. *et al.* The effectiveness of peroneal nerve functional electrical stimulation for the reduction of bradykinesia in Parkinson's disease: a feasibility study for a randomised control trial. *Clinical Rehabilitation*, v. 35, n. 4, p. 546-557, abr. 2021. DOI 10.1177/0269215520972519

VAFADAR, A. K.; CÔTÉ, J. N.; ARCHAMBAULT, P. S. Effectiveness of functional electrical stimulation in improving clinical outcomes in the upper arm following stroke: a systematic review and meta-analysis. *BioMed Research International*, v. 2015, n. 729768, 2015. DOI 10.1155/2015/729768

VAN DER SCHEER, J. W. *et al.* Functional electrical stimulation cycling exercise after spinal cord injury: a systematic review of health and fitness-related outcomes. *Journal Neuro Engineering Rehabilitation*, v. 18, n. 1, p. 99, jun. 2021. DOI 10.1186/s12984-021-00882-8

VIANNA, P. C. *et al.* Core set da Classificação Internacional da Funcionalidade para lesão medular: construção e validação de instrumento. *Acta Fisiátrica*, v. 26, n. 1, p. 19-24, 31 mar. 2019. DOI 10.11606/issn.2317-0190.v26i1a163012

XU, K. *et al.* Efficacy of constraint-induced movement therapy and electrical stimulation on hand function of children with hemiplegic cerebral palsy: a controlled clinical trial. *Disability and Rehabilitation*, v. 34, n. 4, p. 337-346, 2012. DOI 10.3109/09638288.2011.607213

XU, K. *et al.* Muscle recruitment and coordination following constraint-induced movement therapy with electrical stimulation on children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized controlled trial. *PLoS One*, v. 10, n. 10, p. e0138608, 9 out. 2015. DOI 10.1371/journal.pone.0138608