



## REPERCUSSÕES DA TERAPIA DE ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA DA MEDULA NO TRAUMATISMO RAQUIMEDULAR

### ARTIGO DE REVISÃO

OLIVEIRA, Nikhole<sup>1</sup>, MALINA, Clarice<sup>2</sup>, BERTOLLO, Julia Campana<sup>3</sup>, DUARTE, Karoline Simões Baldotto<sup>4</sup>, MARTINS, Maria Eduarda Zulato<sup>5</sup>, MONTEIRO, Murillo João Ricart<sup>6</sup>, OLIVEIRA, Vanderléia Letícia Pasquariello de<sup>7</sup>, VELOSO, Brenda Mendes<sup>8</sup>

OLIVEIRA, Nikhole. *Et al.* **Repercussões da terapia de estimulação elétrica da medula no traumatismo raquimedular.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 07, Ed. 11, Vol. 15, pp. 108-129. Novembro de 2022.

ISSN: 2448-0959, Link de acesso:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/saude/traumatismo-raquimedular> ,

DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/saude/traumatismo-raquimedular

### RESUMO

A terapia de estimulação elétrica da medula é utilizada para reabilitação de pacientes que possuem lesão medular. Essa técnica vem apresentando resultados promissores, incluindo uma significativa recuperação funcional, além de reduzir o quadro algico e proporcionar melhor qualidade de vida. Dentro deste contexto, a questão norteadora da pesquisa foi definida como: Quais são as repercussões da terapia de estimulação elétrica da medula no traumatismo raquimedular? Esta pesquisa tem como objetivo relatar os principais impactos do manejo terapêutico em questão. Trata-se de uma revisão bibliográfica do tipo integrativa, de caráter qualitativo e abordagem exploratória. Assim, foram selecionados 21 artigos, os quais foram analisados de forma criteriosa, para compor esta revisão. Os principais resultados enfatizaram que a terapia de estimulação elétrica da medula mostrou benefícios em relação à condição motora dos pacientes com o traumatismo raquimedular e do seu quadro algico. Em uma única sessão da estimulação transcutânea, usada para estimular os circuitos espinhais através de uma corrente elétrica, evidenciou uma modulação da excitabilidade entre neurônios da coluna vertebral e isso pode justificar a recuperação motora. A longo prazo essa recuperação é mediada pela neuroplasticidade, sendo possível a retomada de habilidades que exigem o controle motor fino. Ainda, houve evidências da



capacidade da microestimulação intraespinal operar como tratamento para os quadros álgicos, pela normalização da hiperexcitabilidade neuronal do corno dorsal. Ademais, a estimulação elétrica restaura a excitabilidade dos neurônios sublesionais e, por sua vez, podem ser reintegrados em circuitos funcionais. Portanto, a estimulação elétrica terapêutica utilizada no tratamento da lesão raquimedular apresentou resultados significativos na recuperação funcional e na reabilitação dos pacientes.

Palavras-chave: Traumatismos da Medula Espinal, Lesões da Medula Espinal, Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea, Estimulação Elétrica.

## 1. INTRODUÇÃO

A lesão da medula espinal é uma condição de surgimento abrupto, pode ser desencadeada por um trauma, incluindo acidente automobilístico, acidente em mergulho em águas rasas, queda e arma de fogo, ou por causas não traumáticas, por exemplo: malformação congênita, processos degenerativos, tumores e infecção. Conforme o nível de comprometimento, a lesão medular (LM) pode apresentar repercussões diversas que refletem na maximização da morbimortalidade do paciente e, conseqüentemente, na qualidade de vida do mesmo. Em relação às manifestações clínicas do indivíduo portador de LM, observam-se déficits importantes na função motora, sensorial, térmica, sexual, controle esfinteriano, espasticidade, dor e entre outras funções fisiológicas (HOFER; SCHWAB, 2019; SAYENKO *et al.*, 2019).

Referente ao tratamento, estudos inovadores demonstram que a combinação de treinamento de reabilitação com neuromodulação do cérebro ou da medula espinal estão relacionados com o aumento da excitabilidade dos circuitos motores. Além disso, estão associados a uma maior promoção da recuperação motora do paciente, sendo esse manejo terapêutico baseado na estimulação elétrica transcutânea da medula espinal (HOFER; SCHWAB, 2019; SAYENKO *et al.*, 2019).

No tocante ao funcionamento da estimulação elétrica, esta é realizada por meio de eletrodos que podem ser colocados na superfície da pele ou implantados de modo



percutâneo no músculo de interesse. Na estimulação transcutânea da medula espinhal (TSCS) eletrodos são colocados na pele e estimulam os circuitos espinhais por meio de uma corrente elétrica, tornando-se uma técnica não invasiva de neuromodulação. Já na inserção percutânea, os eletrodos implantados têm um direcionamento superior, porém têm inserção invasiva e potencial risco de infecção (TAYLOR *et al.*, 2021).

Embora os mecanismos de ação nas vias do sistema nervoso central ainda não estejam completamente conhecidos, estudos têm demonstrado que a estimulação elétrica transcutânea da medula espinhal (TESS) promove a recuperação funcional em pessoas com lesão medular. Observam-se melhora de função sensorial, motora, condições cardiovasculares e funcionalidade da bexiga, além de evidenciar uma menor espasticidade (BENAVIDES *et al.*, 2020).

Acerca da estimulação elétrica funcional (FES), um campo elétrico é gerado entre o eletrodo ativo e um segundo eletrodo de referência, forçando a atividade elétrica a fluir. Os eletrodos são fabricados com materiais resistentes a processos químicos como corrosão ou oxidação. A principal falha desse dispositivo é causada pelo próprio sistema de defesa do nosso organismo ao encapsular um corpo estranho. Por isso, várias estratégias estão sendo adotadas para modificar as superfícies dos eletrodos e reduzir a formação de cicatriz glial (HO *et al.*, 2014). Referente aos benefícios do cuidado em questão, tem-se a promoção de movimentos funcionais como destaque, sendo um exemplo disso a capacidade de levantar um livro de uma mesa. Para tanto, é utilizado um sistema denominado neuroprótese motora que é composta por um estimulador elétrico, eletrodos, sensores ou controle automático da estimulação e, em alguns quadros, órteses para produzir os movimentos desejados (MARQUEZ-CHIN; POPOVIC, 2020).

No mesmo sentido, a estimulação elétrica epidural (EES) é uma técnica que já possui evidências e estudos experimentais realizados em animais e humanos.



Nesse modelo, fibras aferentes transmitem informações por meio de circuitos proprioceptivos e aumenta a excitabilidade geral da medula espinhal lombar, o que possibilita a ativação muscular (FORMENTO *et al.*, 2018).

Quanto à terapia do quadro algíco, a estimulação elétrica da medula espinhal é um tratamento que pode ser utilizado em pacientes com dor crônica refratária à farmacoterapia como: opióides, antidepressivos e anticonvulsivantes. Além de não possuir efeitos colaterais sistêmicos, é uma técnica ajustável e reversível que melhora a qualidade de vida dos pacientes (HUANG *et al.*, 2019).

Outro estudo também evidenciou melhora imediata e prolongada na função da mão com a estimulação transcutânea da medula espinhal cervical. Mesmo com achados promissores, novos estudos são necessários para definir os efeitos a longo prazo e as indicações e potenciais receptores da intervenção combinada para garantir resultados clínicos ideais (INANICI *et al.*, 2021).

Conforme o exposto, a terapia por estimulação elétrica em pacientes portadores de LM é uma técnica promissora, sendo as descobertas mais recentes animadoras e potenciais no quesito de ampliação das possibilidades terapêuticas em casos de traumatismo raquimedular. Diante disso, o presente estudo apresenta como questionamento central: Quais são as repercussões da terapia de estimulação elétrica da medula no traumatismo raquimedular? Esta pesquisa tem como objetivo relatar os principais impactos do manejo terapêutico em questão.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 METODOLOGIA**

Trata-se de uma revisão bibliográfica do tipo integrativa, de caráter qualitativo e abordagem exploratória, através de levantamentos bibliográficos em bases de dados livre Scielo e PubMed.



Nesta perspectiva, para a identificação de estudos sobre o tema foi utilizado os Descritores em Ciências da Saúde nos idiomas português, inglês e espanhol, para configuração da seguinte fórmula de busca que, em sequência, seria utilizada nas bases de dados: “ (Traumatismos da Medula Espinal OR Choque Medular OR Lesões da Medula Espinal OR Lesões da Medula Espinhal OR Mielopatia Traumática OR Traumas da Medula Espinal OR Traumas da Medula Espinhal OR Traumas Medulares OR Traumatismos da Medula Espinhal OR Traumatismos Medulares OR *Spinal Cord Injuries* OR *Traumatismos de la Médula Espinal*) AND (Estimulação Elétrica OR *Electric Stimulation* OR *Estimulación Eléctrica* OR Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea OR Eletroanalgesia OR Eletroestimulação Cutânea Analgésica OR Eletroestimulação Nervosa Transcutânea OR Eletroestimulação Transdérmica OR Estimulação Elétrica Percutânea do Nervo OR Estimulação Elétrica Transcutânea OR Estimulação Elétrica Transcutânea do Nervo OR TENS OR Terapia de Neuromodulação Elétrica Percutânea OR Terapia de Neuromodulação Percutânea OR *Transcutaneous Electric Nerve Stimulation* OR *Estimulación Eléctrica Transcutánea del Nervio* OR Terapia por Estimulação Elétrica OR Eletroterapia OR *Electric Stimulation Therapy* OR *Terapia por Estimulación Eléctrica*)“.

Foram incluídos artigos que atendessem aos seguintes critérios: publicações no período de 2017 a 2022; artigos em português, inglês ou espanhol; artigos que respondem à questão de pesquisa. Neste contexto, foram excluídos aqueles publicados antes de 2017, bem como os trabalhos de metanálise e revisão sistemática. Finalmente, após uma análise dos títulos e conteúdo dos respectivos estudos, restaram 21 artigos, os quais compõem esta revisão de literatura.

Os artigos obtidos neste processo foram avaliados de forma criteriosa a fim de responder à pergunta norteadora da pesquisa sobre as repercussões da terapia de estimulação elétrica da medula no traumatismo raquimedular.



## 2.2 RESULTADOS

De modo a facilitar o entendimento da seleção dos artigos que compõem esta pesquisa, a tabela 1 descreve os principais resultados dos estudos selecionados.

Tabela 1: Principais Resultados dos Artigos Selecionados para Pesquisa

<b>Autor/Ano/País</b>	<b>Título</b>	<b>Principais Resultados</b>
<b>SIVARAMAKRISHNAN; SOLOMON; MANIKANDAN, 2018, Índia</b>	<i>Comparison of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and functional electrical stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury - A pilot randomized cross-over trial</i>	O estudo concluiu que, o uso da Estimulação Elétrica Nervosa Transcutânea (TENS) e da Estimulação Elétrica Funcional (FES) reduz a espasticidade dos adutores do quadril e extensores do joelho em pacientes com lesão medular, sem diferença significativa entre as duas modalidades terapêuticas.
<b>MARQUEZ-CHIN; POPOVIC, 2020, Canadá</b>	<i>Functional electrical stimulation therapy for restoration of motor function after spinal cord injury and stroke: a review</i>	O estudo evidenciou, a importância da estimulação elétrica funcional na melhora da função motora de indivíduos com Acidente Vascular Cerebral (AVC) e lesão medular. Ademais, surge a tendência dessa terapia ser cada vez mais utilizada, dada sua capacidade de neuroreabilitação.
<b>HOFER; SCHWAB, 2019, Suíça</b>	<i>Enhancing rehabilitation and functional recovery after brain and spinal cord trauma with electrical neuromodulation</i>	A estimulação elétrica restaura a excitabilidade dos neurônios sublesionais e seu uso repetitivo leva ao fortalecimento das projeções poupadas e conexões recém brotadas.
<b>SAYENKO et al., 2019, Estados Unidos</b>	<i>Self-Assisted Standing Enabled by Non-Invasive Spinal Stimulation after Spinal Cord Injury</i>	A postura auto-assistida ou minimamente assistida foi recuperada pelo uso da estimulação elétrica não invasiva e a qualidade do controle do equilíbrio melhorou com sessões de treinamento repetidas.
<b>FORMENTO et al., 2018, Suíça</b>	<i>Electrical spinal cord stimulation must preserve proprioception to enable locomotion in humans with spinal cord injury</i>	O estudo conclui que, a estimulação elétrica epidural é menos eficaz em humanos, quando comparada aos resultados apresentados em modelos animais.



<b>TAYLOR et al., 2021, Irlanda</b>	<i>Transcutaneous spinal cord stimulation and motor responses in individuals with spinal cord injury: A methodological review</i>	Os estudos acerca das intervenções com estimulação medular transcutânea necessitam de uma melhor padronização na seleção, organização e análise dos dados coletados.
<b>WU et al., 2020, Estados Unidos</b>	<i>Posteroanterior cervical transcutaneous spinal stimulation targets ventral and dorsal nerve roots</i>	O estudo testou uma nova configuração para a estimulação espinhal transcutânea cervical e os resultados mostram que o estímulo atinge neurônios motores e ativa os músculos da extremidade superior em pacientes com lesão da medula espinhal cervical e esclerose lateral amiotrófica.
<b>ABUALAIT; IBRAHIM, 2020, Arábia Saudita</b>	<i>Spinal direct current stimulation with locomotor training in chronic spinal cord injury</i>	Os resultados evidenciam que a estimulação espinhal transcutânea por corrente contínua, em combinação com outras intervenções, pode ser usada como estratégia terapêutica na lesão medular crônica.
<b>AJIBOYE et al., 2018, Estados Unidos</b>	<i>Restoration of reaching and grasping movements through brain-controlled muscle stimulation in a person with tetraplegia: a proof-of-concept demonstration</i>	Indivíduos com lesão medular que utilizaram uma neuroprótese com estimulação elétrica funcional combinada a uma interface intracortical cérebro-computador obtiveram melhora em realizar movimentos presentes na vida diária.
<b>BENAVIDES et al., 2020, Estados Unidos</b>	<i>Cortical and Subcortical Effects of Transcutaneous Spinal Cord Stimulation in Humans with Tetraplegia</i>	A Estimulação Elétrica Transcutânea da Medula Espinhal (TESS) é capaz de promover melhoria no desempenho motor dos participantes e alterar a excitabilidade em vias neuronais. Concomitantemente, essa terapia potencializa a inibição no córtex primário.
<b>KUMRU et al., 2020, Espanha</b>	<i>Non-invasive brain and spinal cord stimulation for motor and functional recovery after a spinal cord injury.</i>	Apesar da heterogeneidade dentre os dados expostos nos artigos avaliados, sugere-se que a estimulação cerebral não invasiva se mostra como uma técnica promissora para a reabilitação de pacientes com lesão medular.



<b>INANICI et 2021,</b> <i>al., Estados Unidos</i>	<i>Transcutaneous Spinal Cord Stimulation Restores Hand and Arm Function After Spinal Cord Injury</i>	O efeito da estimulação transcutânea da medula espinhal quando combinado a um treinamento físico intensivo leva a uma recuperação mais rápida e sustentada da função da mão e do braço, mesmo após paralisia completa.
<b>RAHIMI et al., 2020, Irã</b>	<i>Advanced weight-bearing mat exercises combined with functional electrical stimulation to improve the ability of wheelchair-dependent people with spinal cord injury to transfer and attain independence in activities of daily living: a randomized controlled trial</i>	Exercícios avançados de esteira com sustentação de peso combinados a Estimulação Elétrica Funcional (FES) dos músculos quadríceps e gastrocnêmico, são capazes de melhorar a capacidade funcional de pacientes com Lesão Medular (LM).
<b>IEVINS; MORITZ, 2017, Estados Unidos</b>	<i>Therapeutic Stimulation for Restoration of Function After Spinal Cord Injury</i>	A estimulação espinhal é dotada de 3 vias de administração: peridural, transcutânea e intraespinhal. Essa terapia é capaz de levar benefícios na função motora e nas funções autonômicas dos indivíduos com lesão na medula espinhal. No entanto, os mecanismos associados aos benefícios do manejo em questão não são completamente esclarecidos.
<b>LOMBARDO et al., 2018, Estados Unidos</b>	<i>Impact of an implanted neuroprosthesis on community ambulation in incomplete SCI</i>	O estudo teve como objetivo testar uma neuroprótese implantada para melhorar a deambulação em pacientes com lesão medular incompleta. A partir do teste realizado em uma paciente a pesquisa evidenciou que a mesma teve a capacidade de caminhar, com aumento na velocidade e distância percorrida.
<b>HO et al., 2014, Canadá</b>	<i>Functional Electrical Stimulation and Spinal Cord Injury</i>	A estimulação elétrica do sistema nervoso, pode ser considerada como uma estratégia de tratamento e reabilitação de pacientes com lesão medular. Essa terapia apresenta capacidade de melhorar o estado funcional dos pacientes.
<b>JACK et al., 2020, Estados Unidos</b>	<i>Electrical stimulation as a tool to promote plasticity of the injured spinal cord</i>	Evidenciou-se que a estimulação elétrica promove melhor resposta em lesões agudas, quando a reabilitação não é possível.



<b>SHU; YANG; GUAN, 2017, China</b>	<i>Intra-spinal microstimulation may alleviate chronic pain after spinal cord injury</i>	A microestimulação intraespinal pode ser utilizada como uma alternativa para tratar quadros álgicos de lesão da medula espinal, principalmente para a dor no nível e abaixo do nível da lesão.
<b>MAKOWSKI et al., 2020, Estados Unidos</b>	<i>Walking after incomplete spinal cord injury with an implanted neuromuscular electrical stimulation system and a hinged knee replacement: a single-subject study</i>	A abordagem combinada de sistema de estimulação elétrica neuromuscular implantado e artroplastia de joelho reduziu a dor e restaurou a capacidade de caminhar a níveis alcançados antes de desenvolver a dor no joelho. Foi evidenciado também alterações significativas referente a caminhada do paciente, mas o maior impacto foi na resistência.
<b>RATH et al., 2018, Estados Unidos</b>	<i>Trunk stability enabled by non-invasive spinal electrical stimulation after spinal cord injury</i>	A estimulação sobre o aumento lombossacral melhorou o controle autônomo da posição sentada em pacientes que tiveram paralisia completa ou parcial após 2 anos do início do quadro. Os participantes também conseguiram melhorar o seu equilíbrio.
<b>HUANG et al., 2019, Estados Unidos</b>	<i>Spinal Cord Stimulation for Pain Treatment After Spinal Cord Injury</i>	A estimulação elétrica da medula espinal reduziu a necessidade do uso de opioides. Além disso, esse manejo não apresenta efeitos colaterais sistêmicos, é ajustável e reversível. No entanto, não há forte evidência para apoiar a sua eficácia.

Fonte: os autores.

Dentre os estudos analisados, 23,80% (n=5) apontaram que as Lesões de Medula Espinal (SCI) tem sua origem por consequência de um evento traumático ou não traumático, que é caracterizado pela interrupção das comunicações do cérebro com o corpo, gerando um estado de hiperexcitabilidade neuronal central (SHU; YANG; GUAN, 2017). Como consequência, pode-se ter a perda função sensorial e motora que culminam diretamente no comprometimento da locomoção dos indivíduos lesionados (MARQUEZ-CHIN; POPOVIC, 2020).

Em consonância com Hofer e Schwab (2019), a SCI é carregada de alta incidência de morbimortalidade. Entretanto, segundo HO *et al.* (2014), o uso de terapias que



estimulam a medula, como a estimulação elétrica (ES) surge como uma alternativa capaz de promover restauração dos membros superiores, inferiores e do tronco e diminuir os índices de mortalidade e morbidade. A ES pode ser aplicada no momento em que não há possibilidade de reabilitação do membro, logo ela atua melhor em lesões agudizadas e promove reparo nas redes neurais lesionadas (JACK *et al.*, 2020).

De acordo com Kumru *et al.* (2020) as alterações advindas da lesão medular também comprometem a qualidade de vida dos pacientes, reduzindo assim o bem-estar físico, social e psicológico. Segundo HO *et al.* (2014), O uso da ES surge nesse contexto como uma alternativa capaz de promover restauração dos membros superiores, inferiores e do tronco e diminuir os índices de mortalidade e morbidade. Esse método é menos invasivo e possui poucos efeitos colaterais e apresenta maior segurança quando comparado a determinados métodos farmacológicos (SIVARAMAKRISHNAN; SOLOMON; MANIKANDAN, 2018).

Outrossim, Marquez-chin e Popovic (2020) acrescentam que, a estimulação elétrica produz descargas elétricas que irão estimular os músculos, gerando contrações para permitir a recuperação de movimentos perdidos após uma lesão medular.

Por outro lado, Formento *et al.* (2018) apresenta em sua pesquisa outros métodos de tratamento, dentre os quais pode-se destacar a Estimulação Elétrica Epidural, que mostrou ser mais eficaz em animais em relação à melhora da locomoção. Todavia, evidenciou-se benefícios com o seu uso, como melhora na função motora e sensorial em humanos. Para Wu *et al.* (2020) a Estimulação Transcutânea da Medula Espinhal (tSCS), também se apresenta como uma possível alternativa na terapia, esse método atua de forma não invasiva, estimulando os circuitos espinhais que são capazes de modelar e induzir modificações na excitabilidade corticoespinhal (CE) na lesão medular incompleta (ABUALAIT; IBRAHIM, 2020).



Ademais, Benavides *et al.* (2020), apresenta a estimulação elétrica transcutânea da medula espinhal, a mesma promove potenciais evocados na musculatura induzidos pela estimulação cortical e subcortical dos axônios. Em sua pesquisa, Levins e Moritz (2017) relatam acerca da tSCS, que atua no processo de ativação de circuitos nervosos aferentes, melhorando a função motora da musculatura de membros paralisados.

Atuando de maneira análoga, a Estimulação Elétrica Funcional (FES), é uma técnica aplicada para recuperar movimentos funcionais da locomoção tais como, ficar em pé, agarrar, flexionar e estender a perna. (RAHIMI *et al.*, 2020). A FES é um método que fornece estímulos na musculatura por meio de eletrodos percutâneos para produzir contração muscular e tornar viável a movimentação de membros lesionados. (AJIBOYE *et al.*, 2018)

Vale ressaltar ainda que, as terapias de estimulação da medula, não melhoram somente o processo de locomoção dos indivíduos, de acordo com Inanici *et al.* (2021), os pacientes tratados experimentaram melhoras no sistema cardiovascular, no intestino, na bexiga e na função sexual. Além disso, Sayenko *et al.* (2019) em concordância com Huang *et al.* (2019), relataram uma melhora na qualidade de vida relacionado à saúde, diminuição de quadro algícos e melhora da postura.

Foi observado também, um benefício na caminhada, no controle do tronco, bem como uma melhora na flexão do quadril e do joelho em paciente que fizeram uso de uma neuroprótese que promovia estímulos elétricos na medula (LOMBARDO *et al.*, 2018).

Ademais, Rath *et al.* (2018) explica que a terapia de neuromodulação elétrica promoveu melhora no controle de movimento dos músculos dos membros que não se moviam devido a lesão na medula, a neuromodulação atua gerando aumento na atividade dos músculos.



Segundo Makowski *et al.* (2020) em concordância com Taylor *et al.* (2021), ressaltam que embora os estudos iniciais sobre a Estimulação Medular Transcutânea auxiliaram no entendimento de como essa terapia auxilia na recuperação motora, ainda sim necessita-se de estudos e análises adicionais sobre a temática, de modo a elucidar quais são os efeitos a longo prazo advindos de sua utilização. Do mesmo modo, Hofer e Schwab (2019) afirmam que, a literatura que aborda a neuromodulação elétrica para recuperação de função motora necessita de mais dados pré-clínicos e clínicos, com intuito de determinar com mais clareza as características do tratamento, e um esquema terapêutico ideal para cada perfil de paciente.

## **2.3 DISCUSSÃO**

### **2.3.1 BENEFÍCIOS ASSOCIADOS À CONDIÇÃO MOTORA**

Desde a década de 1960, aconteceram grandes avanços na neuroreabilitação com a finalidade de aprimorar o gerenciamento de prejuízos motores graves decorrentes de traumas da medula espinhal e, possivelmente, da esclerose lateral amiotrófica (HOFER; SCHWAB, 2019; WU *et al.*, 2020).

A estimulação elétrica terapêutica tem sido mais utilizada por apresentar resultados significativos na recuperação funcional desses pacientes. Dentre os tipos de estimulação elétrica destacam-se a estimulação elétrica transcutânea e a estimulação elétrica funcional que são mais empregadas pela facilidade de administração, segurança e por apresentar caráter menos invasivo (SIVARAMAKRISHNAN; SOLOMON; MANIKANDAN, 2018; MARQUEZ-CHIN; POPOVIC, 2020).

Ademais, Thomaz *et al.* (2019) sugere que a redução da espasticidade, imediatamente, após a estimulação elétrica pode refletir em somente uma fadiga muscular com duração de até um dia. Diferentemente disso, Sivaramakrishnan,



Solomon e Manikandan *et al.* (2018) afirma através de outros estudos que uma única sessão de estimulação elétrica nervosa transcutânea tem sido eficaz para reduzir a espasticidade espinhal e que os efeitos seriam prolongados com múltiplas sessões. Na pesquisa de Thomaz *et al.* (2019), foram analisados 108 pacientes quanto ao efeito da estimulação elétrica na espasticidade dos membros inferiores, no qual concluiu que não houve redução significativa, embora a maior parte dos estudos reafirmem a queda da espasticidade.

Segundo Taylor *et al.* (2021) a modalidade de estimulação da medula espinhal transcutânea é usada para estimular os circuitos espinhais através de uma corrente elétrica. A estimulação da medula espinhal transcutânea pode modular a excitabilidade entre neurônios da coluna vertebral e isso pode justificar a recuperação motora nas regiões de membros inferiores e tronco em pacientes com lesão medular (WU *et al.*, 2020; TAYLOR *et al.*, 2021).

O estudo de Wu *et al.* (2020) foi o primeiro a relatar a estimulação espinhal transcutânea aplicada em pacientes com Esclerose Lateral Amiotrófica, doença a qual cursa com degeneração difusa do neurônio motor superior e inferior, reduzindo assim respostas motoras. Observou-se que com uso da configuração de eletrodo posteroanterior ocorria a ativação de diversos músculos das extremidades superiores bilateralmente em intensidades de estímulo mais baixas do que relatadas com o uso de outras configurações, principalmente o músculo abdutor curto do polegar (APB) que foi o que teve melhor resultado para todos os experimentos analisados neste artigo.

Ademais, a pesquisa realizada por Kumru *et al.* (2020) reafirma a importância da estimulação elétrica como cuidado dos pacientes portadores de TRM. Este trabalho avaliou trinta e dois pacientes, sendo trinta indivíduos portadores de lesão medular completa e dois com lesão medular incompleta, dentre os quais, onze foram tratados com estimulação medular. Estes obtiveram melhora da resposta muscular, durante



a locomoção simultânea à estimulação, bem como uma coordenação flexível do quadril e joelho.

De acordo com Inanici *et al.* (2021), o efeito dessa estimulação a longo prazo sobre os membros superiores após a paralisia indica uma recuperação mediada pela neuroplasticidade. Além disso, o autor em questão ressalta a possível retomada de habilidades que exigem o controle motor fino através da terapia abordada.

Segundo Benavides *et al.* (2020) a utilização de apenas uma única sessão de estimulação elétrica transcutânea da medula espinhal nos músculos do braço provocados pela estimulação cortical e subcortical de axônios corticospinais, influenciou em paralelo as redes cortical e espinhal, tendo um efeito excitatório no nível da coluna vertebral e um efeito inibidor no nível cortical. Esse efeito evidenciou impacto positivo na condição motora voluntária dos pacientes.

Com base no estudo realizado por Rahimi *et al.* (2020), foram identificadas melhoras relevantes na capacidade funcional dos pacientes que realizaram exercícios avançados em esteira associados com estimulação elétrica dos músculos inferiores, como gastrocnêmio e quadríceps. Para exemplificar, um ensaio clínico randomizado descrito por Jo e Perez (2020) avaliou vinte e cinco indivíduos com lesão medular cervical, torácica e lombar crônica. Os pacientes foram aleatoriamente atribuídos a dez sessões de exercício combinadas com estimulação neuronal corticospinal-motor e exercitaram por quarenta e cinco minutos seguindo o protocolo da pesquisa. A partir disso, observaram um aumento de amplitude das respostas corticospinais provocadas pela estimulação magnética transcraniana e a magnitude das contrações voluntárias máximas nos músculos direcionados também foi estimulada. Esses achados indicam que a estimulação não invasiva direcionada de sinapses espinhais pode representar uma estratégia eficaz para facilitar a recuperação mediada pelo exercício.



### 2.3.2 RESPOSTA AO QUADRO ÁLGICO

A dor após uma lesão medular é uma consequência quase que absoluta para a maioria dos pacientes. É uma dor que pode se tornar crônica e de forte intensidade, desse modo, pode apresentar repercussões negativas na qualidade de vida desses indivíduos, incluindo maior incapacidade nas atividades de vida diária e piora da condição psicológica dos mesmos. Portanto, a resolução do quadro algico é uma medida que deve ser implementada de modo preciso e adequado. Os trabalhos de Ho *et al.* (2014) e Shu, Yang e Guan (2017) exploraram esse tema e trouxeram evidências de como a estimulação elétrica do sistema nervoso e a microestimulação intraespinal podem operar como tratamento para os quadros algicos. Essa medida é possível pela normalização da hiperexcitabilidade neuronal do corno dorsal, causando uma diminuição da dor ao inibir os mecanismos promotores de dor originados na medula espinhal.

Na pesquisa de Mokhtari *et al.* (2020), os estudos clínicos avaliados em pacientes com dor neuropática central tratados pela estimulação elétrica transcutânea, observou a importância da frequência e intensidade de estimulação. Tais parâmetros foram considerados fundamentais para resultar efeitos analgésicos. No entanto, são estudos que ainda apresentam conflitos práticos clínicos, devido a variáveis na aplicação dos estímulos. Logo, essa medida terapêutica ainda carece de esclarecimentos científicos. Além disso, é necessário realizar ensaios clínicos multicêntricos com protocolos de estimulação para o tratamento de dor neuropática tanto periférica quanto central para maiores conhecimentos do controle algico proporcionado pela estimulação elétrica.

### 2.3.3 REPERCUSSÕES GERAIS

Para Benavides *et al.* (2020), a estimulação elétrica transcutânea assistida, além de promover a recuperação funcional em pacientes com lesão medular, melhora a função cardiovascular, a função da bexiga e reduz a espasticidade, ao aumentar o



exercício e a ventilação de pico, assim como foi concluído por Hofer e Schwab (2019) e Luo *et al.* (2020). A melhora do desempenho após a prática repetida e a aprendizagem motora têm sido associada com aumentos na inibição intracortical em alguns casos. Também foi demonstrado que a estimulação elétrica funcional pode ajudar a preservar a massa óssea, reduzir úlceras de pressão e controlar o equilíbrio e a postura (Thomaz *et al.*, 2019).

No tocante aos estudos sobre lesão medular mais recentes, estes trabalham com a hipótese de que a estimulação elétrica restaura a excitabilidade dos neurônios sublesionais e que podem então ser reintegrados em circuitos funcionais por uso. Portanto, tem-se destacado mais a neuromodulação aplicada durante o treinamento assistido. Em suma, a estimulação elétrica funcional em suas diferentes modalidades tem se mostrado benéfica para respiração, circulação, força, mobilidade e metabolismo de pacientes com lesão medular (BENAVIDES *et al.*, 2020).

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomando a questão norteadora da pesquisa, a estimulação elétrica terapêutica utilizada no tratamento da lesão raquimedular apresenta resultados significativos na recuperação funcional e na reabilitação dos pacientes. A estimulação elétrica mostra sinais promissores quanto a restauração da excitabilidade dos neurônios sublesionados, melhora na resposta muscular e na diminuição de espasticidade, e, redução do quadro algico através da microestimulação intraespinal. Porém, ainda se faz necessário mais estudos para concluir a respeito da prorrogação desses efeitos.

### REFERÊNCIAS

ABUALAIT, T. S.; IBRAHIM, A. I. Spinal direct current stimulation with locomotor training in chronic spinal cord injury. **Saudi Medical Journal**, v. 41, n. 1, p. 88–93,



2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15537/smj.2020.1.24818>. Acesso em 29 ago. 2022.

AJIBOYE, A. B. et al. Restoration of reaching and grasping movements through brain-controlled muscle stimulation in a person with tetraplegia: a proof-of-concept demonstration. **Lancet (London, England)**, v. 389, n. 10081, p. 1821–1830, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)30601-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)30601-3). Acesso em 29 ago. 2022.

BENAVIDES, F. D. et al. Cortical and subcortical effects of transcutaneous spinal cord stimulation in humans with tetraplegia. **Journal of Neuroscience**, v. 40, n. 13, p. 2633–2643, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2374-19.2020>. Acesso em 29 ago. 2022

FORMENTO, E. et al. Electrical spinal cord stimulation must preserve proprioception to enable locomotion in humans with spinal cord injury. **Nature Neuroscience**, v. 21, n. 12, p. 1728–1741, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0262-6>. Acesso em 29 ago. 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. 631–654, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2014.05.001>. Acesso em 29 ago. 2022.

HOFER, A. S.; SCHWAB, M. E. Enhancing rehabilitation and functional recovery after brain and spinal cord trauma with electrical neuromodulation. **Current Opinion in Neurology**, v. 32, n. 6, p. 828–835, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/wco.0000000000000750>. Acesso em 29 ago. 2022.

HUANG, Q. et al. Spinal Cord Stimulation for Pain Treatment After Spinal Cord Injury. **Neuroscience Bulletin**, v. 35, n. 3, p. 527–539, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12264-018-0320-9>. Acesso em 29 ago. 2022.

IEVINS, A.; MORITZ, C. T. Therapeutic stimulation for restoration of function after spinal cord injury. **Physiology**, v. 32, n. 5, p. 391–398, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1152/physiol.00010.2017>. Acesso em 29 ago. 2022.

INANICI, F. et al. Transcutaneous Spinal Cord Stimulation Restores Hand and Arm Function after Spinal Cord Injury. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 29, n.Xxx, p. 310–319, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tnsre.2021.3049133>. Acesso em 29 ago. 2022.



JACK, A. S. et al. Electrical Stimulation as a Tool to Promote Plasticity of the Injured Spinal Cord. **Journal of Neurotrauma**, v. 37, n. 18, p. 1933–1953, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/neu.2020.7033>. Acesso em 29 ago. 2022.

JO, H. J.; PEREZ, M. A. Corticospinal-motor neuronal plasticity promotes exercisemediated recovery in humans with spinal cord injury. **Brain: a journal of neurology**, v. 143, n. 5, p. 1368–1382, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/brain/awaa052>. Acesso em 29 ago. 2022.

KUMRU, H. et al. Non-invasive brain and spinal cord stimulation for motor and functional recovery after a spinal cord injury. **Revista de Neurologia**, v. 70, n. 12, p. 461–477, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33588/rn.7012.2019453>. Acesso em 29 ago. 2022.

LOMBARDO, L. M. et al. Impact of an implanted neuroprosthesis on community ambulation in incomplete SCI. **Journal of Spinal Cord Medicine**, v. 41, n. 2, p. 165–173, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10790268.2016.1275448>. Acesso em 29 ago. 2022.

LUO, S. et al. A Review of Functional Electrical Stimulation Treatment in Spinal Cord Injury. **NeuroMolecular Medicine**, v. 22, n.4, p. 447–463, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12017-019-08589-9>. Acesso em 29 ago. 2022.

MAKOWSKI, N. S. et al. Walking after incomplete spinal cord injury with an implanted neuromuscular electrical stimulation system and a hinged knee replacement: a single-subject study. **Spinal Cord Series and Cases**, v. 6, n. 1, p. 1-8, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41394-020-00336-8>. Acesso em 29 ago. 2022.

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. 1–25, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12938-020-00773-4>. Acesso em 29 ago. 2022.

MOKHTARI, T. et al. Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation in Relieving Neuropathic Pain: Basic Mechanisms and Clinical Applications. **Current pain and headache reports**, v. 24, n. 4, p.14, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11916-020-0846-1>. Acesso em 29 ago. 2022.

RAHIMI, M. et al. Advanced weight-bearing mat exercises combined with functional electrical stimulation to improve the ability of wheelchair-dependent people with spinal cord injury to transfer and attain independence in activities of daily living: a randomized controlled trial. **Spinal Cord**, v. 58, n. 1, p. 78–85, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41393-019-0328-7>. Acesso em 29 ago. 2022.



RATH, M. et al. Trunk Stability Enabled by Noninvasive Spinal Electrical Stimulation after Spinal Cord Injury. **Journal of Neurotrauma**, v. 35, n. 21, p. 2540–2553, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/neu.2017.5584>. Acesso em 29 ago. 2022.

SAYENKO, D. G. et al. Self-assisted standing enabled by non-invasive spinal stimulation after spinal cord injury. **Journal of Neurotrauma**, v. 36, n. 9, p. 1435–1450, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/neu.2018.5956>. Acesso em 29 ago. 2022.

SHU, B.; YANG, F.; GUAN, Y. Intra-spinal microstimulation may alleviate chronic pain after spinal cord injury. **Medical hypotheses**, v. 104, n. Xxx, p. 73–77, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2017.05.028>. Acesso em 29 ago. 2022.

SIVARAMAKRISHNAN, A.; SOLOMON, J. M.; MANIKANDAN, N. Comparison of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) and functional electrical stimulation (FES) for spasticity in spinal cord injury - A pilot randomized cross-over trial. **Journal of Spinal Cord Medicine**, v. 41, n. 4, p. 397–406, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10790268.2017.1390930>. Acesso em 29 ago. 2022.

TAYLOR, C. et al. Transcutaneous spinal cord stimulation and motor responses in individuals with spinal cord injury: A methodological review. **A methodological review. PloS one**, v. 16, n. 1-33, p. 11, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260166>. Acesso em 29 ago. 2022.

THOMAZ et al. Effect of electrical stimulation on muscle atrophy and spasticity in patients with spinal cord injury – a systematic review with meta-analysis. **Spinal Cord**, v. 57, n. 4, p. 258-266, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41393019-0250-z>. Acesso em 29 ago. 2022.

WU, Y. K. et al. Posteroanterior cervical transcutaneous spinal stimulation targets ventral and dorsal nerve roots. **Clinical Neurophysiology**, v. 131, n. 2, p. 451–460, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.056>. Acesso em 29 ago. 2022.

Enviado: Outubro, 2022.

Aprovado: Novembro, 2022.



- <sup>1</sup> Graduação Incompleta. ORCID: 0000-0001-6115-2452.
- <sup>2</sup> Graduação Incompleta. ORCID: 0000-0001-6962-4063.
- <sup>3</sup> Graduação Incompleta. ORCID: 0000-0003-1603-9543. <sup>4</sup> Graduação incompleta. ORCID: 0000-0001-5510-2352.
- <sup>5</sup> Graduação Incompleta. ORCID: 0000-0001-9371-5192.
- <sup>6</sup> Graduação Incompleta. ORCID: 0000-0002-8192-084X.
- <sup>7</sup> Graduação completa em Biomedicina e Graduando em Medicina. ORCID: 0000-0002-8075-275X.
- <sup>8</sup> Orientadora. ORCID: 0000-0002-4913-8831.