

DOI: <https://doi.org/10.58871/conaeti.v3.37>

**COMPREENSÃO DOS MECANISMOS FISIOPATOLÓGICOS ENVOLVIDOS NO
TRAUMATISMO RAQUIMEDULAR (TRM) E SUA TERAPÊUTICA
ENVOLVENDO A ESTIMULAÇÃO ESPINHAL**

**UNDERSTANDING OF THE PATHOPHYSIOLOGICAL MECHANISMS
INVOLVED IN SPINAL SCIANT INJURY (SCI) AND ITS THERAPY INVOLVING
SPINAL STIMULATION**

GUSTAVO HENRIQUE SANTOS Mouro

Graduando em Medicina pela Universidade Evangélica de Goiás

ANDRÉ VILELA DE JESUS ABRÃO

Graduando em Medicina pela Universidade Evangélica de Goiás

ANNE GABRIELLE SILVA MENESES

Graduanda em Medicina pela Universidade Evangélica de Goiás

JULIA RIBEIRO FONTOURA

Graduanda em Medicina pela Universidade Evangélica de Goiás

PEDRO HENRIQUE RICARTE FILHO

Graduando em Medicina pela Universidade Evangélica de Goiás

HUMBERTO DE SOUSA FONTOURA

Doutor em Ciências da Saúde pela Universidade de Brasília

RESUMO

Objetivo: O estudo relatado trata-se de uma revisão integrativa de literatura que visa analisar e contrapor os dados ligados a compreensão dos mecanismos fisiopatológicos envolvidos no traumatismo raquimedular (TRM) e sua terapêutica envolvendo estimulação espinhal. **Metodologia:** a busca de dados bibliográficos foi realizado a partir de artigos procurados nos seguintes bancos de dados: Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), Sciencedirect, PubMed, Periódicos CAPES, Biomed Central e Cochrane Library. Como critérios de inclusão, os artigos foram filtrados pelo período de 2018-2024, além da retirada de “reviews” e “systematic reviews”, sendo selecionados 15 artigos que correspondiam às demandas. **Resultados e discussão:** Após uma criteriosa análise, observou-se que a compreensão dos mecanismos fisiopatológicos envolvidos no TRM é essenciais para o desenvolvimento da sua terapêutica envolvendo a estimulação espinhal, um tratamento para TRM que envolve a aplicação de corrente elétrica para promover a recuperação de funções motoras e sensoriais. Os estudos revisados indicam que a estimulação espinhal parece facilitar a plasticidade neural, estimular a regeneração nervosa e incrementar a conectividade funcional na medula espinhal. Além disso, resultados recentes sugerem que essa terapia pode aprimorar tanto a função motora quanto sensorial e autonômica, ao mesmo tempo em que pode reduzir a dor neuropática e os espasmos musculares. **Considerações finais:** Ante o exposto, é inegável que a estimulação espinhal como

tratamento para TRM surge como uma esperança para pacientes com tais lesões, devido aos resultados promissores, porém, mais estudos são necessários para que tal terapêutica se torne mais eficaz e conseqüentemente um tratamento de primeira linha.

Palavras-chave: Traumatismos da Medula Espinal; Fenômenos Fisiológicos do Sistema Nervoso; terapêutica envolvendo a estimulação espinal.

ABSTRACT

Objective: The study reported is an integrative literature review that aims to analyze and compare data linked to the understanding of the pathophysiological mechanisms involved in spinal cord injury (TRM) and its therapy involving spinal stimulation. **Methodology:** the search for bibliographic data was carried out using articles searched in the following databases: Virtual Health Library (VHL), Scioncedirect, PubMed, CAPES Periodicals, Biomed Central and Cochrane Library. As inclusion criteria, the articles were filtered for the period 2018-2024, in addition to removing “reviews” and “systematic reviews”, 15 articles that corresponded to the demands were selected. **Results and discussion:** After a careful analysis, it was observed that understanding the pathophysiological mechanisms involved in TRM are essential for the development of its therapy involving spinal stimulation, a treatment for TRM that involves the application of electrical current to promote the recovery of motor and sensory functions. The studies reviewed indicate that spinal stimulation appears to facilitate neural plasticity, stimulate nerve regeneration and increase functional connectivity in the spinal cord. Furthermore, recent results suggest that this therapy can improve both motor, sensory and autonomic function, while also reducing neuropathic pain and muscle spasms. **Final considerations:** Given the above, it is undeniable that spinal stimulation as a treatment for TRM appears as a hope for patients with such injuries, due to the promising results, however, more studies are needed so that such therapy becomes more effective and consequently a treatment first-rate.

Keywords: Spinal Cord Injuries; Nervous System Physiological Phenomena; Therapeutics.

1. INTRODUÇÃO

A medula espinal é uma estrutura do sistema nervoso central, que está alojada dentro do canal vertebral, se estendendo da região do bulbo, saindo pelo forame magno até a região lombar, na parte do cone medular ao nível de L1/L2, sendo protegida pelas meninges e circundada pelo líquido cefalorraquidiano (LCR), ela é composta por neurônios e fibras nervosas que transmitem informações sensoriais e motoras entre o cérebro e o resto do corpo (Pereira *et al.*, 2021).

Dessarte, os mecanismos que afetam a medula espinal formam um mosaico complexo e multifacetado, abrangendo um extenso leque de anomalias com origens e características distintas como causas inflamatórias, infecciosas, neoplásicas, vasculares, metabólicas e traumáticas. Nesse contexto estima-se que 20,6 milhões de indivíduos convivam com traumatismo raquimedular (TRM), que configura-se como uma lesão traumática na medula espinal, um feixe de nervos vital para o funcionamento do corpo humano, afetando

aproximadamente 769.000 pessoas anualmente (Malik *et al.*, 2024). Tais lesões em grande parte dos casos danifica as conexões sinápticas entre os neurônios corticoespinhais e neurônios motores de diversos músculos, representando um evento devastador na vida de um indivíduo, gerando um impacto físico, psicológico e até mesmo socioeconômico de grande magnitude, devido ao TRM muitas vezes deixar sequelas incapacitantes (Jo *et al.*, 2023)

Embora a ciência e a medicina tenham progredido consideravelmente nas últimas décadas, o prognóstico para o TRM permanece sombrio, marcado por altos índices de morbidade e mortalidade. No entanto, uma nova e promissora forma de tratamento, a estimulação espinal, surge como uma centelha de esperança para pacientes com TRM, oferecendo a chance de uma melhora na função motora e sensitiva (Huang *et al.*, 2022). Ao contrário de abordagens tradicionais, a estimulação elétrica espinal (ETS) não busca reverter diretamente os danos causados pelo TRM, em vez disso, ela atua modulando a atividade neuronal da medula espinal de diversas formas, promovendo a neuroplasticidade e criando novas vias de comunicação entre os neurônios (Lin *et al.*, 2023).

Dessa maneira, a compreensão dos mecanismos fisiopatológicos que subjazem ao TRM é crucial para o desenvolvimento contínuo do tratamento via ETS e seu entendimento, abrindo portas para um futuro promissor para as milhares de pessoas que convivem diariamente com as sequelas não só físicas, mas também sociais e emocionais do TRM.

2 METODOLOGIA

Esse trabalho trata-se de uma revisão integrativa, realizada em 2024, que segue as etapas: 1- identificação do tema e da pergunta norteadora; 2- critérios de inclusão e exclusão; 3- pré-seleção dos artigos; 4- categorização dos estudos selecionados; 5- análise e interpretação dos resultados e 6- sintetização dos estudos escolhidos (Carvalho, 2010).

A partir do tema “Compreensão dos mecanismos fisiopatológicos envolvidos no Traumatismo Raquimedular (TRM) e sua terapêutica envolvendo a estimulação espinal”, fez-se a pergunta norteadora, “Qual a influência da terapia por estimulação espinal em pacientes que sofreram de Traumatismo Raquimedular?”, utilizando-se a estratégia PICO.

Os descritores e os booleanos foram: *Spinal Cord Injuries AND Nervous System Physiological Phenomena AND Therapeutics*. A pesquisa foi realizada nas bases de dados: Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), Sciencedirect, PubMed, Periódicos CAPES, Biomed Central e Cochrane Library.

No PubMed, foram encontrados 4.778 artigos no total e quando filtrados pelo período de 2019-2024, além da retirada de “reviews” e “systematic reviews”, ficaram 50, sendo

selecionados 11 artigos deste banco no final. No Periódicos CAPES, foram encontrados 7.140 resultados e, após a adição dos filtros: ano de publicação (2020 - 2024), tipo de estudo (artigos e magazine articles) e idioma (português e inglês), reduziram-se à 1.406 artigos - sendo que 4 deles foi selecionado para o presente trabalho.

Nesse cenário, os critérios de inclusão foram artigos científicos completos, em inglês, português ou espanhol, de acesso livre e publicados nos últimos 5 anos. Foram excluídos deste trabalho artigos de revisão integrativa, de revisão sistemática, artigos com data retroativa à 2020 e os artigos que não responderam à pergunta norteadora.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo de livro busca compreender os mecanismos envolvidos no traumatismo raquimedular e suas terapêuticas envolvendo a estimulação espinhal bem como os fatores relacionados com esse desdobramento. No Quadro 1 estão evidenciados os principais resultados provenientes das referências utilizadas para a composição e criação deste trabalho.

Quadro 1 - Síntese dos principais artigos trabalhados, evidenciando os objetivos centrais e principais resultados de cada um deles.

N	AUTOR, ANO	OBJETIVOS PRINCIPAIS	PRINCIPAIS RESULTADOS
1	Zhao <i>et al.</i> (2023)	Averiguar a efetividade do tratamento combinado de transplante de tecido adulto da coluna espinal com hidrogel de colágeno de liberação sustentada de tacrolimus local para lesão total da coluna espinal.	A liberação constante do imunossupressor minimiza os efeitos colaterais observados em uma administração sistêmica, além de aumentar a taxa de sobrevivência do tecido transplantado.
2	Sabariego <i>et al.</i> (2023)	Compreender como a idade afeta a rotina diária de pessoas com lesões na coluna espinal, considerando, tanto as capacidades funcionais, como os fatores ambientais que exercem influência.	A funcionalidade apresentou piora com o passar do tempo, devido ao fato de que os efeitos iniciais da lesão apresentam um maior impacto do que a duração dela em si e devido a falta de acessibilidade nos estabelecimentos, contribuindo para a diminuição da funcionalidade do paciente.
3	Jo <i>et al.</i> (2023)	Investigar a plasticidade de Hebbian multilocal como uma terapêutica válida na melhora da funcionalidade em pessoas com lesões na medula espinal.	Notável melhora na velocidade de deambulação, indicando uma melhora no caminho onde ocorre a comunicação entre o cérebro e as áreas da coluna dorsal responsáveis pela locomoção.
4	Huang <i>et al.</i> (2023)	Investigar se a estimulação elétrica transcutânea da coluna dorsal poderia ser benéfico a pacientes com lesões graves na medula espinal e baixa força nas mãos.	A estimulação elétrica transcutânea associada a fisioterapia foi capaz de recuperar a força e destreza das mãos dos pacientes que ainda possuíam um resquício de força, assim, podendo ser considerada uma opção de tratamento.
5	Dworkin <i>et al.</i> (2013)	Fornecer orientações e recomendações para o manejo intervencionista da dor neuropática.	Classifica a estimulação da coluna dorsal como uma recomendação fraca que pode vir a ser útil no alívio de dores neuropáticas complexas.
6	Rath <i>et al.</i> (2018)	Pesquisar os efeitos da estimulação elétrica não invasiva da coluna espinal na	A estimulação resultou em uma maior estabilidade do tronco ao estimular músculos como o reto

		estabilidade do tronco em indivíduos com lesão medular.	abdominal e oblíquos externos, além de proporcionar uma curvatura lombar e pélvica anterior mais natural, assim, conferindo uma postura mais estável e ereta em pacientes com paralisia crônica.
7	Phillips <i>et al.</i> (2018)	Investigar os efeitos da estimulação elétrica medular não invasiva na restauração da função cardiovascular autônômica em indivíduos com lesão medular.	Apresentou melhora nas funções regulatórias autônômicas como manutenção da pressão arterial e frequência cardíaca até em pacientes com lesões graves, se demonstrando como uma ótima alternativa no tratamento de lesões leves como graves.
8	Lin <i>et al.</i> (2023)	Avaliar a eficácia da combinação da estimulação magnética transcraniana repetitiva com a estimulação elétrica transespinal na excitabilidade corticoespinal em indivíduos com lesão medular incompleta.	Ocorreu uma melhoria na excitabilidade corticoespinal, nas funções motoras e controle muscular, assim, evidenciando um aumento na capacidade do cérebro de enviar sinais motores para a medula espinal, além de ser benéfica na recuperação funcional em pessoas com lesões medulares incompletas.
9	Knikou <i>et al.</i> (2019)	Compreender os efeitos da estimulação transespinal repetitiva na excitabilidade do reflexo H no músculo sóleo e na restauração da medula espinal em indivíduos com lesão nessa região.	Redução significativa do reflexo H no músculo sóleo e restauração da função inibitória da medula espinal, indicando uma redução na hiperexcitabilidade neuronal associada a medula e uma melhoria na capacidade regulatória das atividades neurais pelo sistema nervoso.
10	Malik <i>et al.</i> (2024)	Estabelecer padrões e diretrizes no intuito de criar um controle de qualidade para o relato de estudos sobre a estimulação da medula espinal como terapêutica.	Melhoram a qualidade das pesquisas ao salientar a importância de reportar os detalhes importantes e efeitos provenientes da estimulação da medula espinal permitindo comparações melhores e compreensão mais clara dos estudos relacionados a estimulação da medula espinal.

11	Lin <i>et al.</i> (2022)	Demonstrar a eficácia do Poli(ácido α -lipóico) carregado com minociclina – Nanopartículas de pró fármaco de metilprednisolona no tratamento anti-inflamatório combinado de lesão traumática da espinha dorsal.	O MC-P α LA-MP NP mostrou alta biocompatibilidade e, dentro das primeiras 24 horas, reduziu cerca de 40% da liberação de citocinas pró-inflamatórias na cultura de ratos com tecido da espinha dorsal lesionado.
12	Pereira <i>et al.</i> (2021)	Revisar os achados de ressonâncias magnéticas das principais lesões medulares neoplásicas, vasculares, metabólicas e traumáticas.	Evidencia a ressonância magnética como uma importante ferramenta diagnóstica por ser capaz de revelar as características específicas que podem sugerir a causa da lesão.
13	Xiao <i>et al.</i> (2019)	Identificar se a Rehmannioside A é uma terapêutica válida no tratamento de lesões da espinha dorsal.	A Rehmannioside A inibe a liberação dos mediadores pró-inflamatórios das células da microglia, ao mesmo tempo que cultiva a polarização das células M2 que impedem o processo de apoptose dos neurônios, contribuindo para o processo de restauração das funções motoras.
14	Spieker <i>et al.</i> (2024)	Melhorar a terapia de estimulação transcutânea da medula espinhal por meio de técnicas de aprendizado de máquina, aumentando a precisão e eficácia do tratamento	O algoritmo, tendo estudado dados passados, é capaz de identificar e criar parâmetros personalizados para a terapêutica de cada paciente, determinando os melhores pontos de estimulação transcutânea, reduzindo o processo de tentativa e erro para obtenção dos melhores resultados.
15	Ardolino <i>et al.</i> (2021)	Julgar se a estimulação direta de corrente contínua na medula espinhal pode ser uma opção terapêutica segura e viável em pacientes com paraplegias espásticas hereditárias	Redução significativa dos espasmos musculares, indicando a estimulação direta de corrente contínua na medula espinhal pode contribuir para diminuir a rigidez muscular presente em pacientes com paraplegias espásticas

			hereditárias.
--	--	--	---------------

A discussão do artigo científico apresenta uma análise abrangente dos padrões de funcionamento da população com Lesão Medular Espinhal (LME). Os resultados mostram que a idade no momento da lesão está associada ao nível atual de funcionamento, com variações entre os países. Os fatores ambientais emergiram como determinantes importantes do funcionamento. A acessibilidade a casas de amigos e familiares, locais públicos e transporte de longa distância foram identificados como barreiras comuns ao funcionamento em vários países (Sabariego *et al.*, 2023).

Uma nova estratégia envolve o uso de um hidrogel imuno responsivo para fornecer Tac localmente, prolongando a sobrevida do transplante. A entrega localizada de Tac regula eficientemente o microambiente imunológico, reduzindo a resposta inflamatória e melhorando a sobrevivência do enxerto e a regeneração neural (Zhao *et al.*, 2023).

Além disso, o Rea tem efeitos neuroprotetores e antiinflamatórios, inibindo a liberação de fatores inflamatórios e promovendo a polarização das células microgлияis para um fenótipo anti-inflamatório (M2). Além disso, o Rea demonstrou reduzir a apoptose neuronal e melhorar a recuperação da função locomotora após a LM. O Rea mostrou-se eficaz em mitigar esses processos através da inibição das vias de sinalização NF- κ B e MAPK (Xiao *et al.*, 2020).

A estimulação Hebbiana combinada com treinamento físico, resultou em melhorias significativas e duradouras na função motora e na qualidade de vida em indivíduos com lesão medular (LME). Essas melhorias funcionais foram acompanhadas por um aumento na excitabilidade corticoespinal, refletido em respostas eletrofisiológicas mais intensas à estimulação da via corticoespinal e aumento da atividade muscular voluntária máxima (Jo, *et al.*, 2023).

A estimulação epidural da medula cervical tem mostrado aumentar a força de preensão e o controle do movimento da mão em pacientes com LME. Os resultados indicam que a gravidade da lesão inicial pode afetar a eficácia da neuromodulação, com pacientes que apresentam maior força residual de preensão manual. Isso sugere que algum grau de função residual é necessário para que a neuromodulação seja eficaz na reabilitação de pacientes com LME (Huang *et al.*, 2022). Outrossim, a estimulação elétrica da medula espinhal, quando

aplicada transcutaneamente, demonstrou melhorar significativamente a função cardiovascular autonômica em pacientes com lesão medular. Essa normalização da pressão arterial não foi acompanhada pela contração do músculo esquelético dos membros inferiores, sugerindo que as elevações na pressão arterial foram devidas à ativação dos neurônios pré-ganglionares simpáticos, levando à vasoconstrição. Uma descoberta surpreendente foi que a frequência cardíaca permaneceu elevada durante a estimulação, mesmo após a restauração da pressão arterial e da ativação subsequente da carga barorreflexa, (Phillips *et al.*, 2018).

Outro estudo investigou os efeitos da estimulação transespinal em pacientes com lesão medular, utilizando o reflexo H do sóleo como biomarcador. Os principais resultados indicaram que a estimulação reduziu a excitabilidade reflexa, restaurou a depressão homossináptica e diminuiu a gravidade dos espasmos e clônus do tornozelo. A estimulação transespinal pareceu influenciar a neuroplasticidade sináptica e não sináptica, (Knikou. *et al.*, 2019).

Em um outro estudo foram investigados os efeitos da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) na espasticidade em pacientes com Paraparesia Espástica Hereditária (PHS). Os resultados indicaram melhorias significativas no escore de Ashworth, sugerindo uma redução na espasticidade após a aplicação da ETCC torácica. A ETCC pode modular a atividade cortical, incluindo a atividade GABAérgica, que também pode contribuir para a melhoria da espasticidade, (Ardolino, *et al.*, 2021).

A combinação da terapia de Estimulação Magnética Transcraniana repetitiva (EMTr) e Estimulação Transcutânea da Medula Espinhal (ETCC) usando Estimulação Magnética Transcraniana de Burst (iTBS) para indivíduos com lesão medular incompleta (iSCI) resultou em aumentos significativos na excitabilidade corticoespinhal, medida pela amplitude e latência dos Potenciais Evocados Motores (MEPs). É importante observar que os efeitos terapêuticos observados diminuíram após 4 semanas da interrupção do tratamento, sugerindo que a manutenção do benefício requer intervenções contínuas, (Lin, *et al.*, 2023).

Um painel de especialistas foi montado para estabelecer padrões mínimos de relatórios para parâmetros de Estimulação da Medula Espinhal (SCS) em estudos de Lesão Medular (LME), devido aos desafios causados por relatórios inconsistentes na pesquisa nesse campo. O painel alcançou um forte acordo em 26 dos 29 itens das diretrizes propostas. As diretrizes abrangem três categorias principais: hardware do sistema, configuração do SCS e parâmetros

de estimulação, e intervenção SCS. A inclusão dessas diretrizes visa promover padrões transparentes de relatórios para estudos pré-clínicos e clínicos de SCS, facilitando a comparação entre estudos e a replicação de resultados (Malik, *et al.*, 2024).

Ainda, um estudo apresenta uma abordagem de aprendizado de máquina para automatizar a aplicação da terapia com Estimulação Elétrica da Medula Espinhal (tSCS), utilizando dados de sensores para classificar e ajustar os parâmetros terapêuticos individualmente para cada paciente. Foram investigados conjuntos de recursos baseados em características de dados de Mecanomiografia (MMG) de Respostas Musculares Proximais (PRMs) para pulsos tSCS duplos e únicos, utilizando classes correspondentes de Eletromiografia (EMG), (Spieker, *et al.*, 2024).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa revisão integrativa permitiu atestar que as abordagens terapêuticas para Lesão Medular Espinhal (LME) estão evoluindo rapidamente, abrangendo desde estratégias farmacológicas até intervenções de estimulação neuro-modulatória. A pesquisa destaca a influência da idade no momento da lesão na função atual, a importância dos fatores ambientais na reabilitação, e a eficácia de intervenções como o Rea e a estimulação Hebbiana combinada com treinamento físico.

Além disso, novas abordagens, como o uso de hidrogéis imuno responsivos e aprendizado de máquina para ajuste personalizado da terapia de Estimulação Elétrica da Medula Espinhal (tSCS), demonstram um potencial promissor para melhorar a eficácia dos tratamentos e a resposta individual dos pacientes. As descobertas também destacam a necessidade de considerar a gravidade da lesão inicial e a resposta individual ao tratamento ao avaliar a eficácia da neuromodulação.

A padronização dos relatórios proposta pelo painel de especialistas é um passo crucial para garantir a consistência e comparabilidade dos estudos, facilitando a interpretação dos resultados e promovendo avanços na pesquisa clínica. No entanto, são necessárias intervenções contínuas e personalizadas para manter os benefícios terapêuticos ao longo do tempo.

Em suma, é fato que esses estudos oferecem informações valiosas e apontam para uma direção promissora na abordagem da LME, destacando a importância da inovação tecnológica e da colaboração interdisciplinar na busca por melhores resultados clínicos a fim de melhorar a

vida dos pacientes afetados por essa condição debilitante.

REFERÊNCIAS

ARDOLINO, G. *et al.* Spinal direct current stimulation (tsDCS) in hereditary spastic paraplegias (HSP): A sham-controlled crossover study. **The Journal of Spinal Cord Medicine**, v. 44, n. 1, p. 46–53, 1 jan. 2021.

HUANG, R. *et al.* Minimal handgrip force is needed for transcutaneous electrical stimulation to improve hand functions of patients with severe spinal cord injury. **Scientific Reports**, v. 12, p. 7733, 11 maio 2022.

JO, H. J. *et al.* Multisite Hebbian Plasticity Restores Function in Humans with Spinal Cord Injury. **Annals of Neurology**, 30 mar. 2023.

KNIKOU, M.; MURRAY, L. M. Repeated transspinal stimulation decreases soleus H-reflex excitability and restores spinal inhibition in human spinal cord injury. **PLOS ONE**, v. 14, n. 9, p. e0223135, 26 set. 2019.

LIN, B.-S. *et al.* Effectiveness of Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation Combined with Transspinal Electrical Stimulation on Corticospinal Excitability for Individuals with Incomplete Spinal Cord Injury: A Pilot Study. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 31, p. 4790–4800, 1 jan. 2023.

LIN, F. *et al.* Minocycline-Loaded Poly(α -Lipoic Acid)–Methylprednisolone Prodrug Nanoparticles for the Combined Anti-Inflammatory Treatment of Spinal Cord Injury. **International Journal of Nanomedicine**, v. Volume 17, p. 91–104, jan. 2022.

MALIK, R. N. *et al.* REPORT-SCS: Minimum reporting standards for spinal cord stimulation studies in spinal cord injury. **Journal of Neural Engineering**, 25 jan. 2024.

PEREIRA, R. G. *et al.* Magnetic resonance imaging evaluation of spinal cord lesions: what can we find? - Part 1. Neoplastic, vascular, metabolic, and traumatic injuries. **Radiologia Brasileira**, v. 54, n. 6, p. 406–411, 2021.

PHILLIPS, A. A. *et al.* An Autonomic Neuroprosthesis: Noninvasive Electrical Spinal Cord Stimulation Restores Autonomic Cardiovascular Function in Individuals with Spinal Cord Injury. **Journal of Neurotrauma**, v. 35, n. 3, p. 446–451, fev. 2018.

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, nov. 2018.

SABARIEGO, C. *et al.* Ageing, functioning patterns and their environmental determinants in the spinal cord injury (SCI) population: A comparative analysis across eleven European countries implementing the International Spinal Cord Injury Community Survey. **PLOS ONE**, v. 18, n. 4, p. e0284420–e0284420, 20 abr. 2023.

SHACKLETON, C. *et al.* Motor and autonomic concomitant health improvements with neuromodulation and exercise (MACHINE) training: a randomised controlled trial in

individuals with spinal cord injury. **BMJ Open**, v. 13, n. 7, p. e070544–e070544, 1 jul. 2023.

SPIEKER, E. L. *et al.* Targeting Transcutaneous Spinal Cord Stimulation Using a Supervised Machine Learning Approach Based on Mechanomyography. **Sensors**, v. 24, n. 2, p. 634, 1 jan. 2024.

XIAO, S. *et al.* Rea regulates microglial polarization and attenuates neuronal apoptosis via inhibition of the NF- κ B and MAPK signalings for spinal cord injury repair. **Journal of Cellular and Molecular Medicine**, v. 25, n. 3, p. 1371–1382, 25 dez. 2020.

ZHAO, X. *et al.* Adult spinal cord tissue transplantation combined with local tacrolimus sustained-release collagen hydrogel promotes complete spinal cord injury repair. **Cell proliferation (Print)**, v. 56, n. 5, 13 mar. 2023.