

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS

JOÃO GABRIEL SCURATO TESTA

**EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL NÃO INVASIVA NO DESEMPENHO E
RECUPERAÇÃO DE ATLETAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

ALFENAS/MG

2025

JOÃO GABRIEL SCURATO TESTA

**EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL NÃO INVASIVA NO DESEMPENHO E
RECUPERAÇÃO DE ATLETAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Fisioterapia pela Universidade Federal de Alfenas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Lourenço da Silva

ALFENAS/MG

2025

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Unidade Educacional Santa Clara

Scurato, João Gabriel.

Efeitos da estimulação cerebral não invasiva no desempenho e recuperação de atletas: : uma revisão integrativa / João Gabriel Scurato. - Alfenas, MG, 2025.

13 f. : il. –

Orientador(a): Marcelo Lourenço.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Fisioterapia) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2025.

Bibliografia.

1. Dor. 2. Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. 3. Neuromodulação. 4. Estimulação Magnética Transcraniana Repetitiva. I. Lourenço, Marcelo, orient. II. Título.

**EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL NÃO INVASIVA NO DESEMPENHO E
RECUPERAÇÃO DE ATLETAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA**

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Fisioterapia pela Universidade Federal de Alfenas.

Aprovada em: 14 de Novembro de 2025

Prof. Dr. Marcelo Lourenço da Silva
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Bruno Godoy
Universidade Federal de Alfenas

Prof.^a Dr.^a Andreia Maria Silve Vilela Terra
Universidade Federal de Alfenas

RESUMO

Nos últimos anos, observou-se um crescente interesse em técnicas não invasivas de estimulação cerebral aplicadas à fisioterapia desportiva, visando otimizar o desempenho e acelerar a recuperação de atletas. Entre essas técnicas, a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) e a estimulação magnética transcraniana repetitiva (rTMS) destacam-se como intervenções promissoras por sua capacidade de modular a excitabilidade cortical e influenciar a plasticidade neural. Este trabalho teve como objetivo realizar uma revisão integrativa da literatura sobre os efeitos da tDCS e rTMS no desempenho e na recuperação de atletas. Foram realizadas buscas nas bases PubMed, Scopus e Web of Science, considerando estudos publicados entre 2014 e 2024 que investigaram o impacto dessas técnicas em parâmetros de desempenho esportivo, recuperação pós-exercício e aspectos neurofisiológicos. Os resultados demonstraram que a tDCS pode favorecer a função motora, a estabilidade postural, o bem-estar e a recuperação autonômica pós-exercício, enquanto a rTMS mostrou potencial para aprimorar o desempenho motor e cognitivo em diferentes modalidades. No entanto, os efeitos variam conforme o protocolo, a área cortical estimulada e as características individuais dos atletas. Estudos sugerem ainda que ambas as técnicas influenciam positivamente a plasticidade sináptica e a conectividade funcional, o que pode resultar em ganhos de desempenho e recuperação mais rápidos. Apesar do potencial promissor, ainda são necessárias pesquisas que elucidem os mecanismos subjacentes e avaliem os efeitos a longo prazo dessas intervenções. Conclui-se que a estimulação cerebral não invasiva representa uma ferramenta inovadora e potencialmente eficaz para a fisioterapia desportiva, desde que aplicada com protocolos individualizados e embasamento científico adequado.

Palavras-chave: neuromodulação; fisioterapia desportiva; desempenho esportivo; recuperação pós-exercício; estimulação cerebral não invasiva.

ABSTRACT

In recent years, there has been a growing interest in non-invasive brain stimulation techniques applied to sports physiotherapy, aiming to optimize athletes' performance and accelerate recovery. Among these techniques, transcranial direct current stimulation (tDCS) and repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) have emerged as promising interventions capable of modulating cortical excitability and influencing neural plasticity. This study aimed to conduct an integrative literature review on the effects of tDCS and rTMS on athletes' performance and recovery. Searches were performed in PubMed, Scopus, and Web of Science databases, including studies published between 2014 and 2024 that investigated the impact of these techniques on sports performance, post-exercise recovery, and neurophysiological aspects. Results showed that tDCS may enhance motor function, postural stability, well-being, and autonomic recovery after exercise, while rTMS demonstrated potential to improve motor and cognitive performance in different sports. However, effects vary according to stimulation protocol, cortical area targeted, and individual athlete characteristics. Evidence also suggests that both techniques positively influence synaptic plasticity and functional connectivity, which may lead to faster gains in performance and recovery. Despite their promise, further research is needed to elucidate underlying mechanisms and assess long-term effects. It is concluded that non-invasive brain stimulation represents an innovative and potentially effective tool for sports physiotherapy, provided that it is applied with individualized protocols and solid scientific support.

Keywords: neuromodulation; sports physiotherapy; sports performance; post-exercise recovery; non-invasive brain stimulation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E/OU APRESENTAÇÃO.....	07
2	EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL NÃO INVASIVA NO DESEMPENHO E RECUPERAÇÃO DE ATLETAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA.....	08
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	11
	REFERÊNCIAS	12

1 INTRODUÇÃO E/OU APRESENTAÇÃO GERAL

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento expressivo no interesse por técnicas não invasivas de estimulação cerebral voltadas à fisioterapia desportiva, com o objetivo de aprimorar o desempenho e acelerar os processos de recuperação em atletas. Entre essas abordagens, destacam-se a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) e a estimulação magnética transcraniana repetitiva (rTMS), que vêm sendo amplamente estudadas por sua capacidade de modular a excitabilidade cortical e influenciar a plasticidade neural. Essas técnicas baseiam-se na aplicação controlada de correntes elétricas ou pulsos magnéticos sobre áreas específicas do córtex cerebral, resultando em alterações neurofisiológicas que podem impactar o controle motor, a percepção e a função cognitiva. A tDCS caracteriza-se pela utilização de correntes elétricas de baixa intensidade, aplicadas por meio de eletrodos posicionados sobre o couro cabeludo, promovendo alterações na atividade neuronal de forma segura, acessível e de baixo custo. Já a rTMS utiliza pulsos magnéticos de alta frequência para estimular regiões corticais com maior precisão espacial, sendo amplamente utilizada tanto em pesquisas quanto em aplicações clínicas. No contexto esportivo, ambas as técnicas têm despertado interesse pelo seu potencial de aprimorar habilidades motoras, reduzir a fadiga e otimizar a recuperação muscular e autonômica após o exercício físico. Estudos recentes indicam que a tDCS pode melhorar o desempenho em tarefas motoras finas e a estabilidade postural, enquanto a rTMS demonstra efeitos promissores na melhora da coordenação motora e do tempo de reação. Apesar dos avanços, os mecanismos exatos que explicam os efeitos da estimulação cerebral não invasiva ainda não estão completamente elucidados, sendo necessários estudos que investiguem suas respostas a longo prazo e a individualização dos protocolos conforme as características dos atletas. Dessa forma, compreender os efeitos neurofisiológicos e funcionais dessas técnicas torna-se essencial para que possam ser aplicadas de maneira segura e eficaz na fisioterapia desportiva. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar, por meio de uma revisão integrativa da literatura, os efeitos da estimulação cerebral não invasiva — tDCS e rTMS — sobre o desempenho e a recuperação de atletas, destacando suas implicações para o avanço das práticas fisioterapêuticas voltadas ao esporte.

2. EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL NÃO INVASIVA NO DESEMPENHO E RECUPERAÇÃO DE ATLETAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Revista de Fisioterapia Desportiva

GRUPO DE ESTUDO FISIOTERAPIA EM EVIDÊNCIA



EGAS MONIZ SCHOOL
of HEALTH & SCIENCE

EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO CEREBRAL NÃO INVASIVA NO DESEMPENHO E RECUPERAÇÃO DE ATLETAS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

João Gabriel Scurato Testa¹, Luciano Maia Alves Ferreira^{2*}, Laura Pereira Generoso³, Josué Resende Torres da Silva¹, Marcelo Loureiro da Silva²

¹Neuromodulation and Pain Unit (NeuroPain), Centro de Investigação Interdisciplinar Egas Moniz (CiIEM), Almada, Portugal

²Laboratory of Neuroscience, Neuromodulation and Study of Pain (LANNED), UNIFAL-MG, Alfenas, MG, Brazil

*Corresponding author: lucianomaia@egasmoniz.edu.pt

RESUMO

Nos últimos anos, houve um aumento significativo no interesse por técnicas não invasivas de estimulação cerebral para melhorar o desempenho e a recuperação de atletas na fisioterapia esportiva. A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (tDCS) e a Estimulação Magnética Transcraniana Repetitiva (rTMS) surgiram como intervenções promissoras, capazes de modular a excitabilidade cortical e potencialmente aprimorar várias facetas do desempenho humano. Esta revisão examina estudos recentes sobre os efeitos da tDCS e rTMS em atletas, com foco em melhorias de desempenho, recuperação e aspectos neurofisiológicos. A evidência atual sugere que tanto a tDCS quanto a rTMS têm o potencial de modular a excitabilidade cortical e melhorar vários aspectos do desempenho e recuperação de atletas. Embora promissoras, pesquisas adicionais são necessárias para entender completamente os mecanismos subjacentes e otimizar os protocolos de estimulação para aplicações específicas na fisioterapia esportiva.

ABSTRACT

In recent years, there has been a significant increase in interest in non-invasive techniques of brain stimulation to enhance athletes' performance and recovery in sports physiotherapy. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) and Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation (rTMS) have emerged as promising interventions capable of modulating cortical excitability and potentially enhancing various aspects of human performance. This review examines recent studies on the effects of tDCS and rTMS in athletes, focusing on performance enhancements, recovery, and neurophysiological aspects. Current evidence suggests that both tDCS and rTMS have the potential to modulate cortical excitability and improve various aspects of athletes' performance and recovery. However, further research is needed to fully understand the underlying mechanisms and optimize stimulation protocols for specific applications in sports physiotherapy.

PALAVRAS-CHAVE / KEYWORDS

Neuromodulação, Dor, Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua e Estimulação Magnética Transcraniana Repetitiva.
Neuromodulation, Pain, Transcranial Direct Current Stimulation and Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation.

INTRODUÇÃO

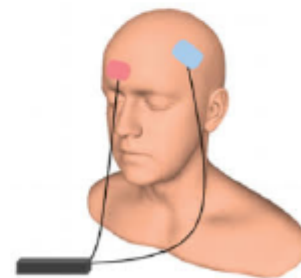
Nos últimos anos, tem havido um crescente interesse no desenvolvimento de técnicas não invasivas de estimulação cerebral para aprimorar o desempenho e a recuperação de atletas no

campo da fisioterapia desportiva (Bikson et al., 2016; Vöröslakos et al., 2018).

Entre essas técnicas, a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) e a estimulação magnética transcraniana repetitiva (rTMS) emergiram como intervenções promissoras, oferecendo a capacidade de modular a excitabilidade cortical e potencialmente melhorar várias facetas do desempenho humano (Lefaucheur et al., 2014; López-Alonso et al., 2015).

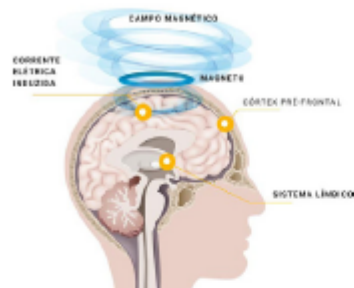
Este campo de pesquisa tem despertado interesse devido a seu potencial aplicabilidade em diversas modalidades esportivas e à sua relevância para a otimização do treinamento, recuperação e reabilitação de atletas de elite e amadores (Bikson et al., 2016; Vöröslakos et al., 2018).

A tDCS tem sido investigada como uma forma de modificar a atividade neuronal através da aplicação de correntes elétricas de baixa intensidade sobre o córtex cerebral. Sua facilidade de aplicação, baixo custo e relativa segurança tornam-na uma técnica atrativa para intervenções no contexto esportivo. Estudos prévios demonstraram que a tDCS pode influenciar a plasticidade neural, melhorar a função cognitiva e modular a excitabilidade cortical, sugerindo seu potencial para aprimorar habilidades motoras, cognitivas e perceptuais em atletas (Hou et al., 2022; Moscatelli et al., 2023).



Por outro lado, a rTMS envolve a aplicação de pulsos magnéticos para induzir correntes elétricas no cérebro, permitindo a estimulação de áreas específicas do córtex cerebral com maior precisão espacial do que a tDCS. Esta técnica tem sido explorada tanto para fins de pesquisa quanto para aplicações clínicas, com resultados promissores em diversas condições neurológicas e psiquiátricas. No contexto esportivo, a rTMS tem sido investigada como

uma ferramenta para modular a excitabilidade cortical, melhorar o desempenho motor e facilitar a recuperação de atletas (Moscaleski et al., 2022; Hazime et al., 2017).



Embora os mecanismos exatos subjacentes aos efeitos da tDCS e rTMS no desempenho esportivo ainda não sejam totalmente compreendidos, evidências sugerem que essas técnicas podem influenciar a plasticidade neuronal, a conectividade funcional e a atividade cortical, resultando em melhorias mensuráveis no desempenho motor, cognitivo e perceptual dos atletas (Moreira et al., 2021; Morya et al., 2019). Estudos anteriores têm explorado os efeitos da tDCS e rTMS no córtex motor primário, áreas relacionadas ao controle motor e percepção visual, demonstrando sua capacidade de modular a excitabilidade cortical e potencialmente melhorar aspectos específicos do desempenho esportivo (Hou et al., 2022; Moscatelli et al., 2023).

Essas intervenções podem influenciar diretamente a capacidade dos atletas de realizar tarefas motoras complexas, como movimentos técnicos específicos de suas modalidades esportivas, bem como aspectos cognitivos, como tomada de decisão e processamento visual (Moreira et al., 2021; Morya et al., 2019).

Nesta revisão, examinaremos estudos recentes que investigaram os efeitos da tDCS e rTMS em atletas, com foco nas melhorias de desempenho, recuperação e aspectos neurofisiológicos.

METODOLOGIA

Para realizar esta revisão de literatura integrativa, foram realizadas buscas nas bases de dados PubMed, Scopus e Web of Science, utilizando combinações de termos de busca relevantes, como "transcranial direct current stimulation", "repetitive transcranial magnetic stimulation", "athletes", "sports performance" e "recovery". Foram incluídos estudos publicados entre 2014 e 2024 que investigaram os efeitos da tDCS e rTMS em atletas, com foco em desempenho esportivo, recuperação pós-exercício e aspectos neurofisiológicos. Foram excluídos estudos que não estavam disponíveis em texto completo, estudos em idiomas diferentes do inglês ou português e estudos que não se concentravam em atletas ou esportes.

Os estudos selecionados foram revisados em relação aos seus objetivos, métodos, participantes, intervenções de estimulação cerebral, medidas de desempenho e principais resultados. Os dados foram sintetizados e organizados de acordo com os temas emergentes, incluindo melhoria do desempenho esportivo, recuperação pós-exercício e aspectos neurofisiológicos. A qualidade metodológica dos estudos foi avaliada utilizando critérios específicos para cada tipo de desenho de estudo, como ensaios clínicos randomizados, estudos observacionais e revisões sistemáticas.

RESULTADOS

Melhoria do Desempenho Esportivo

Vários estudos incluídos nesta revisão investigaram os efeitos da tDCS e rTMS na melhoria do desempenho esportivo em atletas. Moscatelli et al. (2023) relataram melhorias no desempenho de jogadores de voleibol após a aplicação de tDCS sobre áreas corticais específicas relacionadas ao controle motor e percepção visual. Da mesma forma, Hou et al. (2022) observaram aumentos na estabilidade postural em adultos jovens saudáveis após a aplicação de tDCS sobre o córtex motor primário. Outros estudos, como o de Alix-Fages et al. (2022), investigaram os efeitos da tDCS na capacidade de sprint em atletas e não encontraram diferenças significativas em relação ao grupo controle, sugerindo que a tDCS pode não afetar todas as modalidades esportivas da mesma forma. Além disso, Zhuang et al. (2020) exploraram o potencial da rTMS para melhorar o treinamento e o desempenho em jogadores de esportes eletrônicos, destacando a aplicabilidade desta técnica em contextos esportivos diversos.

Recuperação Pós-exercício

Além dos efeitos agudos no desempenho, a tDCS tem sido investigada como uma ferramenta para melhorar a recuperação pós-exercício em atletas. Estudos de Moreira et al. (2021, 2021) relataram benefícios na recuperação de jogadores de futebol masculino e feminino após partidas oficiais, incluindo melhorias na função autonômica e bem-estar geral. Esses achados sugerem que a tDCS pode acelerar processos de recuperação muscular, reduzir a fadiga e promover uma resposta adaptativa mais rápida após esforços intensos. Por outro lado, Donati et al. (2021) exploraram os níveis séricos de fatores neurotróficos em atletas de elite como possíveis marcadores do uso de tDCS no esporte. Embora os resultados sugiram uma associação entre a estimulação cerebral não invasiva e os níveis de fator neurotrófico derivado do cérebro, são necessárias mais pesquisas para entender completamente essa relação e seu impacto na recuperação de atletas.

Aspectos Neurofisiológicos

Estudos neurofisiológicos têm investigado os mecanismos subjacentes aos efeitos da tDCS e rTMS no cérebro de atletas. Morya et al. (2019) propuseram uma visão integrativa da modulação do córtex motor induzida pela tDCS em pacientes e atletas, destacando a importância de considerar não apenas a área-alvo da estimulação, mas também suas interações com redes neurais mais amplas. Essas interações podem influenciar a plasticidade sináptica, a conectividade funcional e a resposta adaptativa do sistema nervoso, afetando assim o desempenho e a recuperação dos atletas em níveis comportamentais e neurofisiológicos.

Discussão

Os resultados desta revisão corroboram evidências prévias indicando o potencial promissor da tDCS e rTMS na melhoria do desempenho e recuperação de atletas. No entanto, é fundamental reconhecer que a eficácia dessas técnicas pode ser influenciada por uma variedade de fatores, destacando a importância de protocolos de estimulação individualizados e adaptados às necessidades específicas de cada atleta.

Diferenças na área-alvo do cérebro estimulada, intensidade e duração da estimulação, bem como as características da modalidade esportiva praticada, podem impactar

significativamente os resultados obtidos (Moreira et al., 2021; Hou et al., 2022). Além disso, as lacunas identificadas nesta revisão apontam para a necessidade de pesquisas adicionais para preencher importantes brechas de conhecimento.

Poucos estudos abordaram os efeitos a longo prazo da tDCS e rTMS no contexto esportivo, limitando nossa compreensão sobre a sustentabilidade desses efeitos ao longo do tempo e sua aplicabilidade em um contexto de treinamento de longo prazo. Investigações longitudinais são essenciais para elucidar os efeitos de intervenções de estimulação cerebral repetidas e seus impactos cumulativos no desempenho atlético e na saúde cerebral (Moreira et al., 2021).

Além disso, a compreensão dos mecanismos neurofisiológicos subjacentes aos efeitos da tDCS e rTMS no cérebro de atletas permanece incompleta. Embora evidências sugiram que essas técnicas modulam a excitabilidade cortical e influenciam a plasticidade neuronal, ainda há lacunas significativas em nossa compreensão dos processos neurais específicos envolvidos.

Estudos neurofisiológicos mais detalhados, incluindo técnicas de neuroimagem, são necessários para investigar as alterações na atividade cerebral e na conectividade neural induzidas pela tDCS e rTMS em atletas (Morya et al., 2019). Além disso, a otimização dos protocolos de estimulação é crucial para maximizar os benefícios das intervenções de tDCS e rTMS na fisioterapia desportiva.

A individualização dos protocolos de estimulação com base nas características dos atletas, como idade, sexo, nível de habilidade esportiva e sensibilidade à estimulação cerebral, pode aumentar a eficácia e a relevância clínica dessas intervenções. Abordagens personalizadas podem permitir uma adaptação mais precisa das técnicas de estimulação às necessidades específicas de cada atleta, levando a melhores resultados em termos de desempenho e recuperação (Moscatelli et al., 2023; Alix-Fages et al., 2022).

Por fim, embora os resultados desta revisão sugiram um potencial promissor para a tDCS e rTMS na fisioterapia desportiva, é crucial reconhecer as limitações atuais e as áreas de investigação futura. Avanços adicionais nesta área podem incluir estudos longitudinais, investigações mais detalhadas dos mecanismos neurais subjacentes e o desenvolvimento de protocolos de estimulação mais personalizados e adaptados às necessidades individuais dos atletas. Esses esforços têm o potencial de melhorar significativamente nossa compreensão e aplicação de técnicas de estimulação cerebral não invasivas no contexto esportivo.

CONCLUSÃO

A evidência atual sugere que tanto a tDCS quanto a rTMS têm o potencial de modular a excitabilidade cortical e melhorar vários aspectos do desempenho e recuperação de atletas. No entanto, são necessárias mais pesquisas para elucidar completamente os mecanismos subjacentes a esses efeitos e otimizar os protocolos de estimulação para aplicações específicas no campo da fisioterapia desportiva. Avanços futuros nesta área podem incluir o desenvolvimento de protocolos de estimulação personalizados, a investigação de novos alvos neurais e a integração de técnicas de neuroimagem para avaliar os efeitos da tDCS e rTMS em níveis neurobiológicos mais detalhados.

Referências

1. Alix-Fages C, Romero-Arenas S, Caldeiro Nadal C, Ibanez-Martinez A, Perez-Blanco T, Colomo-Pavella D, Marqués C, Cueto-Ramos A. Transcranial direct current stimulation and repeated sprint ability: No effect on sprint performance or ratings of perceived exertion. *Eur J Sport Sci*. 2022 Apr;27(4):648-674.
2. Bikson M, Grossman P, Thomas C, Denko AL, Jiang J, Adam T, Mendonças AF, Sorrento C, Thompson D, Rogge P, Brunoni AM, Chaturvedi L, Fregni F, Frisch M, Gillick B, Hamilton RH, Hartsford AM, Iskandar B, Kishinoue K, Lieberson S, Liu A, Liu C, Nitsch MA, Sato I, Richardson JT, Solteszberg A, Tanskanen JH, Woods AJ. Safety of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence-Based Update 2020. *Brain Stimul*. 2020 Sep-Oct;13(5):641-661.
3. Denari F, Sian V, Bazzani CM, de la Torre X, Felchelli C, Metta F. Seven Levels of Brain-Derived Neurotrophic Factor and Other Neurotrophins in Cerebellar: Potential Markers of the Use of Transcranial Direct Current Stimulation in Sport. *Front Sports Act Living*. 2021 Apr 12;3:62571.

4. Hübner FA, da Cunha EA, Sotomayor RR, Romanero ACS, Portari AC, Dinizson B, Baptista AT. ANIMAL TRANSCRANIAL DIRECT CURRENT STIMULATION (TDCS) INDUCES COGNITIVE IMPROVEMENT OF BALANCE SCOTORS METRICS IN HANGBALL PLAYERS. *Int J Sports Phys Ther*. 2021 Jun;17(6):40-46.

5. Hou J, Nitsch MA, Yi L, Song Z, Qi F. Effects of Transcranial Direct Current Stimulation over the Primary Motor Cortex on Improving Postural Stability in Healthy Young Adults. *Biophys (Basel)*. 2022 Sep 17;11(9):1370.

6. Lefebvreur P, Aubé-Olivier M, Arsal A, Agache SS, Baskari C, Benninger DJ, Castiello RM, Corchia M, de Carvalho M, De Ridder D, Gervais H, Di Lorenzo V, Pflieger SF, Hammel JC, Hübner FA, Krasakova VK, Koch C, Langguth B, Maffioletti A, Maffioletti A, Pothner C, Poullet C, Risse F, Sander JM, Schwydt K, Schwilke-Luciani C, Golecki HR, Guisane CW, Hoog C, Villa-Sole I, Ziemann U, Zoccol G, Garcia-Larrea L. Evidence-based guidelines on the clinical use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS). *Clin Neurophysiol*. 2014 Nov;125(11):2158-2206.

7. López-Alonso V, Chaves B, Rio-Rodríguez D, Fernández-Del-Olivar M. Inter-individual variability in response to non-invasive brain stimulation paradigms. *Brain Stimul*. 2014 May-Jun;7(2):137-48.

8. Liu P, Harizanov N, Wei L, Cao T, Tian X. Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Muscle Strength of Non-Dominant Knee in Healthy Young Males. *Front Physiol*. 2021 Dec 20;12:788271.

9. Machado DGDS, Urali C, Andrade GM, Moreira A, Altman LR, Brazoni AS, Feres S, Muzzer AB, Bikson M, Okano AA. Effect of transcranial direct current stimulation on exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimul*. 2023 May-Jun;17(3):405-420.

10. Moreira A, Machado DGDS, Bikson M, Urali C, Bradley PS, Moreschini L, Costa T, Kuffel DGDS, Chao JM, Baptista AT, Bikson M, Okano AA. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Professional Female Soccer Players' Recovery Following Official Matches. *Sports Med (Milv)*. 2021 Aug;51(8):1124-1132.

11. Moreira A, Machado DGDS, Moreschini L, Bikson M, Urali C, Bradley PS, Baptista AT, Morya E, Costa T, Marques L, Zanillo V, Okano AA. Effect of tDCS on self-being and autonomic function in professional male players after official soccer matches. *Physiol Behav*. 2021 May 1;233:113352.

12. Morya E, Monte-Giles K, Bikson M, Cassel-Pear Z, Hwang CJ, de Fossaca A, Barri Y, Farzan F, Charlier B, Vandierff JM, da Silva Machado DG, Romanero AC, Muzzer C, Moreschini LA, Regalo P, Sato H, Castano MS, Sa KM, Tanaka C, Li JM, Baptista AT, Okano AA. Beyond the target area: an integrative view of tDCS-induced motor cortex modulation in patients and athletes. *J Neurosci Rehabil*. 2023 Nov 15;10(1):141.

13. Moreschini LA, Fossaca A, Iorio B, Morya E, Morgano K, Moreira A, Okano AA. Does high-definition transcranial direct current stimulation change brain electrical activity in professional female basketball players during free-throw shooting? *Front Neuroergon*. 2022 Sep 16;3:102540.

14. Moreschini L, Monda V, Latorre P, Monda C, Moreschini N, Monda M, Moreira A, De Maria A, Scarami A, Monda A, Naito R, Meyers G. Acute non-invasive brain stimulation improves performance in elite football players. *Physiol Behav*. 2023 Nov 1;217:114016.

15. Saville Sanchez M, Ustaretzky T, Carballido C, Pleguez N, Fernández-Del-Olivar M. A lack of timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the performance of a choice reaction time task. *Neurosci Lett*. 2022 Jun 21;762:136621.

16. Wobitzke M, Thiruchit T, Brüggen K, Ziemann U, Uebe A, Fernández-Rodríguez A, Kozik C, Krasakova VK, Janski B, Maffioletti A, Benninger C. Direct effects of transcranial electric stimulation on brain circuitry in rats and humans. *Nat Commun*. 2018 Feb 23;9:1-8.

17. Zhang W, Ye X, Di Y, Liu Y. Non-Invasive Brain Stimulation: Augmenting the Training and Performance Potential in Sports Players. *Brain Sci*. 2020 Jul 15;10(7):1454.



LANNED

LABORATÓRIO DE NEUROCIÊNCIA,
NEUROMODULAÇÃO E ESTUDO DA DOR



NEUROMODULATION AND
PAIN UNIT (NEURO-PAIN)
BY CIEM

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta revisão integrativa reforçam o potencial das técnicas de estimulação cerebral não invasiva, como a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) e a estimulação magnética transcraniana repetitiva (rTMS), como ferramentas promissoras para aprimorar o desempenho e favorecer a recuperação de atletas. A literatura evidencia que essas intervenções podem modular a excitabilidade cortical, influenciar a plasticidade neural e promover benefícios funcionais em aspectos motores, cognitivos e perceptivos. Entretanto, observou-se que os efeitos variam conforme o protocolo utilizado, a área cortical estimulada, o tipo de modalidade esportiva e as características individuais de cada atleta, o que reforça a necessidade de padronização e personalização das aplicações. Apesar dos avanços, ainda há lacunas significativas quanto à compreensão dos mecanismos neurofisiológicos subjacentes e aos efeitos a longo prazo dessas técnicas no contexto esportivo. Assim, recomenda-se que futuras pesquisas abordem protocolos mais bem definidos, com amostras maiores e avaliações multidimensionais que integrem desempenho físico, cognitivo e marcadores neurofisiológicos. Conclui-se, portanto, que a estimulação cerebral não invasiva representa uma abordagem inovadora e potencialmente eficaz na fisioterapia desportiva, desde que empregada de forma criteriosa, com respaldo científico e adequada às particularidades de cada atleta.

REFERÊNCIAS

- ALIX-FAGES, C. et al. *Transcranial direct current stimulation and repeated sprint ability: No effect on sprint performance or ratings of perceived exertion*. *European Journal of Sport Science*, v. 22, n. 4, p. 569–578, 2022.
- BIKSON, M. et al. *Safety of Transcranial Direct Current Stimulation: Evidence Based Update 2016*. *Brain Stimulation*, v. 9, n. 5, p. 641–661, 2016.
- DONATI, F. et al. *Serum Levels of Brain-Derived Neurotrophic Factor and Other Neurotrophins in Elite Athletes: Potential Markers of the Use of Transcranial Direct Current Stimulation in Sport*. *Frontiers in Sports and Active Living*, v. 3, p. 619573, 2021.
- HAZIME, F. A. et al. *Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) increases isometric strength of shoulder rotator muscles in handball players*. *International Journal of Sports Physical Therapy*, v. 12, n. 3, p. 402–407, 2017.
- HOU, J. et al. *Effects of Transcranial Direct Current Stimulation over the Primary Motor Cortex in Improving Postural Stability in Healthy Young Adults*. *Biology (Basel)*, v. 11, n. 9, p. 1370, 2022.
- LEFAUCHEUR, J. P. et al. *Evidence-based guidelines on the therapeutic use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS)*. *Clinical Neurophysiology*, v. 125, n. 11, p. 2150–2206, 2014.
- LÓPEZ-ALONSO, V. et al. *Inter-individual variability in response to non-invasive brain stimulation paradigms*. *Brain Stimulation*, v. 7, n. 3, p. 372–380, 2014.
- LU, P. et al. *Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Muscle Strength of Non-dominant Knee in Healthy Young Males*. *Frontiers in Physiology*, v. 12, p. 788719, 2021.
- MACHADO, D. G. D. S. et al. *Effect of transcranial direct current stimulation on exercise performance: A systematic review and meta-analysis*. *Brain Stimulation*, v. 12, n. 3, p. 593–605, 2019.
- MOREIRA, A. et al. *Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Professional Female Soccer Players' Recovery Following Official Matches*. *Perceptual and Motor Skills*, v. 128, n. 4, p. 1504–1529, 2021.
- MOREIRA, A. et al. *Effect of tDCS on well-being and autonomic function in professional male players after official soccer matches*. *Physiology & Behavior*, v. 233, p. 113351, 2021.
- MORYA, E. et al. *Beyond the target area: An integrative view of tDCS-induced motor cortex modulation in patients and athletes*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 16, n. 1, p. 141, 2019.

MOSCALESKI, L. A. et al. *Does high-definition transcranial direct current stimulation change brain electrical activity in professional female basketball players during free-throw shooting?* *Frontiers in Neuroergonomics*, v. 3, p. 932542, 2022.

MOSCATELLI, F. et al. *Acute non invasive brain stimulation improves performances in volleyball players.* *Physiology & Behavior*, v. 271, p. 114356, 2023.

SEVILLA-SANCHEZ, M. et al. *A lack of timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on the performance of a choice reaction time task.* *Neuroscience Letters*, v. 782, p. 136691, 2022.

VÖRÖSLAKOS, M. et al. *Direct effects of transcranial electric stimulation on brain circuits in rats and humans.* *Nature Communications*, v. 9, n. 1, p. 483, 2018.

ZHUANG, W. et al. *Non-Invasive Brain Stimulation: Augmenting the Training and Performance Potential in Esports Players.* *Brain Sciences*, v. 10, n. 7, p. 454, 2020.