



Artigo Original

Original Article



Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua sobre força de membros inferiores e desempenho na corrida de 5.000m: um estudo experimental

Transcranial Direct Current Stimulation on Lower Limb Strength and 5,000m Running Performance: An Experimental Study

Leila Fernanda dos Santos¹, Júlio César de Carvalho Martins¹, Eder Magnus Almeida Alves Filho¹, Matheus Santos de Sousa Fernandes², Hortência Reis do Nascimento¹, Isabela Reis do Nascimento³, Felipe J. Aida^{1,3}, Raphael Fabrício de Souza^{1,3} PhD

Recebido em: 13 de março de 2024. Aceito em: 02 de maio de 2024.

Publicado online em: 19 de junho de 2024.

DOI: 10.37310/ref.v92i4.2951

Resumo

Introdução: A estimulação transcraniana de corrente contínua (ETCC) na função cerebral é descrita com indicativos de que influencie na excitabilidade cortical do indivíduo, induzindo alterações positivas nas áreas cognitivas e motoras. Assim a ETCC poderia ser identificada como recurso ergogênicos no meio esportivo, na busca por melhores resultados.

Objetivo: Explorar o efeito agudo da ETCC aplicado em corredores de 5.000m.

Métodos: Estudo experimental, controlado por Sham (efeito placebo), cego, em atletas de corrida de 5.000m, do sexo masculino, com idades de 18 a 32 anos. Dezoito atletas foram randomizados nos grupos Anodal (n=9, 29±7 anos, 63±8kg) e Sham (n=9, 25±4 anos, 67±12 Kg). Foram avaliados tempo total da corrida (t) e o torque de pico (Pt) em um momento pré e pós-estimulação.

Resultados: O tempo de corrida, velocidade do grupo Anodal foi menor em comparação com o grupo Sham ($p=0,02$; IC95% 0,11–2,32; $d=1,24$) e ($p=0,02$, IC95% 0,05–2,20; $d=1,15$) respectivamente. Entretanto, nenhuma diferença foi encontrada em Pt ($p=0,70$).

Conclusão: Os achados indicaram que a ETCC pode contribuir para otimizar, de forma aguda, o tempo/a velocidade de corredores de 5.000m.

Palavras-chave: neurociência, esporte, alto rendimento, atletas, desempenho.

Pontos Chave

- A ETCC apresenta indicativos de influência sobre a atividade cortical do indivíduo, induzindo alterações positivas nas áreas cognitivas e motoras.

- A velocidade no grupo Anodal foi maior em comparação com o grupo Sham (tempo menor para cumprir o percurso).

- A ETCC contribuiu para aumentar o desempenho de corredores de 5.000m.

§Autor correspondente: Raphael Fabrício de Souza – ORCID: 0000-0002-3899-6849; e-mail: raphaelctba20@gmail.com

Afiliações: ¹Programa de Pós-graduação em Educação Física, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

²Programa de Pós-graduação em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento, Centro de Ciências Médicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil; ³Group of Studies and Research of Performance, Sport, Health and Paralympic Sports—GEPEPS, Federal University of Sergipe (UFS), São Cristóvão, Brazil.

Abstract

Introduction: Transcranial direct current stimulation (tDCS) in brain function is described as influencing the individual's cortical excitability, inducing positive changes in cognitive and motor areas. Thus, tDCS could be identified as an ergogenic resource in the sports environment, in the search for better results.

Objective: To explore the acute effect of tDCS applied to 5,000m runners.

Methods: Experimental study, controlled by Sham (placebo effect), blinded, in male 5,000m runners, aged 18 to 32 years. Eighteen athletes were randomized into the Anodal (n=9, 29±7 years, 63±8 kg) and Sham (n=9, 25±4 years, 67±12 kg) groups. Total running time (t) and peak torque (Pt) were evaluated before and after stimulation.

Results: The running time and speed of the Anodal group was lower compared to the Sham group (p=0.02; 95%CI 0.11–2.32; d=1.24) and (p=0.02, 95%CI 0.05–2.20; d=1.15), respectively. However, no difference was found in Pt (p=0.70).

Conclusion: The findings indicated that tDCS can contribute to acutely optimize the time/speed of 5,000m runners.

Keywords: neuroscience, sport, high-performance, athletes, performance.

Key Points

- tDCS presents evidence of influence on the individual's cortical activity, inducing positive changes in the cognitive and motor areas.
- The speed in the Anodal group was higher compared to the Sham group (shorter time to complete the course).
- tDCS has contributed to increasing the performance of 5,000m runners.

Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua sobre força de membros inferiores e desempenho na corrida de 5.000m: um estudo experimental

Introdução

Introdução

À medida que a tecnologia e a ciência avançam, na busca por recursos ergogênicos, a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) vem com a promessa de ultrapassar os limites corporais(1) principalmente de atletas na busca desenfreada pela melhor performance. Com a ETCC é possível proporcionar um maior desempenho esportivos(2), além dos treinamentos, pois, ela tem o objetivo de promover a excitabilidade neural do potencial da membrana em repouso através dos eletrodos(3), por meio de estímulos elétricos diretamente no couro cabeludo, com fluxo constante de corrente elétrica e baixa intensidade, sendo que estímulos no córtex motor podem influenciar diretamente no desempenho esportivo(4).

Os benefícios da ETCC no cérebro para as funções cognitivas já foram identificados

em pacientes acometidos de Parkinson, acidente vascular isquêmico, por exemplo(5) e foram também associados a uma melhoria das capacidades motoras(1,6,7). Se apresentando com destaque por ter baixo custo, não ser invasiva, com fácil aplicação, tendo seu começo em tratamento de doenças, Alzheimer, depressão, esquizofrenia entre outras sendo utilizada como recurso terapêutico(8).

Além disso, evidências indicam que a ETCC pode promover alterações psicofisiológicas que favorecem o desempenho físico, permitindo melhorias nos saltos em contramovimento, após 20 minutos (min) de estimulação e 1,5 mA(9) e aumento do tempo para atingir exaustão na atuação de ciclistas num percurso de 10 quilômetros (km), após 13 min de estimulação e 1,5 mA(7). Também foi registrada uma melhoria no desempenho em resistência de grupos musculares (flexores

de cotovelo) isolados em testes isométricos(10). Logo, estímulos na região do córtex motor (M1) tendem a influenciar diretamente o desempenho desportivo(7).

No entanto, alguns estudos não conseguiram identificar qualquer efeito agudo da ETCC sobre o desempenho de corredores amadores na força muscular de membros inferiores(11), para um corredor, a amplitude da ativação muscular e dos agrupamentos pode variar(9). Também foi observado aumento na capacidade de pontapé de atletas de taekwondo após 15 min de estimulação a uma intensidade de 2mA(12). Não houve alteração em saltos de contramovimento em indivíduos saudáveis, que não eram corredores(13).

A ativação muscular incompleta ocorre consistentemente durante o exercício exaustivo e de alta resistência(14). Nesse contexto, pode-se teorizar que a ETCC aplicada de forma aguda na área de interesse, ou seja, no córtex motor, pode potencializar a atividade dos neurônios especificamente envolvidos na ativação muscular dos membros inferiores promovendo melhor desempenho de atletas que utilizem dessa técnica. Assim, o principal objetivo foi explorar os efeitos agudos da ETCC, aplicada no córtex motor primário, sobre o pico de torque dos músculos extensores do joelho em corredores fundistas amadores.

Métodos

Desenho de estudo e amostra

Foi realizado um estudo experimental, controlado por Sham (aplicação de efeito placebo no grupo controle), cego, em atletas de corrida fundista, com idade de 18 a 32 anos. O estudo foi realizado na Pista de Atletismo na Universidade Federal de Sergipe – Campus São Cristóvão, localizado na Avenida Marechal Rondon Jardim s/n - Rosa Elze, São Cristóvão. Foram elegíveis para participar do estudo atletas de corrida do corredores do Clube de Corrida e acessórios esportivas especializadas em

corrida na cidade de Aracaju, o quais foram contactados por meio das redes sociais e convidados. Os critérios de

inclusão foram: a) Indivíduo voluntário de livre espontânea vontade; b) Com mínimo de 01 ano de experiência de treinamento em Clube de Corrida; c) Idade entre 18 e 32 anos com participação em uma prova ou treino de 5 km nos últimos dois meses com tempo máximo de 22 minutos para cumprir a prova; d) Preencher adequadamente o assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) consentindo com a participação na pesquisa em todos os testes como orientado. Os critérios de exclusão foram: a) Indivíduos que não realizassem todas as etapas como orientado; b) Apresentar depravação no trato respiratório superior (resfriado, coriza); c) Lesões que impossibilitassem a realização de esforço máximo durante os testes, de qualquer natureza.

Aspectos éticos

O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Sergipe e aprovado com o nº de registro 5.409.610 e notado no Registro Brasileiro de Ensaio Clínicos (RBR-4yt3pvc). Os voluntários receberam instruções e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, livre a retirar-se e desistir de sua participação em qualquer momento sem penalidade.

Variáveis de estudo

As variáveis dependentes foram o pico de torque (Pt) e o desempenho nos 5.000m. A intervenção ETCC foi a variável independente. As covariáveis para descrever a amostra foram estatura, massa corporal, Índice de Massa Corporal (IMC – peso(kg) x altura(m)² e idade (anos).

Pico de torque (Pt)

O pico de torque (Pt) foi avaliado como o máximo torque isométrico gerado pelos músculos extensores do joelho. O Pt foi determinado multiplicando-se o pico de força isométrica e o comprimento do segmento, dado pela distância entre o ponto de fixação do cabo da célula de carga e o centro da articulação do joelho. Para esta avaliação foi utilizado uma célula de carga (Kratos modelo CZC500) que fixado em um cordão inextensível e preso próximo ao

maléolo por meio de um sistema de velcro posicionado ao lado dos maléolos (16).

Desempenho nos 5.000m

O desempenho nos 5.000m foi avaliado pelo tempo gasto pelo atleta para cumprir o percurso..

Intervenção: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC)

A ETCC foi administrada de acordo com a metodologia utilizada em estudos prévios(1, 15).

Procedimento experimental

Foram feitas duas avaliações: pré e pós-intervenção quanto a força de membros inferiores no movimento de extensão de joelho (Pt) e uma avaliação pós-estimulação no desempenho na corrida de 5.000m. A Figura 1 exibe os resultados do processo de seleção, amostra e randomização dos participantes.

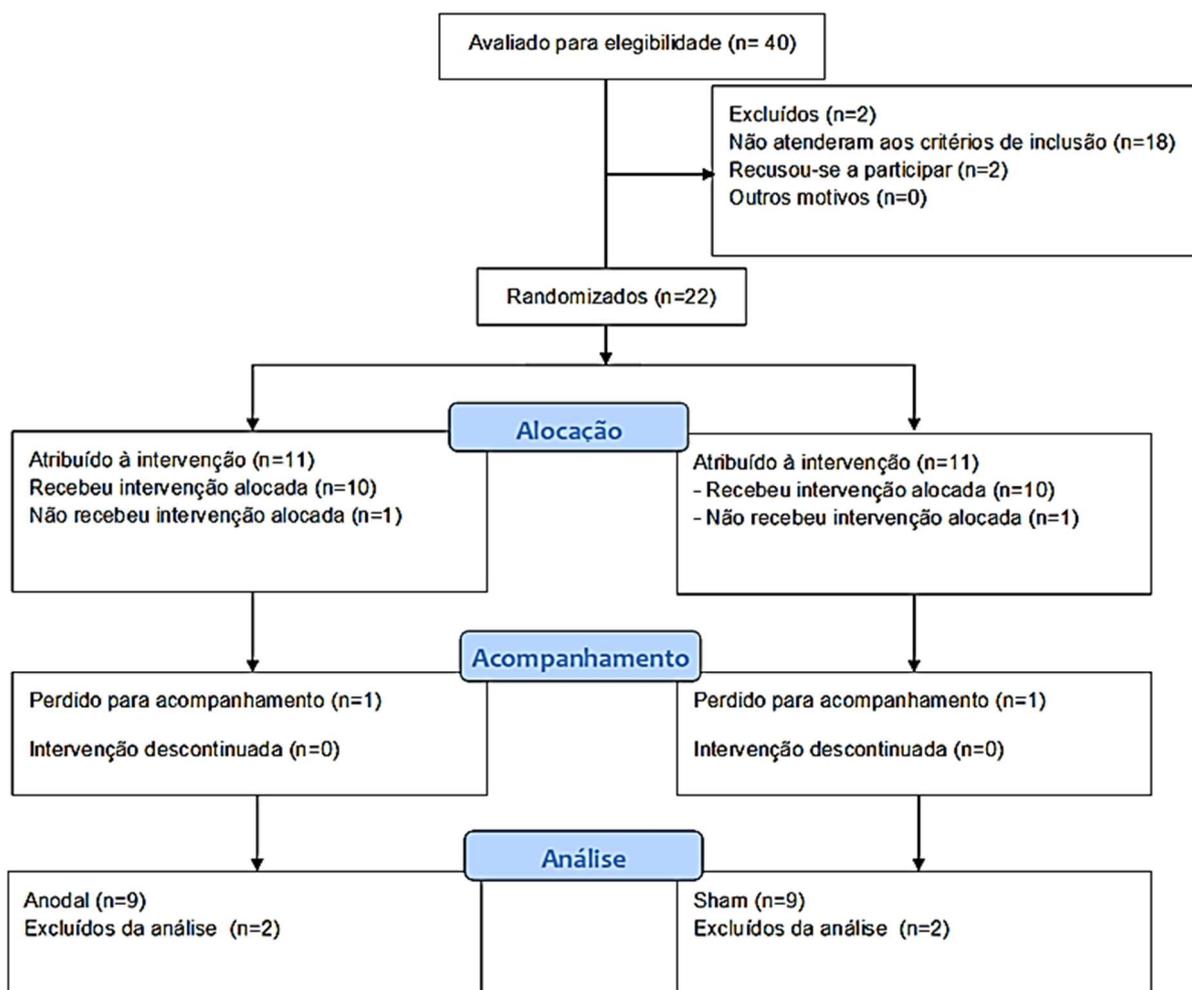


Figura 1 – Resultados quanto ao processo de seleção e randomização da amostra

Inicialmente, foram registrados a estatura (Height 26SM), a massa corporal (G-Tech) e a idade (anos) dos participantes. Em seguida, foram avaliados quanto ao Pt. Após as avaliações iniciais, a ETCC foi aplicada por um eletroestimulador Microestim Genius, fabricante NKL, registro ANVISA 80191680008, dimensões 13,7cm x 8,2cm x 4,2cm embebidos em solução salina. O posicionamento dos

eletrodos foi no M1, sendo o ânodo no ponto C3, na região responsável pelos músculos dos membros inferiores (quadríceps) e o cátodo foi posicionado na região supra orbital, com intensidade de corrente 2mA por 20min, a corrente elétrica teve rampa de subida e descida com duração de 30s e a resistência elétrica frequentemente era monitorada pelo display do estimulador. Para a condição *Sham* todo

procedimento e montagem dos eletrodos foi a mesma, no entanto, sendo desligada um min após o início, tempo que não causa qualquer alteração(1,15).

Após a estimulação os atletas foram instruídos para que ao comando do sinal sonoro iniciar a corrida de 5.000m pela pista de atletismo oficial (400m) da Universidade Federal de Sergipe. O tempo para concluir o percurso foi registrado por meio de um cronômetro manual (Besportble XL-013).

Ao final da visita no laboratório, o participante foi novamente avaliado quanto ao Pt.

Análise estatística

A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Shapiro Wilk, o teste t de Student pareado foi realizado para comparar o Pt e o tempo total para concluir o percurso entre os grupos. O teste d de Cohen foi usado para avaliar o tamanho do efeito, adotando os adotando os pontos de corte de 0,02-0,15 para um efeito pequeno, 0,16 a 0,35 como um efeito médio e mais de 0,35 como um efeito grande. Realizou-se uma análise de poder estatístico a priori para estimar o número adequado de participantes necessários para gerar esses resultados, utilizando o programa G Power v. 3.1.9.7, calculou-se um tamanho de efeito ($f=1,5$). Foi adotado um intervalo de confiança de 95% com valor de significância de $p<0,05$.

Os dados estatísticos foram tabulados utilizando-se o software JAMOVI v. 2.3.

Resultados

Depois de aplicados os critérios de exclusão, participaram do estudo 18 atletas, sendo que no grupo Anodal as médias foram: de idade: 29 ± 7 anos; de estatura: 173 ± 6 cm; de massa corporal 63 ± 8 ; e de IMC 20 ± 2 kg/m². No grupo Sham, as médias foram: de idade: 25 ± 4 anos; de estatura: 173 ± 6 cm; de massa corporal 67 ± 12 ; e de IMC 22 ± 2 kg/m².

O pico de torque nos diferentes momentos é apresentado na Figura 2. Não foi possível observar uma diferença estatística significativa entre os grupos, com um valor de $p=0,70$ (IC95% 0,75– 1,11; $d = 0,18$).

A Figura 3 apresenta o desempenho na corrida dos participantes em tempo total gasto para completar os 5.000m pós estimulação entre grupos Anodal e Sham. O grupo Anodal apresentou diferença estatisticamente significativa ($p=0,02$; IC95% 0,11–2,32; $d=1,24$). O grupo Anodal obteve uma média de tempo menor comparado ao grupo Sham com uma diferença de 96s.

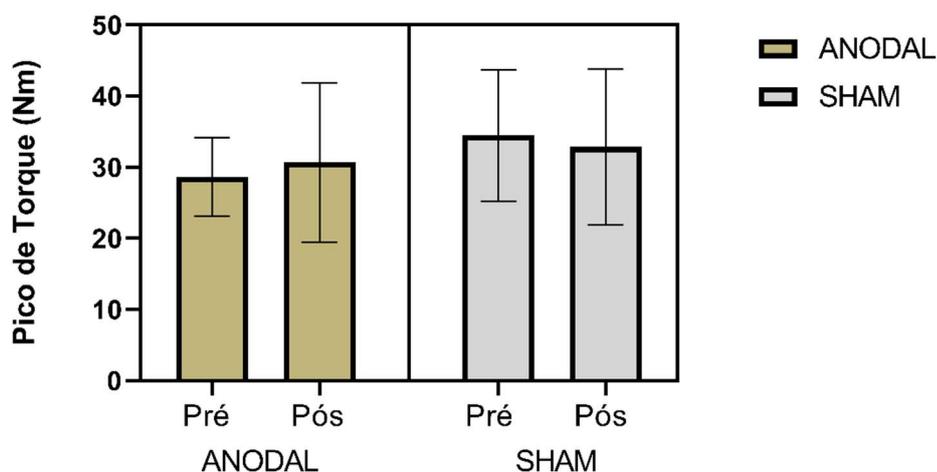


Figura 2 – Valor do pico de torque realizado em dois momentos com atletas ($n=18$). Todos os valores apresentados como média \pm desvio padrão ($p=0,70$).

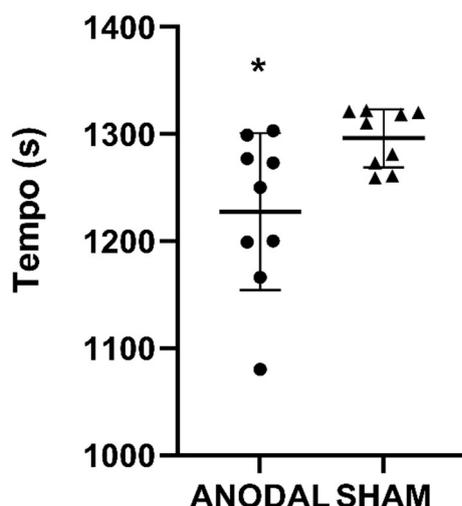


Figura 3 – Tempo total dos atletas para concluir os 5.000m realizado entre grupos.
*Diferença estatisticamente significativa quando comparado os grupos ($p=0.02$).

Discussão

Ao analisar o efeito da ETCC nos corredores, os resultados mostraram que 20 min de estimulação com intensidade de 2mA sobre o córtex motor primário (C3) promoveu uma melhora estatisticamente significativa no desempenho da corrida de 5.000m, diminuindo o tempo para a conclusão do percurso do grupo anodal em comparação ao Sham, no entanto não houve diferença no pico de torque nos corredores.

Em um estudo com corredores recreacionais foi verificado que 20min de ETCC e 2mA não foi apresentado resultado significativo na extensão de joelho(20), assim como um experimento realizado com atletas de taekwondo, no qual foram estimulados por 15 min, com intensidade de 2mA, em que a variável analisada foram os chutes, o desempenho nos chutes foi menor (quantidade de chutes realizados menor)(12). Em contraponto, Vitor-Costa *et al.*(15) atestaram um aumento significativo de tolerância ao exercício em atletas de ciclismo, após seres submetidos a 13 min de estimulação e 2mA de ETCC, pedalarão em intensidade de 60 a 90rpm até a exaustão.

Uma perspectiva possível para os achados neste estudo é a de que a ETCC anodal influenciou na excitabilidade neural dos atletas fornecendo estímulos motivacionais e motores(1), melhorando assim o tempo na corrida necessários até finalizar a tarefa.

Pontos fortes e limitações do estudo

O ponto forte do presente estudo foi agregar conhecimento a respeito dos efeitos benéficos da ETCC sobre o córtex motor em relação ao desenvolvimento da execução motora e da fadiga, em linha com estudos prévios(17). Portanto, os resultados relacionados com desempenho físico dentro de um protocolo agudo, como o ora investigado, podem ser de grande importância para o treinamento diário de atletas. Esse resultado implica considerações práticas, principalmente visando um momento à possibilidade de acesso à estimulação e ao seu custo-benefício, tendo em vista o aumento da capacidade do sistema nervoso em promover desempenho físico durante esforços máximos(17).

Uma limitação do estudo foi que o desempenho na corrida não foi avaliado pré-intervenção, que poderia fornecer mais informações quanto ao desempenho na

corrida. Entretanto, considera-se que a distribuição aleatória dos participantes seja capaz de prover confiabilidade quanto à distribuição da variável em ambos os grupos.

Outro fator que deve ser levado em consideração, é a individualidade biológica, pois, a espessura do crânio para receber o estímulo pode variar de indivíduo para indivíduo, todavia, até o presente momento não há como medir tal composição anatômica(18).

Conclusão

O objetivo do presente estudo foi explorar os efeitos agudos da ETCC, aplicada no córtex motor primário, sobre o Pt dos músculos extensores do joelho e no desempenho de corredores fundistas (5.000m) amadores. Evidenciou-se que a ETCC pode otimizar, de forma aguda, o desempenho reduzindo o tempo de corrida sem alterar o pico de torque. A conclusão deste estudo apresenta-se como uma proposta adicional, dentre outras estratégias preparatórias para um evento competitivo, pois, o equipamento de ETCC pode, facilmente, ser transportado para todos os locais de competição.

Novas pesquisas são sugeridas a fim de se verificar o efeito crônico e também em diferentes níveis de corredores, utilizando estímulos de forma periodizada de forma a possibilitar os efeitos, a longo prazo sobre o limiar de excitabilidade e examinar uma provável maior resistência a novos estímulos de treinamento, em amostras, se possível, de atletas de elite.

Declaração de conflito de interesses

Não nenhum conflito de interesses em relação ao presente estudo.

Declaração de financiamento.

O estudo foi conduzido sem financiamento.

Referências

1. Angius L, Mauger AR, Hopker J, Pascual-Leone A, Santarnecchi E, Marcora SM. Bilateral extracephalic transcranial direct current stimulation improves endurance performance in healthy individuals. *Brain Stimulation*. 2018;11(1): 108–117. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2017.09.017>.
2. Ardolino G, Bossi B, Barbieri S, Priori A. Non-synaptic mechanisms underlie the after-effects of cathodal transcutaneous direct current stimulation of the human brain. *The Journal of Physiology*. 2005;568(Pt 2): 653–663. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.088310>.
3. Nitsche MA, Paulus W. Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*. 2001;57(10): 1899–1901. <https://doi.org/10.1212/WNL.57.10.1899>.
4. Stagg CJ, Antal A, Nitsche MA. Physiology of Transcranial Direct Current Stimulation. *The journal of ECT*. 2018;34(3): 144–152. <https://doi.org/10.1097/YCT.0000000000000510>.
5. Santarnecchi E, Brem AK, Levenbaum E, Thompson T, Kadosh RC, Pascual-Leone A. Enhancing cognition using transcranial electrical stimulation. *Current Opinion in Behavioral Sciences*. 2015;4: 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.06.003>.
6. Colzato LS, Nitsche MA, Kibele A. Noninvasive Brain Stimulation and Neural Entrainment Enhance Athletic Performance—a Review. *Journal of Cognitive Enhancement*. 2017;1(1): 73–79. <https://doi.org/10.1007/s41465-016-0003-2>.
7. Vitor-Costa M, Pereira LA, Montenegro RA, Okano AH, Altimari LR. A estimulação transcraniana por corrente contínua como recurso ergogênico: uma nova perspectiva no meio esportivo. *Revista da Educação Física / UEM*. 2012;23: 167–174. <https://doi.org/10.4025/reveducfis.v23i2.10670>.
8. Lefaucheur JP, Antal A, Ayache SS, Benninger DH, Brunelin J, Cogiamanian F, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS). *Clinical Neurophysiology*. 2017;128(1): 56–92. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2016.10.087>.

9. Lattari E, Campos C, Lamego MK, Legey S, Neto GM, Rocha NB, *et al.* Can Transcranial Direct Current Stimulation Improve Muscle Power in Individuals With Advanced Weight-Training Experience? *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2020;34(1): 97–103.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001956>.
10. Abdelmoula A, Baudry S, Duchateau J. Anodal transcranial direct current stimulation enhances time to task failure of a submaximal contraction of elbow flexors without changing corticospinal excitability. *Neuroscience.* 2016;322: 94–103.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.02.025>.
11. Uehara L, Boari Coelho D, Leal-Junior ECP, Vicente de Paiva PR, Batista AF, Duarte Moreira RJ, *et al.* Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Muscle Fatigue in Recreational Runners: Randomized, Sham-Controlled, Triple-Blind, Crossover Study—Protocol Study. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation.* 2022;101(3): 279.
<https://doi.org/10.1097/PHM.00000000000001721>.
12. Mesquita PHC, Lage GM, Franchini E, Romano-Silva MA, Albuquerque MR. Bi-hemispheric anodal transcranial direct current stimulation worsens taekwondo-related performance. *Human Movement Science.* 2019;66: 578–586.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.06.003>.
13. Romero-Arenas S, Calderón-Nadal G, Alix-Fages C, Jerez-Martínez A, Colomer-Poveda D, Márquez G. Transcranial Direct Current Stimulation Does Not Improve Countermovement Jump Performance in Young Healthy Men. *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2021;35(10): 2918–2921.
<https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003242>.
14. Adams GR, Harris RT, Woodard D, Dudley GA. Mapping of electrical muscle stimulation using MRI. *Journal of Applied Physiology.* 1993;74(2): 532–537.
<https://doi.org/10.1152/jappl.1993.74.2.532>.
15. Vitor-Costa M, Okuno NM, Bortolotti H, Bertollo M, Boggio PS, Fregni F, *et al.* Improving Cycling Performance: Transcranial Direct Current Stimulation Increases Time to Exhaustion in Cycling. *PloS One.* 2015;10(12): e0144916.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144916>.
16. Kamali AM, Kazemiha M, Keshtkarhesamabadi B, Daneshvari M, Zarifkar A, Chakrabarti P, *et al.* Simultaneous transcranial and transcutaneous spinal direct current stimulation to enhance athletic performance outcome in experienced boxers. *Scientific Reports.* 2021;11(1): 19722.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-99285-x>.
17. Klem GH, Lüders HO, Jasper HH, Elger C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. Supplement.* 1999;52: 3–6.
18. Li LM, Uehara K, Hanakawa T. The contribution of interindividual factors to variability of response in transcranial direct current stimulation studies. *Frontiers in Cellular Neuroscience.* 2015;9: 181.
<https://doi.org/10.3389/fncel.2015.00181>.
19. Park I, Kim Y, Kim SK. Athlete-Specific Neural Strategies under Pressure: A fNIRS Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020;17(22): 8464.
<https://doi.org/10.3390/ijerph17228464>.
20. Baldari C, Buzzachera CF, Vitor-Costa M, Gabardo JM, Bernardes AG, Altimari LR, *et al.* Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Psychophysiological Responses to Maximal Incremental Exercise Test in Recreational Endurance Runners. *Frontiers in Psychology.* 2018;9: 1867.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01867>.