

Utilização da estimulação transcraniana por corrente contínua para aumento da força máxima, resistência muscular e redução da percepção subjetiva de esforço no exercício de força em adultos saudáveis: uma revisão narrativa

Use of transcranial direct current stimulation to increase maximal strength, muscular endurance, and reduce perceived exertion in strength exercise in healthy adults: a narrative review

Lucas Rangel Affonso de Miranda^{1,2} , Thales Couto Bergantini^{1,2} , Carlos Brendo Ferreira Reis^{1,2} , Lenice Brum Nunes^{1,3} , Luciana Carletti^{1,3}  e Richard Diego Leite^{1,2,*}

¹Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, Brasil; ²Laboratório de Força e Condicionamento (LAFEC), Vitória, Espírito Santo, Brasil; ³Laboratório de Fisiologia do Exercício (LAFEX), Vitória, Espírito Santo, Brasil.

*Autor correspondente: rdleite@gmail.com

<https://doi.org/10.31501/rbcm.v34i1.15698>

Resumo: A estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) é uma estratégia não invasiva que induz ganhos em desempenho em exercício de força, aeróbio ou em esportes. A ETCC age através de dois eletrodos, um anódico (despolariza) e um catódico (hiperpolariza). Portanto, a área de posicionamento dos eletrodos é relevante para o desfecho selecionado. Nesse sentido, para otimizar a utilização da ETCC no exercício de força, é necessário estabelecer a área onde serão posicionados os eletrodos, mas também, a amperagem, duração e momento da ETCC. O objetivo desta revisão narrativa foi explorar a utilização da ETCC em diferentes áreas do cérebro na força máxima, resistência muscular e percepção subjetiva de esforço no exercício de força. Como recomendação, a ETCC pode ser realizada no córtex motor, córtex pré-frontal dorsolateral, multifocal no córtex motor e temporal simultaneamente, buscando o aumento da força muscular, resistência muscular e redução da percepção subjetiva de esforço. A duração recomendada para ETCC varia entre 10 e 20 minutos, amperagem de 1,5 a 4mA, online ou offline. Os eletrodos catódicos podem ser posicionados de maneira cortical e extracortical, por exemplo, nos ombros. Futuros estudos podem explorar a realização da ETCC em diferentes áreas e contextos no treinamento de força e no esporte.

Palavras-chave: Estimulação transcraniana por corrente contínua; Força muscular; Fadiga muscular; Desempenho físico.

Abstract: Transcranial direct current stimulation (tDCS) is a non-invasive strategy that induces performance gains in strength, aerobic exercise or sports. tDCS operates through two electrodes: anodal (depolarize) and cathodal (hyperpolarize). Therefore, the area of the electrode's placement is relevant to the selected outcome. In this sense, to optimize the use of tDCS in strength training, it is necessary to establish the area where the electrodes will be positioned, as well as the amperage, duration, and timing of the tDCS. The objective of this narrative review was to explore the use of tDCS in different areas of the brain regarding maximal strength, muscular endurance, and rate of perceived exertion during strength exercise. We recommend that tDCS should be applied to the motor cortex, dorsolateral prefrontal cortex, and simultaneously in the motor and temporal cortex to enhance muscle strength, muscular endurance, and reduce rate of perceived exertion. The recommended duration for tDCS varies between 10 and 20 minutes, with an amperage of 1.5 to 4 mA, applied either online or offline. Cathodal electrodes can be positioned cortically and extracortically, for example, on the shoulders. Future studies may explore the application of tDCS in different areas and contexts in strength training and sports.

Keywords: Transcranial direct current stimulation; Muscle strength; Muscle fatigue; Physical performance.



Este trabalho está licenciado sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 4.0 Internacional.

Introdução

O desenvolvimento científico e tecnológico nas últimas décadas tem despertado o interesse em recursos ergogênicos para aprimorar o desempenho físico dos atletas¹. Com isso, a literatura científica tem demonstrado que a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) pode aumentar a excitabilidade cortical, levando ao aumento da força

máxima ou resistência muscular, nos exercícios isométricos e dinâmicos². Esses achados sugerem que a ETCC pode ser uma ferramenta para potencializar o desempenho físico, agindo diretamente em áreas específicas do córtex cerebral¹⁻³.

A ETCC é uma ferramenta não invasiva, de baixo custo, portátil e segura de utilizar, comparado a outros métodos de neuromodulação, como a

estimulação magnética transcraniana (EMT). Além disso, a ETCC parece ter poucos efeitos colaterais, sendo eles, coceira e dor de cabeça durante ou após a estimulação, mas sem efeitos negativos no longo prazo até o momento⁴.

Os efeitos positivos observados são melhorias no aprendizado motor, força muscular, redução da fadiga e motivação ao realizar a ETCC^{5,6}. Após posicionar os eletrodos no couro cabeludo, a ETCC atua através de uma corrente elétrica de intensidade baixa de 1 a 2mA, com duração de 10 a 20 minutos. Seu efeito permanece por uma hora ou mais⁶. A duração e magnitude do efeito podem ser alteradas pela intensidade e duração da corrente elétrica utilizada na ETCC¹.

A ação da ETCC ocorre através de um eletrodo anódico e um catódico. A corrente anódica deixa a região do córtex mais positiva, ou seja, mais excitável. Nesse caso, o eletrodo anódico é posicionado na região onde se deseja estimular. Já o posicionamento do eletrodo catódico (corrente catódica) torna a membrana da célula mais negativa². Portanto, levando em consideração a diferença entre os eletrodos anódico e catódico, faz-se importante a seleção das áreas do córtex ou extracorticais a serem posicionados cada um dos eletrodos².

Tendo isto em vista, a ETCC anódica no córtex motor é utilizada para ganhos em força muscular, redução da percepção de esforço (PSE) para uma mesma carga de treinamento, ou até mesmo redução da percepção de dor no exercício². Além disso, o córtex pré-frontal dorsolateral (DLPFC) também é uma área explorada pela literatura, visando reduzir a PSE, no treinamento. Ainda, a ETCC no DLPFC tem sido explorada como uma maneira de aumentar o tempo até a exaustão em um exercício, seja ele de força ou aeróbio⁷.

No entanto, na investigação da utilização da ETCC nos esportes ou treinamento, existem estudos com diferentes populações, diferentes procedimentos para a ETCC, como por exemplo, a duração da estimulação, intensidade da estimulação, posicionamento e tamanho dos eletrodos². Além disso, os estudos que investigaram o efeito da ETCC no exercício de força, também possuem diferentes formas de avaliar a força muscular e resistência muscular².

Nos estudos que utilizam a ETCC, é importante para o desenho experimental, que o estudo possua o grupo controle, utilizando a estimulação simulada

(*sham*) seja em paralelo ou cross-over⁸. O *sham* consiste na utilização do equipamento, porém, sem a corrente elétrica contínua. Os protocolos *sham* consistem em realizar ou não, uma breve corrente alta de até 9mA durante 30 a 90 segundos no início, podendo ser realizado também no final da simulação do protocolo de ETCC⁹.

Existem duas formas para a realização da ETCC, de forma *online* ou *offline*. O *online* consiste na utilização do equipamento e estimulação durante uma tarefa, enquanto a ETCC *offline* precede a tarefa, pois os efeitos da ETCC podem durar uma hora ou mais^{2,10}. Em revisão, Marinus et al.² verificaram que a utilização da ETCC *online* pode ser superior à ETCC *offline* em tarefas motoras. Tendo em vista a diversidade de opções de áreas para estimulação no córtex, esta revisão teve como objetivo explorar os resultados da estimulação de diferentes áreas em tarefas de força (força máxima, resistência muscular, percepção subjetiva de esforço e frequência cardíaca).

Mecanismos fisiológicos da estimulação transcraniana por corrente contínua

Um dos principais desafios do estudo da ETCC e de outros aparelhos de neuromodulação é a descrição dos mecanismos de ação para diferentes desfechos⁴. A corrente elétrica de baixa intensidade da ETCC de 1 a 2 mA, não é capaz de induzir o potencial de ação. Os efeitos agudos são resultantes da polarização da membrana do neurônio, com maior liberação de neurotransmissores e menor tempo até o pico de polarização⁷. A ETCC age de forma endógena na célula nervosa, reduzindo o tempo até o pico de despolarização, ocasionando no potencial de ação, aumento da taxa de disparo e transmissão sináptica⁷.

A corrente anódica gera corrente de cátions do eletrodo para dentro da célula do córtex e induz aumento da excitabilidade cortical, aproximando o potencial de repouso do limiar de despolarização no neurônio⁷. A corrente catódica induz a hiperpolarização, acumulando cargas negativas fora da membrana, o que dificulta a despolarização do neurônio pois a membrana da célula nervosa fica ainda mais negativa^{5-7,11}.

Os mecanismos possuem divergências quanto à ação da ETCC nas alterações corticais durante e após a aplicação¹. Durante a ETCC, o aumento da excitabilidade pela ETCC anódica e redução da excitabilidade através da ETCC catódica, não são afetados pela administração da droga dextrometorfano (DMO), antagonista do receptor

NMDA (N-Metil-D-Aspartato) ou da condição placebo¹². Todavia, o aumento da excitabilidade induzido pela ETCC anódica foi eliminado pela administração da droga carbamazepina (CBZ) e reduzido pela administração da droga flunarizina (FLU). A redução da excitabilidade através da ETCC catódica não é afetada pela administração de CBZ e FLU¹². Dessa forma, o aumento da excitabilidade através da ETCC anódica parece ser dependente dos canais de Sódio e Cálcio.

Por outro lado, o aumento e redução da excitabilidade cortical após a realização da ETCC anódica e catódica, respectivamente, são mantidos por até 1 hora após o fim da ETCC. Contudo, o efeito excitatório induzido após a ETCC anódica é impedido pela aplicação das drogas CBZ e FLU¹². Além disso, a administração de DMO elimina tanto o efeito de aumento, quanto a redução da excitabilidade após ETCC¹². Nesse sentido, o efeito após ETCC anódica, parece ser dependente dos canais de Sódio, Cálcio e dos receptores NMDA. Ainda, o efeito após ETCC catódica também se faz dependente dos receptores NMDA. Ademais, a ETCC anódica reduz a atividade GABAérgica que vai indiretamente aumentar a resposta do receptor NMDA e aumentar as concentrações de cálcio intracelular, aumentando a excitabilidade cortical^{7,13}.

Em termos funcionais, a ETCC sobre o córtex motor primário (M1) potencializa a excitabilidade do M1, o que, por sua vez, amplia o impulso neural direcionado aos músculos em atividade⁵. A amplificação do impulso neural pode resultar em melhorias no desempenho físico, particularmente na força muscular, mediante a otimização da capacidade neuromuscular^{2,14}.

Estudos prévios demonstraram que a estimulação do M1 pode resultar em um aumento no limiar de percepção da dor em indivíduos saudáveis. Esses achados sugerem uma possível associação entre maior tolerância à dor e desempenho esportivo otimizado. Além disso, atletas de elite em comparação com não atletas, possuem uma propensão de apresentarem limiares de dor significativamente mais elevados⁷.

Regiões cerebrais, como o córtex insular e cíngulo anterior, parecem influenciar a percepção de fadiga durante o exercício. A ETCC emerge como uma técnica promissora para modular a excitabilidade cortical e potencialmente melhorar a tolerância ao exercício, representando um recurso ergogênico fisiológico relevante¹.

A fadiga durante exercícios prolongados tem sido associada a uma diminuição na excitabilidade corticoespinal, juntamente com uma redução na tolerância à dor. A estimulação de M1 também pode contribuir para melhorias no desempenho, visto que pode mitigar a dor induzida pelo exercício⁷.

Considerando o controle inibitório exercido pelo córtex pré-frontal dorsolateral (DLPFC) durante a atividade motora, a aplicação de estimulação ao DLPFC visa aumentar a excitabilidade dessa região cortical durante a execução de atividades motoras. Esse processo tem o potencial de reduzir a percepção de esforço e postergar o fim do exercício. Dessa forma, a utilização da ETCC gera um menor esforço cognitivo, podendo levar a um maior desempenho em uma dada percepção de esforço⁷.

Montagem e aplicações da estimulação transcraniana por corrente contínua

A montagem da ETCC pode ser realizada de diferentes maneiras, além do posicionamento bi-hemisférico tradicional, que consiste em posicionar o eletrodo anódico e catódico sobre áreas correspondentes em hemisférios opostos. Outra possibilidade é a estimulação uni-hemisférica, que pode ser anódica ou catódica e os eletrodos são posicionados no mesmo hemisfério¹⁵.

Além disso, a montagem monopolar, onde o eletrodo anódico ou catódico é posicionado no córtex e o oposto é posicionado de maneira extracortical, como por exemplo, no ombro^{6,10}. Já a montagem multifocal utiliza múltiplos eletrodos para atingir várias áreas corticais simultaneamente, proporcionando uma modulação mais abrangente. Esta técnica é vantajosa para tratar condições complexas que envolvem múltiplas áreas cerebrais. Contudo, requer uma configuração precisa e complexa dos eletrodos^{6,16}.

A ETCC de Alta-Definição (ETCC-HD) utiliza eletrodos de alta definição para fornecer uma corrente mais focal e precisa, melhorando a capacidade de atingir áreas corticais específicas¹⁷. Esta oferece alta precisão e potencializa os efeitos terapêuticos e duração das alterações corticais¹⁸.

Uma das áreas mais frequentemente estimuladas é o DLPFC, onde a ETCC anódica nesta região parece induzir aumento das funções cognitivas, memória, aprendizado e atenção nas tarefas^{4,19}. Outra área que frequentemente é alvo de ETCC é o M1, objetivando induzir melhorias no controle e aprendizado motor¹⁹.

Marinus et al.² apontam que o M1 e DLPFC foram as áreas mais utilizadas nos estudos, mostrando efeitos positivos principalmente na resistência muscular (número de repetições para uma carga ou tempo até exaustão em isometria) e cardiopulmonar (tempo até exaustão em uma determinada intensidade). Além disso, utilizar a ETCC online pareceu ser mais eficiente do que a ETCC *offline*.

Estimulação transcraniana por corrente contínua e desempenho

Em uma revisão, Maudrich et al.¹⁴ analisaram o efeito de uma sessão de ETCC no desempenho esportivo específico em diferentes modalidades, como ciclismo, tiro esportivo, fisiculturismo, taekwondo, triathlon, basquetebol, *parkour*, boxe, natação, remo e voleibol. Dos 19 estudos analisados, 11 estudos demonstraram pelo menos algum resultado positivo em tarefas específicas dos esportes, como por exemplo, altura do salto em jogadores de basquete, *time-trial* (15km) em ciclistas e tempo de reação em lutadores de boxe.

Um estudo conduzido por Lattari et al.⁹ buscou realizar uma revisão na literatura sobre o efeito de uma sessão de ETCC na força muscular. Dos 15 estudos selecionados, nove apresentaram pelo menos um resultado positivo para força muscular.

Além disso, Machado et al.²⁰ em revisão sistemática verificaram os efeitos da ETCC na força muscular e resistência muscular em atletas e não atletas. O estudo conclui que a ETCC anódica parece influenciar a força muscular, se mostrando positiva em 66,7% dos parâmetros testados, enquanto a resistência muscular apresentou resultados positivos em 50% dos parâmetros.

Em contrapartida, Marinus et al.² em uma revisão, analisaram o efeito de uma sessão de ETCC no condicionamento físico de pessoas saudáveis. O estudo aponta que os resultados dos estudos são heterogêneos, mas a resistência muscular foi mais favorecida pela ETCC anódica do que outros parâmetros, apresentando 69% dos estudos com resultados positivos para este desfecho.

Ademais, corroborando com Marinus et al.², em estudo, Hu et al.²¹ verificaram em revisão sistemática, os efeitos da ETCC na força e resistência muscular para membros superiores e não encontraram efeitos significativos da ETCC na força muscular. No entanto, verificaram aumento do desempenho ao utilizar ETCC anódica, nas tarefas de resistência muscular para membros superiores, principalmente no membro dominante.

Assim, a utilização da ETCC já foi investigada em diferentes contextos e sob diversos parâmetros. No entanto, ainda é necessário determinar quais áreas estimular, para quais desfechos e seus efeitos nos exercícios de força.

Estratégia de Busca

Esta revisão narrativa foi realizada através de estudos relevantes encontrados em busca realizada nos bancos de dados: *PubMed*. Os seguintes termos de busca foram utilizados tanto em língua inglesa quanto língua portuguesa (Brasil): *ETCC OR transcranial direct current stimulation AND muscle strength OR strength OR exercise OR resistance exercise OR isokinetic*. Além disso, as referências dos artigos selecionados também foram consultadas para adicionar outros estudos.

Critério de elegibilidade

Foram incluídos os artigos que atendiam os seguintes critérios: I – artigos completos publicados na língua inglesa ou portuguesa; II – randomizado, cego ou duplo cego e controlado por *sham*; III – indivíduos saudáveis; IV – ETCC unilateral ou bilateral em qualquer região do córtex; V – medida de força muscular e/ou resistência muscular e/ou percepção subjetiva de esforço.

Aplicações Práticas

Força máxima

Quando o objetivo for o aumento da força máxima, a ETCC anódica pode ser realizada no córtex motor²², DLPFC²³, córtex motor e córtex temporal simultaneamente⁶. No entanto, o posicionamento do eletrodo anódico no córtex temporal não apresentou resultado positivo para força máxima²⁴.

Resistência muscular

Para a resistência muscular, o eletrodo anódico pode ser posicionado no córtex motor, pelo menos, no que diz respeito a maior tempo até a falha em exercício isométrico^{25,26} e aumento do número de repetições totais em exercício dinâmico, como demonstrado por Fortes et al.²⁷. Todavia, o eletrodo anódico no DLPFC induziu aumento da resistência muscular em exercícios dinâmicos^{23,28-30}, mas não no exercício isométrico³¹. O protocolo onde o eletrodo anódico posicionado no córtex temporal não induziu resultados diferentes do protocolo *Sham*²⁴. Porém, quando a ETCC anódica foi realizada simultaneamente no córtex temporal e córtex motor, foi verificado melhora da resistência muscular⁶.

Percepção subjetiva de esforço

Para redução da PSE no exercício, a ETCC deve ser realizada com o eletrodo anódico posicionado no córtex motor^{26,27,32}, DLPFC^{23,28}, ETCC multifocal no córtex motor e temporal simultaneamente⁶, mas não no córtex temporal isolado²⁴.

Posicionamento do eletrodo anódico

Quando o alvo for o córtex motor, o eletrodo anódico pode ser posicionado de forma contralateral ao membro dominante ou através da EMT. Já no DLPFC e córtex temporal, o eletrodo anódico deve ser posicionado no DLPFC esquerdo e córtex temporal esquerdo (T3), pois ainda faltam evidências do posicionamento no DLPFC e córtex temporal direito visando aumento da força ou resistência muscular.

Posicionamento do eletrodo catódico

Para o posicionamento do eletrodo catódico, os estudos trazem a possibilidade de posicionar no córtex ou de forma extracortical^{6,25-27,33}. No estudo de Angius et al.²⁶, foi verificado que posicionar o eletrodo catódico no ombro induziu ganhos na resistência muscular e redução da FC, quando comparado ao protocolo que posicionou o eletrodo catódico no DLPFC direito e protocolo *Sham*. No entanto, a área mais comum para o posicionamento do eletrodo catódico é o córtex supraorbital ipsilateral ou contralateral ao membro dominante.

Corrente (amperagem)

Para além do posicionamento dos eletrodos, ao se tratar da corrente da ETCC, um estudo realizou a comparação entre 4mA vs. 2mA vs. *Sham* e foi o único estudo que demonstrou efeito negativo da ETCC em comparação ao protocolo *Sham*³⁴. Neste estudo, foi realizado ETCC *online* no córtex motor de 2 e 4mA e os participantes realizaram protocolo de 40 repetições a 120°/s no dinamômetro isocinético na articulação do joelho em protocolo concêntrico/concêntrico. Neste estudo, não foi observado diferença entre o protocolo que utilizou corrente de 4mA e o protocolo *Sham*. No entanto, foi observada menor força máxima quando realizado o protocolo com corrente de 2mA em comparação ao protocolo de 4mA e *Sham*. Além disso, verificaram maior resistência muscular no protocolo com 4mA em comparação ao protocolo de 2mA, mas sem diferença para o protocolo *Sham*.

Entretanto, outros dois estudos^{22,35} realizaram ETCC *online* no córtex motor de 2mA e obtiveram melhoras na força máxima quando comparado ao protocolo *Sham*. Hazime et al.²² verificaram aumento

na MVIC e Vargas et al.³⁵, aumento da MVIC apenas no membro dominante. Além disso, Frazer et al.³⁶ verificaram maior força no teste de 1RM após 20 minutos de ETCC *offline* de 2mA no córtex motor. Desta forma, apesar da corrente de 4mA ter se apresentado superior a corrente de 2mA no estudo de Workman, Fietsam e Rudroff³⁴, os estudos de Hazime et al.²² e Vargas et al.³⁵ obtiveram resultados positivos nesta mesma amperagem. No entanto, o estudo de Wrightson et al.³⁷ realizou ETCC de 2mA no córtex motor e não obteve aumento da força ou resistência muscular. Nesse sentido, os resultados são heterogêneos em relação a amperagem. Nos estudos, a amperagem variou entre 1,5mA até 4mA.

Duração da estimulação transcraniana por corrente contínua

Além da amperagem, a duração da ETCC variou entre 10 e 30 minutos nos estudos. Ciccone et al.²⁴ realizaram a ETCC *offline* com duração de 30 minutos no córtex temporal e não obtiveram resultados positivos. Uma das possibilidades para este resultado foi apresentado pelo estudo de Hassanzahraee et al.¹³ que ETCC com duração maior ou igual a 26 minutos pode reverter o aumento da excitabilidade, através de mecanismos para prevenir a excitabilidade excessiva do cérebro.

Online ou offline

Outro aspecto a ser levado em consideração na montagem da ETCC é o momento de realização da ETCC, podendo ser durante a tarefa (*online*) ou previamente à tarefa (*offline*)². A ETCC *offline* já possui mais evidências, sendo assim, pode ser utilizada visando qualquer um dos desfechos analisados nesta revisão^{6,22,30}. No entanto, até o momento, a utilização da ETCC *online* só foi investigada ao realizar a ETCC anódica no córtex motor. Nesse sentido, visando aumento do desempenho no exercício de força, a ETCC pode ser realizada de forma *online* ou *offline*, quando o córtex motor for o alvo da ETCC. Até o presente momento, para as outras áreas corticais, a ETCC *offline* deve ser utilizada, visto que ainda faltam evidências do uso da ETCC *online* em áreas para além do córtex motor.

Outros aspectos importantes

Além disso, ainda não é possível concluir se o nível de treinamento dos indivíduos pode interferir na resposta à ETCC. Tanto os participantes sem experiência no treinamento resistido ou experiência maior que um ano e atletas se beneficiaram da realização da ETCC nos parâmetros analisados.

Nesse sentido, quanto à área de estimulação, o córtex motor e o DLPFC são áreas mais exploradas nos desfechos investigados pela revisão. No entanto, a ETCC multifocal no córtex motor e córtex temporal simultaneamente parece ser uma estratégia promissora, pois apresentou efeito positivo para todos os parâmetros⁶. Todavia, a ETCC apenas no córtex temporal, não obteve resultado positivo em nenhum dos desfechos investigados. A ETCC oferece um leque diversificado de aplicações, dependendo da área cerebral estimulada e do objetivo. As vantagens da ETCC incluem ser uma ferramenta não invasiva e possuir segurança no procedimento. No entanto, as desvantagens incluem a variabilidade dos resultados entre indivíduos e a necessidade de mais estudos para padronizar protocolos de estimulação eficazes. Estudos randomizados, *cross-over*, controlados por sham e controle continuam a investigar os efeitos da ETCC, contribuindo para a compreensão de suas potencialidades e limitações em diferentes contextos. Como limitações, é possível

citar a não descrição da amperagem, posicionamento dos eletrodos, nível de treinamento dos indivíduos e gênero dos participantes em estudos prévios. Dessa forma, limita a reprodutibilidade dos estudos e discussão científica dos resultados e aplicações práticas.

Considerações Finais

A realização do exercício de força durante a ETCC ou após a realização da ETCC apresentou resultados positivos em adultos saudáveis para ganhos em força máxima e resistência muscular, além disso, pode levar a reduções na percepção de esforço (Tabela 1). No que tange à montagem da ETCC, córtex motor e DLPFC são áreas mais consolidadas para ETCC *offline*, e córtex motor para ETCC *online*. Além disso, um estudo apresentou resultado promissor para a utilização da ETCC multifocal no córtex motor e córtex temporal simultaneamente em exercício de força.

Tabela 1 – Recomendações para a realização da ETCC em exercício de força.

Recomendações						
Amperagem	Duração	Momento			Desfecho	
		Online	Offline	Força Muscular	Resistência Muscular	PSE
1,5 a 4mA	10 a 20 min	Córtex Motor	Córtex Motor	↑	↑	↓
			DLPFC	↑	↑	↓
			Córtex Temporal	↔	↔	?
			Córtex Motor + Córtex Temporal	↑	↑	↔

Nota: DLPFC = córtex pré-frontal dorsolateral; PSE = percepção subjetiva de esforço; ↑ = aumento em relação ao protocolo Sham; ↓ = redução em relação ao protocolo Sham; ↔ = não diferiu do protocolo Sham; ? = não há evidências.

Agradecimentos

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo – Brasil (FAPES) – FAPES/CNPQ nº 18/2018.

Declaração de Conflito de Interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Contribuições dos Autores

Conceitualização do tema e definição do escopo: LRAM e RDL; Metodologia e estratégia de busca: LRAM e CBFR; Investigação e triagem bibliográfica: LRAM, TCB e LBN; Curadoria dos dados: LRAM; Redação – Rascunho original: LRAM; Redação –

Revisão e edição: CBFR, LC e RDL; Supervisão e orientação: RDL. Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

Declaração de Responsabilidade

As opiniões expressas neste manuscrito são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam necessariamente a posição oficial das instituições às quais estão vinculados ou das agências de fomento.

Declaração sobre o Uso de Inteligência Artificial

Durante a preparação deste manuscrito, os autores utilizaram o ChatGPT® para refinar a gramática e melhorar a clareza do manuscrito quando necessário.

Referências

- 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*. 2012;23(2):167–74.
- Marinus N, Van Hoornweder S, Aarts M, Vanbilsen J, Hansen D, Meesen R. The influence of a single transcranial direct current stimulation session on physical fitness in healthy subjects: a systematic review. *Exp Brain Res*. 2023 Jan;241(1):31–47.
- Yu Y, Zhang X, Nitsche MA, Vicario CM, Qi F. Does a single session of transcranial direct current stimulation enhance both physical and psychological performance in national- or international-level athletes? A systematic review. *Front Physiol*. 2024 Jun 19;15:1365530.
- Chase HW, Boudewyn MA, Carter CS, Phillips ML. Transcranial direct current stimulation: a roadmap for research, from mechanism of action to clinical implementation. *Mol Psychiatry*. 2020 Feb;25(2):397–407.
- Alix-Fages C, Del Vecchio A, Baz-Valle E, Santos-Concejero J, Balsalobre-Fernández C. The role of the neural stimulus in regulating skeletal muscle hypertrophy. *Eur J Appl Physiol*. 2022 May 9;122(5):1111–28.
- Kamali AM, Saadi ZK, Yahyavi SS, Zarifkar A, Aligholi H, Nami M. Transcranial direct current stimulation to enhance athletic performance outcome in experienced bodybuilders. *PLoS One*. 2019 Aug 1;14(8):e0220363.
- Lefaucheur JP, Wendling F. Mechanisms of action of tDCS: A brief and practical overview. *Neurophysiol Clin*. 2019 Sep;49(4):269–275.
- Mutz J, Edgcumbe DR, Brunoni AR, Fu CHY. Efficacy and acceptability of non-invasive brain stimulation for the treatment of adult unipolar and bipolar depression: A systematic review and meta-analysis of randomised sham-controlled trials. *Neurosci Biobehav Rev*. 2018 Sep;92:291–303.
- Lattari E, Oliveira BRR, Monteiro Júnior RS, Marques Neto SR, Oliveira AJ, Maranhão Neto GA, et al. Acute effects of single dose transcranial direct current stimulation on muscle strength: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018 Dec 26;13(12):e0209513.
- Quiles V, Ferrero L, Iáñez E, Ortiz M, Azorín JM. Review of tDCS Configurations for Stimulation of the Lower-Limb Area of Motor Cortex and Cerebellum. *Brain Sci*. 2022 Feb 11;12(2):248.
- Amann M, Sidhu SK, McNeil CJ, Gandevia SC. Critical considerations of the contribution of the corticomotoneuronal pathway to central fatigue. *J Physiol*. 2022 Dec;600(24):5203–5214.
- Nitsche MA, Fricke K, Henschke U, Schlitterlau A, Liebetanz D, Lang N, et al. Pharmacological Modulation of Cortical Excitability Shifts Induced by Transcranial Direct Current Stimulation in Humans. *J Physiol*. 2003 Nov;553(1):293–301.
- Hassanzahraee M, Nitsche MA, Zoghi M, Jaberzadeh S. Determination of anodal tDCS duration threshold for reversal of corticospinal excitability: An investigation for induction of counter-regulatory mechanisms. *Brain Stimul*. 2020 May;13(3):832–9.
- Maudrich T, Ragert P, Perrey S, Kenville R. Single-session anodal transcranial direct current stimulation to enhance sport-specific performance in athletes: A systematic review and meta-analysis. *Brain Stimul*. 2022 Nov-Dec;15(6):1517–1529.
- Sudbrack-Oliveira P, Razza LB, Brunoni AR. Non-invasive cortical stimulation: Transcranial direct current stimulation (tDCS). *Int Rev Neurobiol*. 2021. P.1–22. doi: 10.1016/bs.irn.2021.01.001.
- Yang D, Shin YI, Hong KS. Systemic Review on Transcranial Electrical Stimulation Parameters and EEG/fNIRS Features for Brain Diseases. *Front Neurosci*. 2021 Mar 26;15:629323.
- Moshfeghinia R, Shekouh D, Mostafavi S, Hosseinzadeh M, Bahadori AR, Abdollahifard S, et al. The effects of transcranial direct-current stimulation (tDCS) on pain intensity of patients with fibromyalgia: a systematic review and meta-analysis. *BMC Neurol*. 2023 Nov 2;23(1):395.
- Parlikar R, Vanteemar S S, Shivakumar V, Narayanaswamy C. J, Rao P. N, Ganesan V. High definition transcranial direct current stimulation (HD-tDCS): A systematic review on the treatment of neuropsychiatric disorders. *Asian J Psychiatr*. 2021 Feb;56:102542.
- Oliveira PCA de, Araújo TAB de, Machado DG da S, Rodrigues AC, Bikson M, Andrade SM, et al. Transcranial Direct Current Stimulation on Parkinson's Disease: Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2022 Jan 10;12:794784.
- Machado S, Jansen P, Almeida V, Veldema J. Is tDCS an Adjunct Ergogenic Resource for Improving Muscular Strength and Endurance Performance? A Systematic Review. *Front Psychol*. 2019 May 16;10:1127.
- Hu K, Chen Y, Guo F, Wang X. Effects of Transcranial Direct Current Stimulation on Upper Limb Muscle Strength and Endurance in Healthy Individuals: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*. 2022 Mar 9;13:834397.
- Hazime FA, da Cunha RA, Soliaman RR, Romancini ACB, Pochini A de C, Ejnisman B, et al. Anodal transcranial direct current stimulation (tDCS) increases isometric strength of shoulder rotators muscles in handball players. *Int J Sports Phys Ther*. 2017 Jun;12(3):402–7.
- Lattari E, Andrade ML, Filho AS, Moura AM, Neto GM, Silva JG, et al. Can Transcranial Direct Current Stimulation Improve the Resistance Strength and Decrease the Rating Perceived Scale in Recreational Weight-Training Experience? *J Strength Cond Res*. 2016 Dec;30(12):3381–7.
- Ciccione AB, Deckert JA, Schlabs CR, Tilden MJ, Herda TJ, Gallagher PM, et al. Transcranial Direct Current Stimulation of the Temporal Lobe Does Not Affect High-Intensity Work Capacity. *J Strength Cond Res*. 2019 Aug;33(8):2074–86.

25. 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 May;322:94–103.
26. Angius L, Pageaux B, Hopker J, Marcora SM, Mauger AR. Transcranial direct current stimulation improves isometric time to exhaustion of the knee extensors. *Neuroscience*. 2016 Dec;339:363–75.
27. Fortes L de S, Mazini-Filho M, Lima-Júnior D, Machado DGS, Albuquerque MR, Fonseca F de S, et al. Transcranial Stimulation Improves Volume and Perceived Exertion but does not Change Power. *Int J Sports Med*. 2021 Jun 13;42(7):630–7.
28. Alix-Fages C, García-Ramos A, Calderón-Nadal G, Colomer-Poveda D, Romero-Arenas S, Fernández-del-Olmo M, et al. Anodal transcranial direct current stimulation enhances strength training volume but not the force-velocity profile. *Eur J Appl Physiol*. 2020 Aug 12;120(8):1881–91.
29. Lattari E, Rosa Filho BJ, Fonseca Junior SJ, Murillo-Rodriguez E, Rocha N, Machado S, et al. Effects on Volume Load and Ratings of Perceived Exertion in Individuals' Advanced Weight Training After Transcranial Direct Current Stimulation. *J Strength Cond Res*. 2020 Jan;34(1):89–96.
30. Vieira LAF, Lattari E, de Jesus Abreu MA, Rodrigues GM, Viana B, Machado S, et al. Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Improves Back-Squat Performance in Intermediate Resistance-Training Men. *Res Q Exerc Sport*. 2022 Mar;93(1):210–218.
31. Byrne R, Flood A. The influence of transcranial direct current stimulation on pain affect and endurance exercise. *Psychol Sport Exerc*. 2019 Nov;45:101554.
32. Williams PS, Hoffman RL, Clark BC. Preliminary Evidence That Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Time to Task Failure of a Sustained Submaximal Contraction. *PLoS One*. 2013 Dec 9;8(12):e81418.
33. Lampropoulou SI, Nowicky AV. The Effect of Transcranial Direct Current Stimulation on Perception of Effort in an Isolated Isometric Elbow Flexion Task. *Motor Control*. 2013 Oct;17(4):412–26.
34. Workman CD, Fietsam AC, Rudroff T. Different Effects of 2 mA and 4 mA Transcranial Direct Current Stimulation on Muscle Activity and Torque in a Maximal Isokinetic Fatigue Task. *Front Hum Neurosci*. 2020 Jun 25;14:240.
35. Vargas VZ, Baptista AF, Pereira GOC, Pochini AC, Ejnisman B, Santos MB, et al. Modulation of Isometric Quadriceps Strength in Soccer Players With Transcranial Direct Current Stimulation: A Crossover Study. *J Strength Cond Res*. 2018 May;32(5):1336–41.
36. Frazer AK, Williams J, Spittle M, Kidgell DJ. Cross-education of muscular strength is facilitated by homeostatic plasticity. *Eur J Appl Physiol*. 2017 Apr 27;117(4):665–77.
37. Wrightson JG, Twomey R, Yeung STY, Millet GY. No effect of tDCS of the primary motor cortex on isometric exercise performance or perceived fatigue. *Eur J Neurosci*. 2020 Jul 8;52(2):2905–14.

Recebido: 01/04/2025

Revisado: 25/04/2025

Aprovado: 28/04/2025

Editor Chefe

Jonato Prestes

*Universidade Católica de Brasília***Editor de Seção**

Rafael Cruz

Universidade Católica de Brasília