

TDCS: MECANISMOS, APLICAÇÕES PARA COMPORTAMENTO MOTOR E COGNITIVO

Francisco Elezior Xavier Magalhães¹;

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8542-4245?lang=en>

Thayaná Ribeiro Silva Fernandes²;

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6590-4620>

Jacks Renan Neves Fernandes³;

Instituto Federal de Educação do Piauí (IFPI), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7868-0673>

Valécia Natália Carvalho da Silva⁴;

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5739-0722>

Antônio Thomaz de Oliveira⁵;

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0277-6833>

Valéria de Fátima Veras de Castro⁶.

Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAr), Parnaíba, Piauí.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8281-3029>

RESUMO: A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) é uma técnica não invasiva que modula a atividade cerebral através da aplicação de corrente elétrica de baixa intensidade. A ETCC utiliza eletrodos no couro cabeludo para estimular ou inibir a atividade cortical e a excitabilidade neuronal. A técnica também pode modificar o microambiente sináptico. Apesar de possíveis efeitos adversos como desconforto, a ETCC mostra potencial no tratamento de doenças neuropsiquiátricas e no estudo da função cerebral. Este trabalho explora os fundamentos, mecanismos e aplicações cognitivas e motoras da ETCC. O estudo seguiu a metodologia PRISMA para revisões sistemáticas e meta-análises. Foram realizadas etapas de busca, avaliação de elegibilidade e extração de dados. Os critérios de elegibilidade incluíram estudos originais sobre a ETCC em periódicos indexados, excluindo dissertações,

capítulos de livros e outros documentos. A busca foi feita nas bases de dados PubMed e Scopus, utilizando palavras-chave relevantes. Dois revisores triaram os documentos, com consulta a um terceiro em caso de discordância. Os dados dos estudos incluídos foram extraídos de publicações de 1962 a 2020. Foram selecionados 224 artigos e pela triagem inicial 48 estudos foram elegidos para a inclusão final no trabalho, esses trabalhos englobaram os aspectos da aplicação do ETCC para o comportamento motor e cognitivo. Os achados demonstraram os principais mecanismos que isso ocorre, além de trazer um embasamento inicial para o melhor entendimento sobre sua aplicabilidade. Conclui-se que ETCC é uma técnica de neuromodulação não invasiva que vem se mostrando relevante no tratamento de condições neuropsiquiátricas e no estudo da neurofisiologia. Os resultados sugerem que ela afeta a excitabilidade neuronal, a atividade cortical e a plasticidade neural, modulando processos cognitivos e motores. Apesar de limitações potenciais, é uma boa alternativa para intervenções neuromodulatórias e avanços na compreensão dos circuitos neurais para tratamentos neuroterapêuticos personalizados.

PALAVRAS-CHAVE: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. Córtex Motor. Córtex Somatossensorial.

TDCS: MECHANISMS, APPLICATIONS FOR MOTOR AND COGNITIVE BEHAVIOR

ABSTRACT: Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) is a non-invasive technique that modulates brain activity by applying low-intensity electrical current. tDCS uses electrodes on the scalp to stimulate or inhibit cortical activity and neuronal excitability. The technique can also modify the synaptic microenvironment. Despite potential adverse effects such as discomfort, tDCS shows promise in treating neuropsychiatric disorders and studying brain function. This paper explores the fundamentals, mechanisms, and cognitive and motor applications of tDCS. The study followed the PRISMA methodology for systematic reviews and meta-analyses, a rigorous approach that includes search stages, eligibility assessment, and data extraction. Eligibility criteria included original studies on tDCS published in indexed journals, excluding dissertations, book chapters, and other documents. The search was conducted using relevant keywords in the PubMed and Scopus databases. Two reviewers screened the documents, with a third consulted in case of disagreement. Data from the included studies were extracted from publications ranging from 1962 to 2020. A total of 224 articles were selected, with 48 studies ultimately included in the final analysis. These studies encompassed aspects of tDCS application for motor and cognitive behaviour. The findings demonstrated the primary mechanisms by which this occurs and provided an initial foundation for better understanding its applicability. It is concluded that tDCS is a non-invasive neuromodulation technique that is becoming increasingly relevant in treating neuropsychiatric conditions and studying neurophysiology. The results suggest that it affects neuronal excitability, cortical activity, and neural plasticity, thereby modulating cognitive and motor processes. Despite

potential limitations, it is a promising alternative for neuromodulatory interventions and advances in understanding neural circuits for personalized neurotherapeutic treatments.

KEYWORDS: Transcranial Direct Current Stimulation. Motor Cortex. Somatosensory Cortex.

INTRODUÇÃO

A compreensão e tratamento do sistema nervoso central (SNC) têm impulsionado uma maior busca por avanços e descobertas de técnicas inovadoras. Nesse contexto, podemos destacar a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC), uma modalidade não invasiva que surgiu na década de 1960 com o objetivo de modular a atividade cerebral por meio da aplicação de corrente elétrica de baixa intensidade. Estudos sobre estimulação cerebral têm contribuído para o desenvolvimento da ETCC como uma técnica segura e indolor (BRUNONI et al., 2011; NITSCHKE et al., 2008; DEDONCKER J et al., 2021; CHIRIAC VF et al., 2025).

Há cerca de quinze anos, essa abordagem inovadora foi reintroduzida em pesquisas, despertando o interesse de neurocientistas e profissionais da saúde (FREGNI et al., 2005; DELDAR Z et al., 2019). Ao posicionar eletrodos no couro cabeludo e regiões externas ao cérebro, a ETCC utiliza uma bateria para estimular a atividade cortical e a excitabilidade neuronal. Os eletrodos posicionados no couro cabeludo permitem que a corrente elétrica flua entre eles, desencadeando hipopolarização ou hiperpolarização da membrana dos neurônios subjacentes. Essas alterações resultam em modificações na excitabilidade neuronal e na atividade cortical.

A estimulação anódica, ou seja, a aplicação da corrente positiva, é capaz de aumentar a atividade cortical e a excitabilidade neuronal, enquanto a estimulação catódica, com corrente negativa, tem um efeito contrário (NITSCHKE & PAULUS, 2000; NITSCHKE & PAULUS, 2011; ROSSON S et al., 2022; SABÉ M et al., 2024). Essas modulações refletem-se nas taxas de disparo neuronal espontâneo e na capacidade de resposta às entradas sinápticas. A técnica também é capaz de modificar o microambiente sináptico, influenciando a força sináptica, a atividade GABAérgica e do glutamato, a síntese de proteínas e as concentrações de cálcio (STAGG & NITSCHKE, 2011; SALE et al., 2015; JAMIL A et al., 2020).

Apesar dos benefícios potenciais da ETCC, é importante considerar que a técnica pode apresentar alguns efeitos adversos, tais como desconforto, formigamento, coceira e sensação de queimação em alguns participantes (POREISZ et al., 2007; KLÍROVÁ M et al., 2021). No entanto, com pesquisas contínuas e refinamentos nos protocolos de aplicação, espera-se que a ETCC possa se tornar uma ferramenta cada vez mais promissora no campo da neuromodulação, contribuindo para avanços significativos no tratamento de doenças neuropsiquiátricas e no estudo da função cerebral.

Diante desse contexto, este trabalho explora de forma generalista as bases da

Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua, destacando seu mecanismo de ação, suas possíveis aplicações para cognição e comportamento motor. A compreensão desses aspectos permitirá uma visão mais abrangente dessa técnica inovadora e seu potencial impacto no campo da reabilitação.

METODOLOGIA

Este estudo é uma revisão exploratória de pequeno porte, conduzida de forma sistemática, seguindo as recomendações do modelo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para produção de revisões sistemáticas e meta-análises. O estudo foi dividido em várias etapas, que incluíram a busca de artigos relevantes e a avaliação de sua elegibilidade com base no conteúdo, bem como a extração dos dados dos estudos incluídos. As seguintes etapas foram realizadas:

Critérios de elegibilidade

Este trabalho aborda os mecanismos, aplicações na cognição e comportamento motor relacionados à utilização da ETCC. O objetivo principal é fornecer explicações abrangentes e destacar os principais mecanismos fisiológicos e aplicações para o comportamento cognitivo e comportamento motor inerentes a essa ferramenta.

Para a seleção dos artigos, foram incluídos apenas trabalhos originais, como estudos de casos, estudos piloto, *short reports*, estudos experimentais e ensaios clínicos, publicados em periódicos indexados, que envolvessem amostras da população humana. Foram selecionados e incluídos para análise os estudos que abordassem os mecanismos subjacentes à ETCC, diferentes tipos de aplicações, a saber: na cognição e atividade motora nessa modalidade terapêutica.

Os critérios de exclusão foram aplicados para remover documentos como dissertações, teses, capítulos de livros, estudos de protocolo, estudos de revisão, trabalhos de conferências e cartas editoriais, levando em consideração o tipo de documento e a data de publicação.

Fontes de informações

Para essa revisão, realizamos uma busca de artigos em periódicos indexados, utilizando as bases de dados *PubMed* e *Scopus*. As buscas foram conduzidas em outubro, novembro e dezembro de 2025, utilizando termos e palavras-chave relevantes identificados durante um levantamento bibliográfico inicial com o auxílio do software VOSviewer. Além disso, foram pesquisados os vocabulários controlados equivalentes dos termos no MeSH (Medical Subject Headings). Realizamos também uma busca manual adicional, considerando as referências dos artigos incluídos, seguindo os mesmos critérios de triagem, seleção,

elegibilidade e inclusão.

Seleção dos artigos

Dois autores/revisores (F.M e V.C) realizaram a triagem inicial dos documentos encontrados nas bases de dados, com base na leitura independente dos títulos e resumos. Foram incluídos os documentos que apresentaram termos semelhantes ou transmitiram a ideia geral buscada pelo presente estudo, de acordo com os critérios de inclusão e elegibilidade. Os títulos considerados irrelevantes foram excluídos. Em caso de desacordo, um terceiro autor/revisor (J.R) foi consultado para chegar a um consenso. Os artigos considerados relevantes foram lidos na íntegra e sua inclusão foi determinada com base em seu conteúdo, condição tratada no texto, ferramentas utilizadas, procedimentos realizados e objetivos.

Estratégias de busca

A combinação dos termos de pesquisa utilizados nas buscas foram: *Transcranial direct current stimulation* AND *motor cortex* AND *brain stimulation* AND *somatosensory cortex*. Juntamente aos descritores, foram usados filtros de busca nas pesquisas, estabelecidos de acordo com os critérios de inclusão da revisão: Publicações entre 1962 e 2025, ser estudo piloto, relato de caso, *short report*, estudo experimental ou ensaio clínico, e estar publicado em periódicos e revistas científicas. Os trabalhos não sofreram nenhuma restrição de idiomas ou de nacionalidades na filtragem. Todos esses caracteres de delimitação fizeram parte da *string* final que definiu a busca dos trabalhos nas bases de dados.

Processo de extração dos dados

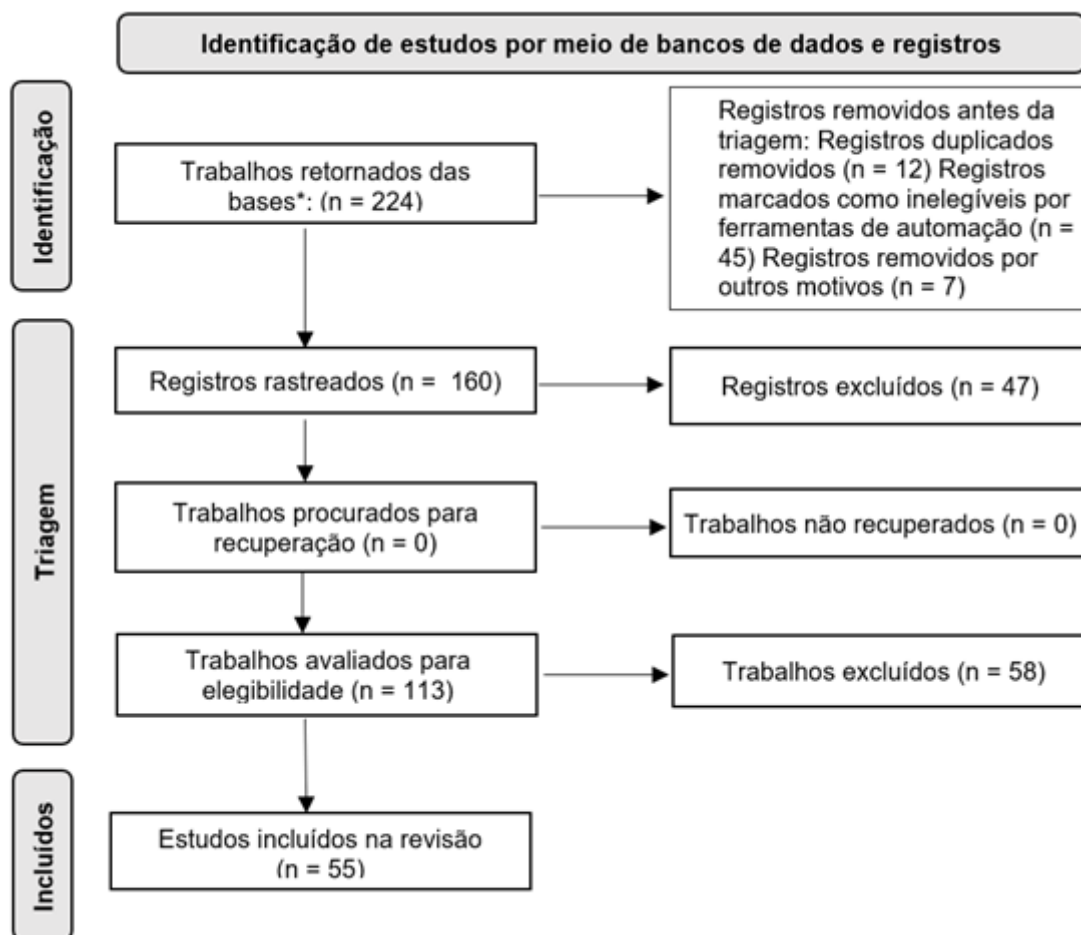
A extração dos dados dos estudos incluídos na revisão foi conduzida de forma sequencial, abordando as características qualitativas e quantitativas de cada artigo. Os dados foram organizados em texto, considerando as informações descritas nos artigos, como o objetivo proposto, a população da amostra, a aplicação da ETCC, os mecanismos e os desafios.

RESULTADOS

Essa revisão explora e descreve de forma generalista as bases da Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua, destacando seu mecanismo de ação, suas possíveis aplicações para cognição e comportamento motor. O desfecho primário encontrado nos trabalhos remete a descrição a respeito do comportamento motor e cognitivo após a aplicação do ETCC. Foram selecionados 224 artigos para triagem inicial com base na compatibilidade do seu título e resumo. Desses, 113 artigos foram avaliados com base nos

critérios de inclusão, exclusão e elegibilidade estabelecidos pela revisão, 65 foram excluídos após leitura e observação dos critérios de elegibilidade. Nessa etapa envolveu a leitura do texto completo dos artigos selecionados, após o qual, 48 estudos foram separados para a inclusão final da revisão, conforme fluxograma (Figura 1).

Figura 1: Processo de seleção dos artigos.



Histórico da ETCC

A ETCC é uma técnica não-invasiva de estimulação cerebral que surgiu em 1960, com o intuito de produzir alterações na excitabilidade no sistema nervoso central (SNC), por meio da aplicação de uma corrente elétrica de baixa intensidade no cérebro. (WOODS et al., 2016; TRUONG; BIKSON, 2018). Os primeiros achados sobre a aplicação de estimulação cerebral são relatados desde o Império Romano, com a utilização de peixes elétricos para dores de cabeça e reumatismo. A avaliação do efeito da estimulação só foi possível a partir da introdução da bateria elétrica em meados do século 18. Estudiosos como Luigi Galvani ao aplicar a estimulação elétrica nos músculos de rã (1791, 1797) e Alessandro Volta com a invenção da “pilha de Volta” (1972), reconheceram que a duração da estimulação elétrica acarretava uma gama de efeitos fisiológicos. Posteriormente, foi introduzida a utilização de correntes elétricas em animais (ZAGO et al., 2008; WEXLER, 2017). Sua reintrodução como

uma técnica não-invasiva, segura, indolor e inovadora com sua aplicação em humanos, se deu há aproximadamente quinze anos (PRIORI et al., 1988; NITSCHKE e PAULUS, 2000).

Esta técnica de neuromodulação consiste em uma bateria que se conecta a dois eletrodos, o ânodo e o cátodo, que são colocados diretamente sobre o couro cabeludo e regiões extraencefálicas. A corrente elétrica flui entre os eletrodos e induz a hipopolarização ou hiperpolarização da membrana dos neurônios subjacentes, que depende da natureza anódica ou catódica do eletrodo, por meio da modulação sublimiar dos potenciais em repouso e do fluxo através dos neurônios-alvo, ocasiona a alteração da excitabilidade neuronal, que resulta na modificação da atividade cortical (PURPURA e McMURTRY, 1965; NITSCHKE et al., 2008; ZAGHI et al., 2010).

Mecanismos neurofisiológicos da ETCC

A ETCC modula a atividade da rede neuronal espontânea provocando uma oscilação na excitabilidade cortical (PRIORI, 2003; NITSCHKE et al., 2008; PRIORI et al., 2009; GILLICK; ZIRPEL, 2012). O seu principal mecanismo de ação se dá por meio do deslocamento dependente da polarização do potencial de membrana em repouso. Desta forma, enquanto a estimulação anódica, geralmente, aumenta a atividade cortical e a excitabilidade, a estimulação catódica atua de forma contrária (NITSCHKE et al., 2000). Estudos sugerem que as mudanças na excitabilidade refletem nas duas taxas de disparo neuronal espontâneo (CREUTZFELDT et al., 1962; BINDMAN et al., 1964); e na capacidade de resposta relacionadas às entradas sinápticas aferentes (JEFFERYS, 1981; BIKSON et al., 2004). Este mecanismo primário, chamado de mecanismo de polarização, subjaz aos efeitos agudos das correntes elétricas de baixa intensidade na excitabilidade cortical em humanos (PRIORI et al., 1998).

No entanto, a ETCC produz efeitos posteriores à sua aplicação com duração de até uma hora (NITSCHKE et al., 2003; NITSCHKE et al., 2001). Desse modo, os seus mecanismos de ação não podem ser correlacionados somente com as alterações no potencial de membrana neuronal elétrica. Pesquisas demonstram que a aplicação da ETCC também é capaz de modificar o microambiente sináptico, como por exemplo, alterações na força sináptica dependente do receptor N-metil D-Aspartato (NMDA), modificações na atividade GABAérgica (GABA_A) e glutamato, aumento da síntese de proteínas e nas concentrações de cálcio (LIEBETANZ et al., 2002; STAGG et al., 2009; FRITSCH et al., 2010; BACHTIAR; JOHANSEN-BERG, 2011). Além disso, Fritsch et al. (2010), sugerem que os efeitos da ETCC são semelhantes ao da potenciação à longo prazo, ou seja, aumentam de forma duradoura os potenciais pós-sinápticos excitatórios.

Em relação a modulação cortical com base na polaridade do eletrodo, pode-se classificar a estimulação em anódica e catódica. Na estimulação anódica, ocorre a hipopolarização da membrana neuronal, a qual aproxima o potencial de repouso ao limiar de disparo dos potenciais de ação, ou seja, a atividade nessa região se torna mais fácil e

possibilita a elevação das taxas de disparos dos potenciais de ação (NITSCHKE et al., 2008). Já a estimulação catódica, há a hiperpolarização, que dificulta a atividade na região e reduz a taxa de disparo neuronal espontânea (PRIORI et al., 1998; NITSCHKE e PAULUS, 2000). A estimulação anódica aumenta a excitabilidade do córtex subjacente, e a catódica diminui a excitabilidade do córtex subjacente (BRUNONI et al., 2012; NITSCHKE et al., 2008).

Além disso, a utilização da ETCC também pode oferecer efeitos adversos, pois a gama de informações e dados obtidos até meados dos anos 2000 eram provenientes apenas de estudos com voluntários saudáveis e a sua aplicação era realizada em uma única sessão (BRUNONI et al., 2011). Dessa forma, a maioria dos estudos destacaram não haver nenhum efeito adverso nos participantes após estimulação, em contradição a alguns que apontaram um certo grau de desconforto como formigamento, coceira e sensação de queimação na maior parte dos participantes que sofreram a estimulação, comparados aos da estimulação simulada (RUSSO, 2013).

A ETCC na produção de plasticidade neural

A ETCC abrange a modulação da plasticidade da rede neural por meio da aplicação de correntes contínuas fracas através do couro cabeludo (NITSCHKE e PAULUS, 2000; NITSCHKE et al., 2003a). Entretanto, a plasticidade induzida pela ETCC é relativamente não focal e inespecífica com relação a sinapse, pois sua aplicação modifica a excitabilidade cortical sob a área de estimulação. Dessa forma, estudos realizados em humanos e animais forneceram inúmeras informações dos mecanismos relacionados aos efeitos da aplicação da ETCC na neuroplasticidade (FRITSCH et al., 2010; KUO et al., 2007) e sua distribuição com base na área que está recebendo a estimulação (WAGNER et al., 2007; DATTA et al., 2010).

Alguns estudos evidenciaram que a ETCC poderia induzir modificações específicas na atividade neuropsicológica, psicofisiológica e motora em função das áreas estimuladas (FREGNI et al., 2005; BOGGIO et al., 2006; FECTEAU et al., 2007). Além disso, a ETCC pode produzir efeitos colaterais que chegam a durar uma hora ou mais, dependendo da metodologia utilizada para sua aplicação (NITSCHKE & PAULUS, 2000, 2001). Um desses efeitos colaterais é a plasticidade, que advém da associação de receptores Nmetil-D-aspartato (NMDA) de sinapses glutamatérgicas e canais de cálcio (NITSCHKE et al., 2003). Ademais, a produção da plasticidade neural depende da relação entre a polaridade-excitabilidade da estimulação neural, a qual é considerada complexa, pois não há homogeneidade na modulação dos neurônios devido a orientação do campo elétrico e da profundidade das camadas corticais (RADMAN et al., 2009; STAGG E NITSCHKE, 2011).

Associação da estimulação transcraniana por corrente contínua na cognição

A ETCC vem sendo utilizada na modulação da função cognitiva (COFFMAN,

CLARK e PARASURAMAN, 2014), como meio de intervenção associada ao tratamento e reabilitação de pacientes neurológicos e psiquiátricos (FLÖEL et al., 2011; KUO et al., 2013). Em estudo sobre a modulação dos parâmetros de excitabilidade durante e após a estimulação, Nitsche (2005), sugere que a ETCC anódica e catódica tem efeitos opostos sobre a excitabilidade neuronal em relação a M1. Lefebvre e Liew (2017); Li, Uehara & Hanawaka (2015), sugerem que fatores como, o estado do cérebro, variando desde a anatomia, orientação dos neurônios (ARLOTTI et al., 2012), e estado psicológico (SARKAR et al., 2014), também influencia diretamente nos efeitos e respostas da estimulação.

Além disso, uma metanálise realizada mediante os resultados comportamentais concluiu que a aplicação única da ETCC não produz efeito em uma série de tarefas cognitivas (HORVATH *et al.*, 2015), ou seja, se a estimulação interage com a atividade cerebral subjacente de curta duração não é considerada suficiente para influenciar a atividade cerebral (LUCIA *et al.*, 2018). Este fato alimenta o ceticismo de que a ETCC tenha algum potencial capaz de modular a atividade cortical e a função cognitiva. Em estudo combinando a ETCC com treinamento cognitivo a fim de avaliar a tomada de decisão do indivíduo, foi constatado que a ETCC interfere diretamente na melhora dos resultados funcionais e na qualidade de vida de pacientes debilitados psicologicamente, por exemplo, os impulsivos (GILMORE, et al., 2018).

Associação da ETCC no comportamento motor

O comportamento motor tem sido alvo comum para a modulação usando a ETCC, devido sua variância mínima entre os indivíduos em relação à orientação dos neurônios no córtex motor, que, conseqüentemente, pode aumentar a eficácia da estimulação (NITSCHKE e PAULUS, 2001). Além disso, tem sido realizada a investigação do efeito da estimulação com a atividade motora, por intermédio da análise do desempenho dos indivíduos em tarefas motoras consideradas simples (BOGGIO *et al.*, 2006; TANAKA *et al.*, 2009; HUMMEL *et al.*, 2010). Por exemplo, em uma tarefa de reação de série, Nitsche *et al.* (2003), mostraram que a estimulação anódica em M1 leva a respostas mais rápidas realizadas pela mão contralateral ao local da estimulação. Tanaka *et al.* (2009), mediram as forças de compressão máxima do dedo antes e após a aplicação da ETCC anódica e observaram aumento transitório na força de pinça.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise dos achados apresentados, conclui-se que a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC) emerge como uma técnica não invasiva e promissora de neuromodulação, que pode afetar a excitabilidade neuronal e a atividade cortical por meio da aplicação de corrente elétrica de baixa intensidade através de eletrodos posicionados no couro cabeludo. Esse método tem se mostrado como uma abordagem

potencialmente relevante no tratamento de condições neuropsiquiátricas e no estudo da neurofisiologia cerebral. Em especial, os resultados sugerem que a técnica pode alterar a eficiência sináptica, bem como a plasticidade neural em áreas-alvo do cérebro, implicando na modulação de processos cognitivos e motores. Apesar das limitações potenciais, como eventuais efeitos adversos e a necessidade de refinar protocolos de estimulação, a ETCC demonstrou-se uma boa alternativa para intervenções neuromodulatórias e avanços na compreensão dos circuitos neurais subjacentes a funções comportamentais e cognitivas. Seu contínuo desenvolvimento e aprofundamento científico podem trazer contribuições significativas no avanço do conhecimento sobre a plasticidade cerebral e abrir novas perspectivas para tratamentos neuroterapêuticos inovadores e personalizados.

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Nós, autores deste artigo, declaramos que não possuímos conflitos de interesses de ordem financeira, comercial, político, acadêmico e pessoal.

REFERÊNCIAS

- ARLOTTI, M.; RAHMAN, A.; MINHAS, P.; BIKSON, M. **Axon terminal polarization induced by weak uniform DC electric fields: a modeling study.** In: *Conference Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, p. 4575–4578, 2012.
- BACHTIAR, V.; NEAR, J.; JOHANSEN-BERG, H.; STAGG, C. J. **Modulation of GABA and resting state functional connectivity by transcranial direct current stimulation.** *eLife*, v. 4, p. e08789, 2015.
- BIKSON, M.; INOUE, M.; AKIYAMA, H.; DEANS, J. K.; FOX, J. E.; MIYAKAWA, H. **Effects of uniform extracellular DC electric fields on excitability in rat hippocampal slices in vitro.** *The Journal of Physiology*, v. 557, p. 175–190, 2004.
- BINDMAN, L. J.; LIPPOLD, O. C. J.; REDFEARN, J. W. T. **The action of brief polarizing currents on the cerebral cortex of the rat (1) during current flow and (2) in the production of long-lasting after-effects.** *The Journal of Physiology*, v. 172, p. 369–382, 1964.
- BOGGIO, P. S. et al. **Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease.** *Journal of the Neurological Sciences*, v. 249, n. 1, p. 31–38, 2006.
- BRUNONI, A. R. et al. **A systematic review on reporting and assessment of adverse effects associated with transcranial direct current stimulation.** *The International Journal of Neuropsychopharmacology*, v. 14, n. 8, p. 1133–1145, 2011.
- BRUNONI, A. R. et al. **Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions.** *Brain Stimulation*, v. 5, n. 3, p. 175–195, 2012.
- CHIRIAC, V. F.; MOȘOIU, D. V. **A systematic review of reporting adverse effects associated with transcranial direct current stimulation in chronic pain.** *American Journal of Therapeutics*, v. 32, n. 5, p. e481–e491, set./out. 2025.
- COFFMAN, B. A.; CLARK, V. P.; PARASURAMAN, R. **Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial**

direct current stimulation. *NeuroImage*, v. 85, pt. 3, p. 895–908, 2014.

CREUTZFELDT, O. D.; FROMM, G. H.; KAPP, H. **Influence of transcortical d-c currents on cortical neuronal activity.** *Experimental Neurology*, v. 5, p. 436–452, 1962.

DATTA, A.; BAKER, J. M.; BIKSON, M.; FRIDRIKSSON, J. **Individualized model predicts brain current flow during transcranial direct-current stimulation treatment in responsive stroke patient.** *Brain Stimulation*, v. 4, n. 3, p. 169–174, 2011.

LIEBETANZ, D. et al. **Pharmacological approach to the mechanisms of transcranial DC-stimulation-induced after-effects of human motor cortex excitability.** *Brain*, v. 125, n. 10, p. 2238–2247, 2010.

DEDONCKER, J. et al. **Combined transcranial direct current stimulation and psychological interventions: state of the art and promising perspectives for clinical psychology.** *Biological Psychology*, v. 158, p. 107991, jan. 2021.

DELDAR, Z. et al. **Improving working memory and pain inhibition in older persons using transcranial direct current stimulation.** *Neuroscience Research*, v. 148, p. 19–27, nov. 2019.

FECTEAU, S. et al. **Activation of prefrontal cortex by transcranial direct current stimulation reduces appetite for risk during ambiguous decision making.** *The Journal of Neuroscience*, v. 27, n. 23, p. 6212–6218, 2007.

FLÖEL, A. et al. **Short-term anomia training and electrical brain stimulation.** *Stroke*, v. 42, n. 7, p. 2065–2067, 2011.

FREGNI, F. et al. **Transcranial direct current stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients.** *NeuroReport*, v. 16, n. 14, p. 1551–1555, 2005.

FREGNI, F. et al. **Anodal transcranial direct current stimulation of prefrontal cortex enhances working memory.** *Experimental Brain Research*, v. 166, n. 1, p. 23–30, 2005.

FRITSCH, B. et al. **Direct current stimulation promotes BDNF-dependent synaptic plasticity: potential implications for motor learning.** *Neuron*, v. 66, n. 2, p. 198–204, 2010.

GILLICK, B. T.; ZIRPEL, L. **Neuroplasticity: an appreciation from synapse to system.** *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 93, n. 10, p. 1846–1855, 2012.

GILMORE, C. S. et al. **Transcranial direct current stimulation (tDCS) paired with a decision-making task reduces risk-taking in a clinically impulsive sample.** *Brain Stimulation*, v. 11, n. 2, p. 302–309, 2018.

HORVATH, J. C.; FORTE, J. D.; CARTER, O. **Quantitative review finds no evidence of cognitive effects in healthy populations from single-session transcranial direct current stimulation (tDCS).** *Brain Stimulation*, v. 8, n. 3, p. 535–550, 2015.

JACOBSON, L.; KOSLOWSKY, M.; LAVIDOR, M. **tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: a meta-analytical review.** *Experimental Brain Research*, v. 216, n. 1, p. 1–10, 2012.

JAMIL, A. et al. **Current intensity- and polarity-specific online and aftereffects of transcranial direct current stimulation: an fMRI study.** *Human Brain Mapping*, v. 41, n. 6, p. 1644–1666, 2020.

JEFFERYS, J. G. **Influence of electric fields on the excitability of granule cells in guinea-pig hippocampal slices.** *The Journal of Physiology*, v. 319, p. 143–152, 1981.

KLÍROVÁ, M. et al. **Modulating inhibitory control processes using individualized**

high-definition theta transcranial alternating current stimulation (HD θ -tACS) of the anterior cingulate and medial prefrontal cortex. *Frontiers in Systems Neuroscience*, v. 15, p. 611507, 30 mar. 2021.

KUO, M. F. et al. **Focusing effect of acetylcholine on neuroplasticity in the human motor cortex.** *The Journal of Neuroscience*, v. 27, n. 52, p. 14442–14447, 2007.

LEFAUCHEUR, J.-P. et al. **Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS).** *Clinical Neurophysiology*, v. 128, n. 1, p. 56–92, 2017.

LEFEBVRE, S.; LIEW, S. L. **Anatomical parameters of tDCS to modulate the motor system after stroke: a review.** *Frontiers in Neurology*, v. 8, p. 29, 2017.

LI, L. M.; UEHARA, K.; HANAKAWA, T. **The contribution of interindividual factors to variability of response in transcranial direct current stimulation studies.** *Frontiers in Cellular Neuroscience*, v. 9, 2015.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. **Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation.** *The Journal of Physiology*, v. 527, pt. 3, p. 633–639, 2000.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. **Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans.** *Neurology*, v. 57, n. 10, p. 1899–1901, 2001.

NITSCHKE, M. A.; PAULUS, W. **Transcranial direct current stimulation—update.** *Restorative Neurology and Neuroscience*, v. 29, n. 6, p. 463–492, 2011.

NITSCHKE, M. A.; BIKSON, M.; BESTMANN, S. **On the use of meta-analysis in neuromodulatory non-invasive brain stimulation.** *Brain Stimulation*, v. 13, n. 3, p. 642–644, 2020.

NITSCHKE, M. A. et al. **Transcranial direct current stimulation: state of the art 2008.** *Brain Stimulation*, v. 1, n. 3, p. 206–223, 2008.

NITSCHKE, M. A. et al. **Pharmacological modulation of cortical excitability shifts induced by transcranial direct current stimulation in humans.** *The Journal of Physiology*, v. 553, pt. 1, p. 293–301, 2003.

PALM, U. et al. **Prefrontal transcranial direct current stimulation for treatment of major depressive disorder: updated systematic review and meta-analysis.** *The International Journal of Neuropsychopharmacology*, v. 22, n. 8, p. 1–22, 2019.

POREISZ, C.; BOROS, K.; ANTAL, A.; PAULUS, W. **Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients.** *Brain Research Bulletin*, v. 72, n. 4–6, p. 208–214, 2007.

PRIORI, A. **Brain polarization in humans: a reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability.** *Clinical Neurophysiology*, v. 114, n. 4, p. 589–595, 2003.

PRIORI, A. et al. **Polarization of the human motor cortex through the scalp.** *NeuroReport*, v. 9, n. 10, p. 2257–2260, 1998.

PRIORI, A.; HALLETT, M.; ROTHWELL, J. C. **Repetitive transcranial magnetic stimulation or transcranial direct current stimulation?** *Brain Stimulation*, v. 2, n. 4, p. 241–245, 2009.

PURPURA, D. P.; MCMURTRY, J. G. **Intracellular activities and evoked potential changes during polarization of motor cortex.** *Journal of Neurophysiology*, v. 28, p. 166–185, 1965.

RADMAN, T.; RAMOS, R. L.; BRUMBERG, J. C.; BIKSON, M. **Role of cortical cell type and**

morphology in subthreshold and suprathreshold uniform electric field stimulation in vitro. *Brain Stimulation*, v. 2, n. 4, p. 215–228, 2009.

ROSSON, S. et al. **Brain stimulation and other biological non-pharmacological interventions in mental disorders: an umbrella review.** *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 139, p. 104743, ago. 2022.

RUSSO, R.; WALLACE, D.; FITZGERALD, P. B.; COOPER, N. R. **Perception of comfort during active and sham transcranial direct current stimulation: a double-blind study.** *Brain Stimulation*, v. 6, n. 6, p. 946–951, 2013.

SABÉ, M. et al. **Transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation across mental disorders: a systematic review and dose-response meta-analysis.** *JAMA Network Open*, v. 7, n. 5, p. e2412616, 1 maio 2024.

SALE, M. V.; RIDDING, M. C.; NORDSTROM, M. A. **Factors influencing the magnitude and reproducibility of corticomotor excitability changes induced by paired associative stimulation.** *Brain Stimulation*, v. 8, n. 6, p. 1132–1143, 2015.

STAGG, C. J.; NITSCHKE, M. A. **Physiological basis of transcranial direct current stimulation.** *The Neuroscientist*, v. 17, n. 1, p. 37–53, 2011.

STAGG, C. J. et al. **Polarity-sensitive modulation of cortical neurotransmitters by transcranial stimulation.** *The Journal of Neuroscience*, v. 29, n. 16, p. 5202–5206, 2009.

TRUONG, D. Q.; BIKSON, M. **Physics of transcranial direct current stimulation devices and their history.** *The Journal of ECT*, v. 34, n. 3, p. 137–143, 2018.

TURI, Z. et al. **Transcranial direct current stimulation over the human secondary somatosensory cortex disrupts perception of tactile temporal order.** *Brain Structure and Function*, v. 224, n. 4, p. 1413–1424, 2019.

WAGNER, T. et al. **Transcranial direct current stimulation: a computer-based human model study.** *NeuroImage*, v. 35, n. 3, p. 1113–1124, 2007.

WEXLER, A. **Recurrent themes in the history of the home use of electrical stimulation: transcranial direct current stimulation (tDCS) and the medical battery (1870–1920).** *Brain Stimulation*, v. 10, n. 2, p. 187–195, 2017.

WOODS, A. J. et al. **A technical guide to tDCS, and related non-invasive brain stimulation tools.** *Clinical Neurophysiology*, v. 127, n. 2, p. 1031–1048, 2016.

ZAGHI, S. et al. **Noninvasive brain stimulation with low-intensity electrical currents: putative mechanisms of action for direct and alternating current stimulation.** *The Neuroscientist*, v. 16, n. 3, p. 285–307, 2010.