

Impacto da Realidade Virtual e Eletroestimulação Transcraniana por Corrente Contínua no Controle Motor de Pacientes com Comprometimentos Neurológico e Motor: Uma Revisão Sistemática

Impact of Virtual Reality and Transcranial Direct Current Stimulation on Motor Control in Patients with Neurological and Motor Impairments: A Systematic Review

Reabilitação Fisioterapêutica e Eficiência da Eletroestimulação Transcraniana por Corrente Contínua

Keyte Guedes da Silva¹, Gabriel Finazzi² (RA: G45DBH9), Rafael dos Santos Cavalcanti² (RA: T466CB8)

Nome: Rafael dos Santos Cavalcanti

Endereço para correspondência: R. Armando Pinelli,268, Bl:08 Ap:21

Telefone: 11986085680

Correio Eletrônico: rafaelcavalcantigk@hotmail.com

1-Pós-doutoranda em Ciências da reabilitação pela Universidade de São Paulo; Doutora em Fisioterapia pela Universidade de São Paulo; Docente do Curso de Fisioterapia em Universidade Paulista (UNIP)

2. Graduandos do Curso de Fisioterapia da Universidade Paulista (UNIP)

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Universidade Paulista

Curso de Fisioterapia - Campus Anchieta

2025

PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA
INTERDISCIPLINAR

NOME	RA	REGIME*	CAMPUS
Gabriel Finazzi	G45DBH9	Regular	Anchieta
Rafael dos Santos Cavalcanti	T466CB8	Regular	Anchieta

*Regular ou Tutelado

Orientador: Keyte Guedes da Silva

Título do trabalho: Impacto da Realidade Virtual e Eletroestimulação Transcraniana por Corrente Contínua no Controle Motor de Pacientes com Comprometimentos Neurológico e Motor: Uma Revisão Sistemática

Tipo de trabalho: REVISÃO PESQUISA DE CAMPO

Tipo de apresentação: BANNER TEMA LIVRE

	Nota Orientador	Nota Apresentação	Nota PTCI	Nota Final
Banner	Dez (10,0) 			

Keyte Guedes S.
Fisioterapeuta
CPF: 31113745-F

	Nota Orientador	Média Apresentação	Nota PTCI	Nota Final
Tema Livre				

Coordenação do Curso de Fisioterapia

RESUMO

Analisar os efeitos da combinação entre estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) e realidade virtual (RV) na reabilitação motora de pacientes com principalmente com comprometimentos neurológicos. Revisão sistemática conduzida conforme as diretrizes PRISMA, incluindo ensaios clínicos randomizados publicados entre 2015 e 2025, publicados na língua inglesa e português do Brasil. As buscas foram realizadas nas bases de dados PubMed e PubMed Central. Foram utilizados os descritores combinados por meio de operadores booleanos (AND, OR): “Terapia por Realidade Virtual”, “Reabilitação por Realidade Virtual”, “Realidade Virtual”, “Virtual Reality Therapy”, “Virtual Reality Rehabilitation”, “Virtual Reality”, “Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua”, “tDCS”, “Transcranial Direct Current Stimulation”, “Reabilitação Motora”, “Motor Rehabilitation” e “Função Motora”. Foram analisados estudos envolvendo indivíduos com distúrbios neurológicos e motores, como acidente vascular cerebral, paralisia cerebral, fibromialgia e esclerose múltipla. A associação entre ETCC e RV promoveu melhorias significativas na função motora, equilíbrio, coordenação, destreza manual e qualidade de vida. Observou-se que a ETCC potencializa a plasticidade neural induzida pela RV, enquanto esta favorece maior engajamento e motivação durante o tratamento. Apesar das variações metodológicas entre os estudos, os achados reforçam o potencial clínico dessa abordagem integrada. A combinação de ETCC e RV mostra-se uma alternativa promissora e eficaz para a reabilitação neurológica, contribuindo para avanços na prática clínica e para o desenvolvimento de protocolos personalizados.

Descritores: estimulação transcraniana por corrente contínua; realidade virtual; reabilitação motora; neuroplasticidade; fisioterapia neurológica.

ABSTRACT

To analyze the effects of combining transcranial direct current stimulation (tDCS) and virtual reality (VR) in the motor rehabilitation of patients, primarily those with neurological impairments. A systematic review was conducted according to the PRISMA guidelines, including randomized clinical trials published between 2015 and 2025, in English and Brazilian Portuguese. Searches were performed in the PubMed and PubMed Central databases. The following descriptors were used, combined using Boolean operators (AND, OR): “Virtual Reality Therapy”, “Virtual Reality Rehabilitation”, “Virtual Reality”, “Transcranial Direct Current Stimulation”, “tDCS”, “Motor Rehabilitation”, and “Motor Function”. Studies involving individuals with neurological and motor disorders, such as stroke, cerebral palsy, fibromyalgia, and multiple sclerosis, were analyzed. The association between tDCS and VR promoted significant improvements in motor function, balance, coordination, manual dexterity, and quality of life. It was observed that tDCS enhances the neural plasticity induced by VR, while VR promotes greater engagement and motivation during treatment. Despite methodological variations among the studies, the findings reinforce the clinical potential of this integrated approach. The combination of tDCS and VR proves to be a promising and effective alternative for neurological rehabilitation, contributing to advances in clinical practice and the development of personalized protocols.

Descriptors: transcranial direct current stimulation; virtual reality; motor rehabilitation; neuroplasticity; neurological physiotherapy.

INTRODUÇÃO

A disfunção motora é uma das sequelas mais relevantes em condições neurológicas como acidente vascular cerebral (AVC), paralisia cerebral (PC) e esclerose múltipla (EM).¹⁻³ Essas doenças comprometem milhões de pessoas ao redor do mundo e reduzem de maneira significativa a autonomia funcional e a qualidade de vida sendo agravada pelas limitações motoras observadas nos membros superiores. Tratamentos direcionados melhoraram as deficiências apresentadas por essa população, mas os comprometimentos permanecem, reforçando a necessidade de novas alternativas terapêuticas.¹⁻³

As intervenções convencionais de fisioterapia, fundamentadas em exercícios com alta dosagem e em diversos contextos ambientais, demonstram alta eficácia no seu tratamento⁴, mas produzem efeitos a curto prazo e apresentam limitações na integração concomitante de mais tarefas, reduzindo os ganhos expressivos, especialmente em quadros graves ou crônicos.⁴ Neste contexto, cresce o interesse por intervenções capazes de estimular a plasticidade cerebral e a reorganização funcional que associam diversos estímulos, no qual destacam-se a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) e a realidade virtual (RV), ambas consideradas ferramentas promissoras na área da reabilitação neurológica.⁵⁻⁸

A ETCC consiste em uma técnica não invasiva de neuromodulação que utiliza correntes elétricas de baixa intensidade aplicadas sobre o couro cabeludo para modular a excitabilidade cortical, favorecendo processos sinápticos ligados à aprendizagem e à recuperação motora.^{5,6} A polaridade da estimulação define o efeito: a modalidade anódica tende a aumentar a excitabilidade cortical, enquanto a catódica pode reduzi-la, possibilitando usos estratégicos conforme o objetivo do tratamento.¹ Resultados positivos têm sido relatados em diversas populações, incluindo pacientes com AVC, fibromialgia, EM e até em contextos de déficits cognitivos, como em portadores de HIV.^{5,6,9,10}

A realidade virtual (RV) pode ser definida como uma forma avançada de interface entre o ser humano e o computador, que permite ao usuário explorar, interagir e imergir em ambientes tridimensionais simulados, semelhantes aos do

mundo real, com fornecimento de feedback visual, auditivo e cinestésico em tempo real. Adicionalmente, a RV possibilita ao indivíduo a execução de tarefas motoras em ambientes tridimensionais e multissensoriais com fornecimento de feedback em tempo real.^{7,8}

Essa abordagem terapêutica favorece o engajamento, a motivação e a aderência ao tratamento, ao mesmo tempo em que garante segurança e controle das condições de treino.¹ Estudos mostram que a utilização da RV pode estimular a plasticidade cortical e favorecer a reorganização das conexões neurais, promovendo ganhos funcionais.⁴

De acordo com Barger et al.¹¹ (2023), a RV pode ser classificada em três níveis de imersão: imersiva, semi-imersiva e não imersiva, conforme o grau de interação e presença percebida pelo usuário no ambiente virtual. A RV imersiva utiliza dispositivos como óculos de realidade virtual e sistemas de projeção tridimensional, que isolam o indivíduo do ambiente físico e criam a sensação de presença total no ambiente virtual. A RV semi-imersiva proporciona uma experiência intermediária, geralmente por meio de telas curvas, projeções amplas ou simuladores que integram elementos reais e virtuais. Já a RV não imersiva utiliza monitores convencionais, como computadores ou televisores, permitindo que o usuário visualize e interaja com o ambiente virtual sem perder a percepção do espaço físico ao redor. Essa classificação reflete o nível de envolvimento sensorial proporcionado pela tecnologia e está diretamente relacionada à intensidade do engajamento e à estimulação motora e cognitiva durante o processo de reabilitação.¹¹

A combinação entre ETCC e RV vêm mostrando resultados superiores em comparação ao uso isolado de cada técnica e com resultados não alcançáveis com o uso de qualquer uma das técnicas individualmente. O estudo de Yao et al¹ (2020) evidenciou que indivíduos com AVC isquêmico submetidos à associação de ETCC catódica e RV tiveram melhor desempenho motor nos membros superiores quando comparados ao grupo que realizou apenas RV.¹ De maneira semelhante, Lee and Cha¹² (2021), relataram que a aplicação de ETCC anódica no córtex motor durante treino com RV não imersiva promoveu avanços não apenas motores, mas também cognitivos e de funções executivas em

pacientes após AVC.¹² Esses achados sugerem que a integração das duas técnicas pode ampliar o escopo dos benefícios, indo além da função motora.

Em casos de hemiparesia crônica e grave, Llorens et al⁴ (2021) constataram melhora significativa na função motora de membros superiores com o uso combinado de ETCC e RV em comparação à exercícios físicos.⁴ Em crianças com paralisia cerebral, pesquisas reforçam o potencial da estratégia, evidenciando ganhos em parâmetros como marcha e equilíbrio.²

A literatura também destaca a aplicação dessa abordagem em outras condições musculoesqueléticas.¹⁰ Estudos verificaram que mulheres com fibromialgia apresentaram melhora no desempenho motor durante tarefas em RV associadas à ETCC, com efeitos mantidos após o fim da estimulação ativa, sugerindo mecanismos de plasticidade mais duradouros.¹⁰ No mesmo sentido, descreveram benefícios no equilíbrio de pacientes com EM após protocolo que associava ETCC e RV.³ Essas evidências reforçam a versatilidade e o potencial de expansão clínica dessa intervenção.

Apesar do crescente número de estudos, persistem lacunas importantes. Fatores como a padronização dos protocolos (intensidade, duração e polaridade da estimulação), o tipo de RV a ser utilizado (imersiva, semi-imersiva ou não imersiva) e a análise dos efeitos em longo prazo ainda carecem de maior investigação . A variabilidade metodológica entre os ensaios também dificulta comparações diretas e limita a generalização dos resultados para diferentes perfis de pacientes.

Assim, o presente estudo buscou avaliar os impactos da associação entre RVI e ETCC em indivíduos com disfunções motoras, explorando como essa integração pode otimizar os resultados da reabilitação, ampliar o repertório terapêutico e oferecer novas perspectivas à prática clínica em neurologia.

METODOLOGIA

Este estudo trata-se de uma revisão simples da literatura, com o objetivo de analisar os efeitos da RV associada à ETCC no tratamento de indivíduos com distúrbios neurológicos e motores.

Fontes de dados e estratégia de busca: A busca dos estudos foi realizada nas bases de dados PubMed e PubMed Central (PMC), abrangendo publicações entre os anos de 2015 e 2025, nos idiomas português e inglês. Foram utilizados descritores extraídos dos vocabulários controlados DeCS (Descritores em Ciências da Saúde) e MeSH (Medical Subject Headings), combinados por meio de operadores booleanos (AND, OR). Os principais termos empregados foram: *“Terapia por Realidade Virtual”*, *“Reabilitação por Realidade Virtual”*, *“Realidade Virtual”*, *“Virtual Reality Therapy”*, *“Virtual Reality Rehabilitation”*, *“Virtual Reality”*, *“Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua”*, *“tDCS”*, *“Transcranial Direct Current Stimulation”*, *“Reabilitação Motora”*, *“Motor Rehabilitation”* e *“Função Motora”*.

Foram incluídos artigos que abordaram a utilização da RV associada à ETCC como estratégia de reabilitação motora em pacientes com doenças neurológicas, contemplando desfechos relacionados ao equilíbrio corporal, mobilidade funcional, função motora e qualidade de vida.

Foram excluídos relatos de caso, revisões narrativas, artigos de opinião e estudos que não descrevessem claramente o protocolo de intervenção ou que focaram exclusivamente em aspectos cognitivos ou psicológicos, sem relação direta com a reabilitação motora.

Após a leitura e seleção dos artigos, as informações foram organizadas de forma descritiva, contemplando dados como autores, ano de publicação, características da amostra, tipo de intervenção, duração do tratamento e principais resultados encontrados. A análise dos estudos foi realizada de forma qualitativa e comparativa, buscando identificar convergências e divergências entre os achados das diferentes pesquisas.

RESULTADOS

A busca foi realizada nas bases de dados PubMed e PubMed Central, abrangendo o período de 2015 a 2025. Foram inicialmente identificados 71 registros. Após a exclusão de 3 registros duplicados, restaram 68 estudos para triagem. Destes, 36 foram excluídos por não atenderem a associação da ETCC com RV. Dos 32 registros restantes foram excluídos 22 por não associar o tratamento a pessoas com déficit motor. Ao final do processo de seleção, 10 estudos foram incluídos na revisão para análise e síntese dos dados (Figura 1).

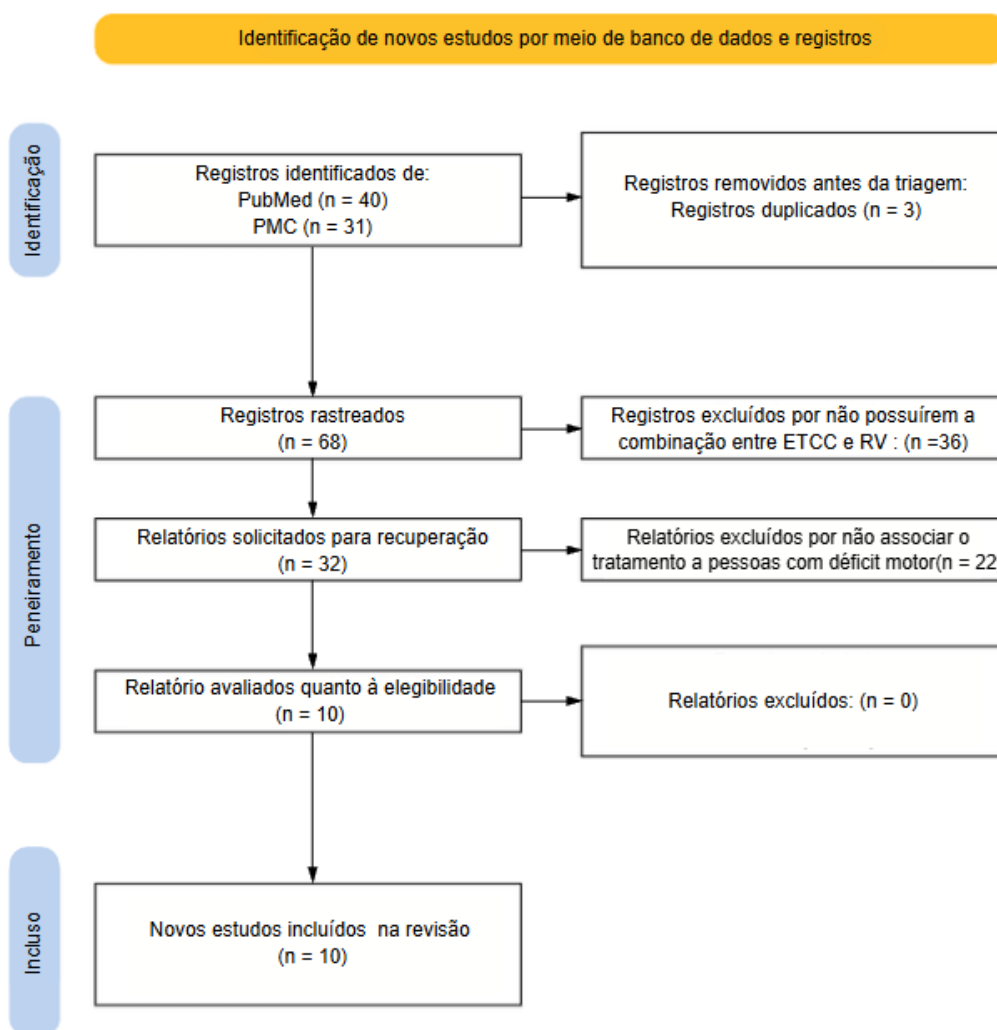


Figura 1. Fluxograma evidenciando o processo de busca, seleção e inclusão dos artigos. Abreviação: número. Fonte: PRISMA.

A análise dos artigos incluídos no presente estudo com a extração dos seus dados de forma resumida está evidenciada no Quadro 1.

Quadro 1. Extração de dados

Autores/ ano	Tipo de estudo	Características da amostra	Tipos de intervenção	Principais variáveis analisadas	Resultados significativos
Silva et al. ¹⁰ , (2024)	RCT, crossover, duplo-cego	N = 21 Diagnóstico = Fibromialgia Sexo = Feminino Idade = 30 a 50 anos	GE = ETCC ativo + RV GC = ETCC placebo + RV Dosagem = 10 sessões, 20 min/dia, seguidas de 1 mês de washout, depois cruzamento dos grupos.	Coordena- ção motora, acurácia e precisão.	GE apresentou melhora significativa no desempenho motor, aumento do número de acertos e redução dos erros absoluto e variável durante as tarefas em RV. Esses efeitos persistiram na fase sham, sugerindo efeitos duradouros de neuroplasticidade
Ownby and Kim ⁹ , (2021)	RCT, simples cego	N = 46 Diagnóstico = HAND Sexo = F e M Idade = ≥50 anos	G1 = CCT + ETCC ativo G2 = CCT + ETCC placebo G3 = Vídeos educacionais + ETCC placebo Dosagem = 3x/sem - 2 semanas, 20 min	Atenção e velocidade psicomotora = Digit Span (WAIS-IV) Tempo de reação = Time-based reaction tasks Memória verbal e visuoespacial = HVLT-R e BVMT-R Função executiva e funcionalidade = TMT e UPSA	O G1 apresentou melhoras significativas em velocidade psicomotora e função executiva, além de melhora na memória verbal e tendência de melhora em atenção. Não houve efeitos significativos sobre o tempo de reação.
Lee and Cha ¹² , (2021)	RCT	N = 20 Diagnóstico = AVC Média de idade = 66,3 ± 6,2	GE = ETCC ativo + RV GC = ETCC placebo + RV Dosagem = 5x/semana/4 semanas/20 min.	Função MS = BBT e JHFT. Função Cognitiva/ Executiva = ST e TMT.	GE apresentou melhores ganhos na destreza manual e na função executiva/cognitiv a

Llorens et al. ⁴ , (2021)	RCT	N = 29 Diagnóstico = AVC crônico com hemiparesia severa Média de idade = 54,9 ± 9,4 anos	GE = Fisioterapia Convencional + ETCC ativo + RV GC = Fisioterapia Convencional Dosagem = 3-5x/semana	Função motora e sensorial de MS = FM-UES, WMFT, NSA	GE teve melhora clinicamente significativa na função motora do membro superior, enquanto que a função sensorial melhorou de forma semelhante em ambos grupos.
Gómez et al. ¹⁴ , (2020)	RCT	N = 30 Diagnóstico = EM com mais de 2 anos Idade = 26 a 66 anos	GE = Fisioterapia Convencional + RV com Serious Games baseados em Leap Motion Controller GC = Fisioterapia Convencional Dosagem = 2x/sem -10 semanas, 60 min.	Força de preensão, destreza manual fina e grossa, coordenação, fadiga, qualidade de vida e satisfação.	GE apresentou melhoras significativas em coordenação, velocidade de movimento e destreza fina e grossa. Não houve diferenças significativas em fadiga ou qualidade de vida.
Yao et al. ¹ , (2020)	RCT, simples cego	N = 40 Idade = 18 a 80 anos Diagnóstico = AVC fase subaguda e crônica	GE = ETCC ativo + RV GC = ETCC placebo + RV Dosagem = 5x/sem - 2 semanas	Prejuízo motor = FM-UES DM = ARAT AVD = BI	O GE obteve maiores ganhos em desempenho motor e qualidade de vida, além de redução dos prejuízos motores.
Costa et al. ³ , (2019)	Estudo de caso cross-over	N = 1 Diagnóstico = EMPP Idade = 51 Sexo = M	Protocolo 1: Nintendo Wii Fit + ETCC placebo Protocolo 2: Nintendo Wii Fit + ETCC ativo Jogos = Marble Balance, Ski Slalom e Penguin Slide. Dosagem = 5x/sem, 20 min, 5	Teste equilíbrio = Romberg Test, Unipodal Support Test, Babinski–Weil Test e BESTest Teste fadiga = MFIS Qualidade de vida = FAMSS	O Protocolo 1 proporcionou melhora importante no equilíbrio, redução da fadiga e aumento da qualidade de vida após 5 sessões. Já quando o ETCC ativo foi associado, não houve benefícios adicionais.

			sessões com NWF + ETCC placebo e 5 sessões videogame + ETCC ativo		
Lazzari et al. ² , (2015)	RCT duplo cego (double-blind)	N = 12 Diagnóstico = PC com classificação GMFCS I, II ou III Idade = Entre 4 e 12 anos	GE = RV + ETCC ativo GC = RV + ETCC placebo Dosagem = Sessão única de 20 min	Área, velocidade, frequência de oscilação e deslocamento do CoP	Observou-se aumento significativo na velocidade de oscilação corporal, principalmente na direção médio-lateral, com apoio em espuma e olhos abertos ou fechados. As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas.
Grecco et al. ¹³ , (2015)	Estudo piloto duplo cego	N = 20 Diagnóstico = PC espástica diparética e classificação GMFCS II ou III Idade = Entre 5 e 10 anos	GE = Treino de marcha + RV + ETCC ativo GC = Treino de marcha + RV + ETCC placebo Dosagem = 5x/sem/2 semanas/20 min	DF = PEDI DM = GMFM88	O GE apresentou melhora significativa na velocidade da marcha, cadência, função motora grossa, mobilidade independente e aumento do potencial evocado motor em comparação ao grupo controle.

Abreviações: N: Número de amostra, RCT: Randomized Controlled Trial, PC: Paralisia Cerebral, GMFCS: Gross Motor Function Classification System, GE: Grupo Experimental, RV: Realidade Virtual, ETCC: Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua, GC: Grupo Controle, DF: Desempenho Funcional, PEDI: Pediatric Evaluation Disability Inventory, DM: Desempenho Motor, GMFM88: Gross Motor Function Measure-88, MFIS: Modified Fatigue Impact Scale, FAMSS: Functional Assessment of Multiple Sclerosis Scale, FM-UES: Fugl-Meyer Upper Extremity Scale, ARAT: The Action Research Arm Test, AVD: Atividades de Vida Diária, BI: Barthel Index, MS: Membro Superior, WMFT: Wolf Motor Function Test, NSA: Nottingham Sensory Assessment, BBT: Box and Block Test, JTHFT: Jebsen-Taylor Hand Function Test, ST: Stroop Test, TMT: Trail Making Test, HAND: HIV Associated Neurocognitive Disorder, CCT: Computer-based Cognitive Training, HVLT-R: Hopkins Verbal Learning Test, BVMT-R: Brief Visuospatial Memory Test, UPSA: UCSD Performance-Based Skills Assessment

DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo analisar a associação entre a RV e a ETCC nos desfechos motores em pacientes principalmente com comprometimentos neurológicos. Os estudos analisados demonstram, de forma consistente, o potencial terapêutico da ETCC associada à RV em diferentes condições neurológicas e musculoesqueléticas. Apesar das variações metodológicas, há convergência quanto à melhora da função motora, equilíbrio e desempenho funcional, sustentando que a combinação entre estimulação cortical e tarefas virtuais favorece a neuroplasticidade e o reaprendizado motor.¹⁻

9

Essa melhora na plasticidade pode ocorrer pela intensificação da resposta cortical frente a estímulos fornecidos, com repercussão na recuperação funcional. Tal fato foi observado no estudo de Llorens et al.⁴ (2021) com vinte e nove indivíduos com hemiparesia severa decorrente de AVC crônico e que foram aleatorizados em grupo experimental (ETCC + RV + fisioterapia) e controle (fisioterapia isolada). O protocolo utilizou uma RV semi-imersiva, baseada em ambientes de reabilitação projetados pelos autores, com tarefas que simulavam atividades do cotidiano, como alcance, manipulação de objetos e coordenação bimanual. Foram realizadas vinte e cinco sessões de sessenta minutos, três a cinco vezes por semana. A ETCC anódica foi aplicada por trinta minutos sobre o córtex motor primário (M1) do hemisfério afetado, com intensidade de 2 mA. Os resultados mostraram melhora significativa da função motora do membro superior, avaliada pelas escalas Fugl-Meyer e Wolf Motor Function Test, apenas no grupo experimental.⁴

Melhoras significativas na pontuação da Fugl-Meyer também foram evidenciadas por Yao et al.¹ (2020). Neste estudo 40 indivíduos com AVC isquêmico recente foram randomizados em dois grupos e submetidos a dez sessões de vinte minutos, ao longo de duas semanas. O grupo experimental recebeu ETCC catódica sobre o M1 do hemisfério não afetado (2 mA, 35 cm²), enquanto ambos os grupos realizaram treinamento em RV. A intervenção utilizou um sistema não imersivo com jogos de reabilitação baseados no Kinect, que envolviam movimentos de alcance, preensão e manipulação de objetos virtuais.

A melhora relatada no grupo ETCC ativa foi observada não somente na pontuação da Fugl-Meyer, mas também nos escores Action Research Arm Test (ARAT) e Barthel Index. Esses achados reforçam a hipótese de que a inibição do hemisfério não afetado contribui para restaurar o equilíbrio inter-hemisférico e otimizar o desempenho motor.¹

De modo semelhante, Lee and Cha¹² (2021) aplicaram ETCC e RV não imersiva em vinte indivíduos pós-AVC, divididos em grupo experimental (ETCC ativa) e controle (ETCC placebo). O protocolo consistiu em vinte sessões de vinte minutos diários, cinco vezes por semana, durante quatro semanas, com ETCC anódica de 2 mA sobre o M1 ipsilateral. A RV utilizada foi não imersiva, por meio do sistema Nintendo Wii, com jogos que exigiam controle motor fino, coordenação bilateral e precisão de movimento (por exemplo, Wii Sports e Wii Fit). Os resultados demonstraram melhora significativa na função manual, velocidade de movimento e desempenho cognitivo, avaliados pelos testes Box and Block, Jebsen-Taylor, Stroop e Trail Making Test, evidenciando que o treino virtual aliado à ETCC potencializa tanto o desempenho motor quanto processos cognitivos relacionados à atenção e planejamento.¹²

Em populações pediátricas a RV não imersiva associada a ETCC também foi alvo de estudo. Grecco et al.¹³ (2015) investigaram vinte crianças com paralisia cerebral diplérgica espástica, submetidas a dez sessões de ETCC anódica de 1 mA por vinte minutos sobre o M1, combinada a treinamento em RV. O sistema utilizado foi Xbox Kinect, com jogos de movimento funcional e equilíbrio dinâmico, incluindo tarefas de deslocamento, alcance e manutenção postural. O grupo experimental apresentou melhora significativa na velocidade e cadência da marcha, além de ganhos nas escalas GMFM e PEDI, confirmando que a ETCC anódica potencializa o aprendizado motor promovido por jogos virtuais interativos.¹³

Semelhantemente, Lazzari et al.² (2015) também analisou o uso associado da RV pelo sistema Kinect com a ETCC aplicada em M1. Neste, os autores avaliaram crianças de quatro a 12 anos com paralisia cerebral, submetidas a uma única sessão de ETCC anódica de 1 mA durante vinte minutos sobre o M1. Os jogos do sistema Kinect estimulavam o deslocamento lateral e

equilíbrio em pé.² Observou-se melhora imediata no controle postural, com aumento da velocidade de oscilação corporal, embora sem mudanças funcionais significativas, sugerindo que o efeito agudo da estimulação pode modular o sistema postural, mas que múltiplas sessões são necessárias para ganhos duradouros.²

Também foi observado melhora no equilíbrio estático e dinâmico em um indivíduo com esclerose múltipla quando o alvo da aplicação da ETCC foi M1. Neste relato de caso realizado por Costa et al.³ (2019) a participante foi submetida a dez sessões de ETCC anódica de 2 mA por vinte minutos sobre M1, associada a exercícios em RV não imersiva desenvolvidos pelo grupo de pesquisa, voltados para treino de equilíbrio e controle postural. As tarefas envolviam deslocamento de peso e feedback visual em tempo real. Após o protocolo, verificou-se melhora do equilíbrio estático e dinâmico, indicando que a ETCC pode aumentar a responsividade neural à terapia virtual, mesmo em doenças neurodegenerativas progressivas.³

De forma semelhante, Cuesta-Gómez et al.¹⁴ (2020) avaliaram o uso da realidade virtual associada a jogos sérios na reabilitação do membro superior em pacientes com esclerose múltipla. O estudo demonstrou melhora significativa na coordenação, precisão e tempo de movimento, além de maior engajamento durante o tratamento. Esses efeitos foram atribuídos à estimulação multissensorial e ao feedback visual proporcionados pela RV, que favorecem o reaprendizado motor e a reorganização cortical, reforçando o potencial dessa tecnologia como recurso complementar na reabilitação neurológica.¹⁴

No estudo de Ownby e Kim⁹ (2021), quarenta e seis indivíduos com distúrbio neurocognitivo associado ao HIV foram divididos em três grupos: ETCC ativa + treino cognitivo computadorizado (CCT), ETCC placebo + CCT e controle educativo. O protocolo consistiu em seis sessões de vinte minutos com ETCC anódica de 2 mA sobre o córtex pré-frontal dorsolateral, combinada a jogos cognitivos baseados em computador, que exigiam memória de trabalho, atenção seletiva e velocidade de processamento. Os resultados apontaram alta aceitação e melhora na atenção e velocidade psicomotora no grupo ETCC + CCT,

demonstrando que a combinação da estimulação cortical com tarefas virtuais complexas é eficaz também em déficits cognitivos.⁹

Por fim, da Silva et al.¹⁰ (2024) incluíram vinte e uma mulheres com fibromialgia, submetidas a vinte sessões alternadas de ETCC anódica (2 mA, 20 min) sobre o M1, combinadas a tarefas motoras em RV não imersiva. O ambiente virtual incluía jogos de coordenação e precisão motora, nos quais as participantes executavam movimentos repetitivos de alcance e toque em alvos projetados.¹⁰ Os resultados mostraram melhora significativa no desempenho motor (aumento no número de acertos e redução de erros), além de redução da fadiga e melhora no tempo de reação.¹⁰ Mesmo após as sessões placebo, os ganhos foram mantidos, indicando neuroplasticidade sustentada induzida pela estimulação.¹⁰

Em síntese, nota-se que a maioria dos estudos utilizou RV não imersiva, frequentemente baseada em sistemas comerciais (Nintendo Wii, Xbox Kinect) ou plataformas desenvolvidas pelos próprios autores, voltadas a tarefas funcionais e de treino motor. Os jogos mais empregados envolviam movimentos de alcance, equilíbrio, manipulação de objetos e tarefas de coordenação motora fina, proporcionando feedback visual e auditivo imediato. A combinação desses elementos com a ETCC, principalmente a anódica de 1–2 mA aplicada sobre o M1 por 20–30 minutos, mostrou-se eficaz em potencializar o desempenho motor e cognitivo, além de promover reorganização cortical e aumento da motivação do paciente durante o tratamento.

Comparando os resultados, verifica-se que protocolos mais longos e com maior interação virtual, como em Llorens⁴ et al., (2021) e da Silva¹⁰ et al., (2024) proporcionaram ganhos mais consistentes e duradouros. Já intervenções curtas, como as de Lazzari² et al. (2015), geraram apenas efeitos agudos. Em condições crônicas, como AVC e esclerose múltipla, a combinação ETCC + RV favoreceu a reabilitação funcional, enquanto em doenças dolorosas e cognitivas (fibromialgia e HIV), os benefícios se estenderam para o controle da fadiga e o aprimoramento atencional.

Dessa forma, os achados convergem ao demonstrar que a associação da ETCC com a RV constitui uma estratégia integrativa promissora, segura e não invasiva, capaz de potencializar o aprendizado motor, melhorar o desempenho funcional e reforçar a motivação do paciente em diferentes contextos clínicos.

CONCLUSÃO

A combinação entre ETCC e RV mostrou-se uma estratégia terapêutica inovadora e eficaz na reabilitação motora de indivíduos com disfunções neurológicas. A análise dos estudos revisados evidenciou que a associação dessas técnicas promoveu ganhos significativos na função motora, equilíbrio, destreza manual, coordenação e qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

1. Yao J, Zheng M, Zheng Y, Zhang J, Chen Y, Chen S, et al. Effects of transcranial direct current stimulation with virtual reality training on upper limb function in patients with ischemic stroke: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2020;17(1):1-11.
2. Lazzari RD, Politti F, Santos CA, Ribeiro DC, Grecco LA, Oliveira CS. Effect of a single session of transcranial direct current stimulation in children with cerebral palsy: a randomized, sham-controlled, double-blind, clinical trial. *Disabil Rehabil.* 2015;37(2):110-5.
3. Costa L, Ribeiro T, Oliveira C, Martins L, Silva A. Effect of transcranial direct current stimulation combined with a virtual reality exercise on balance in a patient with multiple sclerosis: a case report. *Mult Scler Relat Disord.* 2019;51:102918.
4. Llorens R, Fuentes B, Borrego A, Latorre J, Alcañiz M, Colomer C, et al. Effectiveness of a combined transcranial direct current stimulation and virtual reality-based intervention on upper limb function in chronic stroke patients with severe hemiparesis: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil.* 2021;18(1):1-13.
5. Zaghi S, Acar M, Hultgren B, Boggio PS, Fregni F. Noninvasive Brain Stimulation with Low-Intensity Electrical Currents: Putative Mechanisms of Action for Direct and Alternating Current Stimulation. *The Neuroscientist.* 2009 Dec 29;16(3):285–307.
6. Williams J, Imamura M, Fregni F. Updates on the use of non-invasive brain stimulation in physical and rehabilitation medicine. *Journal of Rehabilitation Medicine.* 2009;41(5):305–11.
7. Sherman WR, Craig AB (2003) Understanding Virtual Reality—Interface, application, and design. *Presence: Teleoperators Virtual Environ* 12(4):441–442
8. Sveistrup H. Motor Rehabilitation Using Virtual Reality. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [Internet]. 2004;1(1):10. Available from: <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-1-10>

9. Ownby RL, Kim Y. Computer-delivered cognitive training and transcranial direct current stimulation in adults with HIV: a randomized trial. *Brain Stimul.* 2021;14(5):1226-34.
10. Silva F, Oliveira L, Santos D, Pereira M, Costa A. Effectiveness of transcranial direct current stimulation during a virtual reality task in women with fibromyalgia: a randomized controlled trial. *Pain Med.* 2024;25(2):123-31.
11. Barger S, Scalea S, Agosta F, Banfi G, Davide Corbetta, Filippi M, et al. Effectiveness and safety of virtual reality rehabilitation after stroke: an overview of systematic reviews. *EClinicalMedicine.* 2023 Oct 1;64:102220–0.
12. Lee SJ, Cha HG. The effects of transcranial direct current stimulation and non-immersive virtual reality on upper extremity function, cognition, and activities of daily living in stroke patients. *J Stroke Cerebrovasc Dis.* 2021;30(8):105857.
13. Collange Grecco LA, de Almeida Carvalho Duarte N, Mendonça ME, Galli M, Fregni F, Oliveira CS. Effects of anodal transcranial direct current stimulation combined with virtual reality for improving gait in children with spastic diparetic cerebral palsy: a pilot, randomized, controlled, double-blind, clinical trial. *Clinical Rehabilitation.* 2015 Jan 20;29(12):1212–23.
14. Cuesta-Gómez A, Sánchez-Herrera-Baeza P, Oña-Simbaña ED, Martínez-Medina A, Ortiz-Comino C, Balaguer-Bernaldo-de-Quirós C, et al. Effects of virtual reality associated with serious games for upper limb rehabilitation in patients with multiple sclerosis: randomized controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation.* 2020;17(1):1-10