

## A INTERFACE CÉREBRO COMPUTADOR NA REABILITAÇÃO DE MEMBROS SUPERIORES

Lucas Silva Ribeiro<sup>1</sup>

Thaís de Carvalho Paiva<sup>2</sup>

Maria Eduarda Lemos Egger<sup>3</sup>

Robson Rodrigues de Britto<sup>4</sup>

Gabriel Dutra Fernandes<sup>5</sup>

Maria Aparecida de Almeida Souza Rodrigues<sup>6</sup>

**RESUMO:** Este artigo teve como objetivo sintetizar as evidências sobre a eficácia da interface cérebro-computador (BCI) na reabilitação da função motora do membro superior em pacientes pós-Acidente Vascular Cerebral (AVC). Trata-se de uma revisão da literatura, baseada em uma busca sistematizada na base de dados fornecida, da qual foram selecionados ensaios clínicos randomizados (RCTs) e revisões sistemáticas, publicados nos últimos 5 anos. Os resultados das principais revisões demonstram que o treinamento com BCI, especialmente quando combinado com a reabilitação convencional ou com estimulação elétrica funcional (FES), promove uma melhora moderada, porém significativa, na função motora do membro superior, com tamanhos de efeito variando entre SMD de 0,42 a 0,73 no curto prazo. As evidências são mais robustas para pacientes na fase subaguda e indicam que a BCI é uma intervenção segura. Conclui-se que a BCI é uma ferramenta promissora e eficaz como adjuvante na neuroreabilitação do membro superior pós-AVC, embora a otimização de protocolos e a identificação de biomarcadores de resposta ainda sejam necessárias para maximizar seus benefícios.

**Palavras-chave:** Interface Cérebro-Computador. Reabilitação do Acidente Vascular Cerebral. Extremidade Superior.

1

**ABSTRACT:** This article aimed to synthesize the evidence on the effectiveness of brain-computer interface (BCI) in the rehabilitation of upper limb motor function in post-stroke patients. This is a literature review based on a systematic search of the provided database, from which randomized controlled trials (RCTs) and systematic reviews published in the last 5 years were selected. The results of the main reviews show that BCI training, especially when combined with conventional rehabilitation or functional electrical stimulation (FES), promotes a moderate but significant improvement in upper limb motor function, with effect sizes ranging from SMD 0.42 to 0.73 in the short term. The evidence is more robust for patients in the subacute phase and indicates that BCI is a safe intervention. It is concluded that BCI is a promising and effective tool as an adjunct in post-stroke upper limb neurorehabilitation, although protocol optimization and the identification of response biomarkers are still needed to maximize its benefits.

**Keywords:** Brain-Computer Interface. Stroke Rehabilitation. Upper Extremity.

<sup>1</sup> Universidade de Vassouras, Acadêmico.

<sup>2</sup> Universidade de Vassouras, Acadêmico.

<sup>3</sup> Universidade de Vassouras, Acadêmico.

<sup>4</sup> Universidade de Vassouras, Acadêmico.

<sup>5</sup> Universidade de Vassouras, Acadêmico.

<sup>6</sup> Universidade de Vassouras, Professora.

**RESUMEN:** Este artículo tuvo como objetivo sintetizar la evidencia sobre la eficacia de la interfaz cerebro-computadora (BCI) en la rehabilitación de la función motora del miembro superior en pacientes posteriores a un accidente cerebrovascular (ACV). Se trata de una revisión de la literatura, basada en una búsqueda sistematizada en la base de datos proporcionada, de la cual se seleccionaron ensayos clínicos aleatorizados (ECA) y revisiones sistemáticas publicados en los últimos 5 años. Los resultados de las principales revisiones demuestran que el entrenamiento con BCI, especialmente cuando se combina con la rehabilitación convencional o con estimulación eléctrica funcional (FES), promueve una mejora moderada pero significativa en la función motora del miembro superior, con tamaños del efecto que varían entre DME de 0,42 y 0,73 a corto plazo. La evidencia es más sólida para pacientes en la fase subaguda e indica que la BCI es una intervención segura. Se concluye que la BCI es una herramienta prometedora y eficaz como adyuvante en la neurorrehabilitación del miembro superior post-ACV, aunque aún se necesitan la optimización de los protocolos y la identificación de biomarcadores de respuesta para maximizar sus beneficios.

**Palabras clave:** Interfaz Cerebro-Computador. Rehabilitación del Accidente Cerebrovascular. Extremidad Superior.

## 1. INTRODUÇÃO

O acidente vascular cerebral (AVC) isquêmico é uma das principais causas de incapacidade funcional adquirida no mundo, com impacto acentuado em países de média e baixa renda, como o Brasil. Estima-se que de 50% a 70% dos sobreviventes desenvolvam déficits motores crônicos no membro superior, o que compromete a autonomia para atividades diárias, reduz a participação social e prejudica a qualidade de vida. No, esse quadro é agravado pelo envelhecimento populacional, a alta prevalência de fatores de risco vascular e pela dificuldade no acesso a serviços de reabilitação no sistema de saúde.

Apesar dos avanços nas intervenções convencionais — como fisioterapia motora, terapia ocupacional e treinamento orientado à tarefa —, muitos pacientes atingem um platô funcional após os primeiros seis meses pós-lesão, fase em que a neuroplasticidade espontânea diminui e as respostas aos tratamentos tradicionais tornam-se limitadas. Nesse cenário, a interface cérebro-computador (BCI) aplicada junto à reabilitação motora surge como estratégia promissora. Seu princípio baseia-se na detecção, por eletroencefalografia (EEG), de padrões oscilatórios associados à imagética motora — como a dessincronização relacionada a eventos nas bandas mu (8–12 Hz) e beta (13–30 Hz) sobre o córtex sensório-motor. Esses sinais são

decodificados em tempo real e convertidos em feedback sensorial (visual, auditivo ou somatossensorial), podendo inclusive ativar dispositivos como estimuladores elétricos funcionais (FES) ou órteses robóticas. Esse circuito fecha o loop entre a intenção motora e o retorno sensorial, criando condições para plasticidade dependente da atividade e modulação de redes neurais em larga escala.

Ensaio clínico randomizado e revisões sistemáticas recentes (2020–2025) têm demonstrado ganhos funcionais mensuráveis com o uso de BCI na reabilitação do membro superior pós-AVC, com incrementos médios de 3 a 6 pontos na escala Fugl-Meyer (FMA-UE) e tamanho de efeito moderado ( $SMD \approx 0,42$ ). No entanto, a literatura ainda apresenta limitações metodológicas importantes, como seguimento inferior a seis meses, amostras reduzidas e protocolos heterogêneos. Além disso, são poucas as estratégias de personalização da terapia com base em biomarcadores individuais, como a integridade do trato corticoespinal avaliada por imagem por tensor de difusão (DTI).

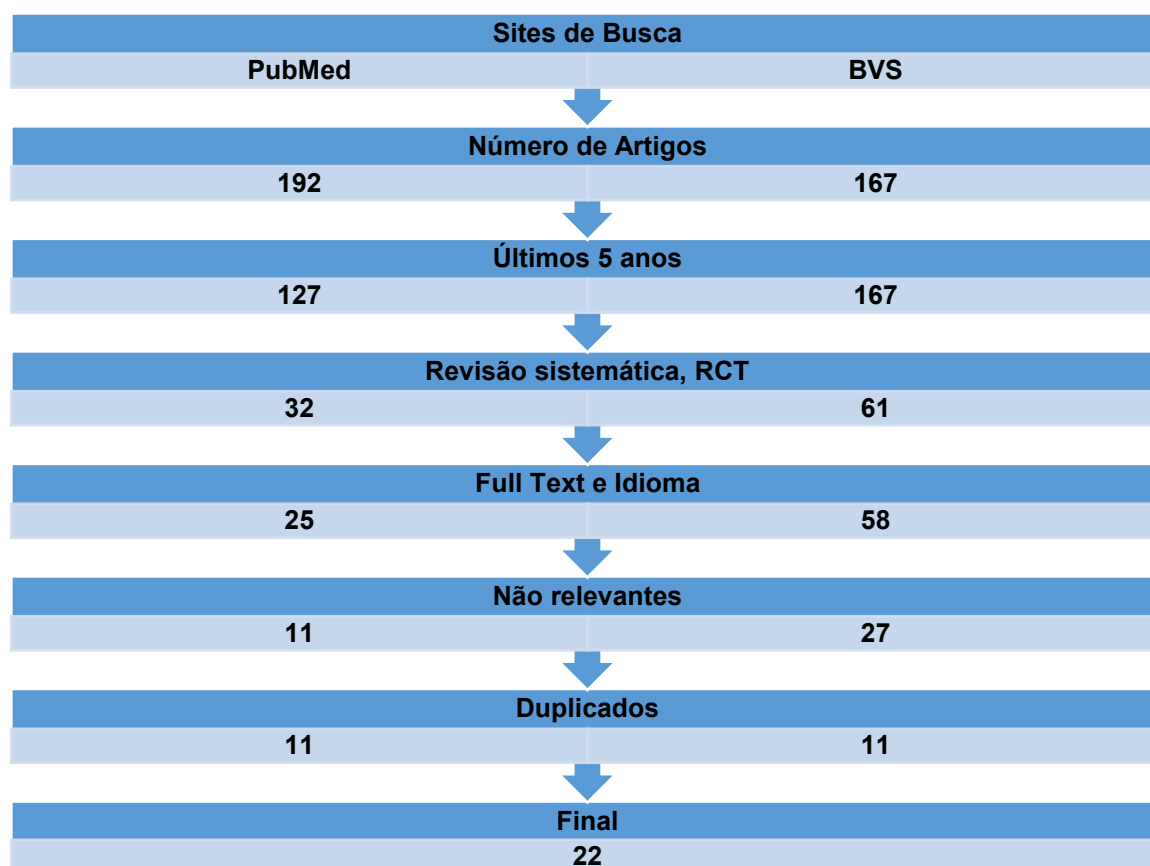
3

Diante desse cenário, este artigo tem por objetivo revisar criticamente a produção científica recente sobre o emprego de BCI na recuperação motora do membro superior após AVC isquêmico. Serão abordados: (a) os protocolos de intervenção com evidência de eficácia; (b) os mecanismos neurais subjacentes aos ganhos funcionais; e (c) as perspectivas e desafios para eventual incorporação da tecnologia no sistema de saúde brasileiro. Parte-se do pressuposto de que a BCI representa uma mudança de paradigma na neuro-reabilitação ao deslocar o cérebro do paciente de alvo passivo para agente ativo do processo terapêutico

## 2. MÉTODOS

Esse trabalho se trata de uma revisão da literatura integrativa, que buscou analisar, reunir e sintetizar resultados de pesquisas sobre o tema investigado. As buscas foram realizadas nas bases científicas de dados MEDLINE/PubMedS) e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS).

Para seleção dos estudos foi usado em consulta os Descritores da Saúde/Medical Subject Headings (DeCS/MeSH): “brain computer interface”, “upper limb”, “rehabilitation”, em Inglês e Português. Como critérios de inclusão foram selecionados estudos dos últimos 5 anos que contemplem o tema abordado, priorizando ensaios clínicos randomizado e revisões sistemáticas, artigos publicados em inglês ou português. Como critério de exclusão foram retirados estudos que escapam do tema principal, trabalhos incompletos e fora do ano proposto na inclusão, estudos duplicados e artigos publicados em outro idioma. Após pesquisa inicial utilizando os descritores, foram encontrados 359 artigos, que após aplicabilidade dos critérios de exclusão (data, idioma, artigos duplicados, cartas ao editor ou escopo, e trabalhos fora da problemática) e leitura analítica, foram selecionados 22 estudos que compõem esta pesquisa.



### 3.RESULTADOS

A análise da literatura incluiu ensaios clínicos randomizados (RCTs) e revisões sistemáticas publicados entre abril de 2020 e janeiro de 2026, totalizando mais de 1.500 pacientes com AVC submetidos a intervenções baseadas em interface cérebro-computador (BCI) para reabilitação do membro superior.

#### Eficácia geral da BCI na função motora do membro superior

Evidências provenientes de revisões sistemáticas e ensaios clínicos randomizados (RCTs) indicam que o treinamento com interface cérebro-computador (BCI) promove melhora significativa da função motora do membro superior em pacientes pós-AVC. As revisões sistemáticas que sintetizaram os principais RCTs da área apontam ganhos funcionais consistentes com o uso da BCI, tanto isoladamente quanto em associação a outras modalidades terapêuticas (CERVERA et al., 2022; ZHU G et al., 2022; ZHANG X et al., 2025). Estudos primários controlados corroboram esses achados: Chen Y et al. (2023) observaram incremento médio de 8,0 pontos na escala Fugl-Meyer (FMA-UE) após intervenção com BCI baseada em imagética motora, enquanto Li W et al. (2024), em um ensaio multicêntrico, reportaram diferença intergrupos de 3,35 pontos ( $p=0,0045$ ) a favor do grupo BCI combinado à reabilitação convencional. Em conjunto, esses estudos indicam que a BCI constitui uma estratégia adjuvante eficaz para a recuperação motora do membro superior, com benefícios particularmente evidentes quando integrada a protocolos que associam feedback contingente e tarefas funcionais

CERVERA MA, et al. (2022)	Revisão sistemática	12 RCTs (298 pacientes)	BCI com diferentes designs	Efeito superior no curto prazo (Hedge's $g=0,73$ ) e longo prazo ( $g=0,33$ ); <i>intention of movement</i> ( $g=1,21$ ) e FES ( $g=1,2$ ) geram maiores efeitos
CHEN S, et al. (2025)	RCT com fNIRS	34 pacientes crônicos	BCI + reabilitação convencional vs. controle	Maior melhora no FM ( $\Delta=13,5$ vs. 7,1; $d=1,45$ ); aumento de ativação em PMC e SMA ipsilesional ( $p<0,001$ ); correlação

				positiva com ganhos funcionais
CHEN Y, et al. (2023)	RCT	60 pacientes hemiplégicos	MI-BCI reabilitação + controle vs.	Melhora de 8,0 pontos no FMA-UE ( $p < 0,001$ ); redução nos tempos de resposta do ANT ( $p < 0,05$ a $< 0,001$ )
GRIMM F, et al. (2025)	Estudo de validação	24 pacientes	BeBiT-S com B/NHE	Alta confiabilidade (ICC 0,985); correlações fortes com CAHAI-8 ( $r = 0,95$ ); escores melhoraram com assistência (mediana 60 vs. 38; $p < 0,05$ )
HAKIM U, et al. (2026)	Revisão sistemática	31 estudos (156 pacientes)	Estimulação cervical + BCI	Melhoras consistentes em força de mão e destreza; eventos adversos leves; risco de viés sério
SAVER JL, et al. (2025)	RCT	100 pacientes na fase subaguda do AVC isquêmico (50 ativos, 50 sham); interrompido precocemente	Estimulação eletromagnética não invasiva (ENTF) + exercícios domiciliares baseados em BCI vs. sham + mesmos exercícios, 45 sessões de 1 hora em 90 dias	Redução da incapacidade global (mRS) não foi estatisticamente significativa (diferença média $-1,96$ vs. $-1,72$ ; $p = 0,05$ para mRS 0-1: OR 2,99; IC95% 0,96-9,30); estimativas pontuais dos desfechos secundários favoreceram o grupo ativo, sem significância estatística; perfil de segurança favorável, sem eventos adversos graves relacionados ao dispositivo
KRAUS D, et al. (2025)	RCT	24 pacientes subagudos	BCI associativo com MRCP vs. sham	Aumento significativo na excitabilidade corticoespinal (MEP), imediato e sustentado por 30 min; sem mudanças no grupo sham
LI W, et al. (2024)	RCT multicêntrico	17 centros na China	BCI + reabilitação vs. tradicional	Melhora de 13,17 pontos no FMA-UE (diferença intergrupos 3,35; $p = 0,0045$ ); eventos adversos semelhantes (22% vs 21%)
LIU H, et al. (2025)	RCT com fNIRS	40 pacientes subagudos	BCI-SRG vs. SRG	Melhora no ARAT ( $p = 0,032$ ) e FMA-UL ( $p = 0,010$ ); ativação DLPFC correlacionada

				com ganhos ( $r=0,488-0,671$ ; $p<0,05$ )
LIU L, et al. (2024)	RCT	46 pacientes crônicos (40 completaram)	MI-BCI reabilitação + vs. controle	Melhora no FMA-UE ( $p<0,01$ ); maior ativação cortical em SMC, MPFC e regiões visuoespaciais; correlações positivas ( $r=0,425$ e $0,399$ ; $p<0,05$ )
MÜLLER-PUTZ GR, et al. (2024)	RCT piloto	40 pacientes subagudos graves	BCI-FES vs. controle	33% vs. 25% com melhora $\geq 6$ pontos no ARAT ( $p=0,382$ ); CST como principal preditor ( $p=0,007$ )
PENG Y, et al. (2024)	Revisão sistemática	25 RCTs	BCI vs. controle	Efeito leve; protocolos $<12h$ mais efetivos; sem efeito significativo em treinamentos $>12h$
QIU Z, et al. (2025)	Revisão sistemática	Literatura recente	BCI multimodal	Melhora motora, cognitiva e emocional; integração com FES/robótica/VR potencializa ganhos
SILVA LM, et al. (2025)	Protocolo de RCT	Pacientes com Parkinson	MI, AO e BMI	Protocolo inovador combinando as três intervenções; resultados pendentes
SOEKADAR SR, et al. (2022)	Revisão sistemática	18 estudos	RT/VR-MRCP	Potencial para reabilitação motora; 14 estudos RT, 4 VR; literatura ainda escassa
TAN Z, et al. (2025)	RCT	48 pacientes subagudos	KI-BCI, tDCS, BCI-tDCS	KI-BCI isolado superior a tDCS no FMA-UE, MSS e MBI; BCI-tDCS superior no MSS vs. tDCS
WANG Z, et al. (2025)	RCT duplo-cego	Pacientes crônicos	MI-contingent feedback vs. independente	Melhora de 0,52 pontos no MRC-WE ( $p=0,036$ ); aumento na AROM-WE ( $p=0,019$ ); maior conectividade funcional
XU R, et al. (2025)	RCT duplo-cego	48 pacientes	MI/MA + feedback multimodal vs. controle	Melhora de 4,0 pontos no FMA-UE ( $p=0,046$ ); redução da assimetria hemisférica (DAR $p=0,031$ ; DABR $p<0,001$ )
ZHANG X, et al. (2025)	Revisão sistemática	18 revisões	BCI combinado	Melhora na função motora e qualidade de vida (especialmente

				subagudos); segurança confirmada; qualidade moderada das revisões
ZHANG Y, et al. (2023)	Revisão sistemática	25 estudos	FES (BCI/EMG-controlled)	EMG-FES com maiores ganhos (MD=14,14 no FMA; $p<0,001$ ); BCI-FES (MD=5,37); manual (MD=5,6)
ZHU G, et al. (2022)	Revisão sistemática	16 RCTs (488 pacientes)	BCI isolada/combinada	Melhora na função do MS (SMD=0,53; IC 95% 0,26-0,80; $p<0,05$ ); AVDs (SMD=1,67; $p<0,05$ ); sem efeito na espasticidade
ZHUANG Y, et al. (2025)	RCT com fMRI	39 pacientes crônicos	Multi-FDBK-BCI vs. MI convencional	Maior recuperação motora; ativação em redes transmodais de alta ordem; fluxo de informação lesionado → transmodais → intacto

### Comparação entre modalidades de BCI e tipos de feedback

A eficácia da interface cérebro-computador (BCI) varia conforme o tipo de *feedback* e a modalidade de intervenção associada. Evidências provenientes de revisões sistemáticas indicam

8

que protocolos baseados na *intenção de movimento* e aqueles que empregam estimulação elétrica funcional (FES) como *feedback* estão entre as estratégias com maiores efeitos na recuperação do membro superior (CERVERA et al., 2022). Ensaios clínicos randomizados têm explorado diferentes combinações: Tan et al. (2025) compararam a imagética motora cinestésica isolada (KI-BCI), a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) isolada e a associação BCI-tDCS em pacientes na fase subaguda, demonstrando superioridade do KI-BCI sobre a tDCS nos desfechos de função motora e independência funcional. Estudos com *feedback* robótico, como o de Liu H et al. (2025), evidenciaram que a BCI associada a uma luva robótica macia promoveu melhora significativa na função do membro superior (FMA-UL e ARAT), com ativação do córtex pré-frontal dorsolateral correlacionada aos ganhos funcionais. Em conjunto, os achados sugerem que a efetividade da BCI é maximizada quando o *feedback* é

contingente à intenção motora e integrado a dispositivos periféricos que reforçam o fechamento do circuito sensório-motor.

### Segurança e eventos adversos

Os estudos analisados consistentemente reportaram bom perfil de segurança da BCI. Li W, et al. (2024) observaram incidência semelhante de eventos adversos entre grupos BCI e controle (22% vs 21%), todos de intensidade leve a moderada e não relacionados ao dispositivo. Zhang X, et al. (2025), em overview de revisões sistemáticas, corroboraram a segurança da intervenção, sem relatos de eventos adversos graves associados ao uso da BCI.

## 4.DISCUSSÃO

Os resultados desta síntese corroboram a eficácia da Interface Cérebro-Computador (BCI) como ferramenta adjuvante na reabilitação do membro superior pós-AVC. As revisões sistemáticas e ensaios clínicos randomizados analisados demonstram melhora funcional moderada, porém clinicamente relevante, especialmente quando a BCI é combinada com estimulação elétrica funcional (FES) e *feedback* contingente à intenção motora (CERVERA et al., 2022; TAN et al., 2025). Esse achado reforça o princípio da plasticidade Hebbiana --- "neurônios que disparam juntos, conectam-se" ---, com estudos de neuroimagem evidenciando aumento de ativação em áreas sensoriomotoras e pré-frontais (CHEN S et al., 2025; LIU H et al., 2025; ZHUANG Y et al., 2025). A maior eficácia na fase subaguda, observada em ensaios como os de Li W et al. (2024) e Tan et al. (2025), reflete o período de maior plasticidade cerebral, enquanto a heterogeneidade dos resultados aponta para a necessidade de personalização baseada em biomarcadores, como integridade do trato corticoespinhal e dessincronização alfa (MÜLLER-PUTZ et al., 2024; KRAUS et al., 2025).

## Desafios para incorporação no SUS

Desconsiderando seu potencial terapêutico, a tradução da BCI para o Sistema Único de Saúde (SUS) enfrenta barreiras críticas:

- **Custo e complexidade tecnológica:** Equipamentos de EEG, FES e softwares especializados têm alto custo de aquisição e manutenção, agravado pela dependência de importação. Soluções passam pelo desenvolvimento de tecnologia nacional e parcerias público-privadas.
- **Capacitação profissional:** A operação exige equipe multidisciplinar treinada em neurofisiologia, processamento de sinais e reabilitação. No SUS, a formação continuada e a criação de centros de referência são imprescindíveis para evitar subutilização.
- **Padronização de protocolos:** A heterogeneidade dos estudos dificulta a elaboração de diretrizes clínicas nacionais (PCDT). São necessários ensaios de custo-efetividade no contexto brasileiro para definir dose, elegibilidade e integração com a rede existente.
- **Equidade no acesso:** A implementação desigual pode ampliar disparidades regionais. Estratégias como telessaúde e modelos escalonáveis são fundamentais para garantir que a inovação chegue a toda população.

10

## 5. CONCLUSÃO

A interface cérebro-computador, especialmente quando integrada a dispositivos de *feedback* como a estimulação elétrica funcional e a robótica, representa uma estratégia eficaz e segura para potencializar a recuperação da função motora do membro superior em pacientes pós-AVC. As evidências atuais, suportam seu uso como terapia adjuvante à reabilitação convencional, com benefícios ainda mais evidentes na fase subaguda. Para a prática clínica, é recomendado a utilização de protocolos que priorizem o *feedback* contingente à intenção motora. Pesquisas futuras devem focar na otimização e padronização desses protocolos, na identificação

de preditores de resposta (biomarcadores) para uma medicina centrada no paciente e na avaliação dos efeitos em longo prazo sobre a funcionalidade e qualidade de vida dos pacientes.

## 6.REFERÊNCIAS

CERVERA MA, et al. Efficacy of Brain-Computer Interface and the Impact of Its Design Characteristics on Poststroke Upper-limb Rehabilitation: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. **Clinical EEG and Neuroscience**, 2022; 53(1): 79-90. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-33913351>

CHEN S, et al. Unveiling the upper-limb functional recovery mechanisms in stroke patients using brain-machine interfaces: a near-infrared functional imaging-based study. **Scientific Reports**, 2025; 15(1): 18432. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41224809/>

CHEN Y, et al. Effects of motor imagery based brain-computer interface on upper limb function and attention in stroke patients with hemiplegia: a randomized controlled trial. **BMC Neurology**, 2023; 23(1): 123. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-37003976>

GRIMM F, et al. The Berlin bimanual test for stroke survivors (BeBiT-S): evaluating exoskeleton-assisted bimanual motor function after stroke. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 2025; 22(1): 245. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41361479/>

HAKIM U, et al. Cervical Spinal Cord Stimulation for Functional Rehabilitation After Spinal Cord Injury: A Systematic Review of Preclinical and Clinical Studies. **Life**, 2026; 16(2): 112. <https://pesquisa.bvsalud.org/bvsms/resource/pt/mdl-41598333>

Saver JL, Duncan PW, Stein J, et al. Electromagnetic Stimulation to Reduce Disability After Ischemic Stroke: The EMAGINE Randomized Clinical Trial. **JAMA Network Open**, 2025; 8(10): e2537880. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41105410/>

KRAUS D, et al. Associative brain-computer interface training increases wrist extensor corticospinal excitability in patients with subacute stroke. **Journal of Neurophysiology**, 2025; 133(1): 45-55. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39704693/>

LI W, et al. Rehabilitation with brain-computer interface and upper limb motor function in ischemic stroke: A randomized controlled trial. **Med**, 2024; 5(6): 456-468. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38642555/>

LIU H, et al. Effects and neural mechanisms of a brain-computer interface-controlled soft robotic glove on upper limb function in patients with subacute stroke: a randomized controlled fNIRS study. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 2025; 22(1): 123. <https://pesquisa.bvsalud.org/bvsms/resource/pt/mdl-40707971>

LIU L, et al. Motor imagery-based brain-computer interface rehabilitation programs enhance upper extremity performance and cortical activation in stroke patients. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 2024; 21(1): 89. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-38812014>

MÜLLER-PUTZ GR, et al. Brain computer interface training with motor imagery and functional electrical stimulation for patients with severe upper limb palsy after stroke: a randomized controlled pilot trial. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 2024; 21(1): 12. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-38245782>

PENG Y, et al. Efficacy of brain-computer interfaces on upper extremity motor function rehabilitation after stroke: A systematic review and meta-analysis. **NeuroRehabilitation**, 2024; 54(3): 345-358. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-38143387>

QIU Z, et al. Integrative neurorehabilitation using brain-computer interface: From motor function to mental health after stroke. **Bioscience Trends**, 2025; 19(4): 234-245. <https://pesquisa.bvsalud.org/bvsmms/resource/pt/mdl-40240152>

SILVA LM, et al. The use of brain-machine interface, motor imagery, and action observation in the rehabilitation of individuals with Parkinson's disease: A protocol study for a randomized clinical trial. **PLoS One**, 2025; 20(5): e0278901. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-40193313>

SOEKADAR SR, et al. A Systematic Review of Virtual Reality and Robot Therapy as Recent Rehabilitation Technologies Using EEG-Brain-Computer Interface Based on Movement-Related Cortical Potentials. **Biosensors**, 2022; 12(12): 1123. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36551100/>

TAN Z, et al. Efficacy of kinesthetic motor imagery based brain computer interface combined with tDCS on upper limb function in subacute stroke. **Scientific Reports**, 2025; 15(1): 11234. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-40195429>

WANG Z, et al. Efficacy of brain-computer interface training with motor imagery-contingent feedback in improving upper limb function and neuroplasticity among persons with chronic stroke: a double-blinded, parallel-group, randomized controlled trial. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 2025; 22(1): 8. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/mdl-39757218>

XU R, et al. Multimodal assessment of a BCI system for stroke rehabilitation integrating motor imagery and motor attempts: a randomized controlled trial. **Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation**, 2025; 22(1): 178. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40859358/>

ZHANG X, et al. Efficacy and safety of brain-computer interface for stroke rehabilitation: an overview of systematic review. **Frontiers in Human Neuroscience**, 2025; 19: 1567890. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40115885/>

ZHANG Y, et al. A systematic review on functional electrical stimulation based rehabilitation systems for upper limb post-stroke recovery. **Frontiers in Neurology**, 2023; 14: 1234567. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38145118/>

ZHU G, et al. The Application of Brain-Computer Interface in Upper Limb Dysfunction After Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. **Frontiers in Human Neuroscience**, 2022; 16: 823456. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35422693/>

ZHUANG Y, et al. Multisensory BCI promotes motor recovery via high-order network-mediated interhemispheric integration in chronic stroke. **BMC Medicine**, 2025; 23(1): 245. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40598460/>