

O USO DA INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA NA REABILITAÇÃO DE IDOSOS QUE SOFRERAM ACIDENTE VASCULAR ENCEFÁLICO: UMA REVISÃO DE ESCOPO

BRAIN-MACHINE INTERFACE USE IN THE REHABILITATION OF ELDERLY PEOPLE AFTER STROKE: A SCOPING REVIEW

Rafael Vieira de Menezes ^{1*}; Alice Beatriz Soares Pereira ¹; Emilly Maria Lima de Sá ¹; Gabriel Bernardes Rigueira ¹; Julia Luna Beltrão Pereira Neto ¹; Lauana Beatriz Ferreira Silva ¹; Hugo Rafael de Souza e Silva ²

1. Universidade de Pernambuco (UPE), Medical Student. 2. Enfermeiro, PhD em psiquiatria e psicologia médica (EPM/UNIFESP), Professor da Universidade de Pernambuco (UPE).

* rafael.vmenezes@upe.br

Editor Associado: Rafaela Schelbauer

RESUMO

INTRODUÇÃO: A Interface Cérebro-Máquina (ICM) é uma tecnologia emergente que permite a comunicação direta entre o cérebro e dispositivos externos, interpretando sinais neurais e os convertendo em comandos para executar movimentos, oferecendo novas possibilidades para a reabilitação de pacientes, especialmente idosos, que sofreram Acidente Vascular Encefálico (AVE). O AVE caracteriza-se pela interrupção do fluxo sanguíneo cerebral, podendo ser classificado em dois tipos principais: isquêmico e hemorrágico. Ambos resultam em danos neurológicos significativos e, muitas vezes, em sequelas motoras permanentes que comprometem a qualidade de vida dos sobreviventes, sendo uma das principais causas de morte e incapacidade entre idosos em todo o mundo. Entretanto, a eficiência da ICM não está totalmente esclarecida na literatura. Assim, elaborou-se uma revisão de escopo visando mapear e sintetizar as evidências científicas sobre os efeitos do uso da ICM na reabilitação de idosos que sofreram AVE. **METODOLOGIA:** seguiu-se o protocolo PRISMA-ScR e a condução desse estudo procedeu-se em 5 etapas: 1- elaboração da pergunta de pesquisa de acordo com o método População, Contexto, Conceito - PCC; 2- seleção das bases de dados e definição dos termos e estratégias de busca; 3- exportação dos estudos ao gerenciador Rayyan, estabelecendo-se critérios de elegibilidade; 4- seleção dos artigos por dois revisores cegados/independentes; 5- elaboração da planilha com as evidências encontradas. **RESULTADO:** Incluíram-se nesta revisão 34 estudos que analisaram o uso da ICM na reabilitação de idosos pós AVE. Evidenciou-se o potencial das ICMs em promover melhorias funcionais, reorganizações neurais e avanços tecnológicos no campo da reabilitação. **DISCUSSÃO:** A ICM mostra-se como uma alternativa na reabilitação de pacientes geriátricos pós AVE, mas existem lacunas nos estudos analisados que

dificultam tirar conclusões definitivas. **CONCLUSÃO:** A utilização da ICM mostrou-se útil para melhorar a qualidade de vida dos pacientes. Porém, a elaboração de novos estudos se faz necessária para elucidar esse tema.

PALAVRAS-CHAVE: *Interface Cérebro-Máquina; Aplicação terapêutica; Reabilitação; Idosos; Acidente Vascular Encefálico.*

ABSTRACT

INTRODUCTION: The Brain-Machine Interface (BMI) is an emerging technology that allows direct communication between the brain and external devices, interpreting neural signals and converting them into commands to execute movements, offering new possibilities for the rehabilitation of patients, especially the elderly, who have suffered a stroke. Stroke is characterized by the interruption of cerebral blood flow and can be classified into two main types: ischemic and hemorrhagic. Both result in significant neurological damage and, often, permanent motor sequelae that compromise the quality of life of survivors, and are one of the main causes of death and disability among the elderly worldwide. However, the efficiency of BMI is not fully understood in the literature. Therefore, a scoping review was prepared to map and synthesize the scientific evidence on the efficiency of using BMI in the rehabilitation of elderly people who have suffered a stroke. **METHODOLOGY:** The PRISMA-ScR protocol was followed, and this study was conducted in 5 stages: 1- elaboration of the research question according to the Population, Context, Concept (PCC) method; 2- selection of databases and definition of search terms and strategies; 3- export of studies to the Rayyan manager, establishing eligibility criteria; 4- selection of articles by two blinded/independent reviewers; 5- preparation of the spreadsheet with the evidence found. **RESULTS:** 34 studies that analyzed the use of ICM in the rehabilitation of elderly patients after stroke were included in this review. More than 70% of the participants had significant improvements in motor function. **DISCUSSION:** Based on the results, ICM appears to be an alternative in the rehabilitation of geriatric patients after stroke, but there are gaps in the studies analyzed that make it difficult to draw definitive conclusions. **CONCLUSION:** The use of ICM proved to be useful in improving the quality of life of patients. However, new studies are needed to elucidate this issue.

KEYWORDS: *Brain-Machine Interface; therapeutic application; Rehabilitation; Elderly; Stroke.*

INTRODUÇÃO

O Acidente Vascular Encefálico (AVE) é uma das principais causas de incapacidade e mortalidade entre idosos em todo o mundo, sendo um problema de saúde pública crescente devido ao envelhecimento populacional¹. No Brasil, somente em 2020, foram registradas 99.010 mortes por AVE, de acordo com o Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM) do Ministério da Saúde. Esse órgão também aponta que o AVE é uma condição multifatorial, caracterizada pela interrupção do fluxo sanguíneo cerebral, podendo ser classificado em dois tipos principais: isquêmico, que ocorre em cerca de 85% dos casos, e hemorrágico, responsável por aproximadamente 15% dos casos². Ambos os tipos resultam em danos neurológicos significativos e, muitas vezes, em sequelas motoras permanentes que comprometem a qualidade de vida dos sobreviventes².

A recuperação pós-AVE representa um desafio complexo, sobretudo entre os idosos, uma vez que essa população frequentemente apresenta comorbidades e sofre com a redução da plasticidade neural associada ao envelhecimento. Como consequência, a maioria dos pacientes que sobrevive a um AVE enfrenta graus variados de deficiência, como paralisia parcial ou total, o que compromete, significativamente, suas atividades diárias e sua independência¹. Nesse contexto, avanços tecnológicos têm desempenhado um papel crucial na busca por soluções inovadoras que possam melhorar a reabilitação e a qualidade de vida desses pacientes³.

Entre essas inovações, a Interface Cérebro-Máquina se destaca como uma tecnologia emergente no campo da reabilitação neurológica. A ICM permite a comunicação direta entre o cérebro e dispositivos externos, como próteses robóticas e sistemas de estimulação elétrica funcional, interpretando sinais neurais e convertendo-os em comandos para execução de movimentos. Essa tecnologia oferece novas possibilidades para a reabilitação de pacientes com comprometimento motor severo, promovendo a recuperação da mobilidade e proporcionando maior autonomia, especialmente em populações vulneráveis, como os idosos que sofreram AVE³.

A utilização da ICM na reabilitação pós-AVE é particularmente promissora devido à sua capacidade de promover neuroplasticidade e facilitar a recuperação motora⁴. No entanto, sua implementação em idosos enfrenta desafios relacionados ao declínio cognitivo e motor associado ao envelhecimento. Estudos indicam que, com a idade, há perdas na memória, velocidade de processamento e atenção⁵, funções essenciais para o aprendizado e controle da ICM⁶. No aspecto motor, a redução da força e da coordenação⁷ pode dificultar o envolvimento ativo necessário para algumas ICMs, especialmente aquelas que requerem que o paciente tente mover-se ativamente⁸. Além disso, a implementação dessas tecnologias enfrenta barreiras de custo no Brasil, a citar o limitado investimento do país em ciência e tecnologia⁹.

Portanto, esta revisão de escopo tem como objetivo mapear e sintetizar as evidências científicas sobre o uso da Interface Cérebro-Máquina na reabilitação de idosos que sofreram acidente vascular encefálico. Serão discutidas as principais aplicações, efeitos, limitações e possíveis desafios desta tecnologia, com foco em sua viabilidade para a população idosa. A partir desta análise, espera-se identificar lacunas no conhecimento atual e oferecer direções para futuras pesquisas e práticas clínicas.

OBJETIVOS

O presente estudo consiste em uma revisão de escopo conduzida de acordo com o protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews, o PRISMA-ScR¹⁰. Esse guideline é composto por 22 itens obrigatórios que orientam a elaboração de revisões dessa natureza. A escolha da revisão de escopo como método de pesquisa se deu pela sua capacidade de permitir a sumarização das evidências e a identificação de lacunas científicas na literatura sobre determinado assunto, bem como permitir a elucidação das características do campo teórico proposto, oferecendo uma visão abrangente das evidências disponíveis.

METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão de escopo conduzida de acordo com o protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews, o PRISMA-ScR¹⁰. Esse guideline é composto por 22 itens obrigatórios que orientam a elaboração de revisões dessa natureza. A escolha da revisão de escopo como método de pesquisa se deu pela sua capacidade de permitir a sumarização das evidências e a identificação de lacunas científicas na literatura sobre determinado assunto, bem como permitir a elucidação das características do campo teórico proposto, oferecendo uma visão abrangente das evidências disponíveis.

ESTRATÉGIA DE BUSCA

Para a elaboração da pergunta de pesquisa, utilizou-se a estratégia PCC. Com base nela foi elaborada a seguinte pergunta de pesquisa: “Quais as aplicações da interface cérebro-máquina no processo de reabilitação de idosos que sofreram Acidente Vascular Encefálico?” P (pacientes) - Idosos que sofreram Acidente Vascular Encefálico; C (conceito) - Aplicações da interface cérebro-máquina na reabilitação pós-AVE; C (contexto) - Reabilitação de idosos que sofreram Acidente Vascular Encefálico.

As bases de dados incluídas na identificação de estudos potencialmente relevantes foram quatro: Pubmed, Embase, Biblioteca Virtual de Saúde (BVS) e Web of Science. A partir disso, os termos de busca foram definidos com base nos critérios da National Library of Medicine (NIH), que utiliza descritores controlados do tipo MeSH terms (Medical Subject Headings) para indexação de diferentes tipos materiais científicos. Tais termos, associados aos operadores booleanos, compuseram a seguinte estratégia de busca: ("Brain-Computer Interfaces" OR "Brain Computer Interface" OR "Brain Computer Interfaces" OR "Brain Machine Interface" OR "Brain Machine Interfaces" OR "Brain-Computer Interface" OR "Brain-Machine Interface" OR "Brain-Machine Interfaces" OR "Interface, Brain-Computer" OR "Interfaces, Brain-Computer" OR "Machine Interface, Brain") AND ("Stroke" OR "Acute Cerebrovascular Accident" OR "Acute Cerebrovascular Accidents" OR "Acute Stroke" OR "Acute Strokes" OR "Apoplexy" OR "Apoplexy, Cerebrovascular" OR "Brain Vascular Accident" OR "Brain Vascular Accidents" OR "Cerebral Stroke" OR "Cerebral Strokes" OR "Cerebrovascular Accident" OR "Cerebrovascular Accident, Acute" OR "Cerebrovascular Accidents" OR "Cerebrovascular Accidents, Acute" OR "Cerebrovascular Apoplexy" OR "Cerebrovascular Stroke" OR "Cerebrovascular Strokes" OR "CVA (Cerebrovascular Accident)" OR "Stroke, Acute" OR "Stroke, Cerebral" OR "Stroke, Cerebrovascular" OR "Strokes" OR "Strokes, Acute" OR "Strokes, Cerebral" OR "Strokes, Cerebrovascular" OR "Hemorrhagic Stroke" OR "Ischaemic Stroke" OR "Ischaemic Strokes") AND (Aged OR Elderly OR "Aged, 80 and over" OR "Frail Elderly"), que foi aplicada para a redação da estratégia de busca nas bases de dados PubMed, Embase e Web of Science. Para a BVS, a estratégia de busca foi adaptada da seguinte maneira: ("Brain-Computer Interfaces" OR "Brain Computer Interface" OR "Brain Computer Interfaces" OR "Brain Machine Interface" OR "Brain Machine Interfaces" OR "Brain-Computer Interface" OR "Brain-Machine Interface" OR "Brain-

Machine Interfaces" OR "Interface, Brain-Computer" OR "Interfaces, Brain-Computer" OR "Machine Interface, Brain") AND ("Stroke" OR "Acute Cerebrovascular Accident" OR "Acute Cerebrovascular Accidents" OR "Acute Stroke" OR "Acute Strokes" OR "Apoplexy" OR "Apoplexy, Cerebrovascular" OR "Brain Vascular Accident" OR "Brain Vascular Accidents" OR "Cerebral Stroke" OR "Cerebral Strokes" OR "Cerebrovascular Accident" OR "Cerebrovascular Accident, Acute" OR "Cerebrovascular Accidents" OR "Cerebrovascular Accidents, Acute" OR "Cerebrovascular Apoplexy" OR "Cerebrovascular Stroke" OR "Cerebrovascular Strokes" OR "CVA (Cerebrovascular Accident)" OR "Stroke, Acute" OR "Stroke, Cerebral" OR "Stroke, Cerebrovascular" OR "Strokes" OR "Strokes, Acute" OR "Strokes, Cerebral" OR "Strokes, Cerebrovascular" OR "Hemorrhagic Stroke" OR "Hemorrhage Stroke, Intracerebral" OR "Hemorrhagic Stroke, Intracerebral" OR "Hemorrhagic Stroke, Subarachnoid" OR "Hemorrhagic Strokes" OR "Intracerebral Hemorrhage Stroke" OR "Intracerebral Hemorrhagic Stroke" OR "Intracerebral Hemorrhagic Strokes" OR "Stroke, Hemorrhagic" OR "Stroke, Intracerebral Hemorrhage" OR "Stroke, Intracerebral Hemorrhagic" OR "Subarachnoid Hemorrhagic Stroke" OR "Subarachnoid Hemorrhagic Strokes" OR "Stroke, Lacunar" OR "Infarct, Lacunar" OR "Infarction, Lacunar" OR "Infarctions, Lacunar" OR "Infarcts, Lacunar" OR "Lacunar Infarct" OR "Lacunar Infarction" OR "Lacunar Infarctions" OR "Lacunar Infarcts" OR "Lacunar Stroke" OR "Lacunar Strokes" OR "Lacunar Syndrome" OR "Lacunar Syndromes" OR "Strokes, Lacunar" OR "Syndrome, Lacunar" OR "Syndromes, Lacunar" OR "Stroke Rehabilitation" OR "Rehabilitation, Stroke" OR "Cerebral Infarction" OR "Anterior Choroidal Artery Infarction" OR "Cerebral Infarct" OR "Cerebral Infarctions" OR "Cerebral Infarcts" OR "Infarct, Cerebral" OR "Infarction, Cerebral" OR "Infarction, Subcortical" OR "Infarctions, Cerebral" OR "Infarctions, Subcortical" OR "Infarcts, Cerebral" OR "Posterior Choroidal Artery Infarction" OR "Right Hemisphere, Cerebral Infarction" OR "Subcortical Infarction" OR "Subcortical Infarctions" OR "Embollic Stroke" OR "Cardio embolic Stroke" OR "Cardio-embolic Stroke" OR "Cardio-embolic Strokes" OR "Cardioembolic Stroke" OR "Cardioembolic Strokes" OR "Embollic Strokes" OR "Stroke, Cardio-embolic" OR "Stroke, Cardioembolic" OR "Stroke, Embolic" OR "Strokes, Cardioembolic" OR "Strokes, Embolic" OR "Ischaemic Stroke" OR "Acute Ischaemic Stroke" OR "Acute Ischaemic Strokes" OR "Cryptogenic Embolism Stroke" OR "Cryptogenic Ischaemic Stroke" OR "Cryptogenic Ischaemic Strokes" OR "Cryptogenic Stroke" OR "Cryptogenic Strokes" OR "Ischaemic Stroke" OR "Ischaemic Strokes" OR "Ischaemic Stroke, Acute" OR "Ischaemic Stroke, Cryptogenic" OR "Ischaemic Strokes" OR "Stroke, Acute Ischaemic" OR "Stroke, Cryptogenic" OR "Stroke, Ischaemic" OR "Stroke, Ischaemic" OR "Stroke, Wake-up" OR "Wake up Stroke" OR "Wake-up Stroke" OR "Wake-up Strokes") AND (Aged OR Elderly), por meio da utilização de descritores DECS (Descritores em Saúde). As estratégias de busca utilizadas para cada base de dados estão explicitadas na Tabela 1.

TABELA 1. Estratégias de busca e quantidade de artigos captados para cada base de dados

Base de Dados	Estratégia de busca	Número de Resultados
PUBMED (MeSH terms)	("Brain-Computer Interfaces" OR "Brain Computer Interface" OR "Brain Computer Interfaces" OR "Brain Machine Interface" OR "Brain Machine Interfaces" OR "Brain-Computer Interface" OR "Brain-Machine Interface" OR "Brain-Machine Interfaces" OR "Interface, Brain-Computer" OR "Interfaces, Brain-Computer" OR "Machine Interface, Brain") AND ("Stroke" OR "Acute Cerebrovascular Accident" OR "Acute Cerebrovascular Accidents" OR "Acute Stroke" OR "Acute Strokes" OR "Apoplexy" OR "Apoplexy, Cerebrovascular" OR "Brain Vascular Accident" OR "Brain Vascular Accidents" OR "Cerebral Stroke" OR "Cerebral Strokes" OR "Cerebrovascular Accident" OR "Cerebrovascular Accident, Acute" OR "Cerebrovascular Accidents" OR "Cerebrovascular Accidents, Acute" OR "Cerebrovascular Apoplexy" OR "Cerebrovascular Stroke" OR "Cerebrovascular Strokes" OR "CVA (Cerebrovascular Accident)" OR "Stroke, Acute" OR "Stroke, Cerebral" OR "Stroke, Cerebrovascular" OR "Strokes" OR "Strokes, Acute" OR "Strokes, Cerebral" OR "Strokes, Cerebrovascular" OR "Hemorrhagic Stroke" OR "Hemorrhage Stroke, Intracerebral" OR "Hemorrhagic Stroke, Intracerebral" OR "Hemorrhagic Stroke, Subarachnoid" OR "Hemorrhagic Strokes" OR "Intracerebral Hemorrhage Stroke" OR "Intracerebral Hemorrhagic Stroke" OR "Intracerebral Hemorrhagic Strokes" OR "Stroke, Hemorrhagic" OR "Stroke, Intracerebral Hemorrhage" OR "Stroke, Intracerebral Hemorrhagic" OR "Subarachnoid Hemorrhagic Stroke" OR "Stroke, Lacunar" OR "Infarct, Lacunar" OR "Infarction, Lacunar" OR "Infarctions, Lacunar" OR "Infarcts, Lacunar" OR "Lacunar Infarct" OR "Lacunar Infarction" OR "Lacunar Infarctions" OR "Lacunar Infarcts" OR "Lacunar Stroke" OR "Lacunar Strokes" OR "Lacunar Syndrome" OR "Lacunar Syndromes" OR "Strokes, Lacunar" OR "Syndrome, Lacunar" OR "Syndromes, Lacunar" OR "Stroke Rehabilitation" OR "Rehabilitation, Stroke" OR "Cerebral Infarction" OR "Anterior Choroidal Artery Infarction" OR "Cerebral Infarct" OR "Cerebral Infarctions" OR "Cerebral Infarcts" OR "Infarct, Cerebral" OR "Infarction, Cerebral" OR "Infarction, Subcortical" OR "Infarctions, Cerebral" OR "Infarctions, Subcortical" OR "Infarcts, Cerebral" OR "Posterior Choroidal Artery Infarction" OR "Right Hemisphere, Cerebral Infarction" OR "Subcortical Infarction" OR "Subcortical Infarctions" OR "Embollic Stroke" OR "Cardio embolic Stroke" OR "Cardio-embolic Stroke" OR "Cardio-embolic Strokes" OR "Cardioembolic Stroke" OR "Cardioembolic Strokes" OR "Embollic Strokes" OR "Stroke, Cardio-embolic" OR "Stroke, Cardioembolic" OR "Stroke, Embolic" OR "Strokes, Cardioembolic" OR "Strokes, Embolic" OR "Ischaemic Stroke" OR "Acute Ischaemic Stroke" OR "Acute Ischaemic Strokes" OR "Cryptogenic Embolism Stroke" OR	181 artigos

"Cryptogenic Ischaemic Stroke" OR "Cryptogenic Ischaemic Strokes" OR "Cryptogenic Stroke" OR "Cryptogenic Strokes" OR "Ischaemic Stroke" OR "Ischaemic Strokes" OR "Ischaemic Stroke, Acute" OR "Ischemic Stroke, Cryptogenic" OR "Ischaemic Strokes" OR "Stroke, Acute Ischaemic" OR "Stroke, Cryptogenic" OR "Stroke, Ischaemic" OR "Stroke, Ischaemic" OR "Stroke, Wake-up" OR "Wake up Stroke" OR "Wake-up Stroke" OR "Wake-up Strokes") AND (Aged OR Elderly OR "Aged, 80 and over" OR "Frail Elderly")

("Brain-Computer Interfaces" OR "Brain Computer Interface" OR "Brain Computer Interfaces" OR "Brain Machine Interface" OR "Brain Machine Interfaces" OR "Brain-Computer Interface" OR "Brain-Machine Interface" OR "Brain-Machine Interfaces" OR "Interface, Brain-Computer" OR "Interfaces, Brain-Computer" OR "Machine Interface, Brain") AND ("Stroke" OR "Acute Cerebrovascular Accident" OR "Acute Cerebrovascular Accidents" OR "Acute Stroke" OR "Acute Strokes" OR "Apoplexy" OR "Apoplexy, Cerebrovascular" OR "Brain Vascular Accident" OR "Brain Vascular Accidents" OR "Cerebral Stroke" OR "Cerebral Strokes" OR "Cerebrovascular Accident" OR "Cerebrovascular Accident, Acute" OR "Cerebrovascular Accidents" OR "Cerebrovascular Accidents, Acute" OR "Cerebrovascular Apoplexy" OR "Cerebrovascular Stroke" OR "Cerebrovascular Strokes" OR "CVA (Cerebrovascular Accident)" OR "Stroke, Acute" OR "Stroke, Cerebral" OR "Stroke, Cerebrovascular" OR "Strokes" OR "Strokes, Acute" OR "Strokes, Cerebral" OR "Strokes, Cerebrovascular" OR "Hemorrhagic Stroke" OR "Hemorrhage Stroke, Intracerebral" OR "Hemorrhagic Stroke, Intracerebral" OR "Hemorrhagic Stroke, Subarachnoid" OR "Hemorrhagic Strokes" OR "Intracerebral Hemorrhage Stroke" OR "Intracerebral Hemorrhagic Stroke" OR "Intracerebral Hemorrhagic Strokes" OR "Stroke, Hemorrhagic" OR "Stroke, Intracerebral Hemorrhage" OR "Stroke, Intracerebral Hemorrhagic" OR "Subarachnoid Hemorrhagic Stroke" OR "Subarachnoid Hemorrhagic Strokes" OR "Stroke, Lacunar" OR "Infarct, Lacunar" OR "Infarction, Lacunar" OR "Infarctions, Lacunar" OR "Infarcts, Lacunar" OR "Lacunar Infarct" OR "Lacunar Infarction" OR "Lacunar Infarctions" OR "Lacunar Infarcts" OR "Lacunar Stroke" OR "Lacunar Strokes" OR "Lacunar Syndrome" OR "Lacunar Syndromes" OR "Strokes, Lacunar" OR "Syndrome, Lacunar" OR "Syndromes, Lacunar" OR "Stroke Rehabilitation" OR "Rehabilitation, Stroke" OR "Cerebral Infarction" OR "Anterior Choroidal Artery Infarction" OR "Cerebral Infarct" OR "Cerebral Infarctions" OR "Cerebral Infarcts" OR "Infarct, Cerebral" OR "Infarction, Cerebral" OR "Infarction, Subcortical" OR "Infarctions, Cerebral" OR "Infarctions, Subcortical" OR "Infarcts, Cerebral" OR "Posterior Choroidal Artery Infarction" OR "Right Hemisphere, Cerebral Infarction" OR "Subcortical Infarction" OR "Subcortical Infarctions" OR "Embollic Stroke" OR "Cardio embolic Stroke" OR "Cardio-embolic Stroke" OR "Cardio-embolic Strokes" OR "Cardioembolic Strokes" OR "Cardioembolic Stroke" OR "Cardioembolic Strokes" OR "Embollic Strokes" OR "Stroke, Cardio-embolic" OR "Stroke, Cardioembolic" OR "Stroke, Embolic" OR "Strokes, Cardioembolic" OR "Strokes, Embolic" OR "Ischaemic Stroke" OR "Acute Ischaemic Stroke" OR "Acute Ischaemic Strokes" OR "Cryptogenic Embolism Stroke" OR "Cryptogenic Ischaemic Stroke" OR "Cryptogenic Ischaemic Strokes" OR "Cryptogenic Stroke" OR "Cryptogenic Strokes" OR "Ischaemic Stroke" OR "Ischaemic Strokes" OR "Ischaemic Stroke, Acute" OR "Ischemic Stroke, Cryptogenic" OR "Ischaemic Strokes" OR "Stroke, Acute Ischaemic" OR "Stroke, Cryptogenic" OR "Stroke, Ischaemic" OR "Stroke, Ischaemic" OR "Stroke, Wake-up" OR "Wake up Stroke" OR "Wake-up Stroke" OR "Wake-up Strokes") AND (Aged OR Elderly)

BVS
(DeCS/MeSH terms)

170 artigos

('brain-computer interfaces' OR 'brain computer interface' OR 'brain computer interfaces' OR 'brain machine interface' OR 'brain machine interfaces' OR 'brain-computer interface' OR 'brain-machine interface' OR 'brain-machine interfaces' OR 'interface, brain-computer' OR 'interfaces, brain-computer' OR 'machine interface, brain') AND ('stroke' OR 'acute cerebrovascular accident' OR 'acute cerebrovascular accidents' OR 'acute stroke' OR 'acute strokes' OR 'apoplexy' OR 'apoplexy, cerebrovascular' OR 'brain vascular accident' OR 'brain vascular accidents' OR 'cerebral stroke' OR 'cerebral strokes' OR 'cerebrovascular accident' OR 'cerebrovascular accident, acute' OR 'cerebrovascular accidents' OR 'cerebrovascular accidents, acute' OR 'cerebrovascular apoplexy' OR 'cerebrovascular stroke' OR 'cerebrovascular strokes' OR 'cva' OR 'stroke, acute' OR 'stroke, cerebral' OR 'stroke, cerebrovascular' OR 'strokes' OR 'strokes, acute' OR 'strokes, cerebral' OR 'strokes, cerebrovascular' OR 'hemorrhagic stroke' OR 'hemorrhage stroke, intracerebral' OR 'hemorrhagic stroke, intracerebral' OR 'hemorrhagic stroke, subarachnoid' OR 'hemorrhagic strokes' OR 'intracerebral hemorrhage stroke' OR 'intracerebral hemorrhagic stroke' OR 'intracerebral hemorrhagic strokes' OR 'stroke, hemorrhagic' OR 'stroke, intracerebral hemorrhage' OR 'stroke, intracerebral hemorrhagic' OR 'subarachnoid hemorrhagic stroke' OR 'subarachnoid hemorrhagic strokes' OR 'stroke, lacunar' OR 'infarct, lacunar' OR 'infarction, lacunar' OR 'infarctions, lacunar' OR 'infarcts, lacunar' OR 'lacunar infarct' OR 'lacunar infarction' OR 'lacunar infarctions' OR 'lacunar infarcts' OR 'lacunar stroke' OR 'lacunar strokes' OR 'lacunar syndrome' OR 'lacunar syndromes' OR 'strokes, lacunar' OR 'syndrome, lacunar' OR 'syndromes, lacunar' OR 'stroke rehabilitation' OR 'rehabilitation, stroke' OR 'cerebral infarction' OR 'anterior choroidal artery infarction' OR 'cerebral infarct' OR 'cerebral infarctions' OR 'cerebral infarcts' OR 'infarct, cerebral' OR 'infarction, cerebral' OR 'infarction, subcortical' OR 'infarctions, cerebral' OR 'infarctions, subcortical' OR 'infarcts, cerebral' OR 'posterior choroidal artery infarction' OR 'right hemisphere, cerebral infarction' OR 'subcortical infarction' OR 'subcortical infarctions' OR 'embollic stroke' OR 'cardio embolic stroke' OR 'cardio-embolic stroke' OR 'cardio-embolic strokes' OR 'cardioembolic stroke' OR 'cardioembolic strokes' OR 'embollic strokes' OR 'stroke, cardio-embolic' OR 'stroke, cardioembolic' OR 'stroke, embolic' OR 'strokes, cardioembolic' OR 'strokes, embolic' OR 'ischaemic stroke' OR 'acute ischaemic stroke' OR

EMBASE
(MeSH terms)

68 artigos

'acute ischaemic strokes' OR 'cryptogenic embolism stroke' OR 'cryptogenic ischaemic stroke' OR 'cryptogenic ischaemic strokes' OR 'cryptogenic stroke' OR 'cryptogenic strokes' OR 'ischaemic stroke' OR 'ischaemic strokes' OR 'ischaemic stroke, acute' OR 'ischaemic stroke, cryptogenic' OR 'ischaemic strokes' OR 'stroke, acute ischaemic' OR 'stroke, cryptogenic' OR 'stroke, ischaemic' OR 'stroke, ischaemic' OR 'stroke, wake-up' OR 'wake up stroke' OR 'wake-up stroke' OR 'wake-up strokes') AND ('aged' OR 'elderly' OR 'aged, 80' AND 'over' OR 'frail elderly')

WEB OF
SCIENCE
(MeSH terms)

("Brain-Computer Interfaces" OR "Brain Computer Interface" OR "Brain Computer Interfaces" OR "Brain Machine Interface" OR "Brain Machine Interfaces" OR "Brain-Computer Interface" OR "Brain-Machine Interface" OR "Brain-Machine Interfaces" OR "Interface, Brain-Computer" OR "Interfaces, Brain-Computer" OR "Machine Interface, Brain") AND ("Stroke" OR "Acute Cerebrovascular Accident" OR "Acute Cerebrovascular Accidents" OR "Acute Stroke" OR "Acute Strokes" OR "Apoplexy" OR "Apoplexy, Cerebrovascular" OR "Brain Vascular Accident" OR "Brain Vascular Accidents" OR "Cerebral Stroke" OR "Cerebral Strokes" OR "Cerebrovascular Accident" OR "Cerebrovascular Accident, Acute" OR "Cerebrovascular Accidents" OR "Cerebrovascular Accidents, Acute" OR "Cerebrovascular Apoplexy" OR "Cerebrovascular Stroke" OR "Cerebrovascular Strokes" OR "CVA (Cerebrovascular Accident)" OR "Stroke, Acute" OR "Stroke, Cerebral" OR "Stroke, Cerebrovascular" OR "Strokes" OR "Strokes, Acute" OR "Strokes, Cerebral" OR "Strokes, Cerebrovascular" OR "Hemorrhagic Stroke" OR "Ischaemic Stroke" OR "Ischaemic Strokes") AND (Aged OR Elderly OR "Aged, 80 and over" OR "Frail Elderly")

99 artigos

Esta tabela tem como finalidade representar todas as bases de dados utilizadas para composição da presente revisão de escopo, mostrando as respectivas estratégias de busca empregadas, e as quantidades de artigos captados com cada uma delas.

CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE

Desse modo, foram considerados para a inclusão nesta revisão de escopo manuscritos provenientes de estudos primários, sem restrições linguísticas, publicados entre os anos de 2014 e 2024, a fim de garantir a relevância e atualização das informações que abordaram as aplicações das interfaces cérebro-máquina no processo de reabilitação de idosos que sofreram acidente vascular encefálico. Neste estudo, foram considerados idosos indivíduos com 60 anos ou mais. No entanto, devido à escassez de estudos realizados exclusivamente com essa faixa etária, optou-se por incluir pesquisas com populações mistas, desde que os idosos estivessem presentes e os resultados discriminassem claramente os desfechos para esse grupo. Estudos teóricos, revisões, editoriais, protocolos, conference papers, resumos e artigos de opinião foram descartados, devido ao seu nível reduzido de evidência científica. Além disso, artigos que não atendiam ao objetivo desta revisão, mesmo contendo alguns dos descritores estabelecidos, bem como artigos com acesso restrito, foram descartados.

FILTRAGEM

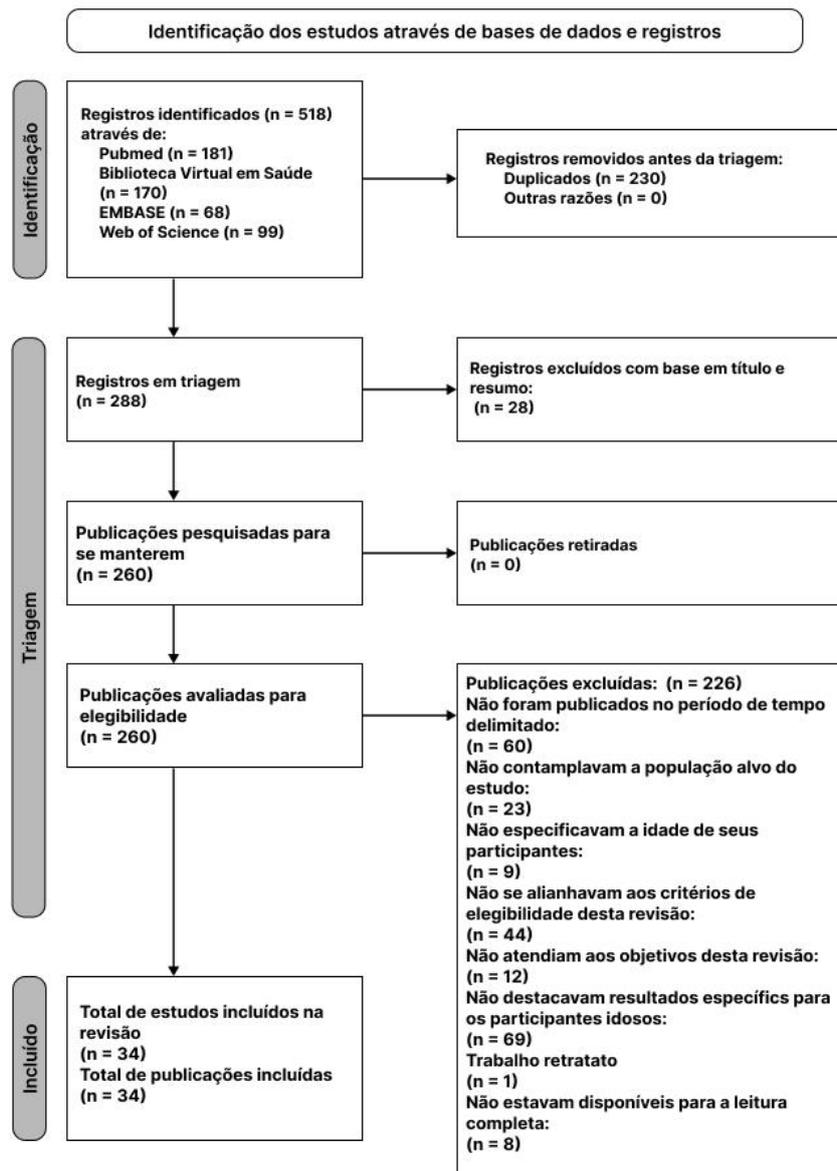
Os manuscritos recuperados após a aplicação das estratégias de busca nas quatro bases de dados foram importados nos formatos RIS ou CSV para o software de gerenciamento de referências Rayyan, de acesso livre. Durante essa etapa, foram identificadas e removidas 230 duplicatas. Para garantir a confiabilidade e consistência da pesquisa, dois revisores independentes e cegos realizaram uma triagem inicial dos 288 artigos pré-selecionados, avaliando títulos e resumos com base nos critérios de inclusão e exclusão. Estudos sem relação com os objetivos da pesquisa foram desconsiderados. Na sequência, foi realizada a leitura completa dos trabalhos restantes, resultando na seleção de 34 estudos elegíveis para compor esta revisão. Eventuais discordâncias entre os revisores foram resolvidas por um terceiro avaliador, garantindo a conclusão criteriosa da etapa de seleção.

EXTRAÇÃO

Após a etapa de seleção e triagem, três colaboradores conduziram a extração dos dados relevantes dos artigos selecionados, considerando os objetivos desta pesquisa. Para essa atividade, foi utilizado um arquivo do Word em formato de tabela como ferramenta de suporte, seguindo as diretrizes do "Manual JBI para a Síntese de Evidências¹¹". A Tabela 3, apresentada na seção de resultados, organiza as informações extraídas, incluindo: autores, país de origem, ano de publicação, delineamento do estudo, tamanho da amostra e principais desfechos observados.

RESULTADOS

FIGURA 1. Fluxograma da busca na literatura e processo de seleção



Legenda: Esta figura apresenta um fluxograma que ilustra as etapas de busca e triagem dos artigos selecionados. Fonte Própria.

TABELA 2. Siglas dos Termos Técnicos Empregados

Sigla	Significado
ICM	Interface Cérebro-Máquina
AVE	Acidente Vascular Encefálico
BMI	Brain-Machine Interface
SIM	Sistema de Informações sobre Mortalidade

H2	Exoesqueleto Motorizado H2
FES	Estimulação Elétrica Funcional
EEG	Eletroencefalograma
MI	Imagética Motora
SSVEP	Potenciais Evocados Visuais em Estado Estacionário
FMA	Escala Fugl-Meyer
ARAT	Action Research Arm Test
ECoG	Eletrocorticografia

Esta tabela tem como finalidade apresentar as abreviações de alguns conceitos importantes para a discussão das temáticas da presente revisão de escopo.

Durante a etapa de busca das publicações, 518 manuscritos foram resgatados de diversas bases de dados renomadas, a citar o PubMed, Biblioteca Virtual em Saúde, EMBASE e Web of Science. Esse amplo levantamento inicial culminou na recuperação de 181 estudos pelo PubMed, 170 pela Biblioteca Virtual em Saúde, 68 pela EMBASE e 99 pela Web of Science.

A princípio, a partir da utilização dos filtros do Rayyan, 230 publicações foram excluídas por se tratarem de duplicatas, resultando em 288 estudos. Destes, 28 foram excluídos com base na leitura dos títulos e resumos, restando 260 manuscritos para a análise detalhada. Ao decorrer da análise desses trabalhos, 60 foram descartados visto que não se enquadravam na faixa temporal escolhida para a pesquisa, 23 não abordavam a faixa etária analisada no presente estudo, e 9 não especificavam a idade dos participantes. Ademais, 44 publicações foram excluídas por não se alinharem aos critérios de elegibilidade dessa revisão. Outrossim, 12 não respondiam a pergunta de pesquisa, 69 não faziam distinção entre os resultados específicos dos participantes idosos, 1 estava retratado, 8 não estavam disponíveis na íntegra. Por fim, 34 atendiam aos critérios de inclusão e foram selecionados para compor a presente revisão. O supramencionado processo de apuração foi registrado em um fluxograma (Figura 1).

Foram incluídos 34 estudos publicados entre 2014 e 2024, explorando diversas aplicações da interfaces cérebro-máquina (ICM) na reabilitação de idosos acometidos por AVE. A análise demonstrou que a maioria dos manuscritos foi produzida nos Estados Unidos (n=13)^{8, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24}, seguidos pela Inglaterra (n=11)^{25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35}, Suíça (n=5)^{6, 36, 37, 38, 39}, Países Baixos (n=4)^{40, 41, 42, 43} e Alemanha (n=1)⁴⁴. Esses trabalhos investigaram intervenções voltadas para melhorias funcionais, cognitivas e na qualidade de vida dos pacientes dessa faixa etária.

A pesquisa revelou uma ampla variedade de desenhos metodológicos, refletindo a complexidade das intervenções baseadas em ICM. Estudos experimentais foram predominantes (N=9)^{6, 15, 17, 22, 35, 41, 42, 43, 44}, seguidos por ensaios clínicos randomizados (N=8)^{14, 16, 19, 27, 28, 36, 37, 38}, estudos de viabilidade (N=4)^{13, 25, 29, 30}, estudos não randomizados (N=11)^{8, 20, 21, 22, 23, 26, 32, 33, 34, 39, 40}, estudos de prova de conceito (N=2)^{18, 31}. Essa diversidade metodológica foi crucial para avaliar desde a viabilidade técnica até a eficácia das tecnologias inovadoras, fortalecendo a aplicabilidade prática dos achados em diferentes cenários clínicos e contextos de reabilitação.

Os resultados evidenciam o potencial das ICMs em promover melhorias funcionais, reorganizações neurais e avanços tecnológicos no campo da reabilitação. Nesse contexto, um estudo⁸ demonstrou avanços significativos na mobilidade e na eficácia do exoesqueleto motorizado H2 na recuperação de pacientes com AVE. O exoesqueleto H2 é um sistema robótico motorizado projetado para reabilitação da locomoção em pacientes com hemiparesia após AVE, fornecendo suporte às articulações do quadril, joelho e tornozelo. Ele auxilia pacientes com perda de força muscular na realização dos movimentos de caminhada de forma assistida, promovendo progressiva autonomia ao longo do treinamento⁸. Os participantes dobraram a

velocidade e a distância percorrida, além de apresentarem maior precisão nos movimentos, com redução progressiva da dependência do suporte robótico ao final das sessões. Esses resultados destacam o potencial do H2 em aprimorar o controle motor e a funcionalidade de idosos acometidos por AVE, contribuindo para uma reabilitação mais eficiente e personalizada⁸.

Além disso, a estimulação elétrica funcional (FES) destacou-se por seus resultados positivos na recuperação funcional. Quando integrada a interfaces cérebro-máquina, a FES mostrou eficácia na ativação de músculos paralisados, promovendo melhorias significativas na força e na coordenação motora. Estudos^{25, 40} indicaram que essa combinação resultou em ganhos clínicos relevantes nas avaliações funcionais, além de favorecer a conectividade cerebral, evidenciada por alterações nas bandas de eletroencefalograma (EEG) associadas ao processo de recuperação. Esses achados reforçam a viabilidade e o potencial da utilização conjunta de FES e ICM como estratégias inovadoras no tratamento de pacientes com comprometimentos motores.

Ademais, a associação entre a imaginação motora, que envolve a simulação mental de movimentos sem sua execução, e abordagens terapêuticas baseadas em tarefas funcionais, como o treinamento com interface cérebro-computador, tem demonstrado eficácia na promoção da neuroplasticidade e na recuperação funcional de pacientes pós-AVE, conforme evidenciado por melhorias clínicas e reorganização cortical funcional²⁶. Um estudo²⁶ utilizando imagética motora (MI) associada à Intervenção Centrada no Movimento revelou melhorias significativas nas funções motoras após 8 meses de treinamento, evidenciando uma forte ativação do córtex sensoriomotor afetado e a reorganização das redes neurais. Outro estudo⁶ destacou que estímulos sincronizados com a atenção dos pacientes aumentaram a plasticidade neural e a ativação corticospinal, com resultados particularmente promissores em indivíduos idosos. Esses achados reforçam o potencial dessa abordagem no processo de reabilitação.

A decodificação de sinais cerebrais e o engajamento neural desempenharam um papel essencial na reabilitação de pacientes com paralisia severa^{8, 25, 36, 44}. Um estudo²⁷ demonstrou que configurações adaptativas de decodificação baseadas em EEG superaram métodos tradicionais em termos de precisão, permitindo avanços significativos na recuperação funcional de indivíduos gravemente paralisados. Essas configurações aprimoradas proporcionaram maior precisão na interpretação dos sinais cerebrais, facilitando a interação dos pacientes com sistemas de ICM e impulsionando a ativação neural necessária para a reabilitação motora. Esses avanços ressaltam a importância da personalização das abordagens de decodificação, otimizando os resultados em casos mais complexos de paralisia.

As intervenções analisadas empregaram tecnologias avançadas, incluindo dispositivos robóticos macios e exoesqueletos motorizados integrados a sistemas de ICM baseados em EEG. Destacaram-se também protocolos híbridos que combinaram MI com potenciais evocados visuais em estado estacionário (SSVEP), além de intervenções que utilizaram estimulação elétrica funcional sincronizada com a execução de tarefas motoras.

Em suma, os dados dos manuscritos selecionados para essa revisão foram sumarizados na Tabela 3, a qual detalha variáveis como autores, ano de publicação, país de origem, tamanho amostral, desenho do estudo, objetivos dos estudos e seus resultados.

TABELA 3. Tabela de Sumanização dos Dados Coletados

Autores	País de origem	Tamanho amostral	Desenho de estudo	Objetivos	Resultados
Cantillo-Negrette et al. (2023)	Estados Unidos	5 pacientes com AVC em estágio crônico	Estudo de viabilidade	Avaliar a viabilidade como feedback de interface cérebro-máquina (BCI) de um robô macio para a reabilitação de extremidade superior de pacientes com AVC.	A precisão de classificação para o desempenho do sistema interface cérebro-máquina, em todos os testes, foi consistentemente acima de 70%. Dentre os pacientes com maior precisão média, está o paciente 4, com 91,5%. Sobre a ativação cortical, durante a intenção motora (MI) e a extensão dos dedos com o robô macio, significantes dessincronização de eventos (ERD) e sincronização de eventos (ERS) foram observadas. A alfa ERD foi presente durante MI em ambos hemisférios, enquanto a beta ERD foi mais pronunciada no hemisfério não afetado. Na extensão dos dedos com robô, a alfa ERD foi presenciada em ambos hemisférios, já a beta ERS foi observada na maior parte do hemisfério afetado. Sobre a avaliação do sistema BCI, nenhum dos pacientes caracterizou o sistema como possuindo a pior usabilidade imaginável.

Bhagat et al. (2020)	Países Baixos	10 indivíduos com AVC crônico	Ensaio clínico não controlado e não randomizado	Analisar a eficácia longitudinal de uma interface cérebro-máquina baseada em EEG, além de avaliar mudanças na atividade cerebral, recuperação motora e qualidade do movimento após terapia com exoesqueleto de BCI.	Foram observadas melhorias significativas nas métricas clínicas desde o início da intervenção BCI, sendo avaliadas em diferentes períodos : após tratamento, 2 semanas e 2 meses de acompanhamento após. A mudança média na pontuação FMA-UE foi de 3.92 ± 3.73 , já a na pontuação ARAT foi de 5.35 ± 4.62 . 8 participantes atingiram diferenças mínimas clinicamente importantes (MCID) depois da terapia ou durante acompanhamentos baseadas nas suas pontuações FMA-UE e ARAT. Ademais, foram também relatadas melhorias marginais nas forças de preensão e pinça, mas não atingiram significância estatística. Durante o período após a intervenção, a melhoria foi maior no acompanhamento após duas 2 semanas, diminuindo ligeiramente no acompanhamento de 2 meses, mas com pontuações ainda acima dos valores basais. Em média, os pacientes melhoraram em movimentos envolvendo sinergias de braço, velocidade, coordenação, componentes de punho e mão do FMA-UE, bem como componentes de preensão e pinça do ARAT. Além disso, nas medidas cinemáticas, usando um teste unilateral assinado de classificação de Wilcoxon, foram calculados que os valores médios para velocidade média, comprimento do arco espectral, número de picos e tempo para o primeiro pico foram significativamente maiores no final da terapia. O aumento no número de picos e no tempo para o primeiro pico indicaram movimentos menos espasmódicos e mais balanceados no final da terapia, respectivamente.
Johnson et al. (2018)	Inglaterra	3 indivíduos com aproximadamente 1 ano após o AVC	Estudo de viabilidade	Avaliar a eficácia de um treinamento de estimulação transcraniana repetitiva (rTMS) combinada e interface cérebro-máquina (BCI), versus treinamento de interface cérebro-máquina sozinha, na reabilitação motora após AVC em pessoas com paresia motora duradoura.	Nos resultados do teste de caixa e blocos, a condição rTMS real + BCI teve melhoras, embora não significativas, de 73% do início até pós-teste 1 e 40% do pós-teste 1 para o pós-teste 2. A condição rTMS sham + BCI também teve melhoras, menores se comparadas às do grupo com rTMS real, porém com mais significância estatística. No teste de rastreamento dos dedos, o grupo rTMS real + BCI teve melhoras de 51% do início até pós-teste 1 e 24% do pós-teste 1 até pós-teste 2. O grupo sham rTMS + BCI também teve melhoras consideráveis, mas, no geral, a precisão para o teste de rastreamento dos dedos foi maior no grupo rTMS real + BCI. Além disso, na condição rTMS real + BCI, os sujeitos tiveram melhor precisão na fase somente BCI do que na fase rTMS + BCI. Enquanto isso, a condição rTMS sham não teve mudanças significativas no tempo. A condição rTMS + BCI apresentou diferenças positivas de desempenho entre lados parético e não parético, já a condição sham teve diferenças negativas, o que indica desempenho negativo no lado não parético. Comparando os dois grupos, o grupo rTMS real + BCI melhorou significativamente seu desempenho da fase rTMS + BCI para a fase somente BCI, já o grupo sham apresentou um ligeiro declínio. Com relação à inibição inter-hemisférica, o grupo rTMS real + BCI apresentou inibição considerável do lado afetado para o não afetado, enquanto o grupo sham teve significativa inibição do lado não afetado para o afetado.
Young et al. (2016)	Suíça	19 indivíduos com AVC com comprometimento motor dos membros superiores	Ensaio clínico controlado e randomizado	Explorar as relações estruturais e comportamentais cerebrais em pacientes que sofreram AVC submetidos a treinamento com interface cérebro-máquina (BMI), usando medidas derivadas de imagem por tensor de difusão (DTI) sobre todo o trato corticoespinal (CST) reconstruído.	Não foram identificadas alterações significativas no decorrer do tempo nas métricas DTI ou nas medidas comportamentais. Ademais, no período de controle, mudanças na anisotropia fracionada (FA) transcalosa estavam quase relacionadas com ambos os lados do CST. Contudo, no período experimental, as mudanças na FA transcalosa estão ligadas com mudanças no lado oposto, sem conexão com alterações na aFA ao longo do estudo. Sobre relações com medidas comportamentais, no período de controle, mudanças nas métricas cerebrais (FA do CST contralesional e aFA (FA assimétrica)) mostraram correlações distintas com pontuações de comportamento como SIS HF e tempo para o 9-HPT, mas sem conexões encontradas entre FA do CST ipsilesional ou FA transcalosa. Durante o período experimental, por sua vez, mudanças no tempo para o 9-HPT estavam conectadas com métricas cerebrais (FA do CST contra e ipsilesional), e alterações na aFA estavam correlacionadas com pontuações ARAT e tempo para o 9-HPT, sem relações com FA transcalosa.

Biasiucci et al. (2018)	Inglaterra	27 participantes com o primeiro AVC resultando em comprometimento crônico	Ensaio clínico controlado e randomizado	Avaliar se a terapia com estimulação elétrica funcional (FES) acionada com BCI visando extensão da mão afetada poderia produzir recuperação motora mais forte e clinicamente relevante em pacientes com AVC crônico com comprometimento moderado a severo. Além disso, buscou-se analisar se sinais de neuroplasticidade funcional estariam relacionados com as melhorias motoras.	Pacientes do grupo BCI-FES apresentaram melhora considerável na função motora, com aumento médio de $6,6 \pm 5,6$ pontos na avaliação Fugl-Meyer para extremidades superiores (FMA-UE), o que está acima do limite clinicamente relevante de 5 pontos. Em oposição, o grupo sham melhorou somente $2,1 \pm 3$ pontos. Essa diferença foi estatisticamente significativa. Com mais detalhes, 8 participantes do grupo recuperaram 5 ou mais pontos da FMA-UE, já o grupo sham somente 2 pontos, resultando em uma razão de probabilidades de 7,33. Além disso, o grupo BCI também melhorou na sua força muscular, mensurada pelo Conselho de Pesquisa Médica (MRC) em avaliações após intervenção, já o grupo sham não teve mostrou mudanças chamativas. Com relação às mudanças neurofisiológicas após intervenção, diferenças significativas foram observadas entre os grupos nas bandas de EEG μ e β . Essas alterações foram significativas para o grupo BCI imediatamente após intervenção e no acompanhamento posterior. O estudo também presenciou um aumento na conectividade cerebral entre áreas motoras no hemisfério afetado para o grupo BCI, o que estava correlacionado com melhorias nas pontuações FMA-UE.
Miao et al. (2020)	Estados Unidos	16 pacientes com AVC em estágio de sequela	Ensaio clínico controlado e randomizado	Investigar os benefícios da interface cérebro-máquina na reabilitação do AVC usando um paradigma multimodal de feedback, no qual dicas foram apresentadas aos pacientes via estímulos auditivos, por membros virtuais e por estimulação elétrica funcional (FES).	Foi observada melhora na classificação de desempenho do grupo BCI. A precisão média da imagética motora aumentou da primeira para a última sessão, com melhora notável de 5%, atingindo até 72,9% na última sessão. Ademais, participantes do grupo BCI demonstraram melhorias mais significativas nas funções motoras comparado ao grupo de controle, tendo o grupo BCI uma pontuação média de melhora de 3,5 versus 0,9 do grupo de controle. Os resultados ainda mostram que a reabilitação com terapia BCI-FEA é significativamente efetiva. Com relação aos padrões de EEG, os resultados do estudo atestam que, após a reabilitação, o córtex sensorio-motor no hemisfério contralateral poderia ser ativado. Além disso, dessincronização relacionada a eventos (ERD) e sincronização relacionada a eventos (ERS) foram observadas nas sessões de imagética motora.
Contreras-Vidal et al. (2018).	Estados Unidos	5 pacientes com hemiparesia crônica pós-AVC	Ensaio clínico não controlado e não randomizado	Avaliar a viabilidade de decodificar cinemática de marcha durante o treinamento de marcha assistida por robô de pacientes com AVC usando um exoesqueleto motorizado.	Os pacientes com AVC aproximadamente dobraram sua velocidade de deslocamento e a distância percorrida no exoesqueleto ao final da intervenção. Isso sugere que a terapia com o exoesqueleto H2 pode melhorar a mobilidade nessa população clínica. Além disso, a partir da segunda metade da sessão de treinos, a maior parte dos sujeitos já conseguia seguir muito melhor a trajetória de referência, reduzindo erros angulares médios das juntas, o que indicava redução na assistência do robô.
Li et al. (2014)	Inglaterra	15 pacientes que sofreram AVC	Ensaio clínico controlado e randomizado	Investigar a eficácia de um treinamento com interface cérebro-máquina baseada em imagética motora (MI-BCI) na melhoria da função motora em pacientes que sofreram AVC com paralisia severa das extremidades superiores. Ademais, buscam-se avaliar, também, mudanças na atividade eletroencefalográfica durante a reabilitação, e o potencial do treinamento com MI-BCI na indução de uma reorganização motora cerebral ideal.	Após treinamento, a precisão de classificação do grupo BCI aumentou significativamente, ultrapassando 70% e superando o grupo controle no pós-treino. Além disso, depois das 8 semanas de treinamento, tanto o grupo BCI quanto o grupo controle apresentaram melhorias consideráveis nas pontuações da avaliação Fugl-Meyer (FMA) e do Action Research Arm Test (ARAT). Diferenças significativas foram encontradas entre as pontuações ARAT dos grupos controle e BCI após 6 meses ($p < 0,05$), mas o mesmo não aconteceu com as pontuações FMA em diferentes períodos de tempo ($p > 0,05$). Outro ponto é que, durante a imaginação do movimento das extremidades superiores, a maioria dos pacientes apresentou ativação de padrões de dessincronização relacionada a eventos (ERD) no hemisfério bilateral. Ademais, após o treino, o único grupo que apresentou ERD mais forte no córtex sensorio-motor afetado foi o grupo BCI ($p < 0,05$), enquanto no grupo controle isso não esteve presente ($p > 0,05$). Os resultados sugerem, também, que pacientes com AVC que com melhor recuperação motora das extremidades superiores apresentam ERD mais forte no córtex sensorio-motor afetado e no lobo parietal afetado.
Zich et al. (2017)	Estados Unidos	19 adultos jovens (idade média de 24.4 anos, com desvio padrão de 2.7 anos) e 18 adultos mais velhos (idade média de 62.6 anos, com desvio padrão de 5.7 anos), ambos os grupos saudáveis	Estudo experimental	Investigar mudanças nos correlatos neurais de execução (ME) e imagética motoras (MI) que estejam relacionadas à idade, com o intuito de facilitar a MI auxiliada por neurofeedback (NF) na reabilitação motora e validar achados anteriores do estudo.	Durante a MI, tanto a dessincronização relacionada a eventos (ERD%) quanto a concentração de hemoglobina desoxigenada (HbR) foi menos lateralizada em adultos mais velhos do que nos mais novos. Isso atesta que a idade afeta lateralização da atividade cerebral durante MI, mas não durante ME. Ademais, foi observado que o NF baseado em EEG é capaz de aumentar atividade cerebral específica de tarefas em adultos mais velhos e novos. Tal fenômeno pode sugerir que a NF pode aumentar a eficácia da MI por promover atividade cerebral mais focada com relação à tarefa em questão.

Spüler et al. (2018)	Inglaterra	37 pacientes com AVC crônico	Ensaio clínico controlado e randomizado	Analisar sistemicamente diferentes configurações de uma interface cérebro-máquina (BMI) não invasiva para decodificar intenções de movimento em pacientes com AVC gravemente paralisados, quantificando seus efeitos no desempenho.	O estudo descobriu que a escolha da fonte cortical (ipsilesional, contralesional ou bihemisférica) e o tipo de filtro espacial aplicado foram fatores cruciais na determinação dos resultados de desempenho. Os melhores resultados de classificação foram obtidos usando a atividade beta bihemisférica combinada com uma referência média comum e um classificador de máquina vetorial de suporte adaptativo (SVM). Essa configuração superou outras em termos de precisão de decodificação. Os resultados indicaram que a decodificação com base na atividade cerebral (EEG) produziu uma precisão significativamente maior em comparação com a decodificação com base na atividade muscular (EMG). Isso sugere que o EEG é uma modalidade mais eficaz para controlar o IMC em pacientes com AVC gravemente paralisado. Observou-se que alguns pacientes, apesar da paralisia severa, exibiram padrões EMG decodificáveis, que poderiam ser integrados a sistemas híbridos de IMC.
Curado et al. (2015)	Estados Unidos	32 pacientes com AVC crônico	Ensaio clínico controlado e randomizado	Investigar relação possível de que função residual do braço estimula atividade muscular do antebraço em pacientes com AVC crônico grave e paréticos após reabilitação motora baseada em interface cérebro-máquina (BMI).	Os resultados indicaram que a atividade EMG do antebraço foi significativamente maior durante os movimentos do braço do que durante as extensões dos dedos, sugerindo que a função do braço pode estimular a atividade dos músculos paralisados do antebraço. O estudo descobriu que uma melhor função motora residual da parte superior do braço antes da intervenção foi associada a maiores aumentos na facilitação da atividade muscular do antebraço após a intervenção. Isso sugere uma reconexão funcional com os músculos do antebraço que depende dos neurônios associados à função do braço. Pacientes com paralisia severa da mão, mas função residual do braço, tiveram um melhor prognóstico para a recuperação motora da mão em comparação com aqueles com paralisia da mão e do braço.
Zich et al. (2015)	Estados Unidos	39 adultos mais novos (idade média de 23.6 anos, com desvio padrão de 2.7 anos) e 36 adultos mais velhos (idade média de 62.7 anos, com desvio padrão de 5.7 anos), ambos saudáveis	Estudo experimental	Investigar a influência da idade sobre os correlatos neurais de movimentos encobertos (CMs) em um framework de neurofeedback EEG (eletroencefalografia) em tempo real, comparando adultos jovens e mais velhos saudáveis.	Durante os CMs, adultos mais velhos apresentaram ERD% ipsilateral mais forte que os dos mais jovens, mas efeitos significativos na estratégia não foram encontrados. Contudo, a comparação estatística revelou significativos efeitos para fatores lateralização e condição, como também interação notável entre lateralização, condição e idade. Além disso, comparando as estratégias de movimento quasi (QM) e imagética motora (MI), não foram encontradas diferenças consideráveis no efeito da estratégia sobre a ERD%. Para os movimentos evidentes (overt), o efeito de lateralização foi evidente, mas sem efeitos de idade. Com relação à precisão de classificação, os idosos tiveram precisão ligeiramente inferior à dos jovens, com tipo de estratégia não afetando significativamente os resultados, mas os idosos tiveram maior tendência de precisão ao usarem estratégia QM. O estudo observou, também, o impacto positivo do neurofeedback na atividade cerebral, evidenciada por diferenças na ERD% entre certos blocos, mas sem interações significativas com outras variáveis, como idade ou estratégia.
Leamy et al. (2014)	Inglaterra	10 sujeitos saudáveis e 5 pacientes com AVC	Estudo de viabilidade	Explorar as características da eletroencefalografia (EEG) durante a fase de recuperação após AVC. Desse modo, busca-se compreender como essas características podem ser utilizadas para aplicação de interface cérebro-computador (BCI) na terapia de neuroreabilitação.	No estudo que utilizou validação cruzada de 10 vezes, 8 dos 10 conjuntos de dados saudáveis obtiveram pontuação de 100%, já 5 dos 10 conjuntos de dados com AVC obtiveram pontuação de 100%; tanto os conjuntos com AVC precoces como os tardios tiveram desempenhos semelhantes. Além disso, quando os conjuntos de dados de EEG saudáveis foram usados para treinar BCIs, alguns conjuntos de dados com AVC melhoraram a precisão, outros não tiveram mudança e um reduziu sua precisão. No treinamento Leave-one-out, o estudo encontrou diferença significativa entre a precisão de classificação entre indivíduos saudáveis agrupados (94%) e os com AVC agrupados (70%) ao usar dados saudáveis agrupados para treinar uma BCI. Ademais, a classificação de precisão usando dados de AVC precoce nos indivíduos com AVC tardio mostrou variações de 62,5 a 95%, com algumas melhorias significativas.

Toppi et al. (2014)	Estados Unidos	2 pacientes com AVC	Estudo de prova de conceito	Procurar por descritores neurofisiológicos capazes de serem sensíveis a diferentes resultados de intervenções de treinamento e assim auxiliar na avaliação da eficácia do treinamento de neurofeedback controlado por interface cérebro-computador para promover melhora nos déficits de função de memória após AVC.	Por meio de avaliação neuropsicológica, foi constatado que a paciente A apresentou melhora nas funções de memória após treinamento com neurofeedback, enquanto o paciente B não teve alterações significativas nas funções de memória. Sobre o desempenho comportamental, no teste de Sternberg, a paciente A mostrou aumento no número de respostas corretas e redução no tempo de reação, já o paciente B teve menos acertos e pouca alteração do tempo de reação. Os padrões de conectividade cerebral para a paciente A revelaram significante aumento no índice de densidade anterior nas fases de armazenamento e recuperação do teste de Sternberg, aliado a uma elevação do índice de grau temporal esquerdo para as 3 fases de memória (codificação, armazenamento e recuperação). Os padrões de conectividade do paciente B, por sua vez, mostraram comportamento oposto aos do paciente A, com redução do índice de densidade anterior para as 2 fases já mencionadas, e diminuição do índice de grau temporal esquerdo para a fase de recuperação.
Spüler et al. (2014)	Inglaterra	4 pacientes com AVC	Estudo de viabilidade	Investigar se e o quão bem sete diferentes intenções de movimento das mãos podem ser decodificadas a partir de registros de eletrocorticografia (EcoG) epidural em pacientes com AVC crônico gravemente paralisados.	A decodificação das sete intenções de movimentos das mãos a partir da EcoG epidural, atingiu uma precisão média de 61,3%. Quando a combinação era somente de 3 movimentos, mais especificamente descanso, fechar mão e manter fechada a precisão chegou a 88,3%. Com relação às bandas de frequência e atividades nos eletrodos, frequências abaixo de 40 Hz apresentaram dessincronização relacionada ao movimento, enquanto frequências acima de 60 Hz exibiram sincronização relacionada ao movimento. Os melhores eletrodos para discriminar intenções variaram para cada paciente, sendo mais concentrados nas regiões motoras primárias e somatossensoriais.
Jeong et al. (2024)	Suíça	15 pacientes com AVC	Estudo experimental	Analisar como a estimulação síncrona, alinhada com o estado de atenção do indivíduo no paradigma BCI-AO (interface cérebro-computador baseada na observação de ação) e combinada com PES (estimulação elétrica de nervo periférico), afeta ativação corticospinal e plasticidade neural após AVC.	Após intervenções experimentais, os parâmetros de latência dos potenciais evocados motores (MEP) apresentaram redução significativa comparados com o início. Tais diferenças na latência persistiram por 20 minutos. Não houve, contudo, diferenças consideráveis entre as condições de estimulação (nPES, cPES, tPES e rPES) em relação à latência do MEP. Sobre a amplitude do MEP, houve um aumento significativo após as condições cPES, tPES e rPES quando comparado com o início, tendo esse efeito durado em torno de 20 minutos. Outro ponto importante é que a idade teve forte relação com a amplitude do MEP, sendo os pacientes com idades ≥ 65 anos possuindo interações significativas entre condição e tempo na amplitude do MEP. Esse efeito também foi visto em pacientes com pontuações menores que 28 no mini exame do estado mental (MMSE). Ademais, foi observado que a supressão mu no hemisfério afetado foi mais intensa nas condições cPES e tPES, no córtex motor não houve diferenças estatisticamente significativas entre as 4 condições e, na região frontal afetada, as 4 condições tiveram efeitos significativos, sendo a cPES a com maior supressão mu.
Cheng et al. (2020)	Estados Unidos	11 pacientes pós-AVC	Ensaio clínico controlado e randomizado	Investigar a eficácia clínica da utilização de imagens motoras assistidas por interface cérebro-computador baseada em eletroencefalografia (EEG) em combinação com exoesqueleto robótico macio de mão (BCI-SRG) para a reabilitação das extremidades superiores em pacientes com AVC crônico.	O grupo BCI-SRG apresentou aumento das pontuações da avaliação Fugl-Meyer (FMA) nas semanas 6, 12 e 24, com melhorias de 3,8, 4,8 e 4,6 pontos, respectivamente. Essas pontuações excedem o valor da mudança mínima detectável (MCD) de 3,2 pontos para FMA, e as pontuações das semanas 12 e 24 superaram o valor de diferença mínima clinicamente importante de 4,25 pontos. O grupo SRG, por outro lado, só atingiu MCD na semana 6, diminuindo as pontuações para 2,8 e 2 nas semanas 12 e 24, respectivamente. Com relação às pontuações do Action Research Arm Test (ARAT), o estudo não identificou diferenças significativas entre os dois grupos em nenhum momento. Todavia, comparando os aumentos brutos das pontuações ARAT para cada grupo em relação aos valores basais, o único que atingiu valor que superou o MDC de 3 pontos foi o grupo BCI-SRG na semana 24, na qual apresentou 3,4 pontos.
Remsik et al. (2018)	Suíça	21 pacientes pós-AVC	Ensaio clínico controlado e randomizado	Avaliar a eficácia de uma intervenção específica de BCI para melhorar a função da extremidade superior (UE) em pacientes com AVC. O estudo utiliza diversas medidas de resultados para determinar a efetividade da intervenção, além de investigar como características do paciente, como a gravidade e a cronicidade do AVC, influenciam a resposta ao tratamento.	O grupo de intervenção demonstrou ganhos médios significativos na pontuação total do Action Research Arm Test (ARAT) tanto na conclusão (ganho médio = 2, $p = 0,028$) quanto no acompanhamento de 1 mês (ganho médio = 3,4, $p = 0,0010$), evidenciando o impacto positivo da intervenção do BCI na função motora. Melhorias também foram observadas nas medidas secundárias, como a Escala de Impacto do AVC (SIS) para mobilidade, atividades da vida diária (ADLs), força e o 9 Hole Peg Test (9 HPT), com resultados significativos ao longo da intervenção. Participantes com maiores melhorias no ARAT apresentaram aumentos significativos na mobilidade ($p = 0,0002$) e força ($p = 0,04995$) do SIS, sugerindo que alguns indivíduos podem responder melhor. Além disso, o grupo de intervenção mostrou uma melhoria significativamente maior na força do SIS em comparação ao grupo controle ($p = 0,0117$), controlando fatores como gravidade, cronicidade e sexo, destacando a eficácia da intervenção BCI em relação ao tratamento padrão.

Musso et al. (2022)	Inglaterra	30 pacientes (10 pós-AVC e 20 controles saudáveis)	Estudo de prova de conceito	Avaliar a eficácia de um treinamento intensivo (30 horas semanais) na recuperação da linguagem, focando em como ele influencia a conectividade cerebral e a velocidade de processamento linguístico, contribuindo para o fortalecimento da rede linguística e melhorias na recuperação cognitiva dos pacientes.	Todas as avaliações linguísticas realizadas, incluindo o Teste de Afasia de Aachen (AAT), o teste de nomenclatura de imagens de Snodgrass e Vanderwart e o Registro de Atividades Comunicativas, mostraram melhorias significativas de médio a grande porte nas avaliações pré-treinamento e pós-treinamento. A diferença média padronizada para o AAT foi relatada como 0,63, com cinco pacientes sendo categorizados como não afásicos após o treinamento. Dados de neuroimagem, incluindo EEG e ressonância magnética funcional em estado de repouso (rs-fMRI), indicaram que o treinamento levou a um processamento de texto mais rápido, conexões fortalecidas dentro da rede de idiomas e um reequilíbrio entre a rede de idiomas e a rede de modo padrão. Essas descobertas apóiam a hipótese de que o treinamento BCI induziu mudanças benéficas na conectividade cerebral relacionada ao processamento da linguagem. O estudo mostrou melhorias na linguagem, sem mudanças significativas nas habilidades de atenção ou não linguísticas.
Kumari et al. (2022)	Países Baixos	10 pacientes pós-AVC (idade média de 60.2 anos), 10 adultos saudáveis mais velhos (idade média de 59.6 anos) e 10 adultos saudáveis mais novos (idade média de 26.6 anos)	Estudo experimental	investigar a viabilidade de um sistema bimanual de Interface Cérebro-Computador com Estimulação Elétrica Funcional (BCI-FES) para reabilitação pós-AVC, comparando-o com o sistema unimanual tradicional. O estudo avaliou ainda a influência do AVC e da idade nas medições de EEG, diferenciando os efeitos da lesão cerebral e do envelhecimento. Por fim, comparou os parâmetros de EEG entre indivíduos com AVC e adultos saudáveis de diferentes faixas etárias.	O estudo comparou o BCI-FES bimanual e unimanual em participantes com AVC, encontrando que ambos os métodos alcançaram precisão semelhante, sendo eficazes na estimulação elétrica funcional. Os movimentos bimanuais não suprimiram a ativação da dessincronização relacionada a eventos (ERD) no hemisfério lesionado, sugerindo que ambos os hemisférios podem ser envolvidos. Embora os efeitos de curto prazo tenham sido comparáveis, mudanças significativas ocorreram apenas em participantes saudáveis, indicando uma resposta diferente entre os grupos. A análise do índice de lateralidade não mostrou diferenças significativas, sugerindo padrões de movimento semelhantes. O BCI-FES bimanual atingiu uma taxa de ativação de pelo menos 70%, comparável ao sistema unimanual. Embora mudanças em EEG tenham sido observadas em grupos saudáveis, os pacientes com AVC não mostraram benefícios consistentes, sugerindo que sessões mais longas podem ser necessárias. O BCI-FES bimanual não aumentou a carga de trabalho percebida, sendo uma opção mais fácil na reabilitação
Zhang et al. (2024)	Estados Unidos	12 indivíduos saudáveis e 9 pacientes com AVC	Estudo observacional	Desenvolver um sistema inovador de reabilitação utilizando uma luva robótica macia controlada por uma interface cérebro-computador (BCI) híbrida, baseada em imaginação motora (MI) e potenciais evocados visuais de estado estacionário em alta frequência (SSVEP).	O estudo confirmou a eficácia do sistema de reabilitação proposto, atingindo uma taxa de precisão de $95,83 \pm 6,83\%$ em indivíduos saudáveis e $63,33 \pm 10,38\%$ em pacientes com AVC, ambos ultrapassando o limite de 50%. Isso indica que o sistema é capaz de distinguir entre diferentes tarefas de forma eficaz. Os resultados mostraram que a precisão média após a fusão dos sinais SSVEP e MI foi 14,16% maior do que a de tarefas simples de MI. Isso sugere que a integração do SSVEP de alta frequência com tarefas de MI melhora o desempenho do sistema, fornecendo um feedback mais preciso para a reabilitação. O estudo explorou o impacto de diferentes números de características na precisão da classificação, descobrindo que o melhor desempenho foi alcançado com 5 características, resultando em uma precisão de classificação de 96,81%.
Li et al. (2019)	Inglaterra	15 pacientes com AVC	Estudo observacional transversal descritivo	Estudar a topografia da dessincronização relacionada a eventos (ERD) durante tarefas de tentativa motora da mão parética em pacientes com AVC e comparar o desempenho da classificação usando diferentes estratégias de seleção de canal na BCI baseada em EEG.	O estudo investigou a variabilidade da topografia do ERD durante tentativas motoras da mão parética em pacientes com AVC, observando que essa variação reflete os déficits causados pela condição e pode ajudar a identificar necessidades de reabilitação. A análise mostrou maior precisão ao focar nos canais ERD, indicando melhor compreensão da intenção motora. Foi destacada a importância de uma estratégia individualizada na seleção de canais na reabilitação com BCI, considerando regiões cerebrais compensatórias. Os escores do Fugl-Meyer influenciaram a intenção motora, com pontuações mais altas associadas à melhor controle motor. Os resultados sugerem que a topografia ERD pode complementar as avaliações clínicas, mas sua eficácia precisa ser validada em estudos futuros.
Carino-Escobar et al. (2019)	Estados Unidos	9 pacientes com AVC	Estudo longitudinal	Analisar as mudanças nas ativações corticais durante uma intervenção de interface cérebro-computador (BCI) e investigar as relações entre as tendências de dessincronização/sincronização (ERD/ERS) nos ritmos de toxicidade alfa e beta e a recuperação motora dos membros superiores em pacientes com acidente vascular cerebral (AVC)	O estudo analisou a ativação cortical em pacientes com AVC durante intervenções com BCI, observando mudanças nos ritmos alfa e beta no córtex somatossensorial. Ritmos beta mostraram uma associação mais forte com a recuperação motora do membro superior, enquanto os ritmos alfa estavam moderadamente relacionados à neuroplasticidade. A modulação da banda beta foi considerada mais eficaz ao longo do tempo, associada ao processamento motor e mecanismos compensatórios na reabilitação. O recrutamento de áreas não motoras durante tarefas motoras sugere mecanismos de neuroplasticidade. Os resultados indicam que as tendências do EEG podem ajudar a prever a recuperação motora, exigindo mais estudos para confirmação.

Kober et al. (2017)	Alemanha	Dois pacientes com AVC em estado crônico	Estudo experimental	Investigar os efeitos do treinamento NF em atividade elétrica cerebral, como potência em diferentes frequências de EEG e distribuição topográfica da atividade de EEG, e (ii) funções cognitivas em pacientes com AVC crônico.	O treinamento de NF baseado em alfa superior teve, por um lado, efeitos positivos nas funções de memória e, por outro lado, levou à "normalização" cortical em um paciente com derrame com padrões patológicos de ativação cerebral, o que ressalta a utilidade potencial do NF como ferramenta de reabilitação neurológica.
Antelis et al. (2017)	Estados Unidos	6 pacientes que sofreram AVC	Estudo experimental	Investigar a decodificação contínua da tentativa natural de mover o membro superior paralisado em sobreviventes de AVC a partir de sinais eletroencefalográficos do córtex motor contra lesional não afetado.	A análise eletroencefalográfica (EEG) mostrou ativação cortical significativa no córtex motor não lesionado ao mover o braço contralateral não afetado e na tentativa de mover o braço afetado ipsilateral. Usando essa atividade, decodificação contínua significativa do movimento foi obtida em seis de seis participantes em movimentos do membro não afetado e em quatro de seis participantes na tentativa de mover o membro afetado.
Lee et al. (2015)	Países Baixos	12 pacientes com AVC crônico e 11 controles saudáveis pareados por idade	Estudo experimental	Examinar as atividades relacionadas à imagem motora dependentes do teste em pacientes com AVC.	Nos controles saudáveis, a atividade foi observada nos córtices frontal, sensório-motor e parietal, com uma diminuição consistente na atividade cortical nas bandas mu e beta, especialmente no hemisfério contralateral. Em pacientes com AVC, a atividade neuronal foi predominantemente no hemisfério ipsilesional, com uma redução na banda beta, enquanto a atividade na banda mu permaneceu estável. O estudo destacou que as mudanças na atividade cerebral durante o aprendizado de imagens motoras eram distintas entre os dois grupos. Controles saudáveis mostraram diminuição da atividade em vários ensaios, enquanto pacientes com AVC apresentaram redução apenas no hemisfério ipsilesional. Esses resultados sugerem que é crucial entender essas diferenças para melhorar a eficácia dos BCIs baseados em imagens motoras, especialmente na reabilitação de pacientes com AVC, necessitando de abordagens personalizadas para esses padrões únicos de atividade cerebral
Young et al. (2014)	Suíça	14 pacientes pós-AVC (8 receberam terapia intervencionista e 6 não receberam nenhum tipo de terapia)	Ensaio clínico controlado e randomizado	Investigar o efeito da terapia intervencionista usando um dispositivo BCI de neurofeedback de circuito fechado destinado a melhorar a função motora em pacientes com AVC em padrões de ativação cerebral derivados de tarefas e avaliar se quaisquer mudanças observáveis nesses padrões de ativação se correlacionaram com mudanças nos resultados comportamentais.	Observou-se que a terapia induziu mudanças na ativação cerebral, como maior bilateralidade no toque da mão prejudicada e maior lateralização no toque da mão não afetada. Análises de LI mostraram que a terapia BCI aumentou o envolvimento do hemisfério contra lesional na mão prejudicada e do hemisfério contralateral na mão não afetada. Essas mudanças persistiram mesmo após a exclusão de dois indivíduos e não foram observadas no grupo de controle. Os resultados indicam que a terapia BCI pode promover alterações duradouras na neuroplasticidade.
Rathee et al. (2019)	Estados Unidos	4 sobreviventes de AVC	Ensaio clínico não controlado e não randomizado	Examinar as mudanças longitudinais nas redes de conectividade funcional (FC) de estado de repouso (RS) limitadas por banda em associação com a recuperação funcional do MS pós-AVC alcançada por uma intervenção multimodal envolvendo IMC baseada em tentativa motora (MA) e exoesqueleto de mão robótica	A avaliação comportamental da recuperação funcional mostrou melhora gradual nas pontuações ARAT e GS para todos os quatro participantes. Um aumento estatisticamente significativo na pontuação ARAT geral é obtido com a intervenção, enquanto as melhorias estão bem acima do MCID para ambas as medidas. Uma melhora mais estável neste estudo atual pode ser explicada pelo grande avanço de envolver uma combinação de várias modalidades de reabilitação juntas.
Su et al. (2024)	Estados Unidos	14 pacientes (8 saudáveis e 6 pós-AVC)	Estudo experimental	Propor um sistema BCI híbrido adaptativo que combina imagens motoras (MI) com potencial evocado visualmente em estado estacionário (SSVEP). Essa combinação foi projetada para melhorar a precisão da decodificação e aprimorar o engajamento neural durante as tarefas de reabilitação.	Os resultados experimentais verificaram que o sistema proposto poderia manter alto engajamento neural ao mesmo tempo em que melhorava a precisão da classificação de forma observável sem calibração. Essas observações validaram a eficácia do sistema na ativação do córtex cerebral, induzindo neuroplasticidade e promovendo a reabilitação de pacientes.

McCrimmon et al. (2015)	Inglaterra	9 pacientes pós-AVC	Ensaio clínico não controlado e não randomizado	Explorar o uso da estimulação elétrica funcional (FES) controlada pela interface cérebro-computador (BCI) como uma nova modalidade fisioterapêutica para melhorar a marcha em sobreviventes de AVC crônico. O estudo avalia especificamente a segurança da terapia BCI-FES medindo a proporção de indivíduos que experimentam uma deterioração na velocidade da marcha, amplitude de movimento ativa de dorsiflexão (AROM), distância de caminhada de seis minutos (6MWD) e escores motores de perna Fugl-Meyer (FM-LM).	Foi observado que não houve deterioração significativa na velocidade da marcha, AROM de dorsiflexão, distância no TC6 ou pontuação FM-LM uma semana e quatro semanas após a terapia. Apenas uma queda foi relatada, indicativa de boa segurança. A análise post-hoc mostrou que cinco indivíduos caminharam mais rápido após a terapia, com dois melhorando significativamente. A melhora na marcha pode estar relacionada à ativação neural nas áreas sensório-motoras.
Phang et al. (2024)	Inglaterra	10 pacientes pós-AVC (39 a 80 anos)	Estudo de caso clínico	Aprofundar a compreensão das funções neurofisiológicas nas tarefas motoras, ajudando a identificar marcadores para a recuperação motora em pacientes pós-AVC. Os resultados podem possibilitar o desenvolvimento de exoesqueletos controlados pelo cérebro, aprimorando significativamente a reabilitação de pacientes em recuperação de AVC.	O estudo descobriu que a mudança no ângulo do joelho durante a fase de execução motora (ME) estava negativamente relacionada à amplitude do MRCP e positivamente correlacionada com as PFCCs, indicando uma interdependência desses fatores durante as tarefas motoras. Todos os pacientes atingiram uma precisão de classificação bípode acima do limite de adivinhação, com picos de até 97% antes do movimento. Foram observadas diferenças na conectividade entre os membros hemiplégicos e não hemiplégicos, sugerindo que os PFCCs podem ser um marcador da recuperação motora e que são dependentes temporariamente do movimento da marcha e do MRCP, o que pode ajudar no desenvolvimento de exoesqueletos controlados pelo cérebro, aprimorando a reabilitação de pacientes pós-AVC.
Liu et al. (2014)	Países Baixos	8 pacientes com AVC (3 do grupo controle e 5 do grupo BCI)	Estudo experimental aplicado com análise comparativa	investigar a reorganização cortical em pacientes com AVC, rastreando mudanças nos padrões de EEG das imagens motoras ao longo do tempo para entender como o cérebro se adapta durante a reabilitação. Além disso, busca avaliar a eficácia de um novo esquema baseado em tensores, comparando-o com métodos tradicionais em tarefas de reconhecimento de EEG, tanto online quanto offline. O esquema proposto visa superar as limitações dos métodos tradicionais, que enfrentam dificuldades em lidar com as características específicas dos sinais de EEG de pacientes com AVC.	O esquema baseado em tensor proposto superou os métodos tradicionais de extração de características, especialmente no tratamento dos desafios dos sinais de EEG em pacientes com AVC. O estudo utilizou diferentes métodos para extrair características de dados de EEG de múltiplas vias, com destaque para o TNFLD e NMWF, que superaram significativamente outros métodos em termos de precisão de classificação. O TNFLD obteve melhores resultados, com precisão de até 73,5% para a maioria dos sujeitos. No geral, a abordagem baseada em tensores se mostrou eficaz para melhorar o treinamento de reabilitação BCI-FES, destacando a importância de métodos personalizados de extração de características para pacientes com AVC
Sburlea et al. (2015)	Inglaterra	9 pacientes com AVC crônico	Estudo experimental	Investigar a capacidade de uma interface cérebro-máquina (BCI) de detectar a intenção de caminhar em pacientes com acidente vascular cerebral (AVC) a partir de correlatos de EEG no estado pré-movimento.	Foi encontrada uma correlação positiva significativa entre a motivação dos pacientes para executar a tarefa de caminhada e a precisão do detector BCI, indicando que maiores níveis de motivação foram associados a melhores taxas de detecção. Os resultados sugeriram que melhorar o desempenho durante a transferência de sessão para sessão pode reduzir o tempo de calibração necessário para o BCI, o que geralmente é cansativo para os pacientes. Isso indica potencial para melhorar a experiência do usuário em cenários de reabilitação. O estudo identificou que as regiões cerebrais mais ativas durante a intenção de caminhar foram as áreas 4 e 6 de Brodmann, com padrões específicos de atividade observados nos dados do EEG.
Savić et al. (2024)	Suíça	10 sobreviventes de AVC	Ensaio clínico intervencionista de viabilidade	Descrever o novo método de treinamento sensorial baseado em BCI, sua validação e pipeline de implementação clínica, juntamente com as novidades que ele introduz nos campos de intervenções de treinamento somatossensorial e sistemas BCI em geral e fornecer evidências iniciais da viabilidade clínica e do potencial de implantação de tal intervenção.	Os testes on-line do BCI demonstraram que a precisão máxima da classificação foi alcançada em nove de cada dez indivíduos, principalmente em canais que cobrem o lado ipsilesional. Para pacientes com comprometimento do membro superior esquerdo, diferentes configurações de canais de EEG foram utilizadas. A precisão máxima foi notavelmente maior para os canais sobre o hemisfério ipsilesional, em comparação com o canal contralesional, o que está alinhado com os padrões de ativação eletrofisiológica esperados. O estudo confirmou a viabilidade do controle on-line do BCI em pacientes com AVC subagudo, com pacientes atingindo altos níveis de precisão, apesar de serem novatos com o sistema. Os resultados indicaram que o desempenho on-line do BCI em pacientes com AVC foi comparável ou até superior aos resultados off-line anteriores obtidos com participantes saudáveis, sugerindo uma transição

eficaz dos métodos para o ambiente clínico. Essas descobertas ressaltam o potencial do sistema BCI para facilitar o treinamento sensorial e melhorar os resultados de reabilitação de pacientes com AVC por meio de tarefas de atenção direcionada e mecanismos de feedback.

Esta tabela tem como finalidade agrupar os artigos captados no processo de triagem da metodologia, caracterizando-os de acordo com autores, ano de publicação, tamanho amostral, desenho do estudo, objetivos e seus resultados.

Recuperação Motora

A recuperação da função motora, especialmente nas extremidades superiores, foi um objetivo central nos estudos analisados. Tecnologias como robôs macios acionados por ICM proporcionaram melhorias significativas na espasticidade e função motora, avaliadas por escalas como Fugl-Meyer (FMA) e Escala de Ashworth Modificada^{12, 18}. O uso de exoesqueletos mediado por ICM demonstrou eficácia, com 80% dos participantes alcançando melhorias clinicamente relevantes no Action Research Arm Test (ARAT) e na FMA^{29, 8}.

A integração de ICM com FES destacou-se na ativação sincronizada de vias neurais e musculares, favorecendo pacientes com comprometimentos graves^{13, 25, 28}. Sistemas de marcha assistida por robôs mediados por ICM também apresentaram avanços em precisão e capacidade locomotora^{16, 37, 40}. Intervenções baseadas em imaginação motora, aliadas à ICM, demonstraram impacto positivo na reorganização cortical e no reaprendizado motor^{24, 15}.

Benefícios Sensoriais

Os dispositivos que integram feedbacks proprioceptivos, táteis e cinestésicos ofereceram benefícios sensoriais relevantes. Uma luva robótica macia controlada por ICM intensificou as sensações cinestésicas no membro parético, promovendo a percepção corporal^{13, 19}. Feedbacks sensorio-motores integrados também foram eficazes na recuperação de conectividade entre áreas motoras e sensoriais, acelerando o processo de reabilitação funcional^{27, 31, 41}.

Estudos apontaram que a ativação simultânea de regiões sensorio-motoras por ICM ajudou na restauração da percepção tátil e proprioceptiva, fundamentais para movimentos coordenados^{23, 31, 43}. Além disso, protocolos de treinamento sensorial baseados em neurofeedback mostraram capacidade de induzir plasticidade cortical e promover a discriminação sensorial^{20, 30, 38}.

Impactos Cognitivos e Neuroplasticidade

Os impactos cognitivos das ICMs foram amplamente explorados, incluindo melhorias em atenção, memória e linguagem. Em pacientes com afasia, intervenções mostraram ganhos em nomeação e escrita, acompanhados de maior conectividade funcional em áreas do hemisfério esquerdo^{21, 30}.

Estudos também evidenciaram mudanças na topografia cerebral associadas à tentativa de movimento, reforçando o papel da neuroplasticidade em reorganizar redes neurais^{6, 14, 17}.

Técnicas avançadas, como eletrocorticografia (ECoG) e neurofeedback, foram utilizadas para personalizar intervenções, otimizando a eficácia terapêutica^{29, 33, 37}.

A combinação de métodos, como estimulação elétrica funcional e treinamento de imaginação motora, destacou-se na promoção de reorganizações corticais adaptativas^{16, 40, 42}.

Avanços Tecnológicos e Perspectivas Futuras

Os avanços tecnológicos foram cruciais para o progresso das ICMs. A integração de imaginação motora com potenciais evocados visuais (SSVEP) aprimorou o controle de dispositivos híbridos, como luvas robóticas macias, melhorando a experiência do paciente^{18, 22, 32}. Algoritmos avançados e aprendizado de máquina foram fundamentais para processar sinais cerebrais em tempo real, permitindo personalização dos tratamentos e maior eficiência^{19, 34}.

Além disso, a análise multimodal de sinais cerebrais abriu novas possibilidades para aplicação das ICMs em pacientes com diferentes graus de comprometimento, promovendo terapias mais acessíveis e eficazes^{31, 35, 41}. Esses avanços não apenas impulsionaram a recuperação funcional, mas também ampliaram as perspectivas para modelos de reabilitação neuroassistiva no futuro.

DISCUSSÃO

Os resultados desta revisão indicam que as interfaces cérebro-máquina (ICM) têm um enorme potencial para ajudar na reabilitação de idosos que sofreram Acidente Vascular Encefálico (AVE). Essas tecnologias, que conectam diretamente o cérebro a dispositivos externos, trazem possibilidades inovadoras que podem ser muito benéficas associadas aos métodos tradicionais utilizados na reabilitação de idosos pós AVE.

Os resultados apontam que as ICM podem ser particularmente eficazes na recuperação motora, essencialmente de membros superiores, por exemplo, por meio da utilização de robôs macios acionados por ICM, os quais proporcionaram melhorias expressivas na espasticidade. Além disso, o uso de exoesqueletos mediados por essa tecnologia apresentou eficácia, ocasionando progressos clinicamente relevantes na função motora. Ademais, essa inovação pode ser combinada com outras ferramentas, como imaginação motora, apresentando impacto positivo na reorganização cortical e no reaprendizado motor, e estimulação elétrica funcional (FES), ativando a sincronização de vias neurais e musculares, principalmente em pacientes com comprometimentos graves. Outrossim, podem ser observados ganhos significativos para além da recuperação motora, por exemplo, na recuperação linguística e sensorial.

Comparativamente, Peng et al. indicaram que a ICM possui efeitos favoráveis na recuperação motora pós AVE, inclusive se combinada com outros métodos terapêuticos, configurando-se com uma intervenção neuromoduladora segura para melhorar as funções dos membros superiores em pacientes em recuperação do AVE, o que corrobora com os resultados encontrados na presente pesquisa⁴⁵.

Nesse contexto, apesar dos produtos de tal análise indicarem um futuro promissor das ICM, ainda há um longo caminho a percorrer, visto que muitos dos estudos apresentam as limitações de terem sido realizados com grupos pequenos e por períodos de tempo curtos, o que dificulta chegar a conclusões amplas e definitivas, fato que está em consonância com o exposto por Cervera et al., que refletem a necessidade de mais estudos com maior tamanho amostral a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados⁴⁶.

CONCLUSÃO

Os estudos avaliados sugerem que as interfaces cérebro-máquina (ICMs) podem ser úteis como ferramentas inovadoras para a reabilitação de idosos que sofreram acidente vascular encefálico (AVE), sobretudo auxiliando na recuperação funcional, especialmente na reabilitação motora de membros superiores, bem como acarretando benefícios sensoriais, a partir da promoção da percepção corporal. Além disso, melhorias em aspectos cognitivos, como atenção, memória e linguagem também foram observadas.

No entanto, é preciso que mais pesquisas científicas sejam realizadas com o fito de aprofundar a compreensão da eficácia da ICM na reabilitação da população geriátrica, uma vez que o presente estudo deparou-se com uma escassez de trabalhos científicos que testam tal intervenção nos idosos, o que dificulta a definição da efetividade dessa tecnologia nessa faixa etária. Além disso, outras lacunas encontradas nesta revisão de escopo, tais como a ausência de discussão a respeito das barreiras de acesso às intervenções, a exemplo custo, infraestrutura tecnológica necessária e viabilidade de implementação em distintos contextos clínicos, devem ser elucidadas por estudos futuros que abordem estratégias para tornar as ICM mais acessíveis.

CONFLITOS DE INTERESSE

Os pesquisadores afirmam que não há conflitos de interesse nesta pesquisa.

FINANCIAMENTO

O financiamento deste trabalho foi realizado por meios próprios dos autores

REFERÊNCIAS

1. Maria P, Santos S, Daniela de Assumpção, Gomes A. Prevalência e fatores associados ao acidente vascular cerebral em idosos no Brasil, 2019. 2023 Jun 6.
2. Ministério da Saúde (BR). Acidente vascular cerebral (AVC). Gov.br.
3. Mussatto GG, Silva S.A. Perspectivas e potencialidades da interface cérebro-máquina. *Rev Sist Inf FSMA*. 2014;(13): 51-56.
4. Macedo S, Danielle Costa Lopes, Agripino D, Claudia A, Paulino J, Soares R, et al. Interface cérebro-máquina: avanços na neurociência e o desenvolvimento de bioeletrodos. *Research, Society and Development*. 2022 Sep 22;11(12).
5. Charchat-Fichman H, Caramelli P, Sameshima K, Nitrini R. Declínio da capacidade cognitiva durante o envelhecimento. *Revista Brasileira de Psiquiatria*. 2005 Mar;27(1):79–82.
6. Jeong CH, Lim H, Lee J, Lee HS, Ku J, Kang YJ. Attentional state-synchronous peripheral electrical stimulation during action observation induced distinct modulation of corticospinal plasticity after stroke. *Frontiers in neuroscience*. 2024 Mar 28;18:1373589.
7. Teixeira LA. Declínio de desempenho motor no envelhecimento é específico à tarefa. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2006 Dec;12(6):351–5.
8. Contreras-Vidal JL, Bortole M, Zhu F, Nathan K, Venkatakrishnan A, Francisco GE, et al. Neural Decoding of Robot-Assisted Gait During Rehabilitation After Stroke. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2018 Aug;97(8):541–550.
9. Leal CIS, Figueiredo PN. Inovação tecnológica no Brasil: desafios e insumos para políticas públicas. *Revista de Administração Pública [Internet]*. 2021 May;55(3):512–37.
10. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine [Internet]*. 2018 Sep 4;169(7):467–73.
11. Joanna Briggs Institute. JBI Manual for Evidence Synthesis. [jbi.global \[Internet\]](https://jbi.global/). 2020. Available from: <https://jbi.global/>.
12. Leal CIS, Figueiredo PN. Inovação tecnológica no Brasil: desafios e insumos para políticas públicas. *Revista de Administração Pública [Internet]*. 2021 May;55(3):512–37.
13. Cantillo-Negrete J, Carino-Escobar RI, Yao W. Feasibility of a Wearable Soft Robot Triggered by Brain-Computer Interface for Stroke Upper Extremity Rehabilitation. *Journal of medical devices*. 2023 Dec 17.
14. Miao Y, Chen S, Zhang X, Jin J, Xu R, Daly I, et al. BCI-Based Rehabilitation on the Stroke in Sequela Stage. *Neural Plasticity*. 2020 Dec 13.
15. Zich C, Debener S, Thoene AK, Chen LC, Kranczioch C. Simultaneous EEG-fNIRS reveals how age and feedback affect motor imagery signatures. *Neurobiology of Aging*. 2017 Jan;49:183–197.
16. Curado MR, Cossio EG, Broetz D, Agostini M, Cho W, Brasil FL, et al. Residual Upper Arm Motor Function Primes Innervation of Paretic Forearm Muscles in Chronic Stroke after Brain-Machine Interface (BMI) Training. *Lebedev MA, editor. PLOS ONE*. 2015 Oct 23;10(10).
17. Zich C, Debener S, Maarten De Vos, Frerichs S, Maurer S, Kranczioch C. Lateralization patterns of covert but not overt movements change with age: An EEG neurofeedback study. 2015 Aug 1;116:80–91.

18. Toppi J, Mattia D, Anzolin A, Risetti M, Petti M, Cincotti F, et al. Time varying effective connectivity for describing brain network changes induced by a memory rehabilitation treatment. 2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2014 Aug 26: 6786-6789.
19. Cheng N, Phua KS, Lai HS, Tam PK, Tang KY, Cheng KK, et al. Brain-Computer Interface-Based Soft Robotic Glove Rehabilitation for Stroke. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2020 Dec 1;67(12):3339–3351.
20. Zhang R, Feng S, Hu N, Low S, Li M, Chen X, et al. Hybrid Brain-Computer Interface Controlled Soft Robotic Glove for Stroke Rehabilitation. *IEEE journal of biomedical and health informatics*. 2024 Jul;28(7):4194–4203.
21. Carino-Escobar RI, Carrillo-Mora P, Valdés-Cristerna R, Rodriguez-Barragan MA, Hernandez-Arenas C, Quinzaños-Fresnedo J, et al. Longitudinal Analysis of Stroke Patients' Brain Rhythms during an Intervention with a Brain-Computer Interface. *Neural Plasticity*. 2019 Apr 14.
22. Antelis JM, Montesano L, Ramos-Murguialday A, Birbaumer N, Minguez J. Decoding Upper Limb Movement Attempt From EEG Measurements of the Contralateral Motor Cortex in Chronic Stroke Patients. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2017 Jan;64(1):99–111.
23. Rathee D, Chowdhury A, Meena YK, et al. A recuperação funcional dos membros superiores pós-AVC impulsionada pela interface cérebro-máquina se correlaciona com as redes corticais mediadas pela banda beta. *J Neuroeng Rehabil*. 2019 May 1;27(5):1020–1031.
24. Su J, Wang J, Wang W, Wang Y, Chayut Bunternngchit, Zhang P, et al. An Adaptive Hybrid Brain Computer Interface for Hand Function Rehabilitation of Stroke Patients. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2024 Jan 1; 2950-2960.
25. Johnson N, Carey JR, Edelman BJ, Doud A, Grande AW, Kamakshi Lakshminarayan, et al. Combined rTMS and virtual reality brain-computer interface training for motor recovery after stroke. 2018 Feb 15.
26. Biasiucci A, Leeb R, Iturrate I, Perdakis S, Al-Khodairy A, Corbet T, et al. Brain-actuated functional electrical stimulation elicits lasting arm motor recovery after stroke. *Nature Communications*. 2018 Jun 20;9(1).
27. Li M, Liu Y, Wu Y, Liu S, Jia J, Zhang L. Neurophysiological substrates of stroke patients with motor imagery-based brain-computer interface training. *International Journal of Neuroscience*. 2014 Jun;124(6):403–415.
28. Spüler M, López-Larraz E, Ramos-Murguialday A. On the design of EEG-based movement decoders for completely paralyzed stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2018 Nov 20;15(1):110.
29. Leamy DJ, Kocijan J, Domijan K, Duffin J, Roche RA, Commins S, et al. An exploration of EEG features during recovery following stroke - implications for BCI-mediated neurorehabilitation therapy. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2014 Jan 18;11(1):9.
30. Spüler M, Walter A, Ramos-Murguialday A, Naros G, Birbaumer N, Gharabaghi A, et al. Decoding of motor intentions from epidural ECoG recordings in severely paralyzed chronic stroke patients. *Journal of Neural Engineering*. 2014 Oct 31;11(6):066008.
31. Musso M, Hübner D, Schwarzkopf S, Bernodusson M, LeVan P, Weiller C, et al. Aphasia recovery by language training using a brain-computer interface - a proof-of-concept study. *Brain Communications*. 2022 Feb 8.
32. Li C, Jia T, Xu Q, Ji L, Pan Y. Brain-Computer Interface Channel-Selection Strategy Based on Analysis of Event-Related Desynchronization Topography in Stroke Patients. *Journal of Healthcare Engineering*. 2019 Aug 28:1–12.
33. McCrimmon CM, King CE, Wang PT, Cramer SC, Nenadic Z, Do AH. Brain-controlled functional electrical stimulation therapy for gait rehabilitation after stroke: a safety study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2015 Jul 11;12:57.

34. Phang CR, Su KH, Cheng YY, Chen CH, Ko LW. Time synchronization between parietal-frontocentral connectivity with MRCP and gait in post-stroke bipedal tasks. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2024 Jun 13; 21(1): 101.
35. Sburlea AI, Montesano L, de la Cuerda RC, Alguacil Diego IM, Miangolarra-Page JC, Minguez J. Detecting intention to walk in stroke patients from pre-movement EEG correlates. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2015 Dec 12;12: 113.
36. Young BM, Stamm JM, Song J, Remsik AB, Nair VA, Tyler ME, et al. Brain–Computer Interface Training after Stroke Affects Patterns of Brain–Behavior Relationships in Corticospinal Motor Fibers. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2016 Sep 16;10.
37. Remsik AB, Dodd K, Williams L, Thoma J, Jacobson T, Allen JD, et al. Behavioral Outcomes Following Brain-Computer Interface Intervention for Upper Extremity Rehabilitation in Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Neuroscience*. 2018 Nov 8;12:752.
38. Young BM, Nigogosyan Z, Walton LAM, Song J, Nair VA, Grogan SW, et al. Changes in functional brain organization and behavioral correlations after rehabilitative therapy using a brain-computer interface. *Frontiers in Neuroengineering*. 2014 Jul 15;7:26.
39. Savić AM, Novičić M, Miler-Jerković V, Djordjević O, Konstantinović L. Electrotactile BCI for Top-Down Somatosensory Training: Clinical Feasibility Trial of Online BCI Control in Subacute Stroke Patients. *Biosensors*. 2024 Jul 28;14(8):368.
40. Bhagat NA, Yozbatiran N, Sullivan JL, Paranjape R, Losey C, Hernandez Z, et al. Neural activity modulations and motor recovery following brain-exoskeleton interface mediated stroke rehabilitation. *NeuroImage: Clinical*. 2020;28:102502.
41. Kumari R, Janković MM, Costa A, Savić AM, Konstantinović Lj, Djordjević O, et al. Short term priming effect of brain-actuated muscle stimulation using bimanual movements in stroke. *Clinical Neurophysiology*. 2022 Jun;138:108–121.
42. Lee M, Park CH, Im CH, Kim JH, Kwon GH, Kim L, et al. Motor imagery learning across a sequence of trials in stroke patients. *Restorative Neurology and Neuroscience*. 2015 Aug 26;34(4):635–645.
43. Liu Y, Li M, Zhang H, Wang H, Li J, Jia J, et al. A tensor-based scheme for stroke patients' motor imagery EEG analysis in BCI-FES rehabilitation training. *Journal of Neuroscience Methods*. 2014 Jan 30;222:238–249.
44. Kober SE, Schweiger D, Reichert JL, Neuper C, Wood G. Upper Alpha Based Neurofeedback Training in Chronic Stroke: Brain Plasticity Processes and Cognitive Effects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2017 Mar 14;42(1):69–83.
45. Peng Y, Wang J, Liu Z, Zhong L, Wen X, Wang P, 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 Mar 29;16.
46. Cervera MA, Soekadar SR, Ushiba J, Millán J del R, Liu M, Birbaumer N, et al. Brain-computer interfaces for post-stroke motor rehabilitation: a meta-analysis. *Annals of Clinical and Translational Neurology [Internet]*. 2018 Mar 25;5(5):651–663.