ARTIGO DE REVISÃO SISTEMÁTICA/SYSTEMATIC REVIEW ARTICLE

O Uso de *Brain Computer* Interface na Intervenção em Pessoas com Afasia Pós-Acidente Vascular Cerebral: Uma Revisão Sistemática

The Use of Brain Computer Interface in the Intervention of People with Post-Stroke Aphasia: A Systematic Review

Ana Sofia Branquinho [1,*]; Patrícia Maia [1]; Inês Tello Rodrigues [1,2]
1-Departamento de Terapia da Fala, Escola Superior de Saúde do Alcoitão, Alcabideche, Portugal.
2-Center for Innovative Care and Health Technology (ciTechcare), IPL Leiria, Leiria, Portugal.

DOI: https://doi.org/10.46531/sinapse/AR/81/2025

Informações/Informations:
Artigo de Revisão Sistemática, publicado em Sinapse, Volume 25, Número 2, abril-junho 2025. Versão eletrónica em www.sinapse.pt; Systematic Review Article, published in Sinapse, Volume 25, Number 2, April-June 2025. Electronic version in www.sinapse.pt
© Autor (es) (ou seu (s) empregador (es)) e Sinapse 2025. Reutilização permitida de acordo com CC BY-NC 4.0. Nenhuma reutilização comercial.
© Author(s) (or their employer(s)) and Sinapse 2025. Re-use permitted under CC BY-NC 4.0. No commercial re-use.

Palavras-chave:
Acidente Vascular Cerebral/complicações; Afasia/etiologia; Afasia/reabilitação; Interfaces Cérebro-Computador; Neurorretroalimentação; Reabilitação de Acidente Vascular Cerebral.

Keywords:
Aphasia/etiology; Aphasia/rehabilitation; Brain-Computer Interfaces; Neurofeedback; Stroke/complications; Stroke Rehabilitation.

***Autor Correspondente / Corresponding Author:**
Ana Sofia Branquinho
Rua Conde Barão,
2649-506 Alcabideche
(Cascais), Portugal
sofiap.academico@gmail.com

Recebido / Received: *2024-04-30*
Aceite / Accepted: *2025-05-11*
Ahead of Print: *2025-05-20*
Publicado / Published: *2025-07-05*

Resumo

Introdução: A afasia pós-acidente vascular cerebral tem um impacto significativo ao nível da qualidade de vida da pessoa com esta alteração e nos recursos exigidos no setor da saúde. Tem existido um interesse crescente em investigar novas metodologias de intervenção, como as que integram a tecnologia *brain computer interface* (BCI). O objetivo deste trabalho é analisar de que forma a utilização desta tecnologia em contexto terapêutico poderá potenciar a recuperação das competências linguísticas e comunicativas das pessoas com afasia.

Método: Revisão sistemática da literatura através das diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), envolvendo pesquisas nas bases de dados PubMed Central, SciELO, LILACS, *Web of Science* e nas bases de dados integradas na plataforma EBSCO HOST, sem restrição temporal ou de língua, com o recurso a termos MeSH (*Medical Subject Headings*) e a termos não padronizados, em inglês. O processo de seleção dos estudos foi efetuado de forma independente por dois investigadores via plataforma Rayyan®. A análise de evidência dos estudos elegíveis em triagem foi realizada através do modelo de níveis de evidência e qualidade dos estudos John Hopkins.

Resultados: Obteve-se um total de 198 artigos, dos quais quatro foram incluídos nesta revisão sistemática, após eliminação de duplicados e aplicação dos critérios de elegibilidade. A intervenção terapêutica com base num sistema BCI poderá potenciar o reforço da rede linguística e a restruturação das redes funcionais de pessoas com afasia, devido ao mecanismo de *neurofeedback* que proporciona. Alguns autores encorajam o desenvolvimento de sistemas BCI com a integração de diferentes técnicas (*e.g.* ressonância magnética funcional em combinação com o eletroencefalograma). A investigação nesta área é recente, sendo os estudos escassos e maioritariamente de tipologia *quasi*-experimental. Os artigos incluídos nesta revisão apresentam uma qualidade de evidência reduzida.

Conclusão: A utilização de BCI poderá ter uma influência positiva na reabilitação da linguagem e comunicação de pessoas com afasia. Porém, a integração desta tecnologia recente na intervenção terapêutica enfrenta, ainda, vários desafios, sendo necessários estudos mais robustos que permitam a criação de protocolos específicos e diretrizes clínicas.

Abstract

Introduction: Post-stroke aphasia has a significant impact on the quality of life of the person with this disorder and on the resources required in the health sector. There has been growing interest in investigating new intervention methodologies, such as those that integrate brain computer interface (BCI) technology. The aim of this paper is to analyse how the use of this technology in a therapeutic context can enhance the recovery of language and communication skills in people with aphasia.

Method: Systematic literature review using the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines, involving searches in the PubMed Central, SciELO, LILACS, Web of Science databases and the databases integrated into the EBSCO HOST platform, with no time or language restrictions, using MeSH (Medical Subject Headings) and entry terms in English. The study selection process was carried out independently by two of the authors through the Rayyan® software. The evidence analysis of the eligible studies in screening was carried out using the John Hopkins model of levels of evidence and quality of studies.

Results: A total of 198 articles were obtained, of which four were included in this systematic review after eliminating duplicates and applying the eligibility criteria. Therapeutic intervention based on a BCI system could strengthen the linguistic network and rebalance the functional networks of people with aphasia, due to the neurofeedback mechanism it provides. Some authors encourage the development of BCI systems with the integration of different techniques (such as functional magnetic resonance imaging in combination with electroencephalography). Research in this area is recent, and studies are scarce and mostly quasi-experimental. The articles included in this review have a low quality of evidence.

Conclusion: The use of brain computer interface systems could have a positive influence on the language and communication rehabilitation of people with aphasia. However, the integration of this recent technology into therapeutic intervention still faces several challenges, and more robust studies are needed to create specific protocols and clinical guidelines.

Introdução

A afasia é uma perturbação adquirida da comunicação que afeta diferentes modalidades e funções da linguagem, causada por lesão cerebral, não sendo resultante de alterações de cariz sensorial, cognitivo ou psiquiátrico.[1,2] O acidente vascular cerebral (AVC), em especial do tipo isquémico e em idades mais avançadas, tem sido apontado como a principal causa etiológica desta perturbação.[3] Embora, nos últimos anos, tenham sido desenvolvidos esforços para proporcionar às pessoas com afasia um melhor acesso a recursos de reabilitação,[4] esta sequela tem, ainda, um impacto significativo ao nível da qualidade de vida das pessoas com esta condição e dos seus cuidadores,[5–11] bem como em termos de taxa de mortalidade e tempo de internamento.[12,13] Torna-se, assim, imperativa a adoção de um modelo de reabilitação de cariz biopsicossocial,[14] constituindo a colaboração interdisciplinar na intervenção terapêutica de pessoas com afasia uma prioridade, com início logo na fase aguda do AVC.[13]

Há vários fatores que influenciam os resultados da intervenção terapêutica, como as expectativas da pessoa com afasia e motivação; as alterações neuronais em causa e o grau de conectividade funcional observado; o contexto do processo terapêutico; bem como a(s) metodologia(s) de intervenção utilizadas.[15,16] Durante o programa de reabilitação, os profissionais de saúde podem adotar diferentes abordagens de acordo com o objetivo delineado, ou seja, o de reabilitar as redes neuronais afetadas ou o de compensar os défices cognitivos de recuperação difícil.[16]

No âmbito da reabilitação de pessoas com afasia

pós-AVC, a terapia da fala tem sido amplamente referida como uma intervenção terapêutica fundamental.[17,18] A avaliação, diagnóstico funcional, intervenção terapêutica e acompanhamento de pessoas com esta perturbação da comunicação constituem responsabilidades do terapeuta da fala, que tem como foco a maximização das competências linguísticas e comunicativas das pessoas em processo de reabilitação e, consequentemente, a melhoria da sua qualidade de vida e promoção da sua participação ativa na comunidade.[1,18,19] A intensidade, o número e a frequência da intervenção terapêutica são variáveis consideradas importantes neste contexto.[17,18,20] Referem-se efeitos positivos do treino intensivo seja na fase aguda[21] seja na fase crónica.[22] Todavia, ainda não é claro se o impacto benéfico da terapia se deve à intensidade dos exercícios terapêuticos ou à tipologia de exercícios e tarefas solicitadas.[16,20] A adaptação do plano terapêutico às necessidades individuais das pessoas com afasia[17,21] tem sido outro aspeto salientado nas investigações recentes, sugerindo-se a combinação de metodologias de reabilitação assentes na incapacidade com as baseadas na funcionalidade.[23]

Para proporcionar uma maior acessibilidade à terapia da fala e para intensificar o tratamento, têm sido recentemente desenvolvidas novas abordagens e metodologias terapêuticas como a telerreabilitação (síncrona e assíncrona),[24,25] programas de computador e aplicações móveis,[25] incluindo alguns a realidade virtual.[26] Têm adquirido igual relevo as abordagens neurofisiológicas, como a estimulação cerebral não invasiva, em conjunto com estratégias comportamentais, linguísticas e não linguísticas.[27] Outra solução tecnológica inovadora que vem adquirindo destaque em termos de investigação científica e que tem sido incorporada em novas abordagens de reabilitação é a interface cérebro-computador, mais conhecida pelo termo em inglês *brain computer interface* (BCI).[28,29]

A BCI, também denominada por *brain-machine interface*,[30] tem sido desenvolvida com base na premissa de que a neuroplasticidade cerebral permite a aprendizagem de novas funções por parte do sistema nervoso central, após determinado período de adaptação.[30–34] Assim, neste sistema, pretende-se que o utilizador adquira e mantenha uma nova competência, ocorrendo uma interação de dois controladores adaptativos. Por um lado, o cérebro do utilizador produz atividade eletrofisiológica (*input*) e, por outro, o sistema traduz essa atividade em comandos específicos (*output*), de acordo com um mecanismo designado por *closed-loop system*. Na classificação dos sistemas BCI, são habitualmente tidos em conta três aspetos: o tipo de técnicas de registo de atividade neuronal; a forma de envolvimento do utilizador (dependente ou independente) e o tipo de interação homem-computador (síncrona ou assíncrona). As técnicas de registo da atividade neuronal no sistema BCI podem ser não-invasivas, moderadamente invasivas ou invasivas.[28,34–36] Saliente-se que a maioria dos estudos de investigação em sistemas BCI privilegiam técnicas não-invasivas baseadas no eletroencefalograma (EEG), sobretudo por apresentarem uma resolução temporal com qualidade, serem seguras, de fácil utilização e, ainda, economicamente vantajosas.[31,36,37] Atualmente, vários estudos[38–42] revelam que diferentes métodos de registo em combinação têm potencial elevado.

No âmbito da reabilitação em afasia, os sistemas BCI têm sido essencialmente desenvolvidos com o intuito de responder às necessidades de interação comunicativa das pessoas com esta perturbação com o ambiente.[43–49] Com efeito, estes sistemas poderão ser utilizados como instrumentos de intervenção, em contexto clínico e no domicílio, sendo complementares à atividade do terapeuta da fala.

Os autores da presente revisão sistemática pretendem analisar se a intervenção realizada especificamente com sistemas do tipo BCI poderá potenciar a recuperação das competências linguísticas e comunicativas das pessoas com afasia, através de estratégias de reaprendizagem por *neurofeedback*.

Método

O presente estudo é de natureza metodológica e trata-se de uma revisão sistemática. Para o efeito, foi delineado, inicialmente, um protocolo com base nos princípios e diretrizes da PRISMA-P (*The Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*),[50] no qual se especificaram a metodologia do estudo (incluindo a estratégia de pesquisa), os critérios de elegibilidade, os critérios de exclusão e a forma de avaliação da qualidade dos estudos selecionados. O referido protocolo encontra-se registado na plataforma *International Prospective Register of Systematic Reviews* - PROSPERO (CRD42024528811).

Considerando um formato de pergunta de investigação do tipo PICO (acrónimo inglês para *patient*, *intervention*, *comparison* e *outcome*),[51] pretendeu-se responder à questão: de que forma, nas pessoas com afasia

pós-AVC (P), a intervenção terapêutica com recurso a um sistema BCI (I) poderá potenciar a recuperação das competências linguísticas e comunicativas (O). Neste trabalho, suprimiu-se a componente "comparação", visto que não foi definida uma intervenção contrastante.

Com efeito, a 22 de outubro de 2023, foram utilizadas, para efetuar esta revisão sistemática, as bases de dados PubMed Central®, SciELO®, LILACS®, Web of Science®, bem como as bases de dados integradas na plataforma EBSCO HOST® (*CINAHL Complete, Cochrane Collection Plus, Nursing & Allied Health Collection* e *Medic Latina*), sem restrição temporal ou de língua, com o recurso a termos e expressões MeSH (*Medical Subject Headings*) e, também, a termos não padronizados, em inglês (**Tabela 1**). Note-se que não foram pesquisados termos relacionados especificamente com AVC, não só para evitar uma pesquisa restrita num tema muito recente em termos de investigação científica, mas também para apurar a eventual existência de outras metodologias de intervenção e resultados não previstos. A consistência, credibilidade e neutralidade da evidência constituíram os critérios para a escolha das bases de dados anteriormente mencionadas. Foram, ainda, efetuadas pesquisas de outros artigos através da análise das referências e do rastreio das citações dos artigos incluídos. Nesta revisão, foram excluídos estudos de línguas diferentes do inglês, português e espanhol.

Tabela 1. Chaves de pesquisa utilizadas nas bases de dados escolhidas.

Termo, expressão MeSH	Termo, expressão de linguagem natural
aphasia	*people with aphasia, aphasic, acquired aphasia, alogia, acquired language disorder*
Brain-Computer Interfaces	*brain-computer interface, brain computer interface, BCI, brain machine interface, BMI*
neurofeedback	*EEG feedback, EEG-feedback, neural speech decoding, P300, neurofeedback therapy, biofeedback, biofeedback therapy, EEG, EEG-based*

A análise dos estudos obtidos através das diferentes bases de dados foi realizada no *software Rayyan*®.[52] Este *software* permitiu, também; obter informações bibliométricas básicas (contribuindo para a redução de viés entre autores); anexar textos completos; resolver duplicados e justificar as exclusões de estudos através de catalogação. Os títulos e os resumos foram analisados em relação aos critérios de elegibilidade e de exclusão (**Tabela 2**) por dois autores de forma independente. Aquando de situação discordante, os dois autores chegaram a um consenso, sem ser necessário recorrer a um terceiro elemento.[53] Foram selecionados os artigos que cumprissem os critérios de inclusão seguintes: incluíssem pessoas com afasia pós-AVC submetidas a metodologias de intervenção com base num sistema BCI; utilizassem um sistema BCI como instrumento de intervenção; artigos primários e publicados em inglês, português ou espanhol. Constituíram critérios de exclusão: estudos que incluíssem pessoas com afasia pós-AVC submetidas a outras metodologias de intervenção; artigos secundários; artigos incompletos; textos publicados em línguas diferentes do inglês, português ou espanhol; teses ou livros. Não foram excluídos artigos com base na data de publicação nem no nível de evidência.

Tabela 2. Critérios de elegibilidade dos registos da literatura

Item	Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
Participantes	· pessoas que tenham sido diagnosticadas com afasia pós-AVC e que tenham sido submetidas a metodologias de intervenção com base num sistema BCI.	· pessoas que tenham sido diagnosticadas com afasia pós-AVC e que não tenham sido submetidas a metodologias de intervenção com base num sistema BCI.
Intervenção	· utilização de sistema *brain-computer interface*	· terapia através de programas informáticos (informática como meio de comunicação entre profissional e paciente); · teleprática
Publicações	· ensaios clínicos controlados e aleatorizados; · estudos de coorte; · estudos observacionais; · estudos longitudinais; · estudos descritivos; · séries de estudos de caso; · estudos de caso e editoriais; · documentos considerados literatura cinzenta; · artigos publicados em inglês, português e espanhol; · sem limitação da data de publicação	· revisões da narrativa; · revisões sistemáticas; · meta-análises; · artigos incompletos; · teses; · livros

Posteriormente, foi realizada a seleção de estudos com base na leitura integral dos artigos primários. Este processo, desde a amostra inicial até ao resultado final, foi concebido de acordo com as diretrizes PRISMA,[50] após a aplicação de todos os critérios (**Fig. 1**).

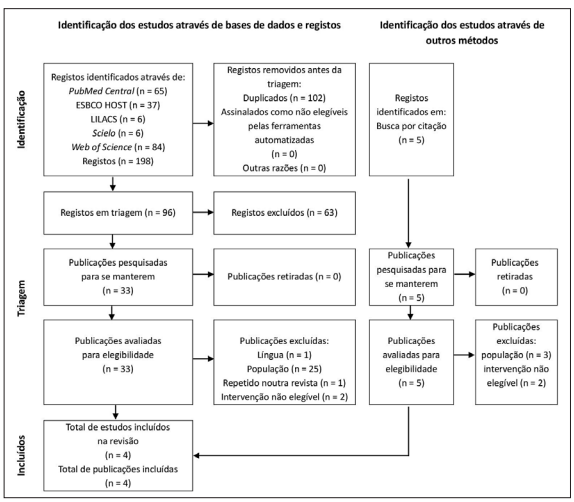

Figura 1. Fluxograma do processo de seleção dos estudos, baseado nas diretrizes PRISMA.[61]

Para a síntese da informação obtida, foi elaborada uma tabela (**Tabela 3**), que contém adicionalmente a análise de evidência de cada artigo, realizada de acordo com o modelo de avaliação crítica John Hopkins de níveis de evidência e avaliação da qualidade dos estudos.[54] Com o intuito de facilitar a análise das diferentes metodologias via BCI utilizadas pelos autores dos artigos selecionados, optou-se, ainda, por sumariar as principais características das mesmas (**Tabela 4**).

Resultados

A pesquisa nas bases de dados previamente mencionadas identificou 96 artigos, após a remoção das publicações duplicadas (**Fig. 1**). Posteriormente, foram excluídos 63 artigos, por não corresponderem aos critérios de seleção por título e resumo. Das 33 publicações mantidas para análise de elegibilidade através da leitura do texto completo, foram excluídas 29, por razões distintas: a intervenção não ter sido realizada em pessoas com afasia; a metodologia utilizada não corresponder à que está a ser alvo de investigação; equivaler a uma publicação já selecionada, mas integrada noutra revista, com um título diferente, e estar escrita numa língua diferente do inglês, português e espanhol. Quanto à pesquisa através da análise das referências e do rastreio das citações dos artigos incluídos, não foram identificados estudos pertinentes. Assim, nesta revisão sistemática, perfizeram-se como elegíveis quatro artigos.

Todos os estudos incluídos neste trabalho são *quasi*-experimentais, exploratórios, não aleatorizados, longitudinais e prospetivos (**Tabela 3**). Note-se que os estudos de Sreedharan, Chandran, Yanamala, Sylaja, Kesavadas & Sitaram[55] e Sreedharan, Arun, Sylaja, Kesavadas & Sitaram,[56] embora explorem objetivos diferentes de investigação, têm por base a mesma experiência, ou seja, a mesma amostra e metodologia de intervenção, pelo que, na **Tabela 3**, os dois são expostos na mesma linha. Os estudos incluídos apresentam conceções de investigação distintas: com apenas uma amostra clínica; com uma amostra de pessoas com afasia e um grupo de pessoas sem patologia, mas sem o propósito de comparar os dois grupos entre si no estudo, e com comparação do desempenho de três grupos distintos (grupo experimental, grupo de controlo e grupo sem patologia).

No conjunto dos artigos selecionados, foi identificado um total de 23 indivíduos adultos com afasia de diversos tipos, gravidade e fase de evolução. Contudo, a maioria dos participantes apresentava sobretudo afasia não fluente, do tipo Broca (n=17; 74%), quer na fase aguda e subaguda (entre dois a quatro meses[57] e de seis semanas a seis meses[55]) quer na fase crónica (de um a três anos[57] e de oito meses a cerca 12,5 anos[58]). No estudo de Kleih, Gottschalt, Teichlein & Weilbach,[57] os participantes tiveram intervenção simultânea com a terapia da fala tradicional, visto que se procurou exclusivamente verificar a utilização prática do sistema BCI proposto por parte de pessoas com afasia. Ao contrário deste estudo, os restantes trabalhos tiveram como objetivo analisar os efeitos das intervenções experimentadas ao nível da reabilitação da linguagem e comunicação das pessoas com esta alteração,[55,58] pelo que os seus participantes não frequentaram sessões de terapia tradicional.

Relativamente ao tipo de intervenção via BCI adotado (**Tabela 4**), todos os estudos incidiram na utilização de um sistema de BCI não invasivo, ora baseado no potencial P300 do EEG[57,58] ora com a integração da técnica de ressonância magnética funcional, em tempo real (rt-fMRI, na sigla inglesa). O tempo de treino, excluindo o tempo de preparação, variou entre 30 minutos (treino com rt-fMRI) e uma hora e meia (treino com EEG). Quanto à duração, frequência e intensidade da intervenção via BCI, verificou-se igualmente uma discrepância

Tabela 3. Tabela síntese dos estudos selecionados e análise de evidência

Autor, ano, referência	Tipos de estudo	Objetivos	População	Tipo de afasia pós-AVC	Intervenção Modelo de BCI, áreas-alvo	Resultados	Conclusões	Evidência: nível, qualidade
Kleih, Gottschalt, Teichlein & Weilbach; 2016[65]	Estudo exploratório, experimental não controlado, não aleatorizado, longitudinal, prospetivo	Investigar se as pessoas com afasia (ou mesmo as que preenchem os critérios de exclusão para a utilização de BCI) podem ser treinadas para a utilização de um soletrador visual P300 e, caso afirmativo, como o conseguem utilizar.	*n* = 5 5 E (3 f., 2 m.)	Não fluente (Broca) moderado a grave ou grave	P300 EEG-*based* BCI: sistema informático de linguagem escrita 6x6 (alfabeto de A a Z; números de 0 a 9). *Software BCI2000*.	Média: 3,2 sessões. H1: os participantes conseguem utilizar o sistema após treino personalizado com recurso a instruções dadas por linguagem verbal e não verbal. H2: a soletração autónoma é possível através da adaptação do paradigma padrão às necessidades dos utilizadores (utilização de uma cartolina preta com a letra-alvo, numa fase inicial, até ser possível a identificação da letra no meio de distratores no sistema BCI). H3: não foi possível confirmar se a capacidade de atenção potencia a escrita através do sistema BCI. H4: não foi possível confirmar se a amplitude do P300 aumenta com o treino, devido alteração do paradigma.	O uso de BCI visual baseado no P300 pode ser utilizado com participantes inexperientes, através de ajustes individuais.	Nível II Qualidade reduzida
Sreedharan, Chandran, Yanamala, Sylaja, Kesavadas & Sitaram; 2020;[66] Sreedharan, Arun, Sylaja, Kesavadas & Sitaram, 2019.[67]	Estudo exploratório experimental controlado, não aleatorizado longitudinal, prospetivo	Verificar se pessoas com afasia não fluente pós-AVC podem aprender a autorregular o sinal dependente do nível de oxigenação do sangue (BOLD) em áreas linguísticas do cérebro, através de treinos com neurofeedback com recurso a RT-fMRI Analisar se este tipo de intervenção possibilita uma melhoria nas competências linguísticas das pessoas com afasia.	*n* = 12 4 E (4 m.) 4 C (1 f., 3 m.) 4 N (4 m.)	Não fluente (Broca)	RT-fMRI em tempo real para NF: - C. front. inf. (área de Broca) - C. temp. sup. (área de Wernicke)	Sem diferenças significativas entre os grupos E e C. H1: o grupo E consegue realizar a autorregulação das áreas da linguagem, através do NF em RTfMRI; mas num nível inferior relativamente ao grupo N. H2: a melhoria da capacidade linguística do grupo E não foi significativamente superior à do grupo C. Outras hipóteses: - ativação significativa das áreas de Broca e Wernicke, peri e contralesionais, embora num nível inferior às ativações verificadas no grupo N; - fortalecimento da conectividade funcional entre as áreas de Broca e Wernicke superior no grupo E, comparativamente ao grupo C.	O discurso processado na área de Broca residual foi auxiliado pela formulação da fala na área de Wernicke (área de associação semântica no lobo temporal), pelo que a regulação ascendente tende a promover a linguagem verbal oral com significado. O treino com NF permite um maior recrutamento perilesional e contralesional, corroborando estudos anteriores.	Nível II Qualidade reduzida
Musso *et al*, 2022[58]	Estudo exploratório, experimental não controlado, não aleatorizado, longitudinal, prospetivo	Analisar se o treino seletivo de competências linguísticas (como o treino do tipo sensoriomotor), em tarefas simples, poderá potenciar a reabilitação cognitiva de pessoas com afasia.	*n* = 30 10 E (1 f., 9 m.) 20 N (10 f., 10 m.)	Fluente (Broca, global) e não fluente (anómica)	EEG-*based* BCI com *feedback*	H1: abordagem EEG-based BCI com feedback, com as adaptações contínuas do classificador, revelou ser viável. H2: os testes aplicados (AAT, S&V, CAL) apontam que, através do treino intensivo via BCI, é possível alcançar melhorias nas competências linguísticas e na comunicação funcional. H3: os resultados indicam que esta intervenção produz efeitos positivos apenas nas diferentes modalidades da linguagem e não em competências não linguísticas (e.g. atenção).	O sistema EEG-*based* BCI com *feedback* permite reforçar os componentes do PRE provocados por uma tarefa simples de linguagem. O treino induziu a recuperação das competências linguísticas em diferentes modalidades e na comunicação funcional.	Nível II Qualidade reduzida

n = - número de participantes. E - grupo experimental. C - grupo de controlo. N - grupo comparativo. f. – feminino. m. – masculino. RT-fMRI - ressonância magnética funcional, com imagens em tempo real. NF - treino com *neurofeedback*. c. front. inf. - circunvolução frontal inferior. c. temp. sup. - circunvolução temporal superior. EEG (eletroencefalograma). H1 – primeira hipótese, … PRE – potenciais relacionados a eventos.

entre os estudos: nos trabalhos de Kleih, Gottschalt, Teichlein & Weilbach[57] e nos de Sreedharan, Chandran, Yanamala, Sylaja, Kesavadas & Sitaram[55] e Sreedharan, Arun, Sylaja, Kesavadas & Sitaram,[56] os participantes foram sujeitos a um máximo de seis sessões, entre sete a 12 dias úteis e seis semanas, respetivamente; ao passo que, no estudo de Musso *et al*,[58] a experiência decorreu em 14,9 sessões (em média), até um máximo de 30 horas, ao longo de três meses.

Acerca dos instrumentos de avaliação selecionados, verificam-se diferentes tecnologias de recolha de dados das amplitudes do P300 do EEG (*online* e *offline*) e das regiões de interesse ROI (acrónimo inglês para *region of interest*) ativadas em tarefas de fMRI (em repouso e em tempo real), tendo em conta os resultados pretendidos (**Tabela 4**). Foram aplicados os testes de avaliação da linguagem *Aachen Aphasia Test*, *Snodgrass & Vanderwart naming test*[55] e *Western Aphasia battery*,[58] o teste de avaliação da comunicação funcional *Communicative Activity Log*[58] e os testes neuropsicológicos *Testbatterie zur*

Tabela 4. Tabela síntese das metodologias de intervenção utilizadas nos quatro estudos em análise

Autor, ano, referência	Metodologia de BCI adotada	Afasia pós-AVC					Intervenção experimental	Instrumentos, técnicas de avaliação utilizados
		Tipo, gravidade	Estadios		Sessões		Metodologias, estímulos ou tarefas solicitadas	
			RE	Cr.	Qt.	Dur.		
Kleih *et al*, 2016[65]	P300 EEG-*based* BCI: 12 elétrodos; sistema 6x6 *Software BCI2000 User-centered design* (UCD)	Não fluente (Broca) moderado a grave ou grave	x	x	3 - 6	1h30m (7 a 12 dias úteis)	· Pré-treino (2h): TAP e EEG-based BCI · Treino EEG-*based* BCI (1h30): a) 10 sequências com 20 estímulos (10 x linha; 10 x coluna), *flash* de 62.5 ms; 15 letras/ sessão; b) escrita, soletração por cópia; c) escrita, soletração livre. · Intervenção simultânea com terapia da fala tradicional (sessões de 30m, 5x/ semana).	- *Brain Vision Analyzer* (para dados EEG); - TAP; - Questionário informal pós-treino.
	Conclusão	O uso de BCI visual baseado no P300 pode ser utilizado com participantes inexperientes, através de ajustes individuais.						
	Limitações	- estudo sem grupo de controlo; - reduzido número de participantes; - reduzido tempo de treino; - sem análise estatística; - com o novo paradigma (cartolina versus sistema informático), não foi possível determinar se os participantes apenas olharam ou se concentraram a sua atenção na letra-alvo; - com o novo paradigma, não foi possível determinar se amplitude do P300 aumenta com o treino, visto que os processos de eliciação dos PRE na apresentação em cartolina diferem dos do sistema informático.						
Sreedharan, Chandran, Yanamala, Sylaja, Kesavadas & Sitaram; 2020;[66] Sreedharan, Arun, Sylaja, Kesavadas & Sitaram, 2019.[67]	Regulação ascendente do sinal BOLD, com NF em RT-fMRI e FC entre as áreas da linguagem	Não fluente (Broca)	x		6	1h / sem. (6 sem.)	Pré-treino (1ª sem.) - exame anatómico; - localização funcional; - RT-fMRI, 6 blocos com sequências de 4 sub-blocos. Treino (2.ª a 5ª sem.): - exame anatómico (6m); - localização funcional (3m). RT-fMRI (30m) de 6 blocos com sequências de 2 subblocos (sem nomeação): 1º. visualização de um fundo azul a indicar repouso no scanner (linha de base); 2º. visualização de um fundo verde como sinal para exercitar as áreas linguísticas e aumento dos níveis de acordo com o *feedback* fornecido (regulação ascendente); 3º. produção de discurso simulado (sem realizar movimentos) para fazer subir as barras de um gráfico em forma de termómetro (com barras azuis até à linha de base e barras vermelhas acima da linha de base). Pós-treino (6ª sem.) - exame anatómico - localização funcional - RT-fMRI, 6 blocos com sequências de 4 sub-blocos	- SPM8 (para dados fMRI *offline*); - GLM; - mapas AAL (para ROI); - obtenção da percentagem correta de acertos e tempo de resposta (tarefa de nomeação de imagens); - WAB.
	Conclusão	A autorregulação ascendente tende a promover a produção de linguagem com significado.						
	Limitações	- reduzido n.º de participantes; - reduzido tempo de treino; - correlação desconhecida entre a tarefa de regulação ascendente e a tarefa de nomeação de imagens ou o teste WAB - dificuldade em saber como replicar a tarefa (as atividades linguísticas foram escolhidas autonoma e aleatoriamente pelo participante); - os participantes podem ter ativado apenas as redes linguísticas que exigiam menos esforço; - alguns participantes não conseguiram premir o botão na tarefa de nomeação de imagens, devido à fraqueza em ambas as mãos.						
Musso *et al*, 2022[58]	EEG-based BCI com *feedback*	Fluente e não fluente (diferentes tipos de gravidade)		x	14,9 (média)	4x / sem até total de 30h (3 M) 6h26m / sem. (média)	Pré-treino: - testes linguísticos; - testes neuropsicológicos; - rs-fMRI (6m). - EEG sem *feedback*; Treino: - EEG multicanal sem feedback (63 elétrodos) (30m); - nomeação de 25-30 imagens (5m); - pausa (3m); - 2 séries de *oddball* auditivo não verbal - treino auditivo com protocolo AMUSE (10m); - familiarização (5m); - EEG-based BCI com *feedback* (31 elétrodos), várias sequências (1h-1h30), com a estrutura: 1º. pista «get ready» (3s); 2º. audição de frase em *responsive naming* (5s); 3º. audição de 6 palavras com a palavra-alvo (nomes dissílabos) em escolha múltipla (32s) em 15 séries; 4º. análise EEG + feedback auditivo e visual (10s); 5º. pausa (5s). Palavras-alvos e não alvos selecionadas de forma pseudoaleatória com diferentes formatos silábicos. Participantes com autonomia na seleção de estratégias individuais em tarefas de reconhecimento das palavras-alvos (*e.g.* «discurso interior» ou *inner speech*).	- rs-fMRI; - amplificador EEG (BrainAmp DC, Brain Products); - Ag/AgCl (EasyCap); - MATLAB versão 2014b com BBCI *toolbox*; - AAT; - S&V; - CAL; - TAP; - *Digit span*; - *Corsi span*; - fluência semântica e fonológica
	Conclusões	- esta metodologia, independentemente da gravidade inicial da afasia, produz efeitos positivos ao nível da linguagem e da comunicação funcional; - esta metodologia permite o reforço da rede linguística e o reequilíbrio das redes funcionais; - este estudo, considerando o debate atual sobre o papel da neuroplasticidade cerebral induzida pela terapia, indica que o reforço da atividade cerebral pode ser benéfico para a reabilitação cognitiva.						
	Limitações	- estudo não aleatorizado; - estudo sem grupo de controlo; - risco potencial de treinar informação não-alvo, com esta abordagem de descodificação adaptativa; - vieses nos resultados EEG advindos de artefactos não controlados (e.g. piscar de olhos); - não foram incluídas no estudo variáveis como a variável sexo.						

RE – fase de recuperação. Cr. – fase crónica. Qt. – quantidade. Dur. – duração. h-horas. m – minutos. s – segundos. ms – milissegundos. sem. – semanas. M – meses. rs-fMRI – exame de ressonância magnética funcional em "Resting-state". TAP - *Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung*. GLM – modelo linear generalizado. ROI – regiões cerebrais de interesse. WAB - *Western Aphasia battery*. AAT - *Aachen Aphasia Test*. S&V - *Snodgrass & Vanderwart naming test*. CAL - *Communicative Activity Log*.

Aufmerksamkeitsprüfung,[57,58] *Digit span*,[58] *Corsi span*[58] e fluência semântica e fonológica.[58] Saliente-se, também, o questionário de autoavaliação informal do estudo de Kleih, Gottschalt, Teichlein & Weilbach,[57] especificamente adaptado para a investigação.

Os resultados alcançados permitiram corroborar algumas das hipóteses defendidas pelos diferentes autores: o uso de BCI visual baseado no P300 pode ser utilizado com participantes inexperientes, através de ajustes individuais[57]; o treino com o sistema de BCI com a integração de rt-fMRI tende a promover a linguagem verbal oral com significado e permite um maior recrutamento perilesional e contralesional[55,59]; o treino através do sistema EEG-*based* BCI com *feedback* possibilita reforçar os componentes dos potenciais relacionados a eventos (PRE), provocados por uma tarefa simples de linguagem, e induzir a recuperação das competências linguísticas em diferentes modalidades, bem como na comunicação funcional.[58]

Quanto ao nível de evidência, e de acordo com o modelo de níveis de evidência John Hopkins, anteriormente referido, todos os estudos analisados são de qualidade de evidência reduzida, nível II.

Discussão

Os resultados desta revisão sistemática demonstram o crescente interesse pelo desenvolvimento de diferentes sistemas BCI. Estes sistemas apresentam combinações de técnicas variadas de recolha e estimulação das atividades neuronais, ganhando destaque a técnica do EEG. O treino com base em mecanismos de *neurofeedback* destacou-se nos três estudos como um aspeto fundamental para a aprendizagem dentro do ciclo do BCI. Coloca-se o enfoque já não exclusivamente na substituição das funções lesadas, mas na reabilitação das mesmas. Os estudos analisados apresentam evidência limitada, constituindo trabalhos exploratórios, com amostras pequenas e heterogéneas, com o recurso a tecnologias diversas e metodologias de intervenção terapêutica diferentes.

Os estudos *quasi*-experimentais, com recolha de dados antes e depois da intervenção, são relativamente simples de realizar e são superiores aos estudos observacionais,[60] visto que o investigador tem algum controlo sobre as diferentes variáveis.[61] Dentro dos trabalhos em análise, apenas o de Sreedharan, *et al*[55] e o de Sreedharan *et al*[56] incluíram um grupo de controlo. Em todos, pretendeu-se avaliar o efeito de uma intervenção, através da medição e avaliação do desempenho dos indivíduos antes e depois da introdução da intervenção delineada. Ora, num estudo sem grupo de controlo, o resultado é diretamente atribuído ao tratamento recebido pelo grupo, não permitindo provar de forma fidedigna se o mesmo se deveu à intervenção implementada ou ao acaso.[61] Neste tipo de experiências, pode, ainda, ocorrer o chamado "efeito Hawthorne" (também conhecido como "efeito do observador", é um fenómeno em que os indivíduos alteram o seu comportamento ao constatarem que estão a ser observados),[62] que pode levar a uma sobrevalorização da eficácia da intervenção.[60]

A dificuldade em integrar grupos homogéneos de pessoas com afasia nos estudos tem sido referida como uma limitação nas investigações.[63] Todas as experiências dos estudos em análise incluíram participantes com características heterogéneas, não só em termos de fase de evolução, mas também ao nível da gravidade da afasia, o que constitui um viés, por impossibilitar antever um padrão de comportamentos com este tipo de intervenção. As fragilidades metodológicas reveladas nos trabalhos selecionados nesta revisão sistemática (diferentes metodologias de intervenção e variabilidade na duração, intensidade e frequência das sessões), também, influenciaram a classificação do grau de evidência.

O sistema BCI baseado no P300 tem sido muito popular em diferentes estudos experimentais com BCI,[64] o que explica o recurso a esta tecnologia por parte de Kleih *et al*[57] e de Musso *et al*.[58] Os primeiros procuram demonstrar que o BCI visual com base no P300 pode ser utilizado com participantes inexperientes, através de ajustes individuais. Os segundos enfatizam que um sistema BCI baseado no EEG, independentemente da gravidade inicial da afasia, produz efeitos positivos ao nível da linguagem e da comunicação funcional, permitindo aparentemente o reforço da rede linguística e a reestruturação das redes funcionais. Saliente-se que estudos anteriores,[65] medindo o P300 em pessoas com afasia, num paradigma de *oddball* auditivo, revelam que os participantes com as amplitudes mais elevadas do P300 apresentam melhores capacidades linguísticas. Defende-se, por um lado, que o treino de uma competência linguística básica poderá promover a estimulação de competências linguísticas superiores (incluindo a produção verbal e a linguagem escrita), por partilharem parcialmente as mesmas redes neuronais, e, por outro lado, que o discurso interno e externo no modelo de Levelt (*bottom-up* e

top-down) interage fortemente a nível neuronal, explicando o modo de ação do treino via BCI.[58]

Tendo em conta o pressuposto de que a autorregulação da atividade neuronal em áreas específicas do cérebro relacionadas com a linguagem possa ser uma ferramenta em termos de neurorreabilitação, têm sido alvo de estudo outras estratégias com recurso a sistemas de neuroengenharia, como os que integram a técnica de neuroimagem rt-fMRI.[66,67] No trabalho de Sreedharan, *et al*[55] foi utilizado um computador com o programa *Turbo-Brain Voyager*, o qual permite gerar o *neurofeedback* em tempo real, através de dois *clusters* de ativação na área de Broca e na área de Wernicke (identificadas como ROI), em tarefas de localização funcional. Como resultado, verificou-se que o treino de *neurofeedback* em pessoas com afasia pós-AVC e a autorregulação do sinal *Blood Oxygenation Level Dependent* permitem uma ativação significativa da área de Broca (na área perilesional do hemisfério dominante, em especial, no opérculo de Rolando), da área de Wernicke (nas circunvoluções pós-central, temporal média e angular do hemisfério dominante) e das suas homólogas não-dominantes. Note-se que, neste estudo, os indivíduos saudáveis obtiveram ativações maiores nas regiões mencionadas do que os grupos experimental e de controlo.[55] Sugere-se que o recurso à estratégia de *neurofeedback* do sistema de BCI com a integração de rt-fMRI induz a aprendizagem do tipo hebbiana, em que o utilizador, ao executar repetidamente diferentes tarefas linguísticas escolhidas por si, visualiza, em tempo real, a sua atividade neuronal e, com este *feedback* visual, sentir-se-á mais motivado, exercitando as suas competências linguísticas.[55] Os resultados, nesta experiência, indicam uma maior conectividade funcional no hemisfério dominante do grupo experimental, após o treino de *neurofeedback*, comparativamente à do grupo de controlo.[55]

Todavia, os testes WAB (*Western Aphasia Battery*) e teste de nomeação de imagens aplicados no estudo da BCI com a integração de rt-fMRI[55] revelaram que a melhoria da capacidade linguística do grupo experimental não foi significativamente superior à do grupo de controlo, apesar de se ter verificado a ativação de redes neuronais da linguagem, aquando das sessões de treino. Pensa-se que a ausência de melhorias significativas pode dever-se ao período relativamente curto em que foram realizadas as sessões de treino com *neurofeedback*,[55,56] visto que a dosagem, a intensidade e a frequência das intervenções são variáveis importantes na reabilitação de pessoas com afasia. É igualmente referido que utilização da técnica da ressonância magnética pode não ser a mais eficaz por ser dispendiosa e por requerer um elevado tempo de preparação, propondo-se outros mecanismos de *neurofeedback*, como a espectroscopia de infravermelhos próximos e os sistemas baseados no EEG.[55] Alguns autores[68] destacam que a sensibilidade das medidas utilizadas para estudar o efeito comportamental do treino de *neurofeedback* com rt-fMRI constitui um aspeto muito relevante, assim como a seleção de índices que permitam mostrar alterações clinicamente significativas, no sentido de se provar a sua eficácia terapêutica.

Portanto, são necessários mais estudos para demonstrar o papel das áreas perilesionais identificadas e das áreas homólogas não-dominantes, referentes à área de Broca, na recuperação da linguagem. Há alguma evidência de que as áreas ipsilesionais podem assumir a função das áreas lesadas[56,69] e que um conjunto diferente de regiões cerebrais pode ser recrutado, para compensar a alteração ocorrida ao nível da conetividade funcional.[15,56,70–72] Contudo, não é ainda consensual, na literatura, o papel das regiões cerebrais dos hemisférios dominante e não dominante na recuperação da linguagem em pessoas com afasia pós-AVC.[63]

Embora os dados atuais sugiram que a neuroplasticidade permite potenciar a reabilitação na afasia pós-AVC, há fatores internos e externos ao organismo que colocam limites ao conhecimento dos mecanismos de neuroplasticidade importantes para o sucesso terapêutico.[27,73] A localização e extensão da lesão das estruturas cerebrais relacionadas com a linguagem, o impacto dessa lesão nos sistemas funcionais, bem como a própria heterogeneidade das pessoas com esta alteração (quer a nível neurofisiológico, psicológico e comportamental quer a nível das suas características enquanto participantes nas experiências científicas) são alguns dos fatores apontados.[27,73] Numa meta-análise recente sobre os mecanismos de neuroplasticidade em pessoas com afasia pós-AVC,[74] além das populações integrantes nos estudos serem muito heterogéneas, foram, também, descritas limitações metodológicas nos estudos deste âmbito. Sugere-se o desenvolvimento de abordagens baseadas em paradigmas de mapeamento de linguagem adaptativa e estudos com amostras de participantes mais robustas.[74]

A utilização efetiva das BCI em aplicações clínicas enfrenta, ainda, muitos desafios, sendo importante ter em consideração fatores como a facilidade de utilização do dispositivo, o esforço cognitivo exigido, a naturalidade da interação homem-máquina e os modelos independentes da sessão e do utilizador.[75] Existem, ainda, outras revisões sistemáticas[76] que referem outros obstáculos à aplicação dos sistemas BCI: a falta de autonomia por parte dos utilizadores; a baixa taxa de transferência de dados; a elevada variabilidade simultânea dos sinais cerebrais (apresentando, por isso, resultados pouco fiáveis); a impossibilidade de ocorrer uma autoavaliação dos erros; a instabilidade do sistema a longo prazo; a classificação incorreta do sinal; o desconhecimento na utilização deste sistema por parte dos utilizadores.

Quanto às limitações da presente revisão sistemática, saliente-se o número reduzido de publicações que respondessem à questão de investigação. Muitos trabalhos foram excluídos pelo facto de as experiências não terem como participantes pessoas com afasia e por a metodologia de intervenção não incorporar um sistema BCI. Outros estudos foram igualmente excluídos por estarem em língua não dominada pelos investigadores, o que pode ter contribuído para o risco de viés de idioma. Realce-se, ainda, a heterogeneidade dos trabalhos que dificultou a síntese dos dados, especialmente porque as medidas de análise variaram significativamente, entre eles.

Conclusão

Apesar de a literatura começar a descrever e a valorizar a utilização de interfaces cérebro-computador como uma ferramenta de intervenção na reabilitação de pessoas com afasia pós-AVC, os estudos existentes ainda são insuficientes para permitir analisar a eficácia na sua recuperação. Investigações futuras neste âmbito deverão ter em consideração os fatores internos e externos que poderão influenciar a recuperação das competências linguísticas e comunicativas das pessoas com esta alteração, assim como recorrer a sistemas de BCI que prevejam a combinação de diferentes métodos de registo e técnicas de neuroimagem.

Embora os dados indiquem que, na reabilitação de pessoas com afasia, metodologias terapêuticas de base comportamental conduzem a melhorias significativas na comunicação, a manutenção e generalização das suas competências linguísticas e comunicativas constituem, ainda, um desafio. Sugere-se a adoção de abordagens multimodais que combinem várias fontes de dados (*e.g.* biomarcadores, medidas comportamentais e de neuroimagem), tendo em vista a adaptação das intervenções terapêuticas às necessidades individuais desta população, sem descurar os potenciais benefícios de tratamentos intensivos. Com o avanço da tecnologia, espera-se que, em breve, a terapia da fala convencional possa ser complementada com sistemas BCI que estimulem e reforcem as redes de linguagem através de mecanismos de *neurofeedback*.

Em síntese, os sistemas BCI ainda não demonstraram eficácia comprovada na reabilitação da afasia pós-AVC, mas o potencial inovador é evidente. Futuros avanços em tecnologia, rigor metodológico e abordagens centradas na pessoa com afasia são indispensáveis para superar desafios e integrar essas ferramentas na prática clínica. ■

Contributorship Statement / Declaração de Contribuição

ASB: Conceção do estudo, pesquisa bibliográfica, redação do manuscrito e revisão

ASB, PM: Recolha e análise de dados

ITL: Supervisão

Todos os autores aprovaram a versão final a ser publicada.

ASB: Study conceptualization, literature review, manuscript writing, and revision

ASB, PM: Article collection and analysis

ITL: Supervision

All the authors approved the final version to be published.

Responsabilidades Éticas

Conflitos de Interesse: Os autores declaram a inexistência de conflitos de interesse.

Apoio Financeiro: Este trabalho não recebeu qualquer subsídio, bolsa ou financiamento.

Proveniência e Revisão por Pares: Não solicitado; revisão externa por pares.

Ethical Disclosures

Conflicts of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Support: This work has not received any contribution grant or scholarship.

Provenance and Peer Review: Not commissioned; externally peer-reviewed.

References / Referências

1. Brookshire RH, McNeil MR. Introduction to Neurogenic Communication Disorders. Amsterdam: Elsevier Health Sciences; 2014.
2. Papathanasiou I, Coppens P, Davidson B. Aphasia and related neurogenic communication disorders: basic concepts, management, and use of technology. In: Aphasia and Related Neurogenic Communication Disorders. 3rd ed. London: Jones & Bartlett Publishers; 2022.
3. Grönberg A, Henriksson I, Stenman M, Lindgren AG. Incidence of Aphasia in Ischemic Stroke. Neuroepidemiology.

2022;56:174-82. doi:10.1159/000524206
4. Dickey L, Kagan A, Lindsay MP, Fang J, Rowland A, Black S. Incidence and Profile of Inpatient Stroke-Induced Aphasia in Ontario, Canada. Arch Phys Med Rehabil. 2010;91:196-202. doi:10.1016/j.apmr.2009.09.020
5. Patrício B, Jesus L, Cruice M, Hall A. Quality of Life Predictors and Normative Data. Soc Indic Res. 2014;119:1557-70. doi:10.1007/s11205-013-0559-5
6. Bullier B, Cassoudesalle H, Villain M, Cogné M, Mollo C, De Gabory I, et al. New factors that affect quality of life in patients with aphasia. Ann Phys Rehabil Med. 2020;63:33-7. doi:10.1016/j.rehab.2019.06.015
7. Laures-Gore JS, Dotson VM, Belagaje S. Depression in Post-stroke Aphasia. Am J Speech Lang Pathol. 2020; 29:1798-810. doi:10.1044/2020_AJSLP-20-00040
8. Baker C, Worrall L, Rose M, Hudson K, Ryan B, O'Byrne L. A systematic review of rehabilitation interventions to prevent and treat depression in post-stroke aphasia. Disabil Rehabil. 2018; 40:1870-92. doi:10.1080/09638288.2017.1315181
9. Spaccavento S, Craca A, Del Prete M, Falcone R, Colucci A, Di Palma A, et al. Quality of life measurement and outcome in aphasia. Neuropsychiatr Dis Treat. 2013;10:27-37. doi: 10.2147/NDT.S52357
10. Dalemans RJP, De Witte L, Wade D, Van Den Heuvel W. Social participation through the eyes of people with aphasia. Int J Lang Commun Disord. 2010; 45: 537-50. doi: 10.3109/13682820903223633
11. Mazaux JM, Lagadec T, de Sèze MP, Zongo D, Asselineau J, Douce E, et al. Communication activity in stroke patients with aphasia. J Rehabil Med. 2013; 45:341-6. doi:10.2340/16501977-1122
12. Bersano A, Burgio F, Gattinoni M, Candelise L. Aphasia Burden to Hospitalised Acute Stroke Patients: Need for an Early Rehabilitation Programme. Int J Stroke. 2009;4:443-47. doi:10.1111/j.1747-4949.2009.00349.x
13. Flowers HL, Skoretz SA, Silver FL, Rochon E, Fang J, Flamand-Roze C, et al. Poststroke aphasia frequency, recovery, and outcomes: a systematic review and meta-analysis. Arch Phys Med Rehabil. 2016; 97: 2188-201.e8. doi:10.1016/j.apmr.2016.03.006
14. Simmons-Mackie N, Kagan A. Application of the ICF in Aphasia. Semin Speech Lang. 2007; 28: 244-53. doi:10.1055/s-2007-986521
15. Meier EL, Johnson JP, Pan Y, Kiran S. A lesion and connectivity-based hierarchical model of chronic aphasia recovery dissociates patients and healthy controls. NeuroImage Clin. 2019; 23:101919. doi: 10.1016/j.nicl.2019.101919
16. Sheppard SM, Sebastian R. Diagnosing and managing post-stroke aphasia. Expert Rev Neurother. 2021; 21: 221-34. doi :10.1080/14737175.2020.1855976
17. RELEASE Collaboration & Stahl. Dosage, Intensity, and Frequency of Language Therapy for Aphasia: A Systematic Review-Based, Individual Participant Data Network Meta-Analysis. Stroke. 2022; 53: 956-67. doi: 10.1161/STROKEAHA.121.035216
18. Brady MC, Kelly H, Godwin J, Enderby P, Campbell P. Speech and language therapy for aphasia following stroke. Cochrane Database Syst Rev. 2016; 2016: CD000425. doi: 10.1002/14651858.CD000425.pub4
19. Elman RJ. C.A.P.E.: A checklist of four essential and evidence-based categories for aphasia intervention. In: Neurogenic Communication Disorders and the Life Participation Approach: The Social Imperative in Supporting Individuals and Families. San Diego,: Plural Publishing Inc.; 2021. p.21-52.
20. Brogan E, Ciccone N, Godecke E. An exploration of aphasia therapy dosage in the first six months of stroke recovery. Neuropsychol Rehabil. 2021; 31:1254-88. doi: 10.1080/09602011.2020.1776135
21. Martins IP, Leal G, Fonseca I, Farrajota L, Aguiar M, Fonseca J, et al. A randomized, rater-blinded, parallel trial of intensive speech therapy in sub-acute post-stroke aphasia: the SP-I-R-IT study. Int J Lang Commun Disord. 2013;48: 421-31. doi:10.1111/1460-6984.12018
22. Pierce JE, O'Halloran R, Menahemi-Falkov M, Togher L, Rose ML. Comparing higher and lower weekly treatment intensity for chronic aphasia: A systematic review and meta-analysis. Neuropsychol Rehabil. 2021;31: 1289-313. doi:10.1080/09602011.2020.1768127
23. Galletta EE, Barrett AM. Impairment and functional interventions for aphasia: having it all. Curr Phys Med Rehabil Rep. 2014; 2 :114-20. doi: 10.1007/s40141-014-0050-5
24. Cherney LR, Lee JB, Kim KY, Van Vuuren S. Web-based Oral Reading for Language in Aphasia (Web ORLA ®): A pilot randomized control trial. Clin Rehabil. 2021; 35:976-87. doi: 10.1177/0269215520988475
25. Meltzer JA, Baird AJ, Steele RD, Harvey SJ. Computer-based treatment of poststroke language disorders: a non-inferiority study of telerehabilitation compared to in-person service delivery. Aphasiology. 2018;32:290-311. doi: 10.1080/02687038.2017.1355440
26. Marshall J, Booth T, Devane N, Galliers J, Greenwood H, Hilari K, et al. Evaluating the Benefits of Aphasia Intervention Delivered in Virtual Reality: Results of a Quasi-Randomised Study. PloS One. 2016;11:e0160381. doi: 10.1371/journal.pone.0160381
27. Kiran S, Thompson CK. Neuroplasticity of Language Networks in Aphasia: Advances, Updates, and Future Challenges. Front Neurol. 2019;10:295. doi: 10.3389/fneur.2019.00295
28. Bockbrader MA, Francisco G, Lee R, Olson J, Solinsky R, Boninger ML. Brain Computer Interfaces in Rehabilitation Medicine. PM&R. 2018;10:S233-43. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.05.028
29. Bocquelet F, Hueber T, Girin L, Chabardès S, Yvert B. Key considerations in designing a speech brain-computer interface. J Physiol Paris. 2016;110:392-401. doi: 10.1016/j.jphysparis.2017.07.002
30. Lebedev M. Brain-machine interfaces: an overview. Transl Neurosci. 2014;5:99-110. doi: 10.2478/s13380-014-0212-z
31. Daly JJ, Wolpaw JR. Brain–computer interfaces in neurological rehabilitation. Lancet Neurol. 2008;7:1032-43. doi: 10.1016/S1474-4422(08)70223-0
32. Nicolas-Alonso LF, Gomez-Gil J. Brain Computer Interfaces, a Review. Sensors. 2012;12:1211-79. doi: 10.3390/s120201211
33. Silvoni S, Ramos-Murguialday A, Cavinato M, Volpato C, Cisotto G, Turolla A, et al. Brain-Computer Interface in Stroke: A Review of Progress. Clin EEG Neurosci. 2011;42:245-52. doi: 10.1177/155005941104200410
34. Sreedharan S, Sitaram R, Paul JS, Kesavadas C. Brain-computer interfaces for neurorehabilitation. Crit Rev Biomed Eng. 2013;41:269-79. doi: 10.1615/critrevbiomedeng.2014010697
35. Birbaumer N. Breaking the silence: Brain–computer interfaces (BCI) for communication and motor control. Psychophysiology. 2006;43:517-32. doi: 10.1111/j.1469-8986.2006.00456.x
36. Mridha MF, Das SC, Kabir MM, Lima AA, Islam MR, Watanobe Y. Brain-Computer Interface: Advancement and Challenges. Sensors. 2021;21:5746. doi: 10.3390/s21175746
37. van Gerven M, Farquhar J, Schaefer R, et al. The brain-computer interface cycle. J Neural Eng. 2009; 6:041001. doi: 10.1088/1741-2560/6/4/041001
38. Barbosa S, Pires G, Nunes U. Toward a reliable gaze-independent hybrid BCI combining visual and natural auditory stimuli. J Neurosci Methods. 2016; 261:47-61. doi: 10.1016/j.jneumeth.2015.11.026
39. Mannan MMN, Kamran MA, Kang S, Choi HS, Jeong MY. A Hybrid Speller Design Using Eye Tracking and SSVEP Brain–Computer Interface. Sensors. 2020;20: 891. doi:10.3390/s20030891
40. Pires G, Barbosa S, Nunes UJ, Gonçalves E. Visuo-auditory stimuli with semantic, temporal and spatial congruence for a P300-based BCI: An exploratory test with an ALS patient in a completely locked-in state. J Neurosci Methods. 2022; 379: 109661. doi: 10.1016/j.jneumeth.2022.109661
41. Xu M, Han J, Wang Y, Jung TP, Ming D. Implementing Over 100 Command Codes for a High-Speed Hybrid Brain-Computer Interface Using Concurrent P300 and SSVEP Features. IEEE Trans Biomed Eng. 2020;67:3073-82. doi:10.1109/TBME.2020.2975614

42. Amiri S, Fazel-Rezai R, Asadpour V. A Review of Hybrid Brain-Computer Interface Systems. Adv Hum-Comput Interact. 2013; 2013: e187024. doi:10.1155/2013/187024
43. Birbaumer N, Kubler A, Ghanayim N, Hinterberger T, Perelmouter J, Kaiser J, et al. The thought translation device (TTD) for completely paralyzed patients. IEEE Trans Rehabil Eng. 2000; 8:190-3. doi:10.1109/86.847812
44. Zimmer CA, Devlin PM, Werner JL, Stamp CV, Bellian KT, Powell DM, et al. Adaptive Communication Systems for Patients with Mobility Disorders. J Burn Care Rehabil. 1991; 12:353-60. doi: 10.1097/00004630-199107000-00014
45. Guenther FH, Brumberg JS, Wright EJ, Nieto-Castanon A, Tourville JA, Panko M, et al. A wireless brain-machine interface for real-time speech synthesis. PloS One. 2009;4:e8218. doi: 10.1371/journal.pone.0008218
46. Pérez-Marcos D, Buitrago JA, Velásquez FD. Writing through a robot: A proof of concept for a brain–machine interface. Med Eng Phys. 2011; 33:1314-7. doi: 10.1016/j.medengphy.2011.06.005
47. Yuna Y, Yanyan Z, Wenwen Z, Nuo G. Speech Care System for Stroke Based on Asynchronous Brain-Computer Interface (BCI). In: 2019 IEEE 4th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP); 2019:274-8. doi: 10.1109/SIPROCESS.2019.8868885
48. Lech M, Kucewicz MT, Czyzewski A. Human Computer Interface for Tracking Eye Movements Improves Assessment and Diagnosis of Patients With Acquired Brain Injuries. Front Neurol. 2019;10. doi:10.3389/fneur.2019.00006
49. van Kokswijk J, Van Hulle M. Self adaptive BCI as service-oriented information system for patients with communication disabilities. In: 4th International Conference on New Trends in Information Science and Service Science; 2010: 264-269. [Accessed January 25, 2024] Available at: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5488610.
50. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ. 2021; 372: n71. doi: 10.1136/bmj.n71
51. Donato H, Donato M. Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. Acta Médica Port. 2019; 32: 227-35. doi: 10.20344/amp.11923
52. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. Syst Rev. 2016; 5:210. doi:10.1186/s13643-016-0384-4
53. Muka T, Glisic M, Milic J, Verhoog S, Bohlius J, Bramer W, et al. A 24-step guide on how to design, conduct, and successfully publish a systematic review and meta-analysis in medical research. Eur J Epidemiol. 2020; 35: 49-60. doi: 10.1007/s10654-019-00576-5
54. Dang D, Dearholt SL, Bissett K, Ascenzi J, Whalen M. Johns Hopkins Evidence-Based Practice for Nurses and Healthcare Professionals: Model and Guidelines. 4th ed. Indianapolis: Sigma Theta Tau; 2021.
55. Sreedharan S, Chandran A, Yanamala VR, Sylaja PN, Kesavadas C, Sitaram R. Self-regulation of language areas using real-time functional MRI in stroke patients with expressive aphasia. Brain Imaging Behav. 2020; 14:1714-30. doi: 10.1007/s11682-019-00106-7
56. Sreedharan S, Arun KM, Sylaja PN, Kesavadas C, Sitaram R. Functional Connectivity of Language Regions of Stroke Patients with Expressive Aphasia During Real-Time Functional Magnetic Resonance Imaging Based Neurofeedback. Brain Connect. 2019; 9:613-26. doi: 10.1089/brain.2019.0674
57. Kleih SC, Gottschalt L, Teichlein E, Weilbach FX. Toward a P300 Based Brain-Computer Interface for Aphasia Rehabilitation after Stroke: Presentation of Theoretical Considerations and a Pilot Feasibility Study. Front Hum Neurosci. 2016; 10. doi: 10.3389/fnhum.2016.00547
58. 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 Commun. 2022; 4:fcac008. doi: 10.1093/braincomms/fcac008
59. Sreedharan S, Arun K, Sylaja P, Kesavadas C, Sitaram R. Functional Connectivity of Language Regions of Stroke Patients with Expressive Aphasia During Real-Time Functional Magnetic Resonance Imaging Based Neurofeedback. Brain Connect. 2019;9:613-26. doi: 10.1089/brain.2019.0674
60. Grimshaw J, Campbell M, Eccles M, Steen N. Experimental and quasi-experimental designs for evaluating guideline implementation strategies. Fam Pract. 2000; 17 (suppl_1): S11-S16. doi: 10.1093/fampra/17.suppl_1.S11
61. Chidambaram AG, Josephson M. Clinical research study designs: The essentials. Pediatr Investig. 2019;3:245-252. doi: 10.1002/ped4.12166
62. Berkhout C, Berbra O, Favre J, Collins C, Calafiore M, Peremans L, et al. Defining and evaluating the Hawthorne effect in primary care, a systematic review and meta-analysis. Front Med. 2022; 9. doi: 10.3389/fmed.2022.1033486
63. Hartwigsen G, Saur D. Neuroimaging of stroke recovery from aphasia – Insights into plasticity of the human language network. NeuroImage. 2019;190:14-31. doi: 10.1016/j.neuroimage.2017.11.056
64. Abiri R, Borhani S, Sellers EW, Jiang Y, Zhao X. A comprehensive review of EEG-based brain-computer interface paradigms. J Neural Eng. 2019;16:011001. doi:10.1088/1741-2552/aaf12e
65. Nolfe G, Cobianchi A, Mossuto-Agatiello L, Giaquinto S. The role of P300 in the recovery of post-stroke global aphasia. Eur J Neurol. 2006;13:377-384. doi: 10.1111/j.1468-1331.2006.01237.x
66. Rota G, Sitaram R, Veit R, Erb M, Weiskopf N, Dogil G, et al. Self-regulation of regional cortical activity using real-time fMRI: The right inferior frontal gyrus and linguistic processing. Hum Brain Mapp. 2009; 30:1605-14. doi: 10.1002/hbm.20621
67. Sorger B, Kamp T, Weiskopf N, Peters JC, Goebel R. When the Brain Takes "BOLD" Steps: Real-Time fMRI Neurofeedback Can Further Enhance the Ability to Gradually Self-regulate Regional Brain Activation. Neuroscience. 2018; 378:71-88. doi: 10.1016/j.neuroscience.2016.09.026
68. Wang T, Mantini D, Gillebert CR. The potential of real-time fMRI neurofeedback for stroke rehabilitation: A systematic review. Cortex. 2018; 107: 148-165. doi: 10.1016/j.cortex.2017.09.006
69. Qiu WH, Wu HX, Yang QL, et al. Evidence of cortical reorganization of language networks after stroke with subacute Broca's aphasia: a blood oxygenation level dependent-functional magnetic resonance imaging study. Neural Regen Res. 2017; 12:109-17. doi: 10.4103/1673-5374.198996
70. Yang M, Li J, Yao D, Chen H. Disrupted Intrinsic Local Synchronization in Poststroke Aphasia. Medicine. 2016; 95:e3101. doi: 10.1097/MD.0000000000003101
71. Yang M, Yang P, Fan YS, et al. Altered Structure and Intrinsic Functional Connectivity in Post-stroke Aphasia. Brain Topogr. 2018;31: 300-10. doi: 10.1007/s10548-017-0594-7
72. Pulvermüller F, Hauk O, Zohsel K, Neininger B, Mohr B. Therapy-related reorganization of language in both hemispheres of patients with chronic aphasia. NeuroImage. 2005;28:481-9. doi: 10.1016/j.neuroimage.2005.06.038
73. Georgiou AM, Kambanaros M. Therapies and Challenges in the Post-Stroke Aphasia Rehabilitation Arena: Current and Future Prospects. Med Kaunas Lith. 2023;59:1674. doi: 10.3390/medicina59091674
74. Wilson SM, Schneck SM. Neuroplasticity in post-stroke aphasia: A systematic review and meta-analysis of functional imaging studies of reorganization of language processing. Neurobiol Lang Camb Mass. 2021;2:22-82. doi: 10.1162/nol_a_00025
75. Xu M, He F, Jung TP, Gu X, Ming D. Current Challenges for the Practical Application of Electroencephalography-Based Brain–Computer Interfaces. Engineering. 2021; 7: 1710-2. doi: 10.1016/j.eng.2021.09.011
76. Tiwari N, Edla DR, Dodia S, Bablani A. Brain computer interface: A comprehensive survey. Biol Inspired Cogn Archit. 2018; 26: 118-129. doi: 10.1016/j.bica.2018.10.005