

非侵入性脑机接口干预脑卒中患者上肢功能的最佳证据总结

刘延敏¹,殷楷霖²,张妍慧¹,张云静¹,程莲³,张彬彬³

(1.山东大学齐鲁医院德州医院 神经外科,山东 德州 253000;

2.山东第二医科大学 护理系,山东 潍坊 261053;3.山东大学齐鲁医院 护理部,山东 济南 250012)

【摘要】 目的 评价并总结非侵入性脑机接口干预脑卒中患者上肢功能的相关证据,为临床循证实践提供参考。**方法** 按“6S”模型系统检索国内外数据库关于非侵入性脑机接口干预脑卒中患者上肢功能的文献,经质量评价后提取和汇总证据内容。**结果** 共纳入 19 篇文献,包括 1 篇指南、4 篇共识、14 篇系统评价,围绕基础评估、临床功能评估、神经功能评估、干预人员、干预方案、效果评价和随访管理 7 个方面总结出 29 条证据。**结论** 以循证为基础总结的非侵入性脑机接口干预脑卒中患者上肢功能的最佳证据可为医护人员的临床实践提供循证依据。

【关键词】 非侵入性脑机接口;脑卒中;上肢功能;运动功能;证据总结

DOI:10.3969/j.issn.2097-1826.2026.10.010

【中图分类号】 R473.74 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2097-1826(2026)10-0040-05

Best Evidence Summary of Non-invasive Brain-computer Interface for Upper Limb Function in Stroke Patients

LIU Yanmin¹, YIN Kailin², ZHANG Yanhui¹, ZHANG Yunjing¹, CHENG Lian³, ZHANG Binbin³ (1.Department of Neurosurgery, Dezhou Hospital of Qilu Hospital of Shandong University, Dezhou 253000, Shandong Province, China; 2.Department of Nursing, Shandong Second Medical University, Weifang 261053, Shandong Province, China; 3.Department of Nursing, Qilu Hospital of Shandong University, Jinan 250012, Shandong Province, China)

Corresponding author: ZHANG Binbin, Tel: 86-531-82166391

【Abstract】 Objective To evaluate and summarize the available evidence regarding non-invasive brain-computer interface (BCI) intervention for upper limb function rehabilitation in stroke patients, so as to provide references for clinical evidence-based practice. **Methods** Literature concerning non-invasive BCI intervention for upper limb function in stroke patients was systematically retrieved from domestic and international databases following the 6S model. Evidence was extracted and synthesized after methodological quality appraisal. **Results** A total of 19 publications were included, consisting of 1 guideline, 4 consensus statements and 14 systematic reviews. Twenty-nine pieces of evidence were summarized covering 7 domains: baseline assessment, clinical and neurological function assessment, intervention providers, intervention protocol, outcome evaluation, and follow-up management. **Conclusions** This evidence summary of non-invasive BCI for upper limb function in stroke patients established on evidence-based principles can offer evidence-based support for clinical practice among medical and nursing staff.

【Key words】 non-invasive brain-computer interface; stroke; upper limb function; motor function; evidence summary

[Mil Nurs, 2026, 43(10): 40-44]

脑卒中是全球成人致残和致死的主要原因之一^[1]。约 80% 的脑卒中患者会出现上肢功能障碍,严重影响患者的精细动作、日常生活活动能力(如穿衣、进食)和社交能力,其康复难度远高于下肢^[2]。脑机接口(brain computer interface, BCI)技术通过“意图—反馈”闭环诱导神经重塑,成为脑卒中康复的前沿热点。BCI 系统分为侵入性和非侵入性,侵入性 BCI 是将电极植入头皮下或大脑皮层,从而获取大脑活动信号;而非侵入性 BCI 是通过头皮表面电极采集大脑运动意图,结合机器人、视觉反馈或功能性电刺激等设

备提供实时反馈^[3]。多项研究^[4-9]表明,非侵入性 BCI 训练有助于改善偏瘫上肢的运动功能,但各研究在功能评估标准、卒中阶段、训练强度(时间、训练次数和持续时间)及外部设备等缺乏临床标准。因此,本研究系统梳理非侵入性 BCI 在脑卒中上肢功能康复中的临床证据,为医护人员提供切实可行的实践指导。

1 资料与方法

1.1 文献纳入和排除标准 采用 PIPPOST 模式^[10]确立循证问题,并制订纳入标准:目标人群(population, P)为年龄≥18 岁的脑卒中患者;干预措施(intervention, I)为非侵入性 BCI 的相关内容;实施人员(professional, P)为医护人员;结局指标(outcome, O)为上肢运动功能评分,其他相关指标作为参考;实施场所(setting, S)为各级医疗机构、社区;证据类型(type of evidence, T)为临床

【收稿日期】 2026-06-04 **【修回日期】** 2026-09-28

【基金项目】 山东大学横向课题(6010126042)

【作者简介】 刘延敏,硕士,护师,电话:0534-2252705

【通信作者】 张彬彬,电话:0531-82166391

决策、指南、系统评价、专家共识、最佳实践和证据总结。排除标准:重复文献、信息不全、非中英文语种、指南解读类文献、文献质量低。

1.2 检索策略 按“6S”模型^[11],检索 Up To Date、乔安娜布里格斯研究所(Joanna Briggs Institute, JBI)图书馆、BMJ Best Practice、Cochrane Library、Web of Science、Embase、美国国立指南文库、国际指南协作网、加拿大安大略注册护士协会、苏格兰学院间指南网络、新西兰指南研究组、英国国家临床优化研究所、PubMed、医脉通、中国知网、万方、维普、美国脑卒中协会、欧洲脑卒中组织、澳大利亚国家脑卒中基金会、中国卒中学会等数据库中非侵入性BCI在脑卒中上肢功能康复中的文献,并手动回溯检索。中文检索词为脑机接口、人机接口、神经接口、非侵入性脑机接口、非侵入性人机接口、脑机接口结合虚拟现实、脑机接口电刺激、基于运动想象的脑机接口、脑机接口机器人、脑电图、脑磁图、功能性近红外光谱、功能性磁共振成像、脑卒中、中风、脑血管意外、脑梗死、脑缺血、脑出血、脑栓塞、上肢功能、上肢运动、运动功能、神经康复、上肢康复等,英文检索词为 brain machine interface、brain computer interface、non-invasive brain computer interface、non-invasive brain machine interface、electroencephalography-based brain computer interface、brain computer interface combined with virtual reality、brain computer interface combined with functional electrical stimulation、brain computer interface combined with robot、brain computer interface with motor imagery、functional near-infrared spectroscopy、electroencephalography、magnetoencephalography、functional magnetic resonance imaging、stroke、

cerebrovascular accident、cerebrovascular apoplexy、cerebrovascular stroke、acute stroke、upper limb function、motor function、rehabilitation、upper limb rehabilitation、recover等。检索时限为各数据建库至2026年2月。本研究已在复旦大学循证护理中心注册(ES20269857)。

1.3 文献质量评价 指南评价采用临床指南研究与评价系统Ⅱ(appraisal of guidelines for research and evaluation, AGREE Ⅱ)^[12]。该工具包括6个评价领域共23个条目,每条目按1~7分评分,1分表示“非常不同意”,7分表示“非常同意”。根据各领域得分将质量分为3个等级:A级为6个领域得分均 $\geq 60\%$ (强烈推荐);B级为多数领域得分 $\geq 30\%$ 但存在部分领域得分 $< 60\%$ (弱推荐);C级为多数领域得分 $< 30\%$ (不推荐)。专家共识和系统评价采用JBI循证卫生保健中心评价标准^[13]。质量评价均由4名经循证培训的成员独立进行,意见不一致时小组讨论裁决。

1.4 证据提取、汇总与分级 2名研究者根据自行设计的证据提取表提取证据,提取信息包括文献名称、发表时间、推荐强度和证据级别等。如遇意见分歧,遵循高质量、新发表、循证的原则;当不同来源的证据内容一致时,根据语言逻辑对其进行合并。采用JBI循证卫生保健中心证据分级及证据推荐级别系统^[14]确定纳入证据的等级,由高到低分为1~5级。

2 结果

2.1 文献检索结果 初步检索获得924篇相关文献,删除重复文献90篇,阅读标题、摘要后初筛769篇,阅读全文后复筛46篇,最终纳入19篇文献^[2-9,15-25],包括1篇指南^[15],4篇专家共识^[16-19]和14篇系统评价^[2-9,20-25]。纳入文献的一般特征见表1。

表1 纳入文献的一般特征($n=19$)

纳入文献	文献来源	发表时间	文献类型	文献主题
Guo等 ^[2]	medRxiv	2023	系统评价	BCI对卒中患者运动功能恢复的疗效
Chen等 ^[3]	PubMed	2026	系统评价	BCI在慢性卒中患者上肢康复中的疗效
Zhang等 ^[4]	PubMed	2024	系统评价	BCI对卒中后上肢运动功能康复的疗效
Nojima等 ^[5]	PubMed	2022	系统评价	BCI训练可诱导卒中患者运动功能恢复
Lo等 ^[6]	PubMed	2024	系统评价	神经接口的运动神经假体在卒中后上肢神经康复的应用
Kruse等 ^[7]	PubMed	2020	系统评价	基于运动想象的非侵入性脑电图BCI训练对卒中后功能恢复的影响
Li等 ^[8]	PubMed	2025	系统评价	BCI训练对卒中后上肢康复的影响
Xie等 ^[9]	PubMed	2022	系统评价	BCI训练改善卒中后上肢功能
Cantillo-Negrete等 ^[15]	PubMed	2023	指南	基于BCI的卒中神经康复干预指南
潘钰等 ^[16]	医脉通	2025	共识	脑卒中智能康复技术应用专家共识
中国康复医学会手功能康复专业委员会等 ^[17]	医脉通	2025	共识	便携式外骨骼脑机接口应用于社区居家卒中患者上肢康复专家共识
石磊等 ^[18]	SinoMed	2025	共识	非侵入式脑机接口适配技术临床应用规范
中国康复医学会脑机接口与康复专业委员会 ^[19]	医脉通	2026	共识	非侵入式脑机接口在神经康复临床应用中的专家共识
陈松美等 ^[20]	知网	2025	系统评价	脑机接口结合功能性电刺激对卒中患者上肢运动功能影响
郑淑悦等 ^[21]	万方	2021	系统评价	BCI训练对脑卒中患者肢体功能障碍干预效果
Mansour等 ^[22]	PubMed	2022	系统评价	BCI疗效及其设计特征对卒中后上肢康复的影响
Bai等 ^[23]	PubMed	2020	系统评价	基于BCI的卒中后上肢康复的近期和远期效果
Qu等 ^[24]	PubMed	2024	系统评价	BCI机器人对卒中后上肢功能康复的临床效果
Lin等 ^[25]	Web of Science	2026	系统评价	BCI联合运动想象治疗卒中患者

2.2 文献质量评价结果 1 篇指南^[15]在范围和目的、参与人员、清晰性、独立性、严谨性、应用性等领域得分的标准化百分比分别为 94.4%、33.3%、65.3%、41.7%、18.8%、71.9%, $\geq 60\%$ 领域数为 3 个, $\geq 30\%$ 领域数为 5 个,推荐级别为 B 级;4 篇共识^[16-19]评价结果均为“是”;14 篇系统评价^[2-9,20-25]的评价见表 2。

表 2 纳入系统评价的质量评价结果($n=14$)

系统评价	循证问题	纳入标准	检索策略	论文来源	文献质量评价	2 名及以上人员	提取资料采用	综合/合并方法	评估发表	对政策和(或)实践	对未来研究
	清晰	恰当	恰当	恰当	标准恰当	独立评价文献	措施减少误差	恰当	偏倚	提出推荐意见	提出恰当建议
Guo 等 ^[2]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Chen 等 ^[3]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Zhang 等 ^[4]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Nojima 等 ^[5]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Lo 等 ^[6]	是	是	是	是	是	是	不清楚	是	是	是	是
Kruse 等 ^[7]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Li 等 ^[8]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Xie 等 ^[9]	是	是	是	是	是	是	不清楚	是	是	是	是
陈松美等 ^[20]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
郑淑悦等 ^[21]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Mansour 等 ^[22]	是	是	是	是	是	是	不清楚	是	是	是	是
Bai 等 ^[23]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Qu 等 ^[24]	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
Lin 等 ^[25]	是	是	是	是	是	是	是	是	不清楚	是	是

2.3 证据汇总 从基础评估、临床功能评估、神经功能评估、干预人员、干预方案、效果评价和随访管理 7 个方面,总结出非侵入性 BCI 干预脑卒中患者上肢功能相关的证据共 29 条,见表 3。

3 讨论

3.1 基于多维度评估的治疗安全风险防控 第 1~11 条证据可指导医护人员正确进行干预评估,科学、安全地筛选适宜人群。治疗前评估旨在全面了解患者的健康状况,为后续治疗方案的制订提供依据,同时为治疗安全性及有效性的评估奠定基础^[19]。BCI 的本质是“意念控制”,若患者存在认知障碍、注意力无法集中或无法产生有效的运动想象,系统将无法提取有效信号,训练无法进行。因此,评估运动想象能力、认知和言语能力至关重要^[7,15,17],临床多采用动觉和视觉运动想象问卷 20 项、MMSE 和 MoCA 等量表,筛选具备一定的认知水平、言语理解和运动想象能力的患者,以驱动设备完成不同的训练任务。卒中患者功能缺损表现具有高度异质性,损伤部位、残疾程度、康复诉求各不相同,基于 Brunnstrom 分期、运动、感觉和日常生活能力的多维度量表评估,能够精准量化患者功能损伤水平。此外,结合头颅影像学、脑电生理及经颅磁刺激等客观神经学评估,可从脑结构、脑功能连接及神经通路完整性层面揭示功能障碍的神经机制,为主观功能评估提供客观生物学支撑^[18,24]。这也提示非侵入性 BCI 康复绝非简单的设备穿戴,需要由神经外科医师、治疗师和工程师等组成的多学科团队在综合主观量表评估与客观神经电生理、影像学结果,结合患者认知、运动想象能力、功能缺损程度及康复需求的前提下,为其制

订个体化非侵入性 BCI 联合康复训练方案。

3.2 基于 FITT 原则的精准运动处方构建 第 13~21 证据按照美国运动医学会推荐的 FITT 原则,即 frequency(频率)、intensity(强度)、time(时间)和 type(类型)^[26],总结了非侵入性 BCI 联合干预方案在卒中患者上肢运动康复中的相关证据,可指导医护人员为患者制订运动处方。最佳证据明确了不同非侵入性 BCI 联合干预模式及其疗效梯度,非侵入性 BCI-FES 干预效果最佳^[2,23-25],非侵入性 BCI-视觉反馈次之^[2],推荐基于感觉运动节律、基于频带功率特征、运动观察范式的 BCI 技术是脑卒中上肢康复的最优技术方案。不同研究中,患者运动康复最佳干预时间、频率和强度尚未达成一致,证据推荐了高频、中长时程的干预模式(如 20~30 min/次,3~5 次/周,持续 4~8 周),但“总训练时长少于 12 h 效果更佳”^[4]和“>4 周训练不能改善运动障碍”^[8]与之矛盾,过度训练极易引发精神和体力疲劳,减弱康复效果,因此训练中需安排 15~30 min 的休息,以保障患者的高专注度,运动的时长、频率及强度应根据患者的疲劳反馈和耐受程度动态调整。这也提示未来非侵入性 BCI 康复需要借助多模态数据(如深度学习预后预测)动态评估患者的注意力与疲劳状态,在“高频刺激”与“认知负荷”之间寻找动态平衡,从而实现真正意义上的个体化精准康复。

3.3 基于评价—随访的非侵入性 BCI 干预效能优化 第 22~28 条证据明确了非侵入性 BCI 干预的时机与疗效异质性特征,亚急性期(1~6 个月)介入可获得更积极的效果,且亚急性期患者的上肢功能改善优于慢性期。这提示临床应尽早开展非侵入性 BCI 康

复评估与介入,抓住神经重塑的黄金窗口期。非侵入性 BCI 训练打破了传统康复中“即时效益、轻中度患者获益更多、年轻患者效果更好”的固有认知,提示医护人员应将重度功能障碍或高龄患者作为重点干预人群。然而,多数研究样本量较小,且多为单中心、短期随访,对于不同认知障碍程度、不同卒中类型、不同心理状态(如抑郁、焦虑)等患者的非侵入性 BCI 干预效果差异探讨尚不充分,未来针对高度异质性的卒中人群进行精准的非侵入性 BCI 方案匹配,仍需探索。

第 29 条证据建议完成治疗后 1、3、6 个月进行随访评估,这一推荐为非侵入性 BCI 康复的长期管理指明了方向。目前,多数非侵入性 BCI 研究聚焦于干预期间的即时效果,对长期疗效维持和设备使用体验关注不足。建议医护人员应建立规范的随访档案,通过多时间节点的动态评估,及时了解患者功能保持情况,发现发现并处理潜在不良事件,同时收集患者对设备使用的满意度反馈,以指导非侵入性 BCI 设备和干预方案的迭代优化。

表 3 非侵入性 BCI 干预脑卒中患者上肢功能的证据

证据主题	证据内容	证据等级
基础评估	1.病史采集涵盖现病史、既往史、用药情况(特别是抗癫痫及镇静药物)、过敏史及家族史 ^[18] 。	5b
	2.体格检查包括神经系统查体、意识状态评估和生命体征监测等 ^[18] 。	5b
	3.佩戴脑电帽与外部设备时要求患者皮肤无破损 ^[17] 。	5b
临床功能评估	4.卒中分期评估使用 Brunnstrom 分期 ^[17] 。	5b
	5.整体运动功能评估功能性动作的质量和效率、关节活动度、肌力、肌张力、平衡功能、协调能力、日常生活活动能力等,推荐使用关节活动度测量(range of motion,ROM)量表、徒手肌力评定(manual muscle testing,MMT)量表、改良 Ashworth 量表、改良 Barthel 量表和运动活动日志(motor activity log,MAL) ^[9,18] 。	1a
	6.采用 Fugl-Meyer 量表、上肢动作研究测试(action research arm test,ARAT)和 Wolf 运动功能测试(Wolf motor function test,WMFT)评估上肢功能 ^[4,17] 。	5b
	7.感觉功能评估浅感觉、深感觉和皮质觉,改良诺丁汉感觉功能评价量表(reNSA)评估各类感觉异常及其严重程度 ^[17-18] 。	5b
神经功能评估	8.建议进行标准化的运动想象能力评估,如动觉和视觉运动想象问卷 20 项;同时,应考虑神经心理学方面的评估,如集中力、认知能力。认知功能评估涉及患者的注意力、记忆力、执行功能等;简易精神状态检查(mini-mental state examination,MMSE)和蒙特利尔认知评估量表(Montreal cognitive assessment,MoCA)是用于快速评估认知功能的工具。舒尔特方格注意力测试是注意力评估和训练工具 ^[7,17-18] 。	1b
	9.言语功能评估语言表达和理解能力,建议使用波士顿失语症诊断检查表(Boston diagnostic aphasia examination,BDAE)、汉语失语成套测验(aphasia battery of Chinese,ABC)、Frenchay 构音障碍评定表 ^[17] 。	5b
	10.头颅 CT 和(或)MRI 检查用于明确颅内结构情况;脑电图数据检测两侧大脑半球间不对称性,功能磁共振成像测量患侧半球运动区域之间功能连接的变化,弥散张量成像评估皮质脊髓束的完整性 ^[4,6,18,24] 。	1a
	11.建议将经颅磁刺激研究作为干预措施的补充评估 ^[15] 。	5b
干预人员	12.由获得非侵入性 BCI 设备操作及技术培训相关证书的执业医师、治疗师和 BCI 工程技术人员组成干预小组,小组中至少 1 名有足够工程背景或培训的研究人员或具有中级及以上专业技术资格且执业范围为康复医学或神经病学专业的医务人员,治疗师需取得康复治疗技术资格证书,具备开展物理治疗、作业治疗或言语治疗的能力 ^[15,18] 。	5b
干预方案	13.非侵入性 BCI-神经肌肉电刺激或功能电刺激(functional electrical stimulation,FES)效果优于非侵入性 BCI-视觉反馈、非侵入性 BCI-机器人 ^[2,8-9,23-25] (包括末端执行器、手部外骨骼、手臂和手部矫形器以及软体机器人手套,手臂机器人训练效果优于手部机器人或末端执行器) ^[25] 、非侵入性 BCI-常规治疗、非侵入性 BCI-运动想象,非侵入性 BCI-经颅直流电刺激和单纯 BCI 无明显效果 ^[2] 。	1a
	14.中重度运动功能障碍采用运动想象(Motor Imagery, MI)-非侵入性 BCI 联合 FES 或机器人改善康复效果最佳,轻中度运动功能障碍可考虑采用 MI-非侵入性 BCI 联合视觉/视觉反馈 ^[19] 。	5b
	15.基于运动尝试(运动意向)或运动观察的心理任务比基于运动想象的非侵入性 BCI 训练效果佳 ^[6,22-23] 。	1a
	16.基于感觉运动节律的非侵入性 BCI 技术结合康复训练治疗效果更佳 ^[5,16] 。	1b
效果评价	17.基于深度学习的预后预测方法可通过对患者神经影像学、电生理、功能行为等多模态数据学习,较为准确推断患者康复预后 ^[16] 。	5b
	18.基于频带功率特征的非侵入性 BCI 研究获得了更显著的上肢功能恢复 ^[22] 。	1a
	19.建议非侵入性 BCI 训练 20~30 min/次,3~5 次/周,每周需控制在 15~180 min,持续 4~8 周或累计总训练时间 10~20 h ^[2,4,6-8,19,25] 。以非侵入性 BCI-FES 为例,其参数应设置为脉冲宽度 200~300 μ s,频率 20~50 Hz,强度以引起肌肉收缩且患者感觉舒适为宜 ^[19] 。以运动想象方案为例,宜采用“高频、中长时间”的方法,3~5 次/周,持续 4~6 周,运动想象训练次数为 100~150 次,单次治疗时长可保持 30~45 min ^[9,25] 。	1a
	20.慢性卒中患者最佳干预模式为 4~5 次/周,30 min/次,持续 2 周(共 10~12 次) ^[7] 。	1a
	21.为避免出现疲劳,训练开始后约 15~30 min 后安排短暂休息 ^[5,9,23] 。	1b
	22.亚急性期(1~6 个月)患者的干预可能获得更积极的效果 ^[2,8,20,24] 。	1a
	23.非侵入性 BCI 对上肢远端功能的干预效果优于近端功能 ^[2] 。	1a
	24.亚急性期患者的上肢功能改善优于慢性期 ^[2,6-9,20] 。	1a
	25.首次发生卒中患者接受非侵入性 BCI 联合治疗改善更明显 ^[20] 。	1a
	26.重度功能障碍患者进行非侵入性 BCI 干预是获益的典型人群 ^[6] 。	1a
随访管理	27.非侵入性 BCI 在年龄>50 岁的脑卒中患者中应用效果更佳 ^[6] 。	1a
	28.非侵入性 BCI 在改善卒中后上肢运动功能方面具有显著的即时和长期疗效 ^[2,4,24] 。	1a
	29.建议完成治疗后 1、3、6 个月随访评估,包括功能保持度、生活质量、设备使用满意度和长期不良事件 ^[9] 。	5b

4 小结

本研究总结了非侵入性 BCI 联合干预方案在卒中患者上肢运动康复中的最佳证据,涉及基础评估、临床功能评估、神经功能评估、干预人员、干预方案、

效果评价和随访管理多个方面,旨在为临床医护人员制订成人卒中患者非侵入性 BCI 康复方案提供循证依据。建议医护人员在应用证据时,综合考量国内外在医疗资源配置、非侵入性 BCI 设备普及率、康

复医保政策及文化背景等方面的差异性,结合具体临床情境和患者偏好,制订个体化的非侵入性 BCI 康复方案。目前,临床上同时具备工程背景、神经电生理知识和康复治疗经验的复合型人才相对匮乏。如何建立标准化的非侵入性 BCI 操作培训体系、明确各学科人员的职责边界与协作机制,仍是未来临床推广中亟待解决的现实难题。

【参考文献】

- [1] GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990—2019: a systematic analysis for the global burden of disease study 2019[J]. *Lancet Neurol*, 2021, 20(10): 795-820.
- [2] Guo Z, Gao Q, Jiang Y, et al. Therapeutic effects of brain-computer interface on motor recovery of stroke patients: a Meta-analysis [J/OL]. [2026-04-20]. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2023.04.11.23288439v1>. DOI: 10.1101/2023.04.11.23288439.
- [3] Chen H, Yun G. Efficacy of Brain-computer interface therapy for upper limb rehabilitation in chronic stroke: systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J/OL]. [2026-04-20]. <https://www.jmir.org/2026/1/e79132>. DOI: 10.2196/79132.
- [4] Zhang M, Zhu F, Jia F, et al. Efficacy of brain-computer interfaces on upper extremity motor function rehabilitation after stroke: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Neuro Rehabilitation*, 2024, 54(2): 199-212.
- [5] Nojima I, Sugata H, Takeuchi H, et al. Brain-computer interface training based on brain activity can induce motor recovery in patients with stroke: a Meta-analysis[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2022, 36(2): 83-96.
- [6] Lo Y T, Lim M J R, Kok C Y, et al. Neural Interface-based motor neuroprosthesis in poststroke upper limb neurorehabilitation: an individual patient data Meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2024, 105(12): 2336-2349.
- [7] Kruse A, Suica Z, Taeymans J, et al. Effect of brain-computer interface training based on non-invasive electroencephalography using motor imagery on functional recovery after stroke—a systematic review and Meta-analysis[J/OL]. [2026-05-20]. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12883-020-01960-5>. DOI: 10.1186/s12883-020-01960-5.
- [8] Li D, Li R, Song Y, et al. Effects of brain-computer interface based training on post-stroke upper-limb rehabilitation: a Meta-analysis[J/OL]. [2026-05-20]. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-025-01588-x>. DOI: 10.1186/s12984-025-01588-x.
- [9] Xie Y L, Yang Y X, Jiang H, et al. Brain-machine interface-based training for improving upper extremity function after stroke: a Meta-analysis of randomized controlled trials[J/OL]. [2026-05-20]. <https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2022.949575/full>. DOI: 10.3389/fnins.2022.949575.
- [10] 朱政, 胡雁, 邢唯杰, 等. 不同类型循证问题的构成[J]. *护士进修杂志*, 2017, 32(21): 1991-1994.
- [11] 邢唯杰, 周英凤, 朱政, 等. 证据金字塔的发展: 从“6S”模型到“5S”模型[J]. *护士进修杂志*, 2025, 40(13): 1345-1348.
- [12] Brouwersm C, Kho M E, Browman G P, et al. AGREE II: advancing guideline development, reporting and evaluation in health care[J]. *CMAJ*, 2010, 182(18): E839-E842.
- [13] 朱政, 胡雁, 周英凤, 等. 推动证据向临床转化(五) 证据临床转化研究中的文献质量评价[J]. *护士进修杂志*, 2020, 35(11): 996-1000.
- [14] 王春青, 胡雁. JBI 证据预分级及证据推荐级别系统(2014 版)[J]. *护士进修杂志*, 2015, 30(11): 964-967.
- [15] Cantillo-Negrete J, Carino-Escobar R I, Ortega-Robles E, et al. A comprehensive guide to BCI-based stroke neurorehabilitation interventions[J/OL]. [2026-05-20]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221501612300448X?via%3Dihub>. DOI: 10.1016/j.mex.2023.102452.
- [16] 潘钰, 张皓, 谢青, 等. 脑卒中智能康复技术应用专家共识[J]. *中国康复医学杂志*, 2025, 40(9): 1289-1297.
- [17] 中国康复医学会手功能康复专业委员会, 中国康复医学会社区康复工作委员会. 便携式外骨骼脑机接口应用于社区居家卒中患者上肢康复专家共识(2025 年版)[J]. *中国卒中杂志*, 2025, 20(10): 1210-1221, 1209.
- [18] 石磊, 陆蓉蓉, 陈静, 等. 非侵入式脑机接口适配技术临床应用规范专家建议[J]. *上海医学*, 2025, 48(12): 733-738.
- [19] 中国康复医学会脑机接口与康复专业委员会. 非侵入式脑机接口在神经康复临床应用中的专家共识[J/OL]. [2026-04-28]. <https://link.cnki.net/urlid/35.1329.R.20260224.1500.002>.
- [20] 陈松美, 高佳佳, 张孝林, 等. 脑机接口结合功能性电刺激技术对脑卒中患者上肢运动功能影响的 Meta 分析[J]. *康复学报*, 2025, 35(6): 582-591.
- [21] 郑淑悦, 王培, 刘艳, 等. 脑机接口训练对脑卒中患者肢体功能障碍干预效果的 Meta 分析[J]. *中国实用护理杂志*, 2021, 37(22): 1747-1753.
- [22] Mansour S, Ang K K, Nair K P S, et al. Efficacy of brain-computer interface and the impact of its design characteristics on post-stroke upper-limb rehabilitation: a systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Clin EEG Neurosci*, 2022, 53(1): 79-90.
- [23] Bai Z, Fong K N K, Zhang J J, et al. Immediate and long-term effects of BCI-based rehabilitation of the upper extremity after stroke: a systematic review and Meta-analysis[J/OL]. [2026-04-28]. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-020-00686-2>. DOI: 10.1186/s12984-020-00686-2.
- [24] Qu H, Zeng F, Tang Y, et al. The clinical effects of brain-computer interface with robot on upper-limb function for post-stroke rehabilitation: a Meta-analysis and systematic review[J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2024, 19(1): 30-41.
- [25] Lin Y, Yuan Y, Chen J, et al. Motor imagery combined with brain-computer interface for stroke patients: a Meta-analysis[J/OL]. [2026-04-28]. <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2026.1672882/full>. DOI: 10.3389/fneur.2026.1672882.
- [26] 杨贝贝, 张慧, 陈霞, 成人稳定期肺动脉高压患者运动康复的最佳证据总结[J]. *军事护理*, 2023, 40(6): 91-95.

(本文编辑: 郁晓路)