

脑机接口技术在脑卒中患者康复治疗护理中的应用进展

张卓妍^{1,2}, 曾铁英¹, 徐蓉¹, 王芙蓉², 陈羽双¹, 沈凡¹, 黄海珊¹

摘要: 本文从护理学科视角审视脑机接口在脑卒中患者康复中的应用现状、影响因素、挑战与对策及实践演进。脑机接口已拓展至运动功能重建、认知干预、意识评估及沟通辅助等多个康复场景,其临床整合正驱动护理实践发生3个层面的深刻演进:护理评估从行为观察深入至神经信号解读,护理决策从执行医嘱推进至协同处方,护理人文从床边陪伴向技术人文融合的新形态。在此过程中,护士角色向技术协调者、康复促进者、多学科沟通枢纽等多重维度扩展,但技术稳定性、个体差异、护理知识技能缺口及伦理规范滞后等因素仍制约其临床转化。基于此,护理学科需主动构建融合神经科学、康复治疗与工程原理的跨学科知识体系,建立分层培训机制与标准化临床路径,深入参与伦理指南及技术政策制定,从而在脑机接口技术应用规范化、临床整合人性化中发挥引领作用。

关键词: 脑卒中; 脑机接口; 康复; 影响因素; 护理决策; 护理人文; 角色扩展; 综述文献

中图分类号: R473.74 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2026.14.022

Progress in the application of brain-computer interface technology in rehabilitation treatment and nursing care of stroke patients

Zhang Zhuoyan, Zeng Tieying, Xu Rong, Wang Furong, Chen Yushuang, Shen Fan, Huang Haishan. Department of Nursing, Tongji Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

Abstract: From the perspective of nursing discipline, this paper examines the current status, influencing factors, challenges, countermeasures, and practical evolution of brain-computer interface (BCI) application in stroke rehabilitation. BCI has been extended to multiple rehabilitation scenarios, including motor function reconstruction, cognitive intervention, consciousness assessment, and communication assistance. Its clinical integration is driving profound changes in nursing practice at three levels: nursing assessment extends from behavioral observation to neural signal interpretation; nursing decision-making advances from executing medical orders to collaborative prescription; and nursing humanism evolves from bedside companionship to a new form of technology-humanism integration. In this process, nurses' roles are expanding to technical coordinators, rehabilitation promoters, and interdisciplinary communication hubs. However, technical instability, individual variability, gaps in nursing knowledge and skills, and lagging ethical guidelines still constrain clinical translation. Therefore, the nursing discipline needs to proactively build an interdisciplinary knowledge system integrating neuroscience, rehabilitation therapy, and engineering principles, establish tiered training mechanisms and standardized clinical pathways, and actively participate in the formulation of ethical guidelines and technology policies, so as to play a leading role in standardizing BCI application and humanizing clinical integration.

Keywords: stroke; brain-computer interface; rehabilitation; influencing factors; nursing decision-making; nursing humanism; role expansion; review

脑卒中是全球范围内导致成人长期残疾的首要原因,给患者、家庭及社会带来沉重的疾病负担。传统的康复疗法虽有一定效果,但常面临康复平台期长、效果个体差异大、对重度功能障碍者干预手段有限等瓶颈。近年来,脑机接口(Brain-Computer Interface, BCI)技术的迅猛发展为脑卒中康复领域带来革命性的新希望^[1-2]。脑机接口通过直接解码大脑神经活动,实现人脑与外部设备之间的通讯与控制^[3],这种基于神经可塑性的主动康复模式已成为脑卒中康复领域的研究热点^[4-5],为脑卒中后运动、认知及沟通

功能的康复提供了新的可能。将脑机接口技术安全、有效地整合到脑卒中康复治疗护理中,是一项涉及技术系统、患者个体与多学科团队的复杂系统工程。在这一过程中,护理的深度参与和专业适应不仅是技术落地的关键环节,更是影响治疗效果与患者体验的核心要素。尽管脑机接口相关的医学与工程学研究迅速增长^[6],但从护理学科角度,系统探讨其在脑卒中康复治疗应用中所引发的实践模式重构、角色演变及伦理挑战的研究仍显不足^[7-8]。本文旨在通过梳理脑机接口技术在脑卒中康复治疗护理中的应用现状,分析其面临的多维挑战,进而为护理专业在技术融合背景下的角色定位与能力建设提供参考。

1 脑机接口技术与脑卒中康复护理的新情境

在脑卒中康复的语境下,脑机接口的核心价值在于其能够构建一个“大脑—设备—反馈”的闭环系统,通过反复意图驱动训练,强化或重塑受损的神经通路,即促进神经可塑性,这是功能恢复的根本基础^[9]。

作者单位:1. 华中科技大学同济医学院附属同济医院护理部(湖北 武汉, 430030);2. 华中科技大学同济医学院护理学院
通信作者:黄海珊, 157535081@qq.com
张卓妍:女,本科在读,学生, 3319483196@qq.com
科研项目:湖北省自然科学基金项目(2025AFB744);2025 年国家级大学生创新创业训练计划项目(202510487105)
收稿:2026-01-12;修回:2026-03-30

根据信号采集方式,脑机接口主要分为侵入式与非侵入式两类。侵入式脑机接口通过手术植入电极,能获得高质量神经信号,在精细运动解码(如卒中后手功能重建)中成果突出,但其长期信号衰减、植入物感染风险及围手术期并发症管理^[10],已将护理内涵从传统康复护理延伸至神经外科高级实践护理,且因高昂成本,引发了健康公平性的伦理担忧^[11]。非侵入式脑机接口则用于实时记录并解码大脑活动信号,如脑电图、功能性近红外光谱(functional Near-Infrared Spectroscopy, fNIRS)等^[12],将技术负担转移至日常护理环节。EEG 和 fNIRS 等非侵入式脑机接口对信号噪声极其敏感,易受肌电、眼动及皮肤阻抗干扰,使得“正确佩戴电极”从一项基础操作升级为决定康复效果的关键质控点^[13-14]。护理人员需掌握电极阻抗检测技术,包括每日电极位置校准和接触电阻检查,以及对因长时间佩戴电极导致的皮肤压力性损伤或过敏反应的预防性护理。护理记录的精细化管理(如信号波形异常日志)成为评估康复进度的重要数据支撑。此外,新兴的血管内脑机接口等微创技术也在探索中,以微创手段重建“意念—运动”通路,为传统康复手段效果不佳的重度瘫痪患者提供了切实可行的功能修复方案^[15]。

目前,脑机接口技术已拓展至脑卒中康复治疗护理的多个核心场景,其应用主要归纳为基于运动想象的运动功能重建、基于脑电反馈的认知干预、针对卒中导致失语症的沟通辅助,以及在意识障碍患者中的神经功能评估等方向^[16-17]。目前,非侵入式脑机接口在卒中运动康复等领域已积累较多临床证据^[18-19],而侵入式脑机接口受技术、伦理及成本限制,尚未实现对脑卒中患者的大规模临床推广。同时,不同技术路径对护理实践提出了差异化要求:侵入式脑机接口要求护士具备围手术期管理、植入设备监护与感染预防等高级外科护理技能;而非侵入式脑机接口则更侧重于电极/传感器的精确佩戴、信号质量维护、患者运动想象训练引导及长期康复支持。理解这些技术特性,是护理有效参与脑卒中脑机接口治疗的基础。当护理人员需要识别事件相关去同步化(Event-Related Desynchronization, ERD)信号伪迹、监测电极阻抗、记录信号波形异常时,护理的内涵已从“照护身体”延伸至“协同解码大脑”。

2 脑机接口在脑卒中康复治疗护理中的实践

2.1 解码运动意图,重塑神经功能

运动功能障碍,尤其是上肢运动功能障碍,是脑机接口在脑卒中康复中研究最广泛、证据积累最多的领域。其应用模式主要分为两类:一是用于运动想象(Motor Imagery, MI)训练的脑机接口系统,通过检测患者尝试进行患肢运动时产生的特定脑电模式,并给予即时、直观的视觉或触觉反馈,以强化运动皮层激活^[18]。研究表

明,该模式能有效打破功能障碍与缺乏训练的恶性循环^[20]。多项荟萃分析和系统综述证实了脑机接口在此类疾病运动康复中的有效性^[14,21]。二是将解码出的运动意图直接用于驱动康复机器人、外骨骼或功能性电刺激(Functional Electrical Stimulation, FES)设备,为患肢提供辅助性或被动—主动结合的运动,形成“意图—动作”的闭环^[22-23]。

模式的有效性高度依赖于患者中枢神经系统的实时响应,临床实践中,护理人员是唯一能够持续监测患者日内状态波动的专业人员^[24]。护理人员需确保设备与信号稳定,可依据疲劳视觉模拟量表(Visual Analogue Scale for Fatigue, VAS-F)^[25]、心率和皮电变化以及主动交流意愿,对患者进行快速评估,并独立作出是否立即开展训练的决策。在训练中提供精准引导与即时反馈,并敏锐观察患者的生理与心理反应。此过程中,分级运动提示卡^[26]等结构化工具可辅助护士统一指导语、规范操作流程,提升患者训练依从性,从而将技术流程转化为安全、支持且富有成就感的康复体验。这种以护理人员持续观察为基础、实时调整脑机接口训练参数的能力,将护理决策从传统的执行医嘱拓展为协同处方,这是脑机接口时代康复护理核心能力的重要标志。

2.2 重建联结渠道,保障表达尊严

对于因严重脑卒中导致意识障碍(Disorders of Consciousness, DoC),如最小意识状态(Minimally Conscious State, MCS)或闭锁综合征(Locked-in Syndrome, LIS)患者,脑机接口技术已成为其恢复沟通能力的关键途径^[24]。从传统脑电拼写器到近年突破性的侵入式语言解码系统,脑机接口使患者得以重新表达需求、参与决策和情感交流^[27]。尤其基于侵入式微电极阵列技术,已在解码手写意图与合成语音方面实现重大进展,显著提升了沟通效率。研究团队通过解码与手写动作或发音相关的神经活动,实现高达 90 字符/min 的意念打字速度^[28]。甚至通过解码与发声相关的神经信号,研究人员成功地合成出语音,让失语患者能够“说”出想说的话^[29-30]。脑机接口使得患者能够重新表达需求、参与决策并进行情感交流^[31]。

在这一以重建联结为核心的照护场景中,护理人员需评估患者使用设备时的认知与情绪负荷,提供持续、个体化的技术指导与心理支持,帮助患者及其家庭适应并善用这一新的沟通方式。这一过程与“适时模式”强调的动态匹配患者阶段性照顾需求的理念^[32]高度一致。护理人员需敏锐识别患者在适应脑机接口沟通方式过程中的心理变化与支持需求,在患者、家庭与技术之间搭建理解的桥梁,持续给予心理支持和耐心解释;并将设备输出的信号,转化为对患者状态的真切理解与个体化的照护计划,从而支持患者在心理与社会层面重获完整与联结。

2.3 评估意识状态,干预认知进程

脑卒中后认知

障碍(Post-Stroke Cognitive Impairment, PSCI)发病率高,严重影响患者康复预后和生活质量^[33]。脑机接口在该领域的应用正处于积极探索阶段,展现出独特的潜力。在评估方面,脑机接口为识别意识障碍患者的残余认知能力提供了客观工具,通过检测患者执行特定心理任务时的大脑活动,有助于鉴别出潜在的微意识状态,这对于临床判断与护理决策具有重要意义^[34]。在治疗方面,通过设计特定的认知任务,脑机接口技术能够客观、量化地监测患者在执行认知任务(如注意力、工作记忆任务)时的大脑负荷与神经效率^[35]。这意味着脑机接口不仅能用于运动想象,也能用于“认知想象”或专注度训练的反馈^[16]。护理人员或治疗师可以通过脑机接口提供的实时神经反馈,调整认知训练任务的难度,实现个性化、自适应训练。由护理人员主导的强化认知干预能有效改善 PSCI 患者的认知功能、日常生活能力和神经功能缺损^[36]。此外,患者导航模式在脑卒中康复中的应用研究^[37]表明,由护理人员担任导航员,能够有效整合多学科资源、提升患者治疗依从性与康复连续性。这使护理人员的评估能力从观察行为表象,延伸到参与解读神经活动迹象,其观察与脑机接口数据的结合,能为预后判断和关乎治疗维持或撤除的艰难伦理决策提供依据。脑机接口技术推动护理介入更前沿的神经功能评估与临床伦理决策过程^[33-34],促进了护理学科与神经科学、伦理学的深度融合,使护理在神经功能评估与复杂临床决策中发挥更主动的作用。

3 脑机接口应用于脑卒中康复的影响因素

3.1 技术因素 技术因素是驱动与制约脑机接口在神经系统疾病治疗中应用的双刃剑。2023—2025年,脑机接口技术在针对特定神经疾病的治疗上取得显著突破。例如,实现了接近自然对话速度的意念转文本,为 DoC 患者提供革命性的沟通治疗手段^[28];以及通过 AI 模型大幅提升神经信号解码效率,增强脑卒中患者通过运动想象驱动外部设备进行功能康复治疗的准确性^[4]。然而,这些前沿技术的临床应用却深受工程化瓶颈的制约^[38]:用于治疗运动功能障碍的植入式电极,其信号长期衰减问题导致系统需要频繁校准^[39];设备操作复杂且对用户不友好。技术不稳定与操作的复杂性,直接增加护理工作中设备故障排查、频繁校准、患者再训练等额外负担,也对护理人员的专业性提出更高要求。

3.2 护理人员因素 随着脑机接口作为新型治疗工具用于脑卒中治疗与康复,护理角色正被迫从传统照护者向技术整合者、数据解读者和多学科协调者演变^[40]。在治疗过程中,护理人员需要协助管理植入设备、观察患者神经功能反应并预防并发症。然而,这种角色转变缺乏制度性支持和系统化培训,国内尚缺少成熟的脑机接口专科护理模式。护理人员普遍

面临知识技能不足的困境,而其在多学科团队中的核心协调作用也未被充分重视^[2]。这种能力不足与角色定位滞后,使得护理人员难以有效应对脑机接口带来的复杂人机交互问题,不仅影响护理质量,也可能成为技术推广的隐性阻力。

3.3 患者因素 患者的疾病特征与高度个体化的神经病理生理模式,要求脑机接口方案必须高度定制化^[38,41]。这对护理评估提出更高要求,护理人员需具备敏锐观察力,以识别每例患者独特的神经反应模式、心理动机阈值及最佳的交互学习方式,从而提供真正个性化治疗支持。患者心理状态(如动机、注意力、情绪)直接且显著影响脑机接口系统的性能表现,而使用过程中的挫败感等负面情绪则会严重削弱其长期依从性^[42]。患者对脑机接口抱有重获独立与社交能力的极高期望^[39],但技术不稳定性、欠佳的用户体验以及长期支持系统的缺失^[43],极易导致期望落空和依从性下降。因此,以患者为中心的个性化心理支持与现实期望管理,是提升护理效果的关键。

3.4 组织与环境因素 在宏观层面,国家战略明确将脑卒中后偏瘫、失语等功能康复纳入脑机接口技术重点应用领域;在医疗机构实施层面,针对脑机接口康复的强制性技术认证标准与医保准入细则仍不完善;高昂的设备购置与维护成本构成主要经济壁垒^[44];各地医保报销政策的落地进度与支付可持续性仍有待观察;此外,传统的科室壁垒不利于脑机接口康复所必需的多学科团队有效协作^[45],社会支持系统,特别是家庭护理者的能力与负担^[45-46],也深刻影响着患者在家庭环境中能否持续进行脑机接口康复治疗,决定治疗效果的长期维持。

3.5 伦理与法律因素 脑机接口技术因其直接介入大脑,在脑卒中患者治疗与康复中亦触及诸多伦理敏感区。对“神经隐私权”的迫切需求,对脑卒中康复训练过程中产生的大脑神经数据进行远超常规医疗数据的特殊保护^[47-48];技术对心智的干预可能模糊人机界限,尤其对于伴有认知障碍或情绪波动的脑卒中患者,其自主性与康复能动性或受潜在影响,并在设备误判或故障时引发责任归属的困境^[49]。为应对这些挑战,构建以“神经权利”为核心的新兴法律与伦理框架,并深化动态、全面的知情同意过程,已成为确保技术以人为本、向善发展的根本前提。

4 脑机接口临床应用的护理挑战与对策

4.1 弥补知识与技能缺口,构建跨学科培训体系

当前,护理人员对脑机接口技术普遍存在认知盲区与技能短板,直接影响临床使用的安全性与有效性^[11,50]。对此,应系统构建跨学科融合的脑机接口护理教育体系,将神经科学、工程原理与伦理模块纳入护理课程,并建立涵盖模拟训练与临床实操的专项认证机制。未来,护理教育应进一步与工程、神经科学

等领域深度协同,开发联合培养项目与继续教育平台,培养懂技术、善照护的复合型护理人才。

4.2 填补标准流程空白,建立全周期操作规范 目前,脑机接口护理领域缺乏统一、循证的标准化操作规程与质量评价体系,实践依赖个人经验,护理质量参差不齐,阻碍专业的规范化发展^[50]。对策强调护理专业应发挥主导作用,联合多学科制订覆盖脑机接口全周期的临床路径与操作标准,并配套建立护理质量过程与结局指标,以实现规范化管理。未来,需进一步开展脑机接口护理临床路径等试点研究,逐步形成可在不同机构推广的标准化护理包与评估工具,推动脑机接口护理实践走向规范化、标准化。

4.3 应对角色拓展挑战,设计人机协同护理模式 脑机接口的临床应用增添了设备维护、训练监护、数据记录等全新任务,可能会加重护理人员的工作负担,甚至诱发职业倦怠^[50]。同时,技术的应用促进了护理人员角色多元化,需同时承担技术协作者^[11]、康复促进者、身心评估者^[29]、患者教育者及跨学科沟通枢纽等多重职责^[21,50],带来了角色超载的现实挑战。护理管理者应明确脑机接口情境下的新型护士角色分工,进行护理工作流程的系统性再造,构建以护士专业判断为核心的“评估—交互—调适”人机协同护理模式。该模式旨在明确划分护士与脑机接口系统的功能边界,实现优势互补与目标协同:脑机接口系统主要负责信号的客观采集、意图的精准解码与标准化反馈的生成;护士则依托其临床智慧与人文关怀,主导整个康复进程的个性化管理与动态调适。未来,护理应主动引领“人机协同”照护模式的发展,主导设计系统性工作流程、结构化记录工具及远程协作机制,确保护理人员在技术应用中发挥主导与协调作用。

4.4 前瞻伦理风险隐患,制订循证指南与审查框架 脑机接口应用伴随诸多伦理问题,成为其发展中不可或缺的一环。主要包括:如何为存在沟通或认知障碍的患者实施有效的知情同意、如何在日常护理环节确保神经数据隐私与安全等^[51]。目前护理领域缺乏具体、可操作的伦理实践指南。应倡导制订针对知情同意、隐私保护、数据主权等核心伦理议题的临床实践指南,设立多学科伦理审查委员会,并将神经伦理学应用至护理人才培养与教育体系中,提升伦理决策能力。

5 脑机接口驱动下脑卒中康复护理的演进与学科贡献

从护理学科视角审视,脑机接口在脑卒中中的临床整合并非简单的技术叠加,而是正在驱动护理实践发生 3 个层面的深刻演进。这些演进既是护理应对技术变革的适应性调整,更标志着护理学科内涵的系统性拓展。

5.1 护理评估的层面跃迁 传统康复护理评估主要依赖行为量表和临床观察。脑机接口技术的介入,推动护理评估从行为观察层面深入到神经信号层面:当护理人员需要监测电极阻抗、识别 ERD 信号伪迹、记录信号波形异常时,护理的内涵已从“照护身体”延伸至“协同解码大脑”^[52]。护理人员开始具备在神经信号层面识别康复迹象的能力,为早期干预和精准康复提供了新的观察窗口。

5.2 护理决策权的实质性落地 脑机接口康复的有效性高度依赖于训练时机的选择与参数的动态调整。护理人员是唯一能够持续监测患者日内状态波动的专业人员,其在运动康复中已开始承担独立的临床决策:依据疲劳量表、心率和皮电变化作出“今天能否训练”的准入判断,在训练中进行分钟级的剂量动态调整^[18,24];在意识评估中,护理人员通过连续性观察捕捉单次评估遗漏的意识迹象,并据此发起多学科再评估^[33-34]。这些具体、排他的决策权,标志着护理角色扩展已从概念呼吁进入实质性的专业职责延伸阶段。护理不再是医嘱的被动执行者,而是康复方案的协同制订者。

5.3 护理人文职能的升维 在脑机接口沟通场景中,护理人员的核心价值不在于操作设备,而在于将脑机接口产出的离散神经信号转化为对患者状态的理解与有温度的照护计划。护士成为唯一能够同时理解脑机接口系统与患者的专业角色,在技术与人之间搭建起理解的桥梁,这是脑机接口时代护理人文的新形态,也是技术永远无法替代的护理内核。

5.4 对护理知识体系的重构意义 上述演进对护理学科提出了系统性挑战。在知识结构上,护理需要融入神经信号基础、设备原理、人机交互等工程与神经科学内容;在能力框架上,需要建立涵盖信号质量监控、神经反馈引导、伦理决策支持的复合型能力;在专业边界上,护理正在从康复的“辅助环节”走向“核心协同环节”。这要求护理教育、临床实践与学科建设做出系统性回应。

6 小结

脑机接口技术快速发展,在恢复脑卒中后重度运动、认知及沟通功能障碍患者的康复功能方面已展现出巨大的临床潜力,其应用范围正从上肢运动康复向下肢功能训练、认知干预及沟通辅助等多元场景不断拓宽。与此同时,脑机接口的临床转化仍面临技术稳定性、护理知识技能缺口、标准化流程缺失及伦理规范滞后等多重制约。从护理学科视角审视,可归纳出其驱动护理实践发生的 3 个层面演进——评估层面跃迁、决策权实质性落地、人文职能升维。为应对这些变化,护理专业需从以下方面主动布局:在知识体系层面,构建跨学科教育体系,加强伦理指南与实证研究;在制度保障层面,将训练准入、剂量调整等护理

决策权写入岗位职责,在多学科团队中明确护士在神经伦理决策中的参与路径;在实践模式层面,推动标准化临床路径建设,探索护理人员主导的“人机协同”照护模式。

参考文献:

- [1] 陈琪,袁天蔚,张丽雯,等.脑机接口医学应用的研发现状与趋势[J].生物医学工程学杂志,2023,40(3):566-572.
- [2] 孙雪峰,王一丹,刘平,等.康复领域应用脑机接口技术的研究进展[J].中国医疗设备,2024,39(2):154-158.
- [3] Gao X, Wang G, Chen L, et al. Brain-computer interface:a brain-in-the-loop communication system[J]. Proceedings of the IEEE,2025,113(5):478-511.
- [4] 刘丽旭.融合·闭环·精准:神经调控技术重塑卒中康复[J].中国卒中杂志,2025,20(9):1073-1077.
- [5] 中华医学会神经外科学分会,中国卒中学会脑血管外科分会.神经系统疾病脑机接口临床研究实施与管理的中国专家共识[J].中华医学杂志,2024,104(23):2105-2112.
- [6] Chen S, Chen M, Wang X, et al. Brain-computer interfaces in 2023—2024[J]. Brain-X,2025,3:e70024.
- [7] Tsai P C, Akpan A, Tang K T, et al. Brain computer interfaces for cognitive enhancement in older people:challenges and applications;a systematic review[J]. BMC Geriatrics,2025,25(1):36.
- [8] Wohns N, Dorfman N, Klein E. Caregivers in implantable brain-computer interface research: a scoping review [J]. Front Hum Neurosci,2024,18:1490066.
- [9] 樊嘉.脑机接口的临床应用及展望[J].上海医学,2024,47(4):195-198.
- [10] Lavazza A, Balconi M, Ienca M, et al. Neuralink's brain-computer interfaces: medical innovations and ethical challenges[J]. Front Hum Dyn,2025,7:1553905.
- [11] 张喆,陈衍肖,赵旭,等.植入式脑机接口医学应用伦理规范考量[J].生物医学工程学杂志,2024,41(1):177-183.
- [12] 何艳,张通.脑机接口技术在慢性脑卒中患者上肢康复中的研究进展[J].中国康复理论与实践,2021,27(3):277-281.
- [13] Geetha S, Shetty S. Brain-computer interface artifact removal;2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)[C]. Greater Noida,India:IEEE,2023.
- [14] Schmoigl-Tonis M, Schranz C, Müller-Putz G R. Methods for motion artifact reduction in online brain-computer interface experiments: a systematic review [J]. Front Hum Neurosci,2023,17:1251690.
- [15] Li S, Liu G, Feng F, et al. An Interventional brain-computer interface for long-term EEG collection and motion classification of a quadruped mammal[J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng,2025,33:1633-1642.
- [16] Biasiucci A, Leeb R, Iturrate I, et al. Brain-actuated functional electrical stimulation elicits lasting arm motor recovery after stroke[J]. Nat Commun,2018,9:2421.
- [17] 赵继宗.脑机接口:拓展人脑疆界的革命性技术与神经外科学的未来[J].协和医学杂志,2025,16(2):269-276.
- [18] Kim M S, Park H, Kwon I, et al. Efficacy of brain-computer interface training with motor imagery-contingent feedback in improving upper limb function and neuroplasticity among persons with chronic stroke;a double-blinded, parallel-group, randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil,2025,22(1):1-13.
- [19] 罗茜.脑机接口对改善缺血性脑卒中急性期偏瘫患者下肢运动功能的效果研究[D].南充:川北医学院,2023.
- [20] Mansour S, Giles J, Nair K P S, et al. A clinical trial evaluating feasibility and acceptability of a brain-computer interface for telerehabilitation in patients with stroke[J]. J Neuro Engin Rehab,2025,22(1):1-14.
- [21] Pitt K M, Mckelvey M, Weissling K. The perspectives of augmentative and alternative communication experts on the clinical integration of non-invasive brain-computer interfaces[J]. Brain Comput Interfaces,2022,9(4):193-210.
- [22] Sarhan S M, Al-faiz M Z, Takhakh A M. A review on EMG/EEG based control scheme of upper limb rehabilitation robots for stroke patients [J]. Heliyon, 2023, 9 (8):e18308.
- [23] 张霖,郑雅兴,熊桃,等.非侵入式脑机接口技术在脑卒中患者上肢功能康复中应用的范围综述及护理启示[J].中华护理杂志,2025,60(13):1658-1664.
- [24] Tanlaka E F, McIntyre A, Connelly D, et al. The role and contributions of nurses in stroke rehabilitation units: an integrative review[J]. WestJ Nurs Res,2023,45(8):764-776.
- [25] Çelik S, Tasdemir N, Kurt A, et al. Fatigue in intensive care nurses and related factors[J]. Int J Occup Environ Med,2017,8(4):199-206.
- [26] 许雪华,吴怡卿,梁淑云.分级运动提示卡在脑卒中患者康复护理中的应用[J].护理学杂志,2011,26(13):76-77.
- [27] Kasawala E, Mouli S. Dual-mode visual system for brain-computer interfaces:integrating SSVEP and P300 responses [J]. Sensors (Basel),2025,25(6):1802.
- [28] Willett F R, Avansino D T, Hochberg L R, et al. High-performance brain-to-text communication via handwriting[J]. Nature,2021,593(7858):249.
- [29] Metzger S L, Liu J R, Moses D A, et al. Generalizable spelling using a speech neuroprosthesis in an individual with severe limb and vocal paralysis[J]. Nat Commun, 2022,13(1):6510.
- [30] Metzger S L, Littlejohn K T, Silva A B, et al. A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control[J]. Nature,2023,620(7976):1037.
- [31] Sawyer A, Chetty N, McMullen D P, et al. Building consensus on clinical outcome assessments for BCI devices. A summary of the 10th BCI society meeting 2023 workshop[J]. J Neural Eng,2025,22(1):010201.
- [32] 黄海珊,汪晖,李玲,等.基于适时模式的脑卒中患者全

程照顾需求的质性研究[J]. 护理学杂志, 2021, 36(3): 92-94, 98.

[33] 赵雪姣, 李娟, 李雨洁, 等. 中国脑卒中后认知障碍患病趋势及影响因素的 Meta 分析[J]. 中国全科医学, 2026, 29(3): 380-392.

[34] 潘家辉, 张志航, 张源霖, 等. 面向意识障碍患者的脑机接口技术及其应用[J]. 生物医学工程学杂志, 2025, 42(3): 438-446.

[35] 陈兆劼, 王国芳. 从读脑到调脑: 基于心理学视角的脑机接口神经调控应用与机制[J]. 心理科学进展, 2025, 33(10): 1745-1765.

[36] 洪珍梅, 张淑青, 章水晶, 等. “益髓促智”针法联合脑机接口康复训练对脑卒中后认知障碍的疗效观察[J]. 浙江临床医学, 2025, 27(6): 856-858.

[37] 吉康菱, 王清, 戴雨婷, 等. 脑卒中患者居家康复中患者导航的范围综述[J]. 护理学杂志, 2024, 39(22): 22-26.

[38] Sun G, Wang Y, Liu H, et al. A brain-computer interface roadmap for diagnosing and treating neurological disorders[J]. Innov Inform, 2025, 1: 100016.

[39] Vansteensel M J, Leinders S, Branco M P, et al. Longevity of a brain-computer interface for amyotrophic lateral sclerosis[J]. New Eng J Med, 2024, 391(7): 619-626.

[40] Wohns N, Dorfman N, Klein E. Caregivers in implantable brain-computer interface research: a scoping review [J]. Front Hum Neurosci, 2024, 18: 1490066.

[41] 王月莹, 徐宁, 王润芳, 等. 脑机接口技术在神经系统疾病康复中的应用进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2023, 45(11): 1031-1034.

[42] Pitt K M, Brumberg J S. Evaluating person-centered factors associated with brain-computer interface access to a commercial augmentative and alternative communication paradigm[J]. Assist Technol, 2022, 34(4): 468-477.

[43] Schickantz S, Amelung T, Rieger J W. Qualitative assessment of patients' attitudes and expectations toward BCIs and implications for future technology development [J]. Front Sys Neurosci, 2015, 9: 64.

[44] Vourvopoulos A, Bermúdezi Badia S. Usability and cost-effectiveness in brain-computer interaction: is it user throughput or technology related?: Proceedings of the 7th Augmented Human International Conference 2016 (AH 16) [C]. Geneva: Association for Computing Machinery (ACM), 2016.

[45] Yang H, Li T, Zhao L, et al. Guiding principles and considerations for designing a well-structured curriculum for the brain-computer interface major based on the multidisciplinary nature of brain-computer interface [J]. Front Hum Neurosci, 2025, 19: 1554266.

[46] Blain-Moraes S, Schaff R, Gruis K L, et al. Barriers to and mediators of brain-computer interface user acceptance: focus group findings [J]. Ergonomics, 2012, 55(5): 516-525.

[47] 徐明. 脑机接口技术的伦理挑战及其理性规制研究[J]. 信息通信技术与政策, 2024, 50(5): 54-59.

[48] 王绍源, 杨东航, 任宇东. 大语言模型在护理领域的应用场景与伦理探讨[J]. 护理学杂志, 2025, 40(5): 108-113.

[49] Burwell S, Sample M, Racine E. Ethical aspects of brain computer interfaces: a scoping review [J]. BMC Med Ethics, 2017, 18(1): 60.

[50] Zhang Z, Chen Y, Zhao X, et al. A review of ethical considerations for the medical applications of brain-computer interfaces[J]. Cognitive Neurodynamics, 2024, 18: 3603-3614.

[51] Livanis E, Voultos P, Vadikolias K, et al. Understanding the ethical issues of brain-computer interfaces (BCIs): a blessing or the beginning of a dystopian future? [J]. Cureus, 2024, 16(4): e58243.

[52] Li Q, Choi E P H, Gou M, et al. Brain-computer interface: bring care into a future phase? Challenges and opportunities for nursing in the era of emerging technologies[J]. Nurs Open, 2025, 12(11): e70345.

(本文编辑 丁迎春)

• 敬告读者 •

警惕假冒《护理学杂志》工作人员实施各种欺诈行为的声明

近年来,相关网络、微信、邮箱经常出现某些谎称为《护理学杂志》编辑部人员,要求加作者为好友,或谎称文章录用或获奖,要求缴纳审稿费、版面费或奖项评审费等信息;有些甚至通过盗用本编辑部名称和地址、伪造资质证书等违法手段,假借《护理学杂志》编辑部的名义收录稿件,以达到非法敛财的目的。鉴于此,《护理学杂志》编辑部郑重声明如下:

- 1.《护理学杂志》编辑部指定官方域名(网站)为 <http://www.hlzzz.com.cn> 或 <http://www.chmed.net>。从官方网站投稿是唯一途径。文章经审核合格被录用后,由投稿系统通过作者预留的邮箱发放录用通知和缴纳版面费通知,再无其他收费项目和其他途径。请作者明确,切勿受骗上当。
- 2.《护理学杂志》的编辑人员不会要求作者加微信好友;本刊不允许个人通知作者缴纳费用,亦未设置个人账户收费。
- 3.凡要求作者将论文版面费转账至个人账户的均非本编辑部所为。假冒本编辑部网站发布的信息、活动及后果均与本编辑部无关。

在此,特提醒广大读者、作者注意甄别本刊网站合法域名,选择正确途径投稿和缴纳费用,避免不必要的损失。

地址:武汉市解放大道 1095 号《护理学杂志》编辑部,邮编 430030

E-mail:jns@tjh.tjmu.edu.cn; 咨询电话:027-83662666; 联系人:雷冰霞