

非侵入性脑机接口治疗脑卒中后运动功能障碍患者的护理

田丹英,张丽华,杨中善,唐艳,刘祯,吴会丽,乐革芬

摘要: 总结 1 例脑卒中后运动功能障碍康复平台期患者,在医工护融合模式下接受非侵入性脑机接口治疗的护理经验。护理要点包括构建“医生—工程师—护士”三位一体的常规康复结合非侵入性脑机接口治疗的协作路径,实施基于多阶段评估与协同决策的适配护理、治疗反应监测与动态化干预的同步护理、行为指导与结构化赋能相统一的全程护理。干预 8 周后,患者近红外全脑功能连接强度由 0.45 升至 0.78、功能连接边数由 94.0 增至 224.0;Fugl-Meyer 运动功能评分从 60 分升至 86 分,患侧手部改良 Ashworth 痉挛分级由 1⁺ 级减轻至 0 级,改良 Barthel 指数由 80 分提高至 95 分;医院焦虑评分由 10 分降至 5 分、抑郁评分由 8 分降至 3 分,脑卒中自我效能问卷评分由 68 分升至 94 分。出院 3 个月随访,患者已恢复日常活动。

关键词: 脑卒中; 运动功能障碍; 医工护融合模式; 非侵入性脑机接口; 焦虑; 抑郁; 自我效能; 康复护理

中图分类号: R473.74 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2026.13.036

Nursing care for patients with post-stroke motor dysfunction undergoing non-invasive brain-computer interface therapy

Tian Danying, Zhang Lihua, Yang Zhongshan, Tang Yan, Liu Zhen, Wu Huili, Yue Gefen. Department of Neurosurgery, Union Hospital, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology/Hubei Provincial Clinical Research Center for Brain-Computer Interface, Wuhan 430022, China

Abstract: This article summarizes the nursing experience of a patient with post-stroke motor dysfunction in the plateau phase of rehabilitation who received non-invasive brain-computer interface (BCI) therapy under a doctor-engineer-nurse integration model. Key nursing considerations included the establishment of a doctor-engineer-nurse collaborative pathway integrating conventional rehabilitation with non-invasive BCI therapy; implementation of adaptive nursing based on multi-stage assessment and collaborative decision-making; synchronous nursing involving treatment response monitoring and dynamic intervention; and comprehensive nursing integrating behavioral guidance with structured empowerment. After eight weeks of intervention, the patient's near-infrared whole-brain functional connectivity strength increased from 0.45 to 0.78, and the number of functional connections increased from 94.0 to 224.0. The Fugl-Meyer Assessment Scale score improved from 60 to 86; the modified Ashworth spasticity grade of the affected hand decreased from 1⁺ to 0; the modified Barthel Index score increased from 80 to 95; the anxiety score of the Hospital Anxiety and Depression Scale decreased from 10 to 5, and the depression score from 8 to 3; and the Stroke Self-Efficacy Questionnaire score increased from 68 to 94. At the 3-month follow-up after discharge, the patients had returned to regular daily activities.

Keywords: stroke; motor dysfunction; physician-engineer-nurse integrated model; non-invasive brain-computer interface; anxiety; depression; self-efficacy; rehabilitation nursing

脑卒中病死率和致残率高,严重危害国民健康,是重大的公共卫生问题^[1]。脑卒中后 60% 的患者出现偏身肢体运动功能障碍,主要表现为患侧肢体肌力减退、协调能力异常,不仅严重影响自主活动与生活自理能力、降低生活质量,还会显著增加家庭照护压力和社会经济负担^[2]。患者经历传统康复锻炼后,常易进入康复平台期,即患者虽坚持训练,但运动功能评分在较长时间内无显著提升。这种恢复进程的迟

滞易使患者产生挫败感,进而加重心理负担^[3]。非侵入性脑机接口(Brain-computer Interface, BCI)是一种基于脑电图等技术的系统,它从头皮表面记录大脑活动,通过信号处理与模式识别算法进行实时解码,将解码结果转化为控制指令,最终实现人脑与外部设备的直接交互^[4]。非侵入性脑机接口治疗具有无创、安全性高等优点,可有效改善脑卒中患者的肢体运动功能,为提高康复效果提供了新路径^[5-7]。目前,学者多聚焦于非侵入性脑机接口的技术原理、操作方法、取得成效等的“技术中心化”研究^[8-10],忽视了患者在治疗过程中的心理、认知与行为层面的整体反应。本研究将科学医疗决策、精准工程技术与人文关怀护理相结合的“医护工融合模式”应用于 1 例脑卒中后肢体运动障碍康复平台期患者,通过 8 周的常规康复治疗联合非侵入性脑机接口技术干预,患者的身心状态

作者单位:华中科技大学同济医学院附属协和医院神经外科/
湖北省脑机接口临床医学研究中心(湖北 武汉,430022)

通信作者:张丽华,1448404709@qq.com

田丹英:女,本科,主管护师,anny926@163.com

科研项目:2025 年度湖北省教育厅哲学社会科学基金项目
(25Z110)

收稿:2026-01-02;修回:2026-04-06

改善明显。护理报告如下。

1 临床资料

1.1 一般资料 女,58 岁,高中学历,已退休。2024 年 1 月突发左侧基底节区脑梗死后遗留右侧肢体偏瘫,经 1 年外院传统康复(物理治疗、作业治疗),患者进入康复平台期,近 6 个月运动功能[Fugl-Meyer 运动功能评定量表(Fugl-Meyer Assessment,FMA)^[11] 评分 60 分]无明显进展,于 2025 年 7 月 28 日收入我科。入院诊断:脑卒中恢复期。入科查体:体温 36.5℃,血压 132/78 mmHg,脉搏 73 次/min,呼吸 19 次/min,意识清楚,无其他特殊病史,肌力左侧 5 级、右侧 4 级,认知功能正常。右上肢轻度痉挛[改良 Ashworth 痉挛分级量表(Modified Ashworth Scale,MAS)^[12] 评定为 1⁺ 级],其他肢体均为 0 级。生活自理能力轻度依赖[改良 Barthel 指数(Modified Barthel Index,MBI)^[13] 评分 80 分],并伴轻度焦虑和抑郁[医院焦虑抑郁量表-焦虑(Hospital Anxiety and Depression Scale-Anxiety,HADS-A)^[14] 评分 10 分、抑郁评分(Hospital Anxiety and Depression Scale-Depression,HADS-D)8 分]和低自我效能[脑卒中自我效能(Stroke Self-Efficacy Questionnaire,SSEQ)^[15] 评分 68 分],康复信心不足。患者近红外脑功能监测结果显示:全脑功能连接强度 0.45,功能连接边数 94.0。患者及家属知情,签署知情同意书。

1.2 治疗方法 经多学科团队评估后,纳入本院脑机接口病房接受个体化治疗及康复。完善相关检查和各项评估,在医工护融合模式下,制订 8 周以促进患者神经功能恢复、改善预后为核心的个体化康复方案。治疗方案包括①常规康复训练:良肢位摆放、主动关节活动、Bobath 握手、站式训练、踏步训练、步行训练、上下楼梯训练、日常生活活动能力训练及手指精细动作训练(如捏握弹力球)等动作训练。上述训练每日上、下午各实施 1 次,每次约 60 min,根据患者的体力及耐力情况动态调整运动量。②非侵入性脑机接口治疗:a.经颅磁刺激。刺激部位为左侧原始运动皮层手控制区,刺激强度采用目测法^[16] 确定,初始 35%,2 周后调整至 45%;参数为 10Hz、单次刺激时间 2 s、总刺激 1 200 个,每次 7 min,1 次/d,每周 6 次。b.运动想象训练。分建模与训练阶段,建模阶段采集脑电信号建立个人模型(触发阈值 70%),训练阶段患者按提示完成任务,系统匹配脑电信号驱动机械手臂;每次 30 min,2 次/d,每周 6 次。c.功能性电刺激。刺激右侧锁骨剑锋段、肱三头肌、桡侧腕伸肌、指伸肌、股四头肌、胫骨前肌、腓骨长肌、腓肠肌等部位,参数为双向对称方波(脉宽 180 μs、频率 20 Hz),初始电流 30~55 mA(按部位调整),逐日按需调整;每次 30 min,1 次/d,每周 6 次。

1.3 转归 经 8 周的治疗与护理,患者完成全部 48

次计划治疗,治疗依从性 100%,干预周期结束后病情好转顺利出院。出院时康复结局指标改善显著。

①近红外脑功能监测:全脑功能连接强度升至 0.78,功能连接边数增至 224.0。②运动功能:FMA 评分提升至 86 分,手部改良 Ashworth 痉挛分级降至 0 级。③生活自理能力:改良 Barthel 指数提升至 95 分。④情绪与自我效能:焦虑评分降至 5 分、抑郁降至 3 分,自我效能评分升至 94 分。出院 3 个月随访,患者已恢复日常活动。

2 护理

2.1 组建医工护非侵入性脑机接口运行团队 我科于 2025 年 6 月成立脑机接口医工融合病房,患者入院后参照院内新技术临床管理规范,组建由科室主任领衔,整合神经外科、神经内科、康复科、护理团队及生物医学工程师、算法工程师的医工护非侵入性脑机接口治疗管理团队,建立全流程多学科协作体系。团队以脑机接口相关专家共识^[17-19] 为指导,分工明确:科室主任主导整体工作,把控临床决策与资源协调;护士长负责护理质量、团队沟通及护理方案监督;神经外科、神经内科、康复科医生分别承担患者专科诊疗、神经功能评估、康复方案制订与疗效评价;护士负责整体护理、脑机接口训练执行与信息反馈;工程师团队提供技术保障与数据支持。团队建立常态化协作机制:每日微信群交流患者的治疗任务和完成情况;每周二下午举行线上联合病例讨论会,动态解读神经生理数据与临床反应,共同探讨并调整个体化治疗方案;每周五多学科协作完成患者运动功能及神经系统状态评估;其余学科人员(如临床心理科、营养科)根据患者需求以会诊形式参与。

2.2 动态化和结构化的护理管理

2.2.1 基于多阶段评估与协同决策的适配护理

2.2.1.1 治疗前期(治疗启动前 3 d) 护士联合神经外科、康复科医生对患者行生理、心理及社会状况综合评估:生理层面评估皮肤与感觉功能、行近红外脑功能监测,采用改良 Ashworth 量表、FMA 运动能量表、Borg 主观疲劳量表(Rating of Perceived Exertion,RPE)^[20] 分别评估痉挛程度、运动基础及疲劳度;心理层面采用 HADS、SSEQ 评估情绪与自我效能,结合访谈了解其疾病认知及治疗预期;社会层面通过访谈明确其个人情况、治疗依从史、家庭支持及照护者能力等。基于评估结果实施针对性干预:①指导患者每周 2~3 次清洁头发,保持头皮清洁干燥,为优化脑电信号、预防接触性皮炎奠定基础^[21]。②结合患者左侧大脑皮层激活不足、右上肢轻度痉挛等生理特点,联合医生、工程师制订个体化非侵入性脑机接口治疗方案,明确治疗时间、评估节点、项目、时长、周期及目标。③脑卒中后肢体功能障碍导致患者功能独立性显著降低,出现负面情绪,存在中等自我

效能水平和焦虑抑郁心理。自我效能感是启动行动的关键因素,对自身是否能够实现并坚持完成治疗任务发挥着重要作用^[22]。邀请临床心理科会诊,疏导患者心理状态,增强自我效能感;向患者及家属分享成功案例,激发康复信心和治疗动力。④邀请患者及家属参与治疗决策过程,向其进行非侵入性脑机接口相关知识健康教育,讲解治疗原理、配合方法和注意事项,强调及时反馈治疗期间的生理和心理变化等。经综合评估和护理指导,患者及家属对非侵入性脑机接口的认知程度和治疗意愿显著提升,为后续治疗奠定良好心理基础,患者表示“原来不是机器在治我,是它在教我的大脑自己治自己”。

2.2.1.2 治疗中期(治疗第1~7周) 非侵入性脑机接口治疗启动后,护士在每日治疗期间及每周固定节点,动态评估患者治疗接受度、耐受性及心理行为变化。①治疗前后评估患者有无头皮麻木、刺痛等不适感。②评估疲劳度,观察注意力、情绪波动及设备互动情况,关注解码失败相关挫败感。③每日整合护理观察和工程数据,形成非侵入性脑机接口工作日志并同步至微信群,联合工程师反馈解码成功率、信号质量等关键参数,当患者疲劳评分持续 >12 分或解码成功率连续下降 $>15\%$ 时,启动医工护三方讨论。④每周工程师微调治疗的刺激强度或任务难度,引导患者5~10 min正念放松,以降低心理负荷。⑤每周五联合多学科协作完成患者运动功能及神经系统状态评估,每周二复评心理量表并通过线上会议汇报。治疗4周后,患者右手取物功能和右足踝活动受限状态改善,运动功能FMA评分提高至70分进入平台期,自我效能评分85分。团队会议讨论,医生调整第5周训练目标,侧重已恢复功能的整合与应用;工程师提高运动想象反馈任务的趣味性与挑战性,调整经颅磁刺激的参数;护士协助患者回顾高质量完成的训练记录,指导其将心理优势转化为训练的行为动力,强化正向反馈以维持康复动力。非侵入性脑机接口工作日志显示,患者训练完成度100%,无治疗相关不适。焦虑评分由10分降至6分、抑郁评分由8分降至4分,身心负荷总体下降。运动想象成功解码率由平均正确率35%提升至80%。

2.2.1.3 治疗后期(治疗第8周) 对患者行生理功能、心理及家庭系统复评,对比基线数据,同时整合患者全治疗周期的脑电信号解码准确率趋势图及近红外脑功能分析报告,全面评估训练效果。多学科协作的专业团队和患者及家属共同制订康复方案,能提供全面、长期的服务链^[23]。出院前,团队结合复评结果制订脑机接口治疗后家庭康复与随访计划,开展出院健康教育,明确家庭训练、自我检测及效果记录要点,并建立随访微信群进行训练督导与疑问解答。团队持续提供个体化督导,患者改良Barthel指数稳定维持在95分(基本独立)。

2.2.2 基于治疗反应监测与动态化干预的同步护理

非侵入性脑机接口技术基于“输入—解码—输出”闭环机制,通过采集脑信号、解码意图给予多模态反馈,利用神经重塑促进脑卒中患者功能恢复^[24]。治疗启动后,护士对患者实施“监测—反馈—调整”同步护理,捕捉其生理、心理及技术互动细微变化,协同医生、工程师精准干预调整。①实时监测行为指标与主观体验,记录患者训练时的注意力、情绪反应及设备互动情况。针对患者运动想象训练易受干扰的问题,护士对治疗室清理优化,减少不必要的人员交流与走动,创造安静、舒适的训练空间。在30 min的运动想象训练中,患者注意力集中持续时间最高可达28 min。②每日基于非侵入性脑机接口工作日志及工程师提供的经颅电刺激的刺激频率、运动想象解码成功率、功能性电刺激强度等关键技术参数,指导患者规范训练,营造沉浸式的训练环境,感受丰富的肢体反馈与互动体验。经过4周训练后,患者运动想象解码成功率达86%,FMA手指部分评分由治疗前的6分提升至10分,其中手指的钩状抓握和侧捏显著改善,可独立拿取直径3 mm的药丸并送服到口。③每周结合多学科病例讨论会结果动态调整护理方案。第3周工程师调整任务参数以提升运动想象挑战性时,护士同步增加治疗前5 min正念引导放松以平衡认知负荷;第5周患者进入康复平台期,医生调整康复目标后,护士设计“生活化训练场景”,将患者每一次恢复的功能应用于实际生活,强化其心理反馈。护士协调将护理方案与患者的实时状态保持同步,患者表示“看到那个因为想象正确而出现的笑脸,我也很开心”。8周训练后,患者运动想象解码成功率达98%,拧杯盖动作时间由26.1 s缩短至13.8 s,可能因为患者治疗后获得了触觉反馈。

2.2.3 基于行为指导与结构化赋能的全程护理

研究表明,赋能护理可促进脑卒中患者克服认知及生理障碍,提升康复参与度与健康行为^[25-26]。为巩固院内非侵入性脑机接口治疗、促进向家庭及社区康复的有效转化,护理工作始终围绕“健康行为促进与赋能”为中心开展。

①住院期间实施行为指导与自我健康管理护理。在功能性电刺激治疗时,指导患者做自主抬高手臂、伸展手指,勾足等日常动作;将运动想象的训练场景迁移到简单的家庭活动,如取杯饮水前先进行意念准备;教会患者使用简易工具如训练打卡表,记录训练结果与恢复状态,识别自身进步情况。患者表示“每天最期待的就是来‘上课’,感觉自己是个积极的学生”。②治疗后期共同制订患者赋能计划。治疗第8周,采用共同决策模式,邀请患者及家属共同制订非侵入性脑机接口康复自我管理计划,明确居家训练、自我检测、问题应对及随访复诊要点,提升其理解度与配合度。③出院后建立延续性支持护理。通过随访微信群推送健康知识、答疑解惑。随访显示,出

院 1 个月、3 个月患者 FMA 评分分别为 86 分、88 分，改良 Barthel 指数维持 95 分，自我效能评分分别为 98 分、102 分，焦虑和抑郁评分均为 2 分，总体康复效果改善明显。出院第 1 个月随访时，患者表示“已无需助行器可自主生活活动”；第 3 个月随访时，患者诉其可周边旅游，已独立完成日行 2 万步挑战，其康复平台期造成的身心负担明显缓解。

3 小结

本例脑卒中后运动功能障碍患者在医工护融合模式下接受非侵入性脑机接口治疗，经过 8 周系统干预，患者的运动功能、心理状态及生活自理能力均获显著改善，出院后随访康复效果稳定。目前，非侵入性脑机接口治疗中护士的角色定位与工作流程仍缺乏统一标准，未来研究需进一步优化并明确护士在该治疗中的护理职责和操作规范，以推动该治疗技术的科学化、规范化临床应用。

参考文献：

[1] 国家卫生健康委加强脑卒中防治工作减少百万新发残疾工程专家委员会,吉训明.《2024 年中国脑卒中防治报告》概要[J].首都医科大学学报,2025,46(6):947-960.

[2] Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). GBD Results[EB/OL]. (2025-10-12)[2025-12-09]. <https://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.

[3] 李华,周静,祖百法,等.中老年脑卒中患者康复动机影响因素及路径分析[J].护理学杂志,2025,40(12):12-17.

[4] 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.

[5] Brunner I, Lundquist C B, Pedersen A R, et al. Brain computer interface training with motor imagery and functional electrical stimulation for patients with severe upper limb paresis after stroke: a randomized controlled pilot trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2024, 21(1):10.

[6] Cipriani M, Pichiorri F, Colamarino E, et al. The promotoer, a brain-computer interface-assisted intervention to promote upper limb functional motor recovery after stroke: a statistical analysis plan for a randomized controlled trial[J]. Trials, 2023, 24(1):736.

[7] 李欣,王东,石诗萌,等.基于运动想象的康复脑机接口联合重复外周磁刺激对卒中后恢复期患者上肢运动功能的疗效研究[J].中国卒中杂志,2025,20(10):1229-1236.

[8] 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.

[9] Yasen A, Sun W, Gong Y, et al. Progress in the combined application of brain-computer interface and non-invasive brain stimulation for post-stroke motor recovery

[J]. Clin Neurophysiol, 2025, 180:2111383.

[10] Edelman B J, Zhang S, Schalk G, et al. Non-invasive brain-computer interfaces: state of the art and trends[J]. IEEE Rev Biomed Eng, 2025, 18:26-49.

[11] 张玉梅,宋鲁平.康复评定常用量表[M].2 版.北京:科学技术文献出版社,2019:11-13.

[12] 王馨若,周鸿飞.痉挛瘫常用评价量表的信效度研究[J].按摩与康复医学,2018,9(23):87-89.

[13] 王赛华,施加加,孙莹,等.简体版改良 Barthel 指数在脑卒中恢复期中的信度与效度研究[J].中国康复,2020,35(4):179-182.

[14] 张明园,何燕玲.精神科评定量表手册[M].长沙:湖南科学技术出版社,2015:9.

[15] 李鸿艳,方亮,毕端雪,等.中文版脑卒中康复自我效能量表的信效度研究[J].中华护理杂志,2015,50(7):790-794.

[16] 唐莺莹,吴毅,王继军.重复经颅磁刺激的临床应用与操作规范上海专家共识[J].上海医学,2022,45(2):65-70.

[17] 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.

[18] 唐睿,宋洪文,孔卓,等.经颅直流电刺激治疗常见神经精神疾病的临床应用专家共识[J].中华精神科杂志,2022,55(5):327-382.

[19] 近红外脑功能成像临床应用专家共识编写组.近红外脑功能成像临床应用专家共识[J].中国老年保健医学,2021,19(2):3-9.

[20] 林蓓蕾,张振香,王文娜,等.脑卒中患者有氧运动推荐意见解读[J].护理学杂志,2021,36(11):28-32.

[21] 中国康复医学会.经颅磁刺激多模式评估技术应用规范:T/CARM010-2023[S].中国康复医学会,2023.

[22] Dieckelmann M, González-González A I, Banzer W, et al. Effectiveness of exercise interventions to improve long-term outcomes in people living with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. Sci Rep, 2023, 13(1):18074.

[23] 范彩英,洪翠芹,宋斌,等.介护师参与下多学科延续护理对脑卒中肢体功能障碍患者康复的影响[J].护理学杂志,2023,38(6):116-120.

[24] Jin W, Zhu X, Qian L, et al. Electroencephalogram-based adaptive closed-loop brain-computer interface in neurorehabilitation: a review[J]. Front Comput Neurosci, 2024, 18:1431815.

[25] Lau S C L, Judycki S, Mix M, et al. Theory-based self-management interventions for community-dwelling stroke survivors: a systematic review and meta-analysis[J]. Am J Occup Ther, 2022, 76(4):7604205010.

[26] 曹晋超,王玫,李婉玲,等.脑卒中患者医院-家庭过渡期护理的研究进展[J].护理学杂志,2024,39(4):112-116.

(本文编辑 韩燕红)