

基于交互式设备的护理模式对缺血性脑卒中患者运动能力影响的系统评价与 Meta 分析



张晓霞, 王文芳, 麻红梅

青海省人民医院神经内科 (西宁 810007)

【摘要】目的 系统评价运用交互式设备在缺血性脑卒中 (IS) 患者中的疗效。**方法** 计算机检索中国知网、万方、维普、PubMed、Web of Science、The Cochrane Library、Embase 数据库, 搜集基于交互式设备的护理模式对 IS 患者 Fugl-Meyer 上肢运动功能评估 (FMA-UE)、行动研究臂测试 (ARAT)、Berg 平衡量表 (BBS) 及步速等指标作用的随机对照试验研究, 检索时限均为建库至 2025 年 4 月 13 日。由 2 位研究者独立筛选文献、提取资料并评价纳入研究的偏倚风险后, 采用 RevMan 5.1 软件进行 Meta 分析。**结果** 共纳入 9 项研究, 包括 600 例患者。Meta 分析结果显示, 应用交互式设备组的 FMA-UE [MD=6.92, 95%CI (4.78, 9.07)]、ARAT [MD=3.85, 95%CI (3.24, 4.46)]、BBS [MD=1.05, 95%CI (0.69, 1.40)] 均高于常规康复护理组 ($P < 0.001$), 而 2 组的步速差异无统计学意义 [MD=0.18, 95%CI (-0.01, 0.37), $P=0.06$]。亚组分析显示, 应用以虚拟现实为主的设备在改善 FMA-UE 方面效果更突出 [MD=7.28, 95%CI (4.78, 9.79), $P < 0.001$]。**结论** 应用交互式设备在改善 IS 患者运动能力方面具有显著优势, 但其效果可能受干预模式影响, 且其长期疗效仍需进一步验证。

【关键词】 缺血性脑卒中; 虚拟现实; 脑机接口; 护理模式; Meta 分析

【中图分类号】 R743.3 **【文献标识码】** A

Impact of interactive devices in nursing on the motor ability of patients with ischemic stroke: a systematic review and Meta-analysis

ZHANG Xiaoxia, WANG Wenfang, MA Hongmei

Department of Neurology, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining 810007, China

Corresponding author: MA Hongmei, Email: hmme@alu.suda.edu.cn

【Abstract】Objective To systematically evaluate the efficacy of using interactive devices in patients with ischemic stroke (IS). **Method** China National Knowledge Infrastructure (CNKI), WanFang Data, VIP, PubMed, Web of Science, The Cochrane Library, and Embase databases were searched to identify randomized controlled trials examining the effects of nursing models based on interactive devices on indicators such as the Fugl-Meyer Assessment for Upper Extremity (FMA-UE), the Action Research Arm Test (ARAT), the Berg Balance Scale (BBS) and walking speed in patients with IS. The search period was from the inception to April 13, 2025. After independent screening literature, extracting data, and evaluating the risk of bias in the included studies by two researchers, a Meta-analysis was conducted using RevMan 5.1 software. **Results** A

DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202506139

基金项目: 青海省卫生健康委指导性计划课题 (2020-wjzdx-17)

通信作者: 麻红梅, 副主任护师, Email: hmme@alu.suda.edu.cn

yxxz.whuzhmedj.com

total of 9 studies involving 600 patients were included. The Meta-analysis results showed that in the group using interactive devices, the FMA-UE [MD=6.92, 95%CI (4.78, 9.07)], ARAT [MD=3.85, 95%CI (3.24, 4.46)], BBS [MD=1.05, 95%CI (0.69, 1.40)] were all higher than those in the routine rehabilitation care group ($P < 0.001$). There was no significant difference in walking speed [MD=0.18, 95%CI (-0.01,0.37), $P=0.06$]. Subgroup analysis revealed that the use of virtual reality-based devices was more effective in improving FMA-UE [MD=7.28, 95%CI (4.78, 9.79), $P < 0.001$]. **Conclusion** The use of interactive devices has significant advantages in improving the motor ability of IS patients, but their effectiveness may be influenced by the type of intervention, and their long-term efficacy remains to be further validated.

【Keywords】 Ischemic stroke; Virtual reality; Brain-computer interface; Nursing model; Meta-analysis

缺血性脑卒中 (ischemic stroke, IS) 作为全球致残的首要病因, 每年新发病例超 1 200 万, 其中约 65% 患者遗留中度至重度肢体功能障碍, 严重影响生活自理能力并加剧社会经济负担^[1-2]。尽管国际指南强调早期、多学科协作的康复干预对改善 IS 患者运动功能与日常生活能力具有重要作用, 但传统护理模式依赖标准化的物理治疗与作业治疗, 难以动态适应神经可塑性变化的时空特异性, 且缺乏对多模态运动控制能力的精准评估与干预手段^[3-6]。目前, 常规护理模式主要包括传统康复训练、健康教育及基础生活辅助指导, 虽能一定程度改善患者功能, 但受限于康复资源分布不均、患者参与依从性波动及干预手段标准化不足等问题, 部分患者难以获得持续、个性化的康复支持, 长期功能维持效果仍存在较大提升空间^[7-8]。

近年来, 以虚拟现实 (virtual reality, VR) 和脑机接口 (brain-computer interface, BCI) 为代表的交互式设备在神经康复领域展现出巨大潜力^[9-11]。已有随机对照试验 (randomized controlled trial, RCT) 表明, BCI 辅助训练可提高上肢运动功能改善率, VR 设备通过实时反馈可进一步优化关节活动度与肌力平衡^[12-14]。然而, 现有临床研究中关于交互式设备的干预效果尚存差异^[15-16]。不同交互式设备方案、训练强度及患者基线特征等因素可能导致疗效不一, 部分研究未能观察到交互式设备在特定运动功能维度上的显著优势^[17-18]。此外, 尽管已有若干综述关注交互式设备在卒中康复中的作用^[19-20], 但系统评估 IS 患者运动能力影响的研究仍相对缺乏, 且既往 Meta 分析可能存在纳入研究类型混杂、未严格区分卒中类型或未涵盖最新高质量 RCT 证据等问题^[21-22]。据此, 本研究拟通过系统评价与 Meta 分析方法评估基于交互式设备的护理干预对改

善 IS 患者运动能力的疗效, 以期为其在临床康复护理实践中的应用提供循证依据。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

纳入标准: (1) 研究类型为平行 RCT 设计。(2) 研究对象为存在运动、平衡、生活能力障碍的 IS 患者, 不论其病程阶段 (急性期、亚急性期或恢复期), 但需满足以下基本特征: ①首次发病或既往发病但本次复发后经影像学 (CT/MRI) 确诊; ②年龄 ≥ 18 岁; ③发病后经临床评估确认存在运动功能 (如肢体肌力、关节活动度)、平衡能力 (如静态站立、动态重心转移) 或日常生活自理能力 (如进食、穿衣、转移) 受损; ④意识清楚且能配合完成量表测评; ⑤签署知情同意书。(3) 试验组干预措施为在常规康复护理基础上, 应用交互式设备进行运动功能训练。交互式设备主要包括: ①以 VR 为主的系统, 通过头戴式显示器、动作捕捉传感器或触觉反馈装置, 提供沉浸式任务训练; ②以 BCI 为主的技术, 利用脑电信号控制外部设备, 如功能性电刺激装置、机械外骨骼等, 实现神经反馈驱动的运动再学习。训练频率 ≥ 3 次/周, 单次时长 ≥ 20 min, 总疗程 ≥ 3 周。对照组采用常规康复护理。(4) 结局指标至少包括以下任意一项: ①Fugl-Meyer 上肢运动功能评估 (Fugl-Meyer Assessment of Upper Extremity, FMA-UE); ②行动研究臂测试 (Action Research Arm Test, ARAT); ③Berg 平衡量表 (Berg Balance Scale, BBS); ④步速^[23]。

排除标准: ①包含出血性脑卒中或混合性脑卒中类型的患者但未独立分析 IS 亚组的研究; ②交互式设备仅作为评估工具而非干预手段的研究; ③干预组联合使用交互式设备以外的试验性

治疗，且对照组未同步应用；④数据重复发表或无法获取全文；⑤包含卒中前已存在严重运动功能障碍患者的研究。

1.2 文献检索策略

本研究未对语言、出版日期或出版状态施加任何限制。计算机检索 PubMed、Web of Science、The Cochrane Library、Embase、中国知网、万方、维普数据库自建库至 2025 年 4 月 13 日发表的相关文章。采用主题词与自由词相结合的策略进行检索，中文检索词包括中风、脑血管意外、大脑血管意外、脑卒中、大脑中风、急性中风、急性脑血管意外、康复、护理模式等；英文检索词包括 Strokes、Cerebrovascular Accident、Cerebral Stroke、Cerebrovascular Apoplexy、Brain Vascular Accident、CVA、Acute Stroke、Model、Nursing、Orem Self-Care Model、Rehabilitation Nursing、Progressive Patient Cares 等。以 PubMed 为例，检索策略见附件框 1。

1.3 文献筛选与资料提取

由 2 名研究人员独立筛选文献、提取资料，提取的主要内容包括研究基本信息（作者、发表年份、国家/地区）、研究对象特征（年龄、性别、样本量）、干预措施方案及结局指标数据。所有环节均进行交叉核对，如遇分歧则通过咨询第 3 位研究人员讨论解决。

1.4 纳入研究的偏倚风险评价

由 2 名研究人员独立采用 Cochrane 协作网偏倚风险评估工具 (ROB 1.0) [24-25] 对纳入研究进行偏倚风险评估并交叉核对，若 2 名研究人员意见不统一，先充分讨论协商，若无法达成一致则引入第 3 名研究人员进行裁决。

1.5 统计学分析

采用 RevMan 5.1 软件进行统计学分析。连续变量以均数差 (mean difference, MD) 为统计效应量，并提供 95% 置信区间 (confidence interval, CI)。采用 χ^2 检验结合 I^2 值判断研究间的异质性 [26]。若研究结果间无统计学异质性 ($I^2 \leq 50\%$ 且 $P > 0.1$)，选择固定效应模型进行 Meta 分析；反之，选择随机效应模型进行 Meta 分析，并行亚组分析或敏感性分析以探讨异质性来源。对纳入文献数 ≥ 10 篇的结局指标通过绘制漏斗图评估潜在发表偏倚风险。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 文献筛选流程及结果

初检获得相关文献 58 520 篇，经逐层筛选，最终纳入 9 项研究 [12, 27-34]，文献筛选流程见图 1。

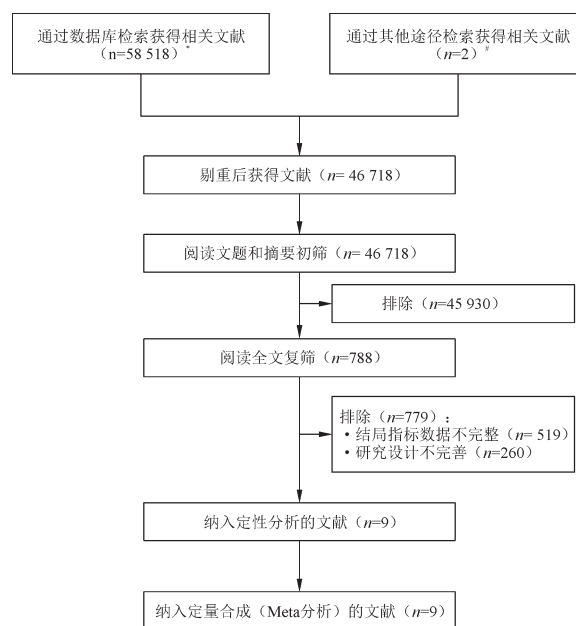


图 1 文献筛选流程图

Figure 1. Literature screening flowchart

注：*检索的数据库及检出文献数具体为中国知网 (n=676)、万方 (n=2 717)、维普 (n=483)、PubMed (n=6 807)、Web of Science (n=6 918)、Embase (n=39 071)、The Cochrane Library (n=1 846)；#其他途径获得文献具体为参考文献追溯 (n=2)。

2.2 纳入研究的基本特征和偏倚风险评估

共纳入 9 项 RCT 研究 [12, 27-34]，涉及 600 例患者。干预措施方面，6 项研究 [27-30, 32, 34] 采用以 VR 技术为主的交互式设备，3 项研究 [12, 31, 33] 采用以 BCI 技术为主的交互式设备；对照措施均采用常规康复护理，纳入研究的基本特征见表 1。偏倚风险评估结果显示，纳入研究总体偏倚风险可控，评价结果详见附件图 1。

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 FMA-UE 评分

9 项研究 [12, 27-34] 报告了 FMA-UE 指标，各研究间存在统计学异质性 ($I^2=80\%$, $P < 0.001$)，采用随机效应模型进行 Meta 分析，结果显示，应用交互式设备组 FMA-UE 评分显著高于常规康复护理组 [MD=6.92, 95%CI (4.78, 9.07), $P < 0.001$]，见附件图 2。

表1 纳入研究的基本特征

Table 1. Basic characteristics of the included studies

研究	国家	例数		年龄 ^a (岁)		干预措施		每周训练频率 (d)	单次时长 (min)	总疗程 (周)	结局指标
		T	C	T	C	T	C				
Liu 2023 ^[12]	中国	30	30	52	53	常规康复训练+基于运动想象的BCI训练	常规康复训练	5	20	3	①②
Ase 2025 ^[27]	日本	7	7	58	51	使用VR设备进行家庭康复	传统的家庭康复	5	30	4	①②
Choi 2024 ^[28]	韩国	23	23	56	59	基于VR的机器人和任务导向疗法	任务导向疗法	5	40	8	①②
Korkusuz 2025 ^[29]	土耳其	13	12	62	62	非沉浸式VR游戏训练+常规物理治疗和康复	常规物理治疗和康复	3	60	6	①③④
Kwak 2024 ^[30]	韩国	18	18	54	59	基于触摸控制器的沉浸式VR训练+常规治疗	常规治疗	3	30	5	①③④
Lu 2025 ^[31]	中国	20	19	52	50	多模式感觉反馈BCI系统	常规运动想象治疗	5	30	4	①②④
Maggio 2025 ^[32]	意大利	27	27	56	54	VR康复认知训练	传统认知训练	3	45	8	①③
Wang 2024 ^[33]	中国	150	146	60	58	BCI系统	传统康复训练	5	30	4	①②
Xu 2025 ^[34]	中国	15	15	-	-	基于VR的动态站立平衡训练	标准站立平衡训练	5	20	3	①③④

注: T. 试验组; C. 对照组; ^a中位数; ①FMA-UE; ②ARAT; ③BBS; ④步速 (km/h); -. 未报告。

2.3.2 ARAT评分

5项研究^[12, 27-28, 31, 33]报告了ARAT指标, 各研究间有统计学异质性 ($I^2=15\%$, $P=0.32$), 采用固定效应模型进行Meta分析, 结果显示, 应用交互式设备组ARAT评分显著高于常规康复护理组 [MD=3.85, 95%CI (3.24, 4.46), $P<0.001$], 见附件图3。

2.3.3 BBS评分

4项研究^[29-30, 32, 34]报告了BBS指标, 各研究间无统计学异质性 ($I^2=50\%$, $P=0.11$), 采用固定效应模型进行Meta分析, 结果显示, 应用交互式设备组BBS评分显著高于常规康复护理组 [MD=1.05, 95%CI (0.69, 1.40), $P<0.001$], 见附件图4。

2.3.4 步速

4项研究^[29-31, 34]报告了步速, 各研究间无统计学异质性 ($I^2=0\%$, $P=0.85$), 采用固定效应模型进行Meta分析, 结果显示, 2组步速差异无统计学意义 [MD=0.18, 95%CI (-0.01, 0.37), $P=0.06$], 见附件图5。

2.3.5 亚组分析

根据干预措施类型对FMA-UE行亚组分析, 不同亚组间仍存在统计学异质性 ($I^2=80\%$, $P<0.001$), 采用随机效应模型进行Meta分析, 结果显示, 主要应用VR技术 [MD=7.28, 95%CI (4.78, 9.79), $P<0.001$] 和BCI技术 [MD=6.42, 95%CI (2.62, 10.23), $P<0.001$] 组FMA-UE评分均显著高于常规康复护理组, 见附件图6。

2.4 发表偏倚

对FMA-UE指标绘制漏斗图进行发表偏倚检验, 结果显示, 多数散点集中在MD=0.1~10范围内, 未见明显偏离中线的研究, 但中线左侧下方疑似少量研究缺失, 需警惕潜在发表偏倚风险, 见附件图7。

3 讨论

本研究Meta分析结果显示, 与常规康复护理技术相比, 应用交互式设备可改善患者上肢运动功能、手部功能、平衡能力与步行速度; 且除步速外, 其他指标组间差异均有统计学意义。这一结果支持交互式设备作为辅助康复手段在改善IS后运动功能障碍中具有积极作用^[35]。

在FMA-UE评分方面, 交互式设备组较对照组平均提高6.92分, 与既往研究一致^[36], 表明其对上肢运动功能恢复具有促进作用。VR技术通过整合视觉-听觉-触觉激活镜像神经元系统, 促进运动皮层与感觉皮层的功能重组^[37]。亚组分析进一步发现, 以VR为主的技术对FMA-UE的提升效果优于以BCI为主的技术, 这可能是由于VR主要通过多感官整合强化运动学习, 尤其利于中度损伤患者重建神经通路, 而BCI虽整体疗效较弱, 但其对完全性瘫痪患者的神经接口激活能力可能为常规康复护理手段无法干预的群体提供了新的路径^[38]。值得注意的是, VR的优势机制还包括通过视觉-本体感觉耦合增强顶叶-运动皮层连接纤维的FA值^[39]; 以及在虚拟环境中的“错

误扩大”设计,可使轻微姿势偏差产生数倍视觉反馈,强制激活前庭代偿机制^[40]。这些特性共同解释了为何以VR为主的设备在改善上肢功能方面效果尤为突出。

此外,交互式设备同样显著提高患者手部功能和平衡能力。关于ARAT这一指标,研究间无统计学异质性,提示交互式设备对手部精细动作的改善效果较为一致,可能与VR/BCI技术对抓握、指向等动作的针对性训练相关^[41-42]。VR系统通过物体交互反馈激活腹侧视觉通路和初级体感皮层的协同工作,使抓握力度调节精度控制在较小误差范围内,而BCI技术则通过功能性电刺激直接作用于桡神经运动点,使腕背伸肌群募集率显著提升^[43],这种特异性神经编码机制使手部功能训练效果具有较好的可重复性和稳定性。

BBS改善幅度虽然相对较小,但具有明确的临床价值。BBS评分提高反映了前庭-小脑代偿机制的激活,VR动态平衡训练通过视觉流刺激使重心摆动速度耐受阈值提高^[44]。本研究中交互式设备组步速较常规康复护理组有所改善,但组间差异无统计学意义,可能与纳入研究的数量有关。

从训练模式角度出发,交互式设备的优势主要体现在反馈的时效性、训练强度可自行调节以及多脑区的协同激活3个方面^[45]。VR技术通过情景模拟强化功能转移,如虚拟超市购物任务同时训练运动功能和执行功能^[46-47];BCI技术则为完全性瘫痪患者提供了常规康复护理手段无法实现的神经接口激活途径^[48]。这些特性共同构成了交互式设备在多维度运动功能改善中的独特价值。

本研究存在一定局限:①各研究在设备类型、干预参数、训练频率及疗程等方面存在较大差异,可能导致合并结果存在偏倚,尽管采用随机效应模型和亚组分析,仍未完全解释异质性来源;②纳入研究的疗程均未超过8周,交互式设备的远期康复效益及功能维持能力仍需更多长期研究加以验证;③部分研究未详细描述设备参数、软件版本及操作人员培训方案,可能影响结果复现与临床推广;④虽已进行漏斗图分析,但未能完全排除阴性结果未发表所带来的偏倚;⑤纳入对象多以轻中度功能障碍患者为主,对重度瘫痪患者的证据仍较有限,结论外推需谨慎。

未来研究应注重标准化干预方案、规范结局报告、延长随访时间,并加强对完全性瘫痪亚组的效应评估。

综上所述,本研究为交互式设备在IS康复中的应用提供了循证医学证据支持,其在多维度功能改善中的优势显著优于常规康复护理,但临床应用时需关注患者个体特征与干预模式的选择匹配,同时需进一步开展大样本、长周期、标准化的RCT研究,明确不同交互设备的最佳适用场景及长期效果,为IS患者提供更个性化、更高效的康复方案。

附件见《医学新知》官网附录 (<https://yxzx.whuznhmedj.com/futureApi/storage/appendix/202506139.pdf>)

伦理声明:不适用

作者贡献: 研究设计: 张晓霞、王文芳、麻红梅; 数据提取、核查与分析: 张晓霞、王文芳; 论文撰写、基金支持: 张晓霞; 论文审定: 王文芳、麻红梅

数据获取: 本研究中使用和(或)分析的所有数据均包含在本文中

利益冲突声明: 无

致谢: 不适用

参考文献

- 1 Guzik A, Bushnell C. Stroke epidemiology and risk factor management[J]. *Continuum (Minneapolis, Minn)*, 2017, 23(1, Cerebrovascular Disease): 15-39.
- 2 Tater P, Pandey S. Post-stroke movement disorders: clinical spectrum, pathogenesis, and management[J]. *Neurology India*, 2021, 69(2): 272-283.
- 3 Kleindorfer DO, Towfighi A, Chaturvedi S, et al. 2021 guideline for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2021, 52(7): e364-e467.
- 4 Kernan WN, Ovbiagele B, Black HR, et al. Guidelines for the prevention of stroke in patients with stroke and transient ischemic attack: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2014, 45(7): 2160-2236.
- 5 杨敏. 脑卒中患者康复护理指南[J]. *家庭百事通*, 2025, (2): 55-57. [Yang M. Guidelines for rehabilitation nursing of stroke patients[J]. *Family Guide*, 2025, (2): 55-57.]
- 6 徐妍, 黄馨睿, 严铮, 等. 脑卒中患者中西医结合居家运动康复的最佳证据总结[J]. *浙江中医药大学学报*, 2024, 48(11): 1440-1449. [Xu Y, Huang XR, Yan Z, et al. Best evidence summary of integrated traditional Chinese and Western medicine home exercise rehabilitation for stroke patients[J]. *Journal of Zhejiang University of Chinese Medicine*, 2024, 48(11): 1440-1449.]
- 7 Jiang L, Zhang W, Qian L, et al. Clinical practice guideline appraisal

- and algorithm development to identify recommendations related to nursing practice for post-stroke dysphagia[J]. *J Clin Nurs*, 2023, 32(17-18): 6089-6100.
- 8 Lens C, Demeestere J, Casolla B, et al. From guidelines to clinical practice in care for ischaemic stroke patients: a systematic review and expert opinion[J]. *Eur J Neurol*, 2024, 31(12): e16417.
- 9 Khan MA, Das R, Iversen HK, et al. Review on motor imagery based BCI systems for upper limb post-stroke neurorehabilitation: from designing to application[J]. *Comput Biol Med*, 2020, 123: 103843.
- 10 Afridi A, Obaid S, Raheel N, et al. Integrating artificial intelligence in stroke rehabilitation: current trends and future directions; a mini review[J]. *JPMa*, 2025, 75(2): 445-447.
- 11 Huo CC, Zheng Y, Lu WW, et al. Prospects for intelligent rehabilitation techniques to treat motor dysfunction[J]. *Neural Regen Res*, 2021, 16(2): 264-269.
- 12 Liu X, Zhang W, Li W, et al. Effects of motor imagery based brain-computer interface on upper limb function and attention in stroke patients with hemiplegia: a randomized controlled trial[J]. *BMC Neurol*, 2023, 23(1): 136.
- 13 程雪. 下肢康复机器人对慢性期脑卒中辅助步态训练康复效果的初步研究[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2020.
- 14 李洋, 孙钰, 王兴蕾, 等. 可穿戴智能设备在脑卒中患者中应用的研究进展[J]. *广西医学*, 2023, 45(18): 2276-2279. [Li Y, Sun Y, Wang XL, et al. Research progress on the application of wearable intelligent devices in stroke patients[J]. *Guangxi Medical Journal*, 2023, 45(18): 2276-2279.]
- 15 Ma ZZ, Wu JJ, Cao Z, et al. Motor imagery-based brain-computer interface rehabilitation programs enhance upper extremity performance and cortical activation in stroke patients[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2024, 21(1): 91.
- 16 Sana V, Ghous M, Kashif M, et al. Effects of vestibular rehabilitation therapy versus virtual reality on balance, dizziness, and gait in patients with subacute stroke: a randomized controlled trial[J]. *Medicine*, 2023, 102(24): e33203.
- 17 Brunner I, Lundquist CB, Pedersen AR, 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.
- 18 Hsu HY, Kuo LC, Lin YC, et al. Effects of a virtual reality-based mirror therapy program on improving sensorimotor function of hands in chronic stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2022, 36(6): 335-345.
- 19 Molinari M, Masciullo M. Stroke and potential benefits of brain-computer interface[J]. *Handb Clin Neurol*, 2020, 168: 25-32.
- 20 Rajashekar D, Boyer A, Larkin-Kaiser KA, et al. Technological advances in stroke rehabilitation: robotics and virtual reality[J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2024, 35(2): 383-398.
- 21 Lima EO, Silva LM, Melo ALV, et al. Transcranial direct current stimulation and brain-computer interfaces for improving post-stroke recovery: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Clin Rehabil*, 2024, 38(1): 3-14.
- 22 Chen J, Or CK, Chen T. Effectiveness of using virtual reality-supported exercise therapy for upper extremity motor rehabilitation in patients with stroke: systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Med Internet Res*, 2022, 24(6): e24111.
- 23 Hong W, Zhang X. MRI assessment of the relationship between cortical morphological features and hemiparetic motor-related outcomes in chronic subcortical stroke patients[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2023, 58(2): 571-580.
- 24 Zeng X, Zhang Y, Kwong JS, et al. The methodological quality assessment tools for preclinical and clinical studies, systematic review and Meta-analysis, and clinical practice guideline: a systematic review[J]. *J Evid Based Med*, 2015, 8(1): 2-10.
- 25 曾宪涛, Kwong JSW, 田国祥, 等. Meta分析系列之二: Meta分析的软件[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2012, 4(2): 89-91. [Zeng XT, Kwong JSW, Tian GX, et al. Meta analysis series 2: Meta analysis software[J]. *Chinese Journal of Evidence Based Cardiovascular Medicine*, 2012, 4(2): 89-91.]
- 26 杨娟, 郑青山. Meta分析的统计学方法[J]. *中国临床药理学与治疗学*, 2005(11): 1309-1314. [Yang J, Zheng QS. Statistical methods for Meta-analysis[J]. *Chinese Journal of Clinical Pharmacology and Therapeutics*, 2005(11): 1309-1314.]
- 27 Ase H, Honaga K, Tani M, et al. Effects of home-based virtual reality upper extremity rehabilitation in persons with chronic stroke: a randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2025, 22(1): 20.
- 28 Choi JB, Cho KI. Effects of virtual reality-based robot therapy combined with task-oriented therapy on upper limb function and cerebral cortex activation in patients with stroke[J]. *Medicine*, 2024, 103(27): e38723.
- 29 Korkusuz S, Taşkın G, Korkusuz BS, et al. Examining the effects of non-immersive virtual reality game-based training on knee hyperextension control and balance in chronic stroke patients: a single-blind randomized controlled study[J]. *Neurol Sci*, 2025, 46(3): 1267-1275.
- 30 Kwak HD, Chung E, Lee BH. The effect of balance training using touch controller-based fully immersive virtual reality devices on balance and walking ability in patients with stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. *Medicine*, 2024, 103(27): e38578.
- 31 Lu R, Pang Z, Gao T, et al. Multisensory BCI promotes motor recovery via high-order network-mediated interhemispheric integration in chronic stroke[J]. *BMC Med*, 2025, 23(1): 380.
- 32 Maggio MG, Bonanno L, Rizzo A, et al. The role of virtual reality-based cognitive training in enhancing motivation and cognitive functions in individuals with chronic stroke[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 25258.
- 33 Wang A, Tian X, Jiang D, et al. Rehabilitation with brain-computer interface and upper limb motor function in ischemic stroke: a randomized controlled trial[J]. *Med (New York, NY)*, 2024, 5(6): 559-569.e554.
- 34 Xu Y, Yao J, Ni J, et al. Comparison of combined virtual reality combined with standing balance training versus standard practice in patients with hemiplegia: a single-blinded, randomized controlled trial[J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2025, 104(4): 312-317.
- 35 Zolkefley MKI, Firwana YMS, Hatta HZM, et al. An overview of fractional anisotropy as a reliable quantitative measurement for the corticospinal tract (CST) integrity in correlation with a Fugl-Meyer assessment in stroke rehabilitation[J]. *J Phys Ther Sci*, 2021, 33(1): 75-83.
- 36 Leong SC, Tang YM, Toh FM, et al. Examining the effectiveness of virtual, augmented, and mixed reality (VAMR) therapy for upper limb recovery and activities of daily living in stroke patients: a systematic review and Meta-analysis[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1): 93.

- 37 Chang WK, Lim H, Park SH, et al. Effect of immersive virtual mirror visual feedback on Mu suppression and coherence in motor and parietal cortex in stroke[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 12514.
- 38 Hao J, Xie H, Harp K, et al. Effects of virtual reality intervention on neural plasticity in stroke rehabilitation: a systematic review[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2022, 103(3): 523–541.
- 39 Patel J, Fluet G, Qiu Q, et al. Intensive virtual reality and robotic based upper limb training compared to usual care, and associated cortical reorganization, in the acute and early sub-acute periods post-stroke: a feasibility study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2019, 16(1): 92.
- 40 王明珠, 胡思鸿, 王琴, 等. 体感互动游戏 Wii 改善脑卒中病人康复效果研究进展[J]. *护理研究*, 2022, 36(23): 4228–4232. [Wang MZ, Hu SH, Wang Q, et al. Research progress on improving the rehabilitation effect of stroke patients through sensory interactive games[J]. *Chinese Nursing Research*, 2022, 36(23): 4228–4232.]
- 41 Mane R, Chouhan T, Guan C. BCI for stroke rehabilitation: motor and beyond[J]. *J Neural Eng*, 2020, 17(4): 041001.
- 42 Zhang Y, Zhao W, Wan C, et al. Exoskeleton rehabilitation robot training for balance and lower limb function in sub-acute stroke patients: a pilot, randomized controlled trial[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2024, 21(1): 98.
- 43 Savić AM, Novičić M, Đorđević O, et al. Novel electrotactile brain-computer interface with somatosensory event-related potential based control[J]. *Front Hum Neurosci*, 2023, 17: 1096814.
- 44 Bonan IV, Gaillard F, Ponche ST, et al. Early post-stroke period: a privileged time for sensory re-weighting? [J]. *J Rehabil Med*, 2015, 47(6): 516–522.
- 45 Kübler A, Neumann N. Brain-computer interfaces--the key for the conscious brain locked into a paralyzed body[J]. *Prog Brain Res*, 2005, 150: 513–525.
- 46 Kim M, Thawisuk C, Kaneko F, et al. Effectiveness of VR intervention coupled with treadmill training on gait function for stroke patients: a systematic review[J]. *NeuroRehabilitation*, 2025, 57(1): 3–13.
- 47 Wei X, Huang C, Ding X, et al. Effect of virtual reality training on dual-task performance in older adults: a systematic review and Meta-analysis[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2025, 22(1): 141.
- 48 Ren C, Li X, Gao Q, et al. The effect of brain-computer interface controlled functional electrical stimulation training on rehabilitation of upper limb after stroke: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Front Hum Neurosci*, 2024, 18: 1438095.

收稿日期: 2025 年 06 月 23 日 修回日期: 2025 年 11 月 11 日
本文编辑: 杨燕 曹越

引用本文: 张晓霞, 王文芳, 麻红梅. 基于交互式设备的护理模式对缺血性脑卒中患者运动能力影响的系统评价与 Meta 分析[J]. 医学新知, 2026, 36(5): 567–573. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202506139.
Zhang XX, Wang WF, Ma HM. Impact of interactive devices in nursing on the motor ability of patients with ischemic stroke: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Yixue Xinzhi Zazhi*, 2026, 36(5): 567–573. DOI: 10.12173/j.issn.1004-5511.202506139.