

虚拟现实技术在脑卒中后上肢功能障碍患者康复中应用的范围综述

张漪,王鑫鑫

(浙江大学医学院附属第二医院 护理部,浙江 杭州 310009)

【摘要】 目的 对虚拟现实技术在脑卒中后上肢功能障碍患者康复训练中的研究进行范围综述,为后续研究提供参考。**方法** 依据范围综述框架,检索 PubMed、Embase、CINAHL、Web of Science、Cochrane Library、中国知网、万方等中英文数据库,检索时限为建库至 2025 年 5 月 1 日,对纳入文献进行分析和总结。**结果** 共纳入 45 项研究,主要干预形式有虚拟情景训练、虚拟身体或镜像反馈训练及机器人或智能设备辅助训练,其中虚拟情景训练应用最广泛。评价指标主要以上肢运动功能、肌肉功能及日常生活活动能力为主,但对认知功能、心理状态等指标关注不足。**结论** 虚拟现实技术在脑卒中后上肢功能障碍患者康复应用中存在异质性问题,未来研究应优化组合与协同,为规范化应用提供依据。

【关键词】 虚拟现实;脑卒中;上肢;康复;范围综述

DOI: 10.3969/j.issn.2097-1826.2026.08.019

【中图分类号】 R473.74 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2097-1826(2026)08-0080-06

Virtual Reality for Rehabilitation in Post-stroke Upper Limb Dysfunction: A Scoping Review

ZHANG Yi, WANG Xinxin (Department of Nursing, The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, Zhejiang Province, China)

Corresponding author: WANG Xinxin, Tel: 0571-56199874

【Abstract】 Objective To conduct a scoping review of studies on the application of virtual reality (VR) for rehabilitation in patients with post-stroke upper limb dysfunction, and to provide reference for future research. **Methods** Following the scoping review framework, Chinese and English databases including PubMed, Embase, CINAHL, Web of Science, Cochrane Library, CNKI, and Wanfang were searched from inception to May 1, 2025. The included literature was analyzed and summarized. **Results** A total of 45 studies were included. The main intervention modalities were virtual scenario training, virtual body or mirror feedback training, and robot-assisted or intelligent device-assisted training, among which virtual scenario training was the most widely applied. The evaluation indicators mainly focused on the motor function, muscle function, and activities of daily living in upper limbs, whereas insufficient attention was paid to indicators such as cognitive function and psychological status. **Conclusions** The application of VR for rehabilitation in post-stroke upper limb dysfunction exhibit issues such as heterogeneity. Future research should optimize the combination and collaboration to provide a basis for standardized application.

【Key words】 virtual reality; stroke; upper limb; rehabilitation; scoping review

[Mil Nurs, 2026, 43(08): 80-85]

脑卒中是严重威胁人类生命健康的心脑血管疾病。我国脑卒中相关死亡人数约占全球 1/3, 每年新发患者超过 240 万, 死亡约 110 万, 幸存者多遗留残疾^[1]。约 85% 的患者出现上肢功能障碍^[2], 主要表现为疼痛、感觉障碍、肩关节半脱位等, 直接影响患者独立生活能力^[3]。相较于下肢功能恢复不同, 上肢功能恢复涉及更复杂的运动控制, 不仅需要改善肌力和关节活动, 还需满足精细操作、双侧协调及

日常生活任务整合等功能需求; 同时, 肩痛、肩关节活动受限等问题增加了上肢康复的复杂性^[2-7]。因此, 针对脑卒中后上肢功能障碍开展精准化康复研究具有重要意义。近年来, 随着数字健康技术的发展, 虚拟现实(virtual reality, VR)及其衍生技术, 如增强现实(augmented reality, AR)、混合现实(mixed reality, MR)逐渐应用于脑卒中康复领域^[6-11]。相较传统康复, VR 及其衍生技术能够提供情景化任务、即时反馈、可量化运动数据和较强沉浸体验。近年来, 相关研究^[9-11]已广泛关注 VR 及其衍生技术在脑卒中运动功能恢复、日常生活活动能力及患者体验等方面的应用。然而, 既往综述纳入

【收稿日期】 2025-12-27 **【修回日期】** 2026-07-20

研究多涉及上下肢及整体运动功能等不同康复目标^[12]。由于不同功能目标在训练模式、技术形式及评价指标方面存在异质性,现有证据尚难全面反映VR及其衍生技术在脑卒中后上肢功能障碍患者中的应用特征,采用范围综述对该领域证据范围、技术特征及研究空白进行系统梳理具有必要性。因此,本文遵循范围综述框架^[13],对VR及其衍生技术在脑卒中后上肢功能障碍患者康复中的应用进行系统梳理,明确研究现状与不足,为未来研究提供参考。

1 资料与方法

1.1 确定研究问题 VR及其衍生技术在脑卒中后上肢功能障碍患者康复中的应用技术和设备有哪些?相关研究采用了哪些干预形式?评价指标包括哪些方面?

1.2 文献纳入与排除标准 根据“PCC”原则确定纳入标准。研究对象(participants,P)为年龄 ≥ 18 岁的患者,符合脑卒中的诊断标准并经CT或MRI确诊,且存在上肢功能障碍,上肢Brunnstrom分期为 $\geq \text{II}$ 期,不限制偏瘫的类型及病程;概念(concept,C)为基于VR及其衍生技术的干预用于康复训练;情境(context,C)为住院期间或居家环境接受干预;研究设计包括随机对照试验、类实验研究、混合性研究。排除标准:研究内容未涉及VR及其衍生技术或未针对脑卒中后上肢功能障碍患者进行康复干预;文献语言非中英文;文章内容不全或无法获取全文;重复发表。

1.3 检索策略 检索PubMed、Embase、CINAHL、Web of Science、Cochrane Library、Scopus、中国知网、万方数据库、维普数据库和中国生物医学文献数据库。检索时限为建库至2025年5月1日。采用主题词、自由词以及布尔逻辑运算连接符结合的方式进行检索。英文数据库以PubMed为例,检索式为(virtual reality OR virtual environment OR virtual rehabilitation OR virtual game OR virtual therapy OR VR OR augmented reality OR AR OR mixed reality OR MR OR extended reality OR XR) AND (stroke OR cerebrovascular accident OR ischemic stroke OR hemorrhagic stroke OR hemiplegia) AND (upper limb OR upper extremity OR shoulder OR arm OR hand OR rehabilitation)。中文数据库以中国知网为例,检索式为(虚拟现实/虚拟仿真/虚拟环境/虚拟康复/VR/增强现实/AR/混合现实/MR/扩展现实/XR) AND (卒中/中风/偏瘫/脑血管意外/脑出血/脑梗死/缺血性卒中) AND (上肢/肩/手/康复)。

1.4 文献筛选与资料提取 将文献导入EndNote X21去重,由2名研究者独立进行标题和摘要初筛,再阅读全文复筛。筛选过程中如遇分歧,与第3名研究者共同讨论确定。2名研究者独立提取文献一般特征、样本量、总干预时长、干预形式、评价指标等信息,第3名研究者复核修订。

2 结果

2.1 文献检索结果及纳入文献特征 最终纳入文献45篇^[3,5-11,14-50]。其中英文36篇^[3,5-11,14-23,26-29,32-34,37,39-41,43-49],中文9篇^[24-25,30-31,35-36,38,42,50]。纳入研究涉及中国^[3,10-11,24-25,27,30-31,35-36,38-43,46-47,49-50]($n=20$)、韩国^[6,9,19,23,37]($n=5$)、英国^[17,28]($n=2$)、意大利^[16,18,21]($n=3$)、土耳其^[26,29,32]($n=3$)、西班牙^[5,44]($n=2$)、加拿大^[15,33]($n=2$)、日本^[7,45]($n=2$)、美国^[34]($n=1$)、新西兰^[20]($n=1$)、瑞士^[14]($n=1$)、罗马尼亚^[8]($n=1$)、荷兰^[22]($n=1$)和印度^[48]($n=1$)。研究类型包括随机对照试验^[3,5,9-11,16-17,19,21-27,29-33,35-38,40-50]($n=35$)、类实验研究^[6-8,14-15,18,20,34,39]($n=9$)及混合研究^[28]($n=1$)。发表年份为201

续表 1

作者	样本量 (例,试验组/ 对照组)	总干预 时数 (t/h)	干预 设备	干预 形式	评价 指标
张明 ^[36]	23/23	16	桌面式传感器 VR	①	AD
Kang 等 ^[37]	12/11	10	智能手套 VR	③	ACD
刘勇等 ^[38]	30/30/30/30	16.67	桌面式 VR	①	ACD
Xie 等 ^[39]	6/6	15	无头戴式动作捕捉 VR	①	ACJ
Huang 等 ^[40]	15/15	32~48	头戴式 VR	②	AFG
Kuo 等 ^[41]	19/18	18	可穿戴传感器 VR	②	ACDG
李辉等 ^[42]	30/30	20	桌面式 VR	②	AC
HUANG 等 ^[43]	20/20	15	头戴式 VR	①	ADJ
Aguilera-Rubio 等 ^[44]	18/18	16	动作捕捉式 VR	①	ABCDG
ASE 等 ^[45]	7/7	10	智能手套 VR	③	AD
LIU 等 ^[46]	29/35	27	桌面式 VR	①	ACD
Qian 等 ^[47]	11/11	6	动作捕捉式 VR	③	ACH
Sylaja 等 ^[48]	33/33	27	桌面式 VR	①	ABCDEGH
Sun 等 ^[49]	42/42	8	头戴式 VR	①	ACDH
陈杰等 ^[50]	20/20/20	7	桌面式 VR	③	ACDJ

注:①虚拟情景训练;②虚拟身体或镜像反馈训练;③机器人或智能设备辅助训练。A 上肢运动功能,B 疼痛,C 上肢肌肉功能,D 日常生活活动能力,E 心理状态,F 血清生物标志物,G 满意度,H 技术接受度,I 认知功能,J 神经功能

2.2 VR 技术的应用类型 所采用的技术形式主要包括非沉浸式 VR^[16-19,21,24-25,27,30,38,42,46,48,50]、半沉浸式 VR^[5,15,20,22-23,26,28-29,31,33-37,39,41,44-45,47]、沉浸式 VR^[3,8-9,14,32,40,43,49]、AR^[10-11] 及 MR^[6-7]。不同技术类型主要依据虚拟环境呈现方式及人机交互模式进行区分。非沉浸式 VR 应用最广泛,主要依托计算机屏幕、桌面式系统开展虚拟情景训练,如 BioMaster^[25,31,35,42]、Mind-Motion PRO^[14] 等;半沉浸式 VR 多结合动作捕捉、传感器及智能手套等设备,实现运动轨迹采集和实时反馈,包括 Kinect^[29]、Leap Motion^[27,32,39]、RA-PAEL 智能手套^[37,45] 等。近年来,头戴式设备推动沉浸式 VR 发展,HTC VIVE^[40]、TRAVEE^[8,43] 等系统通过构建三维虚拟环境增强患者沉浸体验^[8,40,43]。此外,部分研究进一步拓展

机制及训练任务方面存在较大差异,导致干预刺激和训练体验不完全一致^[3-4,6-11,43-49]。

此外,患者病程阶段、功能障碍程度及训练依从性等因素也可能影响干预效果^[4,43-46]。因此,未来研究需进一步明确不同患者特征、康复目标与VR技术模式之间的适配关系,通过规范化研究设计探索不同VR技术在不同康复阶段中的应用价值。

3.2 VR技术康复干预方案及结局指标的异质性
VR康复干预方案存在明显异质性,主要体现在技术类型、训练剂量、任务内容及结局指标等方面。进一步分析认为,其异质性可能来源于多个层面。

首先,研究目的和康复目标差异可能导致干预方案不同。部分研究侧重促进上肢运动功能恢复,采用虚拟情景任务训练;而部分研究关注精细动作控制、感觉运动反馈及患者主动参与,则采用虚拟身体反馈、镜像治疗或MR交互训练模式^[6-11,43-46]。

其次,目标人群差异可能影响VR干预特点。本研究纳入研究涉及不同病程阶段患者,不同恢复阶段患者在神经可塑性水平、运动功能基础及康复需求方面存在差异。亚急性期研究多关注功能恢复,而慢性期研究更多关注功能维持、运动控制及居家康复应用^[43-46]。然而,目前多数研究未报告病程阶段及功能水平,限制了不同恢复阶段患者适用性的比较。

再次,设备性能和技术实现方式差异也是重要来源。不同VR系统在沉浸程度、动作捕捉精度、反馈方式及交互难度方面存在差异,如智能手套、机器人辅助VR及MR系统可提供更丰富的感觉运动反馈,而传统VR主要依赖视觉反馈,可能导致训练刺激不同^[6-11,45-49]。

此外,结局指标选择差异进一步增加了研究异质性。目前研究主要关注上肢运动功能、肌肉功能及日常生活活动能力,而心理状态、认知功能、安全性、患者体验及长期康复效果等指标报告不足^[3,43-49]。

因此,未来VR康复研究应进一步构建核心结局指标集,建立涵盖上肢运动功能、日常生活活动能力、安全性、患者体验、技术接受度及长期功能维持等维度的评价体系。同时,应规范报告患者特征、设备参数、训练方案及干预剂量,以提高研究间可比性。

3.3 VR技术在临床应用中的问题及未来方向
尽管VR技术为脑卒中后上肢康复提供了新的训练模式,并在提高患者参与度、提供实时反馈及支持任务导向训练方面展现出应用潜力,但其临床推广仍面临挑战。

首先,安全性评价不充分。现有研究主要关注运动功能及活动能力变化,而对VR训练相关视觉疲劳、眩晕、不适感及设备耐受性等问题报告较少。部分患者体验研究提示,设备操作复杂性和训练体验可能影响长期参与度^[4]。因此,未来研究需加强VR相关不良反应及长期安全性的系统评价,并建立规范化安全监测指标。

其次,适用人群仍需进一步明确。需进一步探索不同病程和功能水平患者的适宜应用模式。未来研究应开展多中心、大样本及长期随访研究,明确患者特征与VR技术模式之间的匹配关系,并关注VR与机器人、智能设备及远程康复的融合发展^[6-11,45-49]。在临床实施过程中,护理人员可参与患者筛查、安全管理、训练指导及延续护理,通过功能评估、风险监测和健康教育促进VR康复的安全实施与持续应用。

3.4 研究局限性
本研究仍存在一定局限。首先,本范围综述仅纳入中文和英文文献,可能存在语言偏倚,部分其他语言发表的相关研究未被纳入。其次,本研究未检索灰色文献,如会议摘要、学位论文及未正式发表研究,可能遗漏部分阴性结果或尚未公开的数据。第三,根据范围综述方法学特点,本研究主要用于梳理VR及其衍生技术的应用范围、研究特征及证据空白,因此未对纳入研究开展系统质量评价。虽然该处理符合范围综述方法学要求,但也限制了对现有证据偏倚风险及结论可靠性的进一步判断^[13]。第四,本研究未进行研究方案注册,可能影响研究过程透明性。

4 小结

- [2] Kumar P, Christodoulou A, Loizou M. Assessment approaches for hemiplegic shoulder pain in people living with stroke: a scoping review[J]. *Disabil Rehabil*, 2025, 47(7): 1677-1687.
- [3] Chen J, Or C K, Li Z, et al. Effectiveness, safety and patients' perceptions of an immersive virtual reality-based exercise system for poststroke upper limb motor rehabilitation: a proof-of-concept and feasibility randomized controlled trial[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10521311/>. DOI: 10.1177/20552076231203599.
- [4] Kilbride C, Butcher T, Warland A, et al. Rehabilitation via home-based gaming exercise for the upper limb post stroke (RHOMBUS): a qualitative analysis of participants' experience[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC38245009/>. DOI: 10.1136/bmjopen-2023-075821.
- [5] Ballester B R, Maier M, San Segundo Mozo R M, et al. Counteracting learned non-use in chronic stroke patients with reinforcement-induced movement therapy[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4979116/>. DOI: 10.1186/s12984-016-0178-x.
- [6] Ham Y, Yang D S, Choi Y, et al. Effectiveness of mixed reality-based rehabilitation on hands and fingers by individual finger-movement tracking in patients with stroke[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11316335/>. DOI: 10.1186/s12984-024-01418-6.
- [7] Sasaki S, Takahira N, Yoda C, et al. Effect of mixed-reality therapy on finger movement function of hemiplegic stroke patients[J/OL]. [2025-07-21]. <https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1559755>.
- [8] Potcovaru C G, Cinteza D, Sandulescu M I, et al. The impact of virtual reality as a rehabilitation method using TRAVEE system on functional outcomes and disability in stroke patients: a pilot study[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11592369/>. DOI: 10.3390/biomedicines12112450.
- [9] Jo S, Jang H, Kim H, et al. 360° immersive virtual reality-based mirror therapy for upper extremity function and satisfaction among stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2024, 60(2): 207-215.
- [10] Lin C J, Lin K C, Lau H Y, et al. Effects of mirror therapy preceding augmented reality in stroke rehabilitation: a randomized controlled trial[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12961786/>. DOI: 10.1186/s12984-025-01820-8.
- [11] Tsai H T, Lin K C, Li Y C, et al. A randomized controlled trial of augmented reality with and without robotic priming in stroke rehabilitation[J]. *NeuroRehabilitation*, 2026, 58(2): 225-238.
- [12] Laver K E, Lange B, George S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6485957/>. DOI: 10.1002/14651858.CD008349.pub4.
- [13] Tricco A C, Lillie E, Zarin W, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation[J]. *Ann Intern Med*, 2018, 169(7): 467-473.
- [14] Perez-Marcos D, Chevalley O, Schmidlin T, et al. Increasing upper limb training intensity in chronic stroke using embodied virtual reality: a pilot study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2017, 14(1): 119.[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5693522/>. DOI: 10.1186/s12984-017-0328-9.
- [15] Norouzi-Gheidari N, Archambault P S

- ty, acceptability and preliminary efficacy of a low-cost, virtual-reality based, upper-limb stroke rehabilitation device: a mixed methods study[J]. *Disabil Rehabil*, 2019, 41(18): 2119-2134.
- [29] Ikbali Afsar S, Mirzayev I, Umit Yemisci O, et al. Virtual reality in upper extremity rehabilitation of stroke patients: a randomized controlled trial[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(12): 3473-3478.
- [30] 纪亮. 虚拟现实技术联合手工作业训练对脑卒中偏瘫患者上肢运动功能的影响[D]. 苏州: 苏州大学, 2018.
- [31] 余彬. 虚拟现实技术结合作业治疗训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能影响的临床研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2018.
- [32] Ögun M N, Kurul R, Yasar M F, et al. Effect of leap motion-based 3D immersive virtual reality usage on upper extremity function in ischemic stroke patients[J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2019, 77(10): 681-688.
- [33] Norouzi-Gheidari N, Hernandez A, Archambault P S, et al. Feasibility, safety and efficacy of a virtual reality exergame system to supplement upper extremity rehabilitation post-stroke: a pilot randomized clinical trial and proof of principle[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6981843/>. DOI: 10.3390/ijerph17010113.
- [34] 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/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6637633/>. DOI: 10.1186/s12984-019-0563-3.
- [35] 赵一瑾, 余彬, 何龙龙, 等. 虚拟现实技术结合作业治疗训练对脑卒中偏瘫患者上肢功能影响的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2019, 34(06): 661-666.
- [36] 张明, 张秀芳, 张玉明, 等. 核心稳定性训练结合虚拟现实技术对脑卒中后偏瘫患者上肢运动功能、平衡功能和日常生活活动能力的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2019, 41(11): 844-846.
- [37] Kang M G, Yun S J, Lee S Y, et al. Effects of upper-extremity rehabilitation using smart glove in patients with subacute stroke: results of a prematurely terminated multicenter randomized controlled trial[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7586405/>. DOI: 10.3389/fneur.2020.580393.
- [38] 刘勇, 谭同才, 沈一吉, 等. 局部振动联合虚拟现实技术对脑卒中上肢运动功能的疗效观察[J]. *中国康复医学杂志*, 2021(8): 1000-1003.
- [39] Xie H, Zhang H, Liang H, et al. A novel glasses-free virtual reality rehabilitation system on improving upper limb motor function among patients with stroke: a feasibility pilot study[J/OL]. [2025-07-21]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590093521000138>. DOI: 10.1016/j.medntd.2021.100069.
- [40] Huang C Y, Chiang W C, Yeh Y C, et al. Effects of virtual reality-based motor control training on inflammation, oxidative stress, neuroplasticity and upper limb motor function in patients with chronic stroke: a randomized controlled trial[J/OL]. [2025-07-21]. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8751278/>. DOI: 10.1186/s12883-021-02547-4.
- [41] Kuo F L, Lee H C, Kuo T Y, et al. Effects of a wearable sensor-based virtual reality game on upper-extremity function in patients with stroke[J/OL]. [2025-07-21]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026800332300075X> via 3Dihub. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2023.105944.
- [42] 李辉, 劳方金, 顾旭东, 等. 基于虚拟现实的肩前屈特定角度训练