·综述·

虚拟现实技术联合疗法在脑卒中康复中的应用和研究进展

艾海霞[1]　赵春霞[1]　邹家琦[2]　戴棠华[1]　占甜[1]　周倩[1]　詹新曼[1]　方小群[1]
[1]南昌大学第二附属医院康复医学科，南昌　330000；[2]南昌大学护理学院，南昌　330006
通信作者：方小群，Email：454568909@qq.com

【摘要】 虚拟现实（VR）技术凭借沉浸式、多感官和任务导向训练的特点，在脑卒中康复中的应用日益广泛。单一 VR 训练在力学负荷、本体感觉输入及平衡步态等功能性目标覆盖上仍存局限，因此将 VR 与不同康复疗法联合应用已成为改善脑卒中后运动、认知和吞咽等功能的重要研究方向。本文旨在综述近年来 VR 技术联合疗法在脑卒中康复中的应用现状，重点围绕其与常规康复、康复机器人、神经调控、镜像疗法及其他康复技术联合，对脑卒中后运动功能、认知功能、吞咽功能及训练依从性的影响进行归纳，并分析该联合模式在提高患者主动参与和协同康复中的优势，以及在沉浸不适、老年群体适配和环境要求等方面的局限性，以期为脑卒中患者个体化、系统化的康复干预提供实践指导。

【关键词】 虚拟现实技术；　联合疗法；　脑卒中
基金项目：南昌大学第二附属医院院内临床研究资助项目（2023efyN16）
Funding：The Second Affiliated Hospital of Nanchang University Funding Program（2023efyN16）
DOI：10.3760/cma.j.cn421666-20250819-00707

脑卒中作为一种高发病率、高致残率的急性脑血管疾病，已成为全球第二大死亡及第三大致残原因[1]。研究报道，约 80% 的脑卒中后幸存者存在不同程度的功能障碍[2]。早期、持续、规范的康复治疗是最大限度促进神经功能重塑、减轻残疾程度、帮助患者回归家庭和社会的关键[1]。

目前的脑卒中康复领域，物理治疗和作业治疗仍占据核心干预地位，且临床实践中，康复医师常依据患者的功能障碍特征，将这些传统技术与其它干预手段联合，以制定个体化康复方案[1]。然而，此类干预模式仍存在其局限性：其一，康复进程受疾病自然恢复规律的制约，整体周期漫长；其二，部分训练模式固化、灵活性欠佳。这两重因素相互叠加，极易削弱患者的长期治疗依从性，进而影响康复治疗的最终疗效[3]。

近年来，虚拟现实（virtual reality，VR）技术凭借其趣味性、安全性及强化训练的特性，在康复医学领域迅速崛起，已成为脑卒中患者康复训练的重要手段之一[4]。VR 技术是利用计算机生成模拟环境，使用户获得视觉、听觉及触觉等多感官融合的沉浸式体验，从而高效地完成特定的任务训练[5]。研究指出，VR 训练虽可基于视觉反馈和任务导向性练习诱导运动皮质可塑性重组，但其触觉反馈与阻力负荷难以真实模拟物理环境的力学特征，对精细肌力控制及本体感觉输入的诱发存在不足[6]；此外，VR 训练多聚焦于特定任务执行，对平衡、步态及日常生活活动等功能性目标的覆盖较为有限[7]。近年来，临床实践逐渐将 VR 技术与不同康复技术联合应用，由此在力学负荷、功能任务及神经调控等维度上形成优势互补，可为脑卒中患者运动、认知及日常生活能力等多维度的功能恢复提供更系统的干预[8]。基于此，本文旨在对近年来脑卒中康复中常见的 VR 技术联合疗法进行综述，系统梳理其应用实践与研究进展，以期为脑卒中后的临床优化联合干预策略提供参考依据。

VR 技术联合疗法的概念

在已有研究中，VR 技术常与其他循证康复技术联合应用于脑卒中康复，本综述将这种对其它技术进行结构化整合、借助多模态干预以实现协同效应的干预模式定义为 VR 联合疗法。研究认为，VR 技术联合疗法具有坚实的康复理论基础和临床实践依据，能够整合不同康复技术的优势，可靶向干预脑卒中患者的各类功能障碍，从而更全面地促进患者的功能恢复[9-10]。机制层面，VR 技术与经颅直流电刺激结合时，经颅直流电刺激可调节大脑皮质兴奋性，而 VR 技术则可提供丰富的感官刺激与训练场景，两者协同作用，可进一步促进患者的神经功能重塑[11]；训练场景方面，VR 技术与作业疗法联合，可使患者在虚拟的日常生活场景中进行更真实的操作训练，有助于提高患者将康复训练成果转化到现实生活的能力[12]。在此基础上，VR 技术还具有集成多种训练元素的独特优势，如将运动功能训练、认知训练、平衡训练等整合在一个虚拟场景中，对患者实施多维度的同步训练，或根据患者的实时反馈调整训练参数，实现个性化的联合康复治疗[13]。

VR 技术联合疗法在脑卒中康复中的应用

目前常见的联合疗法包括常规康复治疗、机器人辅助治疗、神经调控技术、镜像疗法等。

一、VR 技术与常规康复治疗的联合

常规康复治疗是促进脑卒中肢体功能恢复的常用的外周干预手段，主要包括 Bobath、Brunnstrom、本体感觉神经肌肉促进技术（Proprioceptive Neuromuscular Facilitation，PNF）和 Rood 技术等[14]。随着康复技术的不断创新，VR 技术可作为常规康复治疗的补充或整合部分，在联合模式中展现其独特的优势。训练开始前，VR 技术可通过构建模拟日常活动或康复训练的沉

浸式场景,引导患者完成如虚拟行走、肢体屈伸等动作,在这一过程中逐步提升肌肉温度,同时针对性地激活核心肌群和四肢相关的运动肌群,进而使患者的肢体协调性、肌肉力量和运动控制能力得到改善,有效提高其身体的整体机能状态[15]。

Lin 等[16]的研究对急性缺血性脑卒中患者 152 例进行了 VR 与常规早期康复的联合干预,结果发现,干预5 d后,VR 与常规康复联合干预组患者的徒手肌力评定(manual muscle testing scale,MMT)、医院焦虑抑郁量表(hospital anxiety and depression scale,HADS)评分均显著改善。在 VR 技术与常规早期康复联合的基础上还可增加特定的训练任务[17],李建华等[18]对缺血性脑卒中患者在常规早期康复的基础上增加了沉浸式 VR 技术辅助的核心稳定性训练(联合组),结果发现,干预后,联合组患者足底压力中心前后方向和左右方向的摆动幅度、晃动速度、足底压力中心的外周面积和总轨迹长度,以及 Fugl-Meyer 评定量表评分(Fugl-Meyer assessment,FMA)均显著优于仅采用常规早期康复的对照组,且联合组的训练时长还显著短于对照组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。研究认为,VR 与常规康复治疗的联合模式可通过 VR 营造的沉浸式环境有效增强运动学习的效果,使患者更专注地进行重复训练动作,强化其神经肌肉记忆[12];且一些定制化的 VR 康复平台还可实时采集并存储训练过程中的运动学参数,将肢体运动表现通过可视化界面输出,既可用于评估患者的功能基线,还可支撑系统自动完成训练难度的动态适配[19]。此外,VR 技术还可以通过模拟日常生活活动任务,如虚拟场景中的穿衣、做饭等,极大地提高训练的趣味性,帮助患者更好地将康复训练成果转化到实际生活中[20]。

二、VR 技术与康复机器人治疗的联合

近年来,康复机器人作为一种新型的康复技术,凭借自身准确性、可靠性以及可重复性等优点被广泛应用于临床脑卒中患者的康复中[21]。康复机器人不仅可以辅助患者康复治疗,提升其锻炼自主性,还可精准地控制其运动过程和时间,保障康复训练的安全性和有效性[22]。但单纯的机器人康复缺乏娱乐性,容易导致康复时间的缩短和有效性的降低,不少学者将 VR 技术与康复机器人进行联合,即在机器人为患者提供精确的引导、助力或阻力训练的同时,通过 VR 技术为患者提供丰富多样的任务场景,并实时捕捉其即时的感官反馈,以此来提升康复训练的趣味性和有效性。

Bergmann 等[23]将 VR 技术联合机器人辅助步态训练相结合,对亚急性期脑卒中患者 20 例进行了为期 4 周的康复治疗(干预组),结果发现,干预组患者的步行的时间和内在动机量表(intrinsic motivation inventory,IMI)均明显优于仅采用机器人辅助训练的对照组。该结果提示,亚急性期脑卒中患者对虚拟现实增强型机器人辅助步态训练的接受度更高。此外,Kayabinar 等[24]在一项随机单盲实验中对慢性脑卒中患者 15 例进行了 VR 增强机器人步态训练(VR 增强组)的干预,结果发现,干预后,VR 增强组的步速和认知功能均显著优于单纯的机器人步态训练(机器人组)。这可能与 VR 技术可调动多感官参与训练、促进神经可塑性重塑有关。有研究推测,该过程可能伴随脑源性神经营养因子表达上调,但该机制仍有待基础和转化研究的进一步验证[25]。VR 与康复机器人的联合模式还可通过增强重复任务导向运动的功效和训练的动力,促进麻痹性上肢功能的神经系统恢复。一项荟萃分析指出,在各种干预方案中,机器人辅助训练联合 VR 在改善脑卒中患者平衡功能方面具备更优的疗效[26],其既可更有效地提高脑卒中患者上肢的运动控制能力,增加其肌肉力量,扩大关节活动范围,还有助于改善脑卒中后患者的日常功能[27]。

三、VR 技术与神经调控技术的联合

VR 技术联合神经调控技术,是一种将沉浸式虚拟现实任务训练与非侵入性脑刺激技术(如经颅磁刺激、经颅直流电刺激等)深度融合的前沿模式。大多数脑卒中患者都存在运动功能障碍,而脑功能重塑在脑卒中患者运动功能康复中具有关键作用[28]。研究证明,神经调控技术可调节运动皮质、前额叶等关键脑区的兴奋性[29],促进梗死区神经功能的修复和重建,从而引导大脑神经网络的重构[30]。但单一的技术疗效有限,多模式的联合治疗探索尤为重要[31]。VR 技术作为一种新兴的康复工具,神经调控技术可借助其构建的沉浸式功能性任务场景引导患者进行重复、密集及特定的康复训练,激活运动相关脑区,重建神经突触连接,进一步提升神经调控的治疗效果[32]。

临床应用时,神经调控技术与 VR 技术的联合模式在改善脑卒中患者的运动功能、认知功能以及吞咽障碍中表现出显著优势。Yao 等[11]对脑卒中偏瘫患者 40 例进行了为期 2 周的 VR 联合阴极经颅直流电刺激(c-tDCS)治疗,结果发现,联合组的 FMA 上肢运动功能评分、行动研究手臂测试(action research arm test,ARAT)评分、Barthel 指数(Barthel index,BI)评分均显著优于仅采用 VR 训练的对照组。在认知功能方面,Chauhan 等[33]将脑卒中患者 69 例随机分为 rTMS 联合 VR 组、rTMS 联合假 VR 组和假 VR 组,干预 3 周后,rTMS 联合 VR 组患者的美国国立卫生研究院卒中量表评分、蒙特利尔认知评估评分和阿登布鲁克认知测试评分均显著优于 rTMS 联合假 VR 组和假 VR 组,该结果表明,rTMS 与 VR 的联合干预可改善脑卒中患者的认知功能。此外,王冉等[34]分别采用常规吞咽功能训练(对照组)、rTMS(磁刺激组)、VR 生物反馈疗法(VR 生物反馈组)和 rTMS 联合 VR 生物反馈疗法(联合组)对脑卒中口腔期、咽期及误吸状况进行了电视荧光透视吞咽检查(videofluoroscopic swallowing study,VFSS),干预 4 周后,联合组的 VFSS 评分、功能性经口摄食量表(functional oral intake scale,FOIS)评分和标准吞咽功能评定量表(standardized swallowing assessment,SSA)评分均显著优于其余 3 组。该研究还发现,基于 VR 技术的生物反馈疗法可将肌电信号转化为视听觉信息,提供正确感觉运动输入并强化吞咽动作模式;而 rTMS 中枢干预则可通过精准地刺激患侧大脑半球下颌舌骨肌运动皮质功能区,提高吞咽中枢的兴奋性,从而形成“中枢外周中枢”闭环康复通路。据此本课题组认为,VR 技术与神经调控技术的协同作用可有效改善脑卒中恢复期患者的吞咽功能和吞咽安全性。

四、VR 技术与镜像疗法的联合

镜像疗法是一种依托镜像视觉反馈机制的康复技术,其核心原理是通过镜面反射健侧肢体的实时运动影像,促使患者在视觉认知层面产生患侧肢体同步运动的错觉感知[35]。而这种错觉感知的产生,是由于个体在观察或执行动作时,大脑顶额叶与边缘系统的镜像神经元的激活。该神经元的兴奋会使得个体对所观察的动作形成心理成像,并在脑海中完成可视化处

理,这对增强患者的运动模仿和学习能力具有重要作用[36]。随着科学技术的发展,VR 技术的融入革新了镜像疗法的单一模式,它能够提供更为丰富且可控的镜像视觉反馈,给患者带来更好的康复体验及效果。

Jo 等[37]将慢性脑卒中患者 45 例随机分为 3 组,分别给予 360°沉浸式 VR 镜像疗法、传统镜盒镜像疗法和常规物理治疗,结果显示,3 组患者的 Fugl-Meyer 上肢功能评分、箱块测试和手部功能测试指标均有改善,且以 360°沉浸式 VR 镜像疗法的康复效果最好,并显著优于其余 2 组,该结果提示,VR 联合镜像疗法的干预效果优于单一的镜像疗法和传统康复疗法。

Weber 等[38]开展的预实验进一步研究了沉浸式头戴 VR 镜像疗法的可行性,该技术可借助头显虚拟化身,屏蔽健侧肢体真实视觉,将健侧上肢运动影像投射至患侧虚拟肢体,突破传统镜盒镜像疗法的任务局限,实现多样化功能任务训练。该研究纳入慢性脑卒中上肢偏瘫患者 10 例,均接受了为期每日 1 次,每周 3 d,连续 4 周的头戴 VR 镜像疗法干预,干预 4 周后,患者的上肢运动功能评分仅小幅提升,且组内比较差异无统计学意义(P>0.05),但该干预方案安全性与可接受度良好,受试者仅出现轻微模拟器眩晕,训练过程中可观察到患侧肢体出现不自主的模仿运动。作为预实验,该研究仅证实干预模式的可行性,尚不能证实其确切的临床疗效。

在下肢运动功能方面,VR 结合镜像疗法可改善、矫正患者躯体的不对称姿势。Miclaus 等[39]的对脑卒中后偏瘫患者 59 例采用进行了为期 10 d 的 VR 联合镜像治疗,结果显示,患者患侧下肢的关节活动度、肌力、下肢运动功能和平衡能力均显著改善。该研究指出,VR 联合镜像治疗可能通过镜像提供的正常视觉反馈,代偿本体感觉缺失,激活镜像神经元系统,从而改善平衡功能。VR 与镜像疗法的联合模式在神经康复领域具有重要的应用价值。

五、VR 技术与其他技术的联合

VR 技术因其具有高沉浸感、安全性高、操作简便、可重复等特点,使得其与目前许多前沿技术的联合应用正成为研究和实践的新方向[40]。Xiao 等[41]的研究将 VR 技术与生物反馈融合,通过实时采集肌电信号作为生物反馈输入,利用虚拟现实技术来增强患者的具身感、运动意象和运动记忆,从而激活其残余的运动功能,并提升表面肌电图评估的灵敏度。刘翠华等[42]将功能性电刺激与 VR 技术相结合应用于平板步行训练,结果发现,该疗法在改善脑卒中后患者的步行速度、步频及步长偏差等关键指标上较传统步行训练更具优势,该研究为为脑卒中后步态异常的康复治疗提供了新的技术路径。临床上,大多数的脑卒中患者不仅会出现功能性障碍,还会伴有不同程度的情感障碍[43],如脑卒中后抑郁、焦虑、失眠、疲劳等[44]。孙燕等[45]的研究将 VR 技术联合认知行为心理疗法应用于脑卒中患者,干预 8 周后,脑卒中患者的抑郁状态和日常生活活动能力均明显改善。此外,还有研究将 VR 技术应用于远程康复,结果发现,借助 VR 智能互联网设备,康复治疗师可对患者实施远程实时监控、康复评估、干预指导与训练监督,通过设备捕捉患者在 VR 训练中的动作完成质量、运动轨迹等表现数据,治疗师可及时优化训练方案,提供精准化、个性化的指导支持[46]。这种远程 VR 技术打破了时间和空间限制,可为患者提供便捷、持续的康复服务,尤其适用于行动不便或难以前往医疗机构的患者。VR 技术与其他技术的联合应用为康复治疗带来了创新性变革,为患者提供了更高效、个性化、便捷的康复途径,随着技术的不断进步与完善,有望在康复领域发挥更大的作用。

VR 技术联合疗法在脑卒中康复中的优势和局限性

一、优势

VR 技术联合疗法整合了 VR 技术与传统疗法的优势,通过协同增效机制可释放其更大的治疗潜能。VR 技术构建的沉浸式或非沉浸式虚拟场景可以动态调节场景参数,通过多模态的刺激打破传统康复训练的感官局限,在治疗过程中同步激活视觉、听觉及触觉感知系统。这种立体交互体验可显著提升患者参与训练的兴趣阈值,使康复过程从被动接受转化为主动探索,有效改善患者的训练依从性[47]。此外,VR 系统内置的动态反馈机制,还可精准激发患者竞争意识,通过即时的正向反馈满足心理获得感,驱动患者主动推进康复进程。这种正向循环机制有助于构建规律、持续的康复干预模式,为延缓病情进展、促进功能恢复提供有力支撑[4]。

二、局限性

尽管 VR 技术在脑卒中康复领域展现出显著潜力,但当前的康复训练模式与功能设计仍存在局限性。作为新兴治疗手段,其独特的沉浸式交互模式可能引发部分患者的适应障碍。在模拟高强度刺激场景时,高敏感性患者易产生心理应激反应,而多模态感官刺激的叠加可能加剧部分患者的认知负荷,进而降低康复训练的体验。对于有晕车症状的患者,过度沉浸的 VR 体验可能引起头晕头痛、恶心呕吐、共济失调、失稳、定向力障碍、视觉障碍、心率和血压上升等不良反应,甚至会导致某些精神障碍患者分不清现实世界和虚拟世界,或出现逃避现实世界而沉迷于虚拟世界的严重后果[9]。对于占比颇高的老年脑卒中患者,由于其感知觉功能的减退、认知反应迟缓,加之可能存在的文化背景差异,常面临 VR 交互内容理解困难、操作执行障碍等问题,严重影响其训练参与度和治疗效果。并且患者在使用 VR 技术进行治疗时,其操作环境要求较高,需要宽敞安静的环境。

总结

综上所述,VR 技术的联合应用在改善患者运动功能、认知功能及促进心理康复等方面均显著优于单一的治疗方式。但 VR 技术联合应用仍存在设备适配、个体耐受、训练参数设置等现实约束,并非适用于全部的脑卒中患者。因此,在临床应用时,医护人员需全面评估患者的病史特征、身体机能水平、心理耐受阈值及接受能力,结合其知识储备与兴趣偏好,可开发更为轻便、简单的虚拟现实 设备和系统模式,同时配备生动趣味的虚拟角色或游戏,以提高患者参与积极性。另外,通过动态调节 VR 场景的复杂度、精准把控训练强度与时长,构建多层次、多元化的 VR 康复训练模式矩阵,可为不同分型的患者提供个性化的康复方案,从而持续提升康复治疗的舒适性和临床有效性。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

[1] Zhang M, Long Z, Liu P, et al. Global burden and risk factors of stroke in young adults, 1990 to 2021: a systematic analysis of the global burden of disease study 2021[J]. J Am Heart Assoc, 2025, 14(10): e039387. DOI: 10.1161/JAHA.124.039387.

[2] Feigin VL, Abate MD, Abate YH, et al. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2013; 2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. Lancet Neurol, 2024, 23(10): 973-1003. DOI: 10.1016/S1474-4422(24)00369-7.

[3] 王梦婷, 殷稚飞, 张瑞媞, 等. 虚拟现实技术在脑卒中后平衡功能康复中的作用机制和应用进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2024, 46(12): 1127-1130. DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20200622-00794.

[4] Demeco A, Zola L, Frizziero A, et al. Immersive virtual reality in post-stroke rehabilitation: a systematic review[J]. Sensors, 2023, 23(3): 1712. DOI: 10.3390/s23031712.

[5] 李笑冰, 白雅, 刘学东. 虚拟现实技术在帕金森病康复治疗中的应用[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2022, 44(7): 645-648. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.07.016.

[6] Lorenz M, Hoffmann A, Kaluschke M, et al. Perceived realism of haptic rendering methods for bimanual high force tasks: original and replication study[J]. Sci Rep, 2023; 13(1): 11230. DOI: 10.1038/s41598-023-38201-x.

[7] 梁明, 魏珍, 谢荣, 等. 虚拟现实技术改善脑卒中患者平衡与步行功能的系统评价[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2020, 42(7): 632-639. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.07.011.

[8] Fang Z, Wu T, Lv M, et al. Effect of traditional plus virtual reality rehabilitation on prognosis of stroke survivors: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2022; 101(3): 217-228. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001775.

[9] 卞智淮, 陈新元, 倪国新, 等. 沉浸式虚拟现实技术在康复治疗中的应用进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2022, 44(3): 273-277. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.020.

[10] 路璐, 王悦曦. 基于脑机接口与虚拟现实融合的脑卒中康复研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2025, 47(11): 1041-1046. DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20250530-00449.

[11] Yao X, Cui L, Wang J, et al. Effects of transcranial direct current stimulation with virtual reality on upper limb function in patients with ischemic stroke: a randomized controlled trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2020, 17(1): 73. DOI: 10.1186/s12984-020-00699-x.

[12] Rodríguez-Hernández M, Polonio-López B, Corregidor-Sánchez AI, et al. Can specific virtual reality combined with conventional rehabilitation improve poststroke hand motor function? A randomized clinical trial[J]. J Neuroeng Rehabil, 2023, 20(1): 38. DOI: 10.1186/s12984-023-01170-3.

[13] Tsiouris KM, Tsakanikas VD, Gatsios D, et al. A review of virtual coaching systems in healthcare: closing the loop with real-time feedback[J]. Front Digit Health, 2020, 2: 567502. DOI: 10.3389/fdgth.2020.567502.

[14] Chen JC, Shaw FZ. Recent progress in physical therapy of the upper-limb rehabilitation after stroke: emphasis on thermal intervention[J]. J Cardiovasc Nurs, 2006, 21(6): 469-473. DOI: 10.1097/00005082-200611000-00010.

[15] Sánchez-Herrera-Baeza P, Cano-de-la-Cuerda R, Oña-Simbaña ED, et al. The impact of a novel immersive virtual reality technology associated with serious games in Parkinson's Disease patients on upper limb rehabilitation: a mixed methods intervention study[J]. Sensors, 2020, 20(8): 2168. DOI: 10.3390/s20082168.

[16] Lin RC, Chiang SL, Heitkemper MM, et al. Effectiveness of early rehabilitation combined with virtual reality training on muscle strength, mood state, and functional status in patients with acute stroke: a randomized controlled trial[J]. Worldviews Evid Based Nurs, 2020, 17(2): 158-167. DOI: 10.1111/wvn.12429.

[17] Maden T, Ergen Hİ, Pancar Z, et al. The effects of virtual reality-based task-oriented movement on upper extremity function in healthy individuals: a crossover study[J]. Medicina, 2025, 61(4): 668. DOI: 10.3390/medicina61040668.

[18] 李建华, 王士源, 阮韦淑怡, 等. 基于沉浸式虚拟现实的核心稳定辅助训练对缺血性脑卒中患者平衡功能的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2025, 47(7): 601-607. DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20250306-00205.

[19] Jiao Y, Dajime PF, Zhang Q, et al. A clinically oriented VR-based treadmill training system for post-stroke rehabilitation: integration of motor learning and control principles[J]. Virtual Real, 2025, 29(3). DOI: 10.1007/s10055-025-01200-6.

[20] Grewal J, Eng JJ, Sakakibara BM, et al. The use of virtual reality for activities of daily living rehabilitation after brain injury: a scoping review[J]. Aust Occup Ther J, 2024, 71(5): 868-893. DOI: 10.1111/1440-1630.12957.

[21] O'Flaherty D, Ali K. Recommendations for upper limb motor recovery: an overview of the UK and European rehabilitation after stroke guidelines (2023)[J]. Healthcare, 2024, 12(14): 1433. DOI: 10.3390/healthcare12141433.

[22] Klamroth-marganska V. Stroke rehabilitation: therapy robots and assistive devices[J]. Adv Exp Med Biol, 2018, 1065: 579-587. DOI: 10.1007/978-3-319-77932-4_35.

[23] Bergmann J, Krewer C, Bauer P, et al. Virtual reality to augment robot-assisted gait training in non-ambulatory patients with a subacute stroke: a pilot randomized controlled trial[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2018, 54(3): 397-407. DOI: 10.23736/S1973-9087.17.04735-9.

[24] Kayabinar B, Alemdaroğlu-Gürbüz I, Yilmaz Ö. The effects of virtual reality augmented robot-assisted gait training on dual-task performance and functional measures in chronic stroke: a randomized controlled single-blind trial[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2021, 57(2): 227-237. DOI: 10.23736/S1973-9087.21.06441-8.

[25] Zhou ZQ, Hua XY, Wu JJ, et al. Combined robot motor assistance with neural circuit-based virtual reality (NeuCir-VR) lower extremity rehabilitation training in patients after stroke: a study protocol for a single-centre randomised controlled trial[J]. BMJ Open, 2022, 12(12): e064926. DOI: 10.1136/bmjopen-2022-064926.

[26] Zhang B, Wong KP, Kang R, et al. Efficacy of robot-assisted and virtual reality interventions on balance, gait, and daily function in patients with stroke: a systematic review and network meta-analysis[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2023, 104(10): 1711-1719. DOI: 10.1016/j.apmr.2023.04.005.

[27] Huang X, Naghdy F, Naghdy G, et al. The Combined effects of adaptive control and virtual reality on robot-assisted fine hand motion rehabilitation in chronic stroke patients: a case study[J]. J Stroke Cerebrovasc

Dis, 2018, 27(1): 221-228. DOI: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.08.027.

[28] Hui Xie, Xin Li, Gongcheng Xu, Congcong Huo, etal, Effects of transcranial magnetic stimulation on dynamic functional networks in stroke patients as assessed by functional near-infrared spectroscopy: a randomized controlled clinical trial[J]. Cerebral Cortex, 2023, 33(24): 11668-11678. DOI: 10.1093/cercor/bhad404

[29] Mortensen J, Figlewski K, Andersen H. Combined transcranial direct current stimulation and home-based occupational therapy for upper limb motor impairment following intracerebral hemorrhage: a double-blind randomized controlled trial[J]. Disabil Rehabil, 2016, 38(7): 637-643. DOI: 10.3109/09638288.2015.1055379.

[30] Schabrun SM, Chipchase LS. Priming the brain to learn: the future of therapy? [J]. Man Ther, 2012, 17(2): 184-6. DOI: 10.1016/j.math.2011.12.001.

[31] 魏达,马超,彭玉涛,等.神经调控技术在脑卒中康复中的应用进展[J].中国现代神经疾病杂志,2025,25(1):84-91. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2025.01.012

[32] Sánchez-Cuesta FJ, Arroyo-Ferrer A, González-Zamorano Y, et al. Clinical effects of immersive multimodal BCI-VR training after bilateral neuromodulation with rTMS on upper limb motor recovery after stroke. A study protocol for a randomized controlled trial[J]. Medicina, 2021, 57(8): 736. DOI: 10.3390/medicina57080736.

[33] Chauhan P, Das SK, Shahanawaz SD. The simultaneous application of transcranial magnetic stimulation and virtual reality to treat cognitive deficits among stroke patients: a randomized controlled trial[J]. Cureus, 2024, 16(6): e62434. DOI: 10.7759/cureus.62434.

[34] 王冉,胡川,王欣,等.基于虚拟现实的生物反馈联合重复经颅磁刺激对脑卒中恢复期患者吞咽障碍的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2022,44(5):407-411. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.05.005.

[35] Zhuang JY, Ding L, Shu BB, et al. Associated mirror therapy enhances motor recovery of the upper extremity and daily function after stroke: a randomized control study[J]. Neural Plast, 2021, 2021: 7266263. DOI: 10.1155/2021/7266263.

[36] Tedeschi R, Platano D, Donati D, et al. Harnessing mirror neurons: a new frontier in Parkinson's disease rehabilitation-a scoping review of the literature[J]. J Clin Med, 2024, 13(15): 4539. DOI: 10.3390/jcm13154539.

[37] 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. DOI: 10.23736/S1973-9087.24.08275-3.

[38] Weber LM, Nilsen DM, Gillen G, et al. Immersive virtual reality mirror therapy for upper limb recovery after stroke: a pilot study[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2019, 98(9): 783-788. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001190.

[39] Miclaus RS, Roman N, Henter R, et al. Lower extremity rehabilitation in patients with post-stroke sequelae through virtual reality associated with mirror therapy[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(5): 2654. DOI: 10.3390/ijerph18052654.

[40] D'Anci KE, Uhl S, Oristaglio J, et al. Treatments for poststroke motor deficits and mood disorders: a systematic review for the 2019 U.S. Department of Veterans Affairs and U.S. Department of Defense guidelines for stroke rehabilitation[J]. Ann Intern Med, 2019, 171(12): 906-915. DOI: 10.7326/M19-2414.

[41] Xiao Y, Gao Y, Bai H, et al. Impact of an upper limb motion-driven virtual rehabilitation system on residual motor function in patients with complete spinal cord injury: a pilot study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2025, 22(1): 48. DOI: 10.1186/s12984-025-01587-y.

[42] 刘翠华,张盘德,崔伟,等.功能性电刺激同步虚拟现实训练对脑卒中患者步态的影响[J].实用医学杂志,2017,33(5):846-847. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2017.05.048.

[43] Demyttenaere K, Heirman E. The blurred line between anxiety and depression: hesitations on comorbidity, thresholds and hierarchy[J]. Int Rev Psychiatry, 2020, 32(5-6): 455-465. DOI: 10.1080/09540261.2020.1764509.

[44] Kim JS. Post-stroke mood and emotional disturbances: pharmacological therapy based on mechanisms[J]. J Stroke, 2016, 18(3): 244-255. DOI: 10.5853/jos.2016.01144.

[45] 孙燕,李亮,曾明,等.虚拟现实训练联合心理干预对脑卒中后抑郁的影响[J].中国康复医学杂志,2018,33(6):727-729. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.06.023

[46] 黄倩倩,蒋松鹤,陈晓龙,等.虚拟现实技术在脑卒中康复中的应用现状[J].中华物理医学与康复杂志,2020,42(4):377-380. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.04.021.

[47] Cikajlo I, Peterlin Potisk K. Advantages of using 3D virtual reality based training in persons with Parkinson's disease: a parallel study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2019, 16(1): 119. DOI: 10.1186/s12984-019-0601-1.

（修回日期：2026-09-25）
（本文编辑：阮仕衡）

·读者·作者·编者·

关于杜绝和抵制第三方机构代写代投稿件的通知

近期中华医学会杂志社学术期刊出版平台在后台监测到部分用户使用虚假的手机号和 Email 地址注册账号，这些账号的投稿 IP 地址与作者所在单位所属行政区域严重偏离，涉嫌第三方机构代写代投。此类行为属于严重的学术不端，我们已将排查到的稿件信息通报各编辑部，杂志社新媒体部也将对此类账号做封禁处理，相关稿件一律做退稿处理。

为弘扬科学精神，加强科学道德和学风建设，抵制学术不端行为，端正学风，维护风清气正的良好学术生态环境，请广大读者和作者务必提高认识，规范行为，以免给作者的学术诚信、职业发展和所在单位的声誉带来不良影响。