

虚拟现实技术在脑卒中患者康复治疗中的应用进展

王碧茹,周甜甜,廖维靖

【关键词】 虚拟现实;脑卒中;康复治疗

【中图分类号】 R49;R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2021.12.014

脑卒中是我国成年人死亡和残疾的主要原因之一,在过去十年中,我国脑卒中发病率显著上升,每年大约有240万新增病例^[1],40~74岁居民首次脑卒中标准化发病率平均每年增加8.3%^[2]。脑卒中后患者常伴有肢体运动、言语、认知、感觉等神经功能障碍,导致日常生活活动能力低下,生活质量严重下降,给家庭和社会带来沉重负担。康复治疗是促进神经功能障碍恢复的一大医学手段,脑卒中后有效的康复治疗可以减轻患者功能上的残疾,提高患者生活自理能力,帮助其重返生活和工作,减轻家庭和社会负担。近年来,越来越多的新技术和新方法应用于脑卒中后的神经康复治疗,如远程康复,外骨骼机器人,脑机接口等,其中,虚拟现实(virtual reality,VR)技术以其诸多优点受到许多研究者的青睐,在脑卒中后患者的康复治疗中开展的大量研究结果显示了VR改善神经功能的有效性,具有广阔的应用前景。

1 虚拟现实技术概述

VR技术是利用计算机合成三维环境模型并用于创建和体验虚拟世界的技术,是一种多源信息融合交互式的三维动态视景和实体行为的系统仿真,可借助场景显示器、力/触觉传感装置、位置跟踪器等设备,让用户进入虚拟空间,通过视觉、听觉或触觉等实时感知和操作虚拟世界中的各种对象,从而获得身临其境的真实感受^[3]。VR具有3个基本特征^[4]:想象、沉浸、交互。随着医学事业的发展,VR逐渐应用于医学临床研究,尤其在脑卒中后的康复治疗研究中应用广泛。

目前,应用于神经康复领域的VR治疗系统可以分为两大类:①商业视频游戏机,如体感游戏任天堂Wii和Xbox-Kinect等,利用红外摄像机跟踪用户的运动^[5-6];②沉浸式虚拟环境系统,常见的有以下三种模式:头盔式,借助头戴式显示器、位置跟踪器、数据手

套和其他设备,让用户对虚拟环境进行观察和操作^[7];桌面式,使用普通或立体显示器作为用户观察虚拟境界的一个窗口^[8];投影式,利用三个以上彼此相连的投影屏作为显示面构成“洞穴”形状的立方体,为用户呈现全方位的立体虚拟场景,用户通过立体眼镜获得逼真的视觉感知并沉浸于其中^[9]。

大脑可塑性和功能重组是脑损伤后恢复的主要机制^[10],目前,临幊上针对脑卒中后功能恢复的康复治疗大部分也是基于这一理论机制进行展开的,对患者进行重复高强度的功能性或任务导向性的康复训练强化学习,进一步影响中枢神经系统的适应性重组^[11-13],从而促进功能恢复。VR应用于脑卒中的治疗原理体现在其可提供重复、反馈、动机三个方面。VR康复训练能给患者提供丰富且安全的环境刺激,最大程度地缩小实验室环境和现实生活的差距,让患者去执行一些在传统的康复治疗中难以实现的与日常生活有关的任务;还可针对性设计诱导偏瘫侧肢体运动的功能性训练游戏,在其中设置奖惩机制,增加训练的趣味性,并且通过视听觉等给予患者实时反馈,提高患者参与训练的积极性和主动性,更有利于实现重复高强度的康复训练。

2 VR在脑卒中患者康复治疗中的应用

治疗师通常通过对脑卒中后患者的功能评估,选择有针对性的VR交互游戏对患者进行功能训练,以下将结合近几年研究,从脑卒中后各个功能障碍的VR治疗应用进行描述。

2.1 用于促进上下肢运动功能恢复 2016美国心脏协会(American heart association,AHA)/美国卒中协会(American stroke association,ASA)成人脑卒中康复治疗指南(下文简称2016 AHA/ASA指南)推荐对脑卒中患者进行VR训练促进上肢运动功能恢复,使患者积极参与康复过程和增加运动量,推荐强度为B^[14]。一个包含27项关于VR干预脑卒中的随机临床对照试验,共1094名受试者参与的Meta分析从国际功能、残疾和健康分类(international classification of functioning,disability and health,ICF)中的身体功

收稿日期:2020-11-05

作者单位:武汉大学中南医院神经康复科,武汉 430071

作者简介:王碧茹(1997-),女,硕士研究生,主要从事神经康复方面的研究。

通讯作者:廖维靖,weijingliao@sina.com

能和结构、活动和参与三个方面进行分析,研究结果显示,相比于传统物理和作业治疗康复方法,VR 治疗后患者的上肢运动功能评定量表(Fugl-Meyer upper limb scale, FM-UL)得分、代表活动的盒子和障碍物测试(box and block test, BBT)得分以及代表参与的动作活动记录量表(motor activity log, MAL)得分均有更明显的提高;该研究的亚组分析结果发现,经过 VR 治疗,亚急性期卒中患者较慢性期的上肢功能障碍的恢复更为显著,VR 干预总时长超过 15h 的患者上肢功能障碍才有显著改善^[15]。Wang 等^[16] 和 Bao 等^[17] 对 VR 促进亚急性期脑卒中患者上肢运动功能障碍恢复的神经机制进行了研究,功能磁共振 fMRI 结果发现经过 VR 训练治疗,患者损伤侧大脑半球初级感觉运动皮层的激活强度和侧性指数增加,提示 VR 可促进大脑神经重组。上肢功能的恢复进程与脑功能重组的程度有关,在脑卒中发生后的数天或数周内是大脑可塑性较强的阶段,所以亚急性期的卒中患者接受 VR 训练后上肢功能可能会较慢性期患者改善更为显著。在一项关于在增强反馈虚拟环境中进行任务训练结合传统物理治疗对脑卒中下肢功能障碍的影响研究中,患者经过 3 周共 15 次的治疗干预后,踝关节跖屈肌痉挛下降,改良 Ashworth 量表评分显著降低^[18]。不过该研究的样本量很小,仅为 10 例,结果的可信度有赖于进一步大样本研究。Lee 等^[19] 的 Meta 分析发现 VR 训练在改善上下肢功能的诸多方面中,降低肌张力和增强肌力的效果最佳,且 VR 训练结合常规康复促进功能障碍恢复的效果更佳。另一 Meta 分析针对不同类型的 VR 康复系统进行了比较,结果显示沉浸式 VR 训练系统对促进脑卒中后患者上肢运动功能障碍恢复的效果要显著优于常规康复治疗,而视频游戏类 VR 和常规康复的疗效并无显著差异^[20]。关于 VR 对不同类型脑卒中的治疗效果,Kiper 等^[21] 的研究报道,VR 结合常规治疗干预对提高缺血性和出血性两种类型脑卒中患者的上肢运动功能的康复效果一致。从以上研究可以看出,VR 可结合常规康复治疗用于促进各种类型和不同时期脑卒中患者的上下肢功能恢复,亚急性期患者接受 VR 干预效果会更佳,且应首选沉浸式 VR 训练系统。

2.2 用于改善平衡功能 Lee 等^[22] 利用视频游戏 VR 结合常规康复训练对 15 例亚急性期脑卒中患者进行独木舟划桨练习,30 min/d, 3 次/周,训练 5 周后,接受 VR 训练的实验组的站立平衡压力中心和摆动路径长度对比单纯接受常规训练的对照组有更显著的下降,姿势平衡得到了更好的改善。另一研究发现 VR 结合跑步机训练也可以改善脑卒中后患者的静态

平衡,该研究将 20 例慢性期脑卒中患者随机分配到实验组和对照组,实验组在基于社区的虚拟环境中进行跑步机训练,对照组接受单纯的跑步机训练,2 组训练频率为 30 min/d, 3d/周, 4 周后,2 组的摆动速度、前后和总体摆动长度都有明显下降,实验组较对照组下降地更显著^[23]。Meta 分析发现使用 VR 技术可以显著提高慢性期脑卒中患者 Berg 平衡量表评分(Berg balance scale, BBS),改善静态和动态平衡,且 VR 姿势训练对促进平衡功能恢复最有效^[24]。维持一个人的平衡需要从多个系统(如前庭、视觉、本体感觉和认知整合)持续同步的数据处理,VR 系统恰好可以提供多感觉刺激和实时反馈,这可能是 VR 训练改善脑卒中平衡功能障碍的优越性体现。

2.3 用于改善步态 2016 AHA/ASA 指南推荐利用 VR 改善步态,推荐强度为 B^[14]。一项随机单盲临床对照实验将 42 例能独坐的慢性期脑卒中后患者随机分配到实验组和对照组,2 组患者在接受常规康复训练的基础上,实验组接受的速度交互 VR 踏车训练,即虚拟环境踏车速度与受试者试剂踏车速度实时同步,对照组则接受单纯的踏车训练,2 组的训练频率都为 40 min/d, 5d/周,结果显示,6 周后,接受 VR 训练的患者的下肢运动功能、坐位静态和动态平衡以及步态包括步速、步频、步长等时空参数都比对照组有更加显著的改善^[25]。其中的作用机制可能是在坐位下踏车训练需利用躯干控制平衡,有利于激活骨盆及脊柱周围核心肌群,提高整体稳定性,下肢肌力也能得到增强,从而进一步改善步态。Daniel 等^[26] 的研究发现 VR 结合常规康复治疗可以提高脑卒中患者的功能性步行能力,经过 3w 的训练后,联合治疗组的计时起立行走(timed up and go, TUG)和两分钟步行测试(two-minute walk test, TMWT)结果较常规治疗组都有更显著的提高。由此可见,VR 结合其他常规训练康复效果更佳提示 VR 技术可作为常规康复治疗改善步态和提高步行能力的补充治疗^[27]。有学者对 VR 结合跑步机训练改善脑卒中后患者的步态的神经机制进行了初步研究,干预后损伤侧大脑半球的初级感觉运动皮层和与偏瘫足运动有关的双侧辅助运动区的激活增加,且损伤侧半球皮层的募集与步行能力呈正相关,提示大脑皮层网络可能是一个可塑性位点,它们的募集可能是 VR 结合跑步机促进步态功能恢复的机制^[28]。

2.4 用于促进认知功能恢复 认知功能障碍是脑卒中事件发生后患者常见的并发症之一,其主要受累的认知领域包括结构和视空间、记忆、注意力、定向力和执行功能^[29]。2016 AHA/ASA 指南推荐使用 VR 治

疗脑卒中后认知功能障碍,改善单侧忽略,推荐强度为A;改善视空间/感知功能,推荐强度为B;改善卒中早期患者的视觉注意力和短期非文字记忆,推荐强度为C^[14]。研究表明,经过3周,30 min/d,5d/周的镜像VR训练,有单侧忽略的脑卒中患者的星型划销测试、线段二等分测试、凯瑟琳-波哥量表(Catherine Bergego scale,CBS)得到了显著提高,且对比常规对照组,单侧忽略的临床症状改善更明显^[30]。有研究将18例脑卒中后有认知障碍的患者随机分成实验组和对照组,利用VR技术给实验组提供一个三维虚拟城市街景,让患者去执行与日常生活活动相关的任务如找到商店并购买早餐等,对照组则接受常规认知康复训练,采用阿登布鲁克认知测验(Addenbrooke cognitive examination,ACE)、连线测验A和B(trail making test A and B,TMT A&B)、韦氏成人智力量表III中的图画排列测验对所有受试者的认知功能进行评估,结果显示,与对照组比较,经过12次VR训练的患者的注意力、记忆力、视觉空间能力、执行功能均有更显著的提高^[31]。Maier等^[32]利用VR技术给慢性期卒中患者进行为期6周,30 min/d的认知游戏训练包括球体拦截、星座记忆连接和食品质量检测三个游戏,该VR系统可自动根据患者的游戏表现评估患者的认知功能障碍程度并给予患者适合的游戏难度,经过18w的随访跟踪后,评估发现该VR训练不仅可以促进患者注意力和空间能力的恢复,还可以改善抑郁情绪。Lorenz等^[33]的研究则发现基于ADL的VR训练可以显著改善伴有偏盲或象限盲卒中患者的视觉空间技能,这种训练可以帮助提高有视野缺损卒中患者的与日常生活有关的认知功能。以上研究结果提示VR训练在促进脑卒中患者多个认知领域功能恢复方面效果显著,还可减轻患者的抑郁情绪,具有很好的应用潜能。

2.5 用于提高日常生活活动能力 Mohd等^[34]将VR和常规物理治疗康复训练相结合,对36例慢性期患者进行8周,1次/周,每次30 min VR和90 min常规的康复训练,结果发现VR和常规治疗结合的实验组较对照组在工具性日常活动能力(instrumental activity of daily life,IADL)方面有更好的改善。Kwon等^[35]将26例急性期脑卒中患者随机分配到试验组和常规组,实验组接受4周,5d/周,30 min/d VR和70 min/d常规训练,用改良Barthel指数(modified Barthel index,MBI)评估患者的日常生活活动能力(activity of daily life,ADL),研究发现,实验组经过VR结合常规训练后MBI有明显的提高,但与常规对照组比较MBI的提高并没有显著差异。而另一临床对照

试验将42例急性期脑卒中患者随机分成2组^[36],实验组接受头盔式VR结合电脑进行沉浸式认知训练,对照组接受常规电脑认知训练,训练频率为30min/d,5d/周,共4周,用功能独立量表(functional independent measure,FIM)评估患者的ADL能力,初步的研究结果显示实验组较对照组的FIM评分有更显著的提升,活动依赖性明显降低。但目前,关于VR应用于提高ADL的临床研究较少,每个研究的样本量较少,采用的VR系统和评估量表也不一致,因此,VR对ADL的影响有待进一步研究确定。

3 总结及展望

综上所述,虚拟现实技术在脑卒中后的功能障碍恢复中应用广泛且康复效果佳,可促进上下肢功能恢复,改善平衡功能,改善步态,提高步行能力,提高认知功能以及日常生活活动能力。需要强调的一点是目前关于VR的研究多是基于常规康复治疗上进行的,获得的是综合临床疗效,并非完全是其单一疗效。现有的研究也普遍存在样本量小的问题,缺乏大样本多中心的临床研究。而且目前尚缺乏证实VR有效性的具体脑部区域神经重组的科学数据,对神经机制研究仍处于初步阶段,对于VR训练的最佳强度、种类及总时长均无一致定论,关于何种VR训练类型、强度、频率针对何种患者的康复治疗效果最佳的研究也严重缺乏,导致VR应用于脑卒中的功能康复还无法实现标准化。这些问题若得以解决,将对提高脑卒中患者生活质量,重返社会具有重大意义。

【参考文献】

- [1] Wu S, Wu B, Liu M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. The Lancet Neurology, 2019, 18(4):394-405.
- [2] Guan T, Ma J, Li M, et al. Rapid transitions in the epidemiology of stroke and its risk factors in China from 2002 to 2013[J]. Neurology, 2017, 89(1):53-61.
- [3] Burdea G, Coiffet PJP. Virtual Reality Technology[J]. Presence: Teleoperators Virtual Environ, 2003, 12(6):663-664.
- [4] Cipresso P, Giglioli IAC, Raya MA, et al. The Past, Present, and Future of Virtual and Augmented Reality Research: A Network and Cluster Analysis of the Literature[J]. Frontiers in Psychology, 2018, 9:2086.
- [5] Kong KH, Loh YJ, Thia E, et al. Efficacy of a Virtual Reality Commercial Gaming Device in Upper Limb Recovery after Stroke: A Randomized, Controlled Study[J]. Topics in Stroke Rehabilitation, 2016, 23(5):333-340.
- [6] Givon Schaham N, Zeilig G, Weingarten H, et al. Game analysis and clinical use of the Xbox-Kinect for stroke rehabilitation[J]. International Journal of Rehabilitation Research, 2018, 41(4):323-330.
- [7] Huang Q, Wu W, Chen X, et al. Evaluating the effect and mechanism of upper limb motor function recovery induced by immersive virtual-reality-

- based rehabilitation for subacute stroke subjects: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2019, 20(1):104-104.
- [8] Mirelman A, Patritti BL, Bonato P, et al. Effects of virtual reality training on gait biomechanics of individuals post-stroke[J]. *Gait and Posture*, 2010, 31(4):433-437.
- [9] D'Antonio E, Tieri G, Patane F, et al. Stable or able? Effect of virtual reality stimulation on static balance of post-stroke patients and healthy subjects[J]. *Hum Mov Sci*, 2020, 70:102569.
- [10] Ward NS. Plasticity and the functional reorganization of the human brain [J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2005, 58(2-3):158-161.
- [11] Tarkka IM, Koenonen M, Pitkänen K, et al. Alterations in cortical excitability in chronic stroke after constraint-induced movement therapy[J]. *Neurological Research*, 2008, 30(5):504-510.
- [12] Yarossi M, Patel J, Qiu Q, et al. The Association Between Reorganization of Bilateral M1 Topography and Function in Response to Early Intensive Hand Focused Upper Limb Rehabilitation Following Stroke Is Dependent on Ipsilesional Corticospinal Tract Integrity[J]. *Frontiers in Neurology*, 2019, 10:258-258.
- [13] Saleh S, Fluet G, Qiu Q, et al. Neural Patterns of Reorganization after Intensive Robot-Assisted Virtual Reality Therapy and Repetitive Task Practice in Patients with Chronic Stroke[J]. *Frontiers in Neurology*, 2017, 8: 452-452.
- [14] Weinstein CJ, Stein J, Arena R, et al. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association [J]. *Stroke*, 2016, 47(6):98-169.
- [15] Mekbib DB, Han J, Zhang L, et al. Virtual reality therapy for upper limb rehabilitation in patients with stroke: a meta-analysis of randomized clinical trials[J]. *Brain Injury*, 2020, 34(4):456-465.
- [16] Wang ZR, Wang P, Xing L, et al. Leap Motion-based virtual reality training for improving motor functional recovery of upper limbs and neural reorganization in subacute stroke patients[J]. *Neural Regen Res*, 2017, 12(11): 1823-1831.
- [17] Bao X, Mao Y, Lin Q, et al. Mechanism of Kinect-based virtual reality training for motor functional recovery of upper limbs after subacute stroke [J]. *Neural Regen Res*, 2013, 8(31):2904-2913.
- [18] Luque-Moreno C, Cano-Bravo F, Kiper P, et al. Reinforced Feedback in Virtual Environment for Plantar Flexor Poststroke Spasticity Reduction and Gait Function Improvement[J]. *Biomed Res Int*, 2019, 2019:6295263.
- [19] Lee HS, Park YJ, Park SW. The Effects of Virtual Reality Training on Function in Chronic Stroke Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *BioMed Research International*, 2019, 2019:1-12.
- [20] Maier M, Rubio Ballester B, Duff A, et al. Effect of Specific Over Non-specific VR-Based Rehabilitation on Poststroke Motor Recovery: A Systematic Meta-analysis[J]. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 2019, 33(2): 112-129.
- [21] Kiper P, Szczudlik A, Agostini M, et al. Virtual Reality for Upper Limb Rehabilitation in Subacute and Chronic Stroke: A Randomized Controlled Trial[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2018, 99(5): 834-842 e834.
- [22] Lee MM, Lee KJ, Song CH. Game-Based Virtual Reality Canoe Paddling Training to Improve Postural Balance and Upper Extremity Function: A Preliminary Randomized Controlled Study of 30 Patients with Subacute Stroke[J]. *Medical Science Monitor*, 2018, 24:2590-2598.
- [23] Kim N, Park Y, Lee BH. Effects of community-based virtual reality treadmill training on balance ability in patients with chronic stroke[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(3):655-658.
- [24] Iruthayarakaj J, McIntyre A, Cotoi A, et al. The use of virtual reality for balance among individuals with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 2017, 24(1):68-79.
- [25] Lee K. Speed-Interactive Pedaling Training Using Smartphone Virtual Reality Application for Stroke Patients: Single-Blinded, Randomized Clinical Trial [J]. *Brain Sci*, 2019, 9(11):295-295.
- [26] McEwen D, Taillon-Hobson A, Bilodeau M, et al. Virtual reality exercise improves mobility after stroke: an inpatient randomized controlled trial[J]. *Stroke*, 2014, 45(6):1853-1855.
- [27] Gibbons EM, Thomson AN, de Noronha M, et al. Are virtual reality technologies effective in improving lower limb outcomes for patients following stroke-a systematic review with meta-analysis[J]. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 2016, 23(6):440-457.
- [28] Xiao X, Lin Q, Lo W-L, et al. Cerebral Reorganization in Subacute Stroke Survivors after Virtual Reality-Based Training: A Preliminary Study[J]. *Behavioural Neurology*, 2017, 2017:1-8.
- [29] De Luca R, Calabro RS, Bramanti P. Cognitive rehabilitation after severe acquired brain injury: current evidence and future directions[J]. *Neuropsychological Rehabilitation*, 2018, 28(6):879-898.
- [30] Kim YM, Chun MH, Yun GJ, et al. The effect of virtual reality training on unilateral spatial neglect in stroke patients[J]. *Ann Rehabil Med*, 2011, 35(3):309-315.
- [31] Faria AL, Andrade A, Soares L, et al. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients[J]. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2016, 13(1):96-96.
- [32] Maier M, Ballester BR, Leiva Banuelos N, et al. Adaptive conjunctive cognitive training (ACCT) in virtual reality for chronic stroke patients: a randomized controlled pilot trial[J]. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2020, 17(1):42-42.
- [33] Dehn LB, Pieck M, Toepper M, et al. Cognitive training in an everyday-like virtual reality enhances visual-spatial memory capacities in stroke survivors with visual field defects[J]. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 2020, 27 (6):442-452.
- [34] Ahmad MA, Singh DKA, Mohd Nordin NA, et al. Virtual Reality Games as an Adjunct in Improving Upper Limb Function and General Health among Stroke Survivors[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(24):5144-5144.
- [35] Kwon JS, Park MJ, Yoon IJ, et al. Effects of virtual reality on upper extremity function and activities of daily living performance in acute stroke: a double-blind randomized clinical trial[J]. *NeuroRehabilitation*, 2012, 31 (4):379-385.
- [36] Cho DR, Lee SH. Effects of virtual reality immersive training with computerized cognitive training on cognitive function and activities of daily living performance in patients with acute stage stroke: A preliminary randomized controlled trial[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(11):e14752.