

虚拟现实技术应用于脑卒中康复领域 近十年研究的可视化分析

李孝熠¹, 李天伦², 李哲¹

摘要 目的:揭示2011~2020年虚拟现实技术(VR)应用于脑卒中康复领域的研究状况及发展动态。**方法:**以Web of Science(WOS)核心合集数据库为数据来源,通过CiteSpace对VR应用于脑卒中领域的相关文献进行分析,采用引文分析方法以及信息可视化技术,对国家、机构、学科、关键词、突现词等研究要素绘制可视化图谱。**结果:**共检索到1 967篇文献,年度发文量总体呈持续上升态势。可视化图谱显示,美国、加拿大、意大利和中国是该研究领域的高产出国家。全球机构中,加拿大麦吉尔大学发文量最多,其次是美国犹太医院和瑞士联储技术研究所。VR在脑卒中康复中的应用涉及众多学科领域,尤其与工程学、神经科学、计算机科学、康复学及机器人科学等密切相关。在早期,该领域的热点关键词主要集中在手臂、环境、功能性磁共振成像、棱镜适应训练、康复机器人、生物反馈,随后逐步转向上肢康复、触觉反馈、神经康复、疼痛、姿势平衡、任天堂Wii健身。**结论:**VR技术在脑卒中康复中的应用前景广阔。

关键词 脑卒中;虚拟现实技术;CiteSpace;可视化分析

中图分类号 R741;743.3 文献标识码 A DOI 10.16780/j.cnki.sjssgncj.20210763

Virtual Reality Technology for Stroke in Recent Ten Years: A Bibliometric Analysis LI Xiao-yi¹, LI Tian-lun², LI Zhe¹. 1. Department of Rehabilitation, The Fifth Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China. 2. Department of Cardiology, The 306th Clinical College of People Liberation Army, Anhui Medical University, Beijing 100101, China

Abstract Objective: To analyze the relevant literature on application of virtual reality technology in the field of stroke from 2011 to 2020, construct a knowledge graph, and reveal the research status of virtual reality technology in stroke-related fields and capture its development trends. **Methods:** Taking the Web of Science (WOS) core collection database as data source, the literature on the application of virtual reality technology in the field of stroke was analyzed by CiteSpace, and citation analysis and information visualization technology were used to draw a visual map of countries, institutions, disciplines, keywords, prominent words, and other research elements. **Results:** A total of 1 967 articles were retrieved, and the annual volume of articles increased continuously. The visualization map shows that the United States, Canada, Italy, and China are high-output countries in this field. Among the global institutions, McGill University in Canada has the largest number of papers, followed by the Jewish Rehabilitation Hospital in the United States and the Swiss Federal Reserve Institute of Technology. The application of virtual reality technology in stroke rehabilitation involves many disciplines, such as engineering, neuroscience, computer science, rehabilitation, robotics, and more. In the early days, the hot keywords in this field mainly focused on arm, environment, functional magnetic resonance imaging, prism adaptation training, robot, and biofeedback. The focus gradually turn to upper limb rehabilitation, haptic feedback, neurological rehabilitation, pain, postural balance, and Wii fit (game name). More authentic and diverse forms of training and the combination with intelligent Internet may become the focus of future research. **Conclusion:** There is broad potential in the application of virtual reality technology in stroke rehabilitation.

Key words stroke; virtual reality; CiteSpace; visual analysis

脑卒中具有高发病率、高致死率、高致残率的特点,是严重的全球性卫生保健问题之一。随着社会发展和医疗水平的提高,脑卒中致死率显著下降,但致残率仍居高不下^[1]。循证医学已证实,康复是降低脑卒中致残率最重要的方法,也是脑卒中组织化管理的关键环节^[2]。传统的康复训练治疗过程和形式单一,治疗强度和频率通常不能满足患者功能恢复的需要^[3];而且单纯的器械训

练缺乏功能导向性和感觉刺激,导致患者依从性差,常需要治疗师进行一对一的指导^[4]。因此,临床上需要一种更加简单高效且禁忌证少的康复方法。

虚拟现实(virtual reality, VR)技术是近年来逐步应用在脑卒中的一种新型康复方法。既往文献表明,传统简单任务训练的重复并不能显著提高患者的康复效率^[5,6]。而VR技术可提供多样可重复的任务导向性训

作者单位

1. 郑州大学第五附属医院康复医学科
郑州 450000

2. 安徽医科大学解放军三〇六临床学院心血管内科
北京 100101

基金项目

省部共建重点项目
(No. BGJ202002092)

收稿日期

2021-08-13

通讯作者

李哲

Lizhe.1974@

163.com

练,帮助患者与虚拟的环境进行交互并通过视听层面的反馈信息依据自身情况进行反复观察和模仿练习^[7]。此外,虚拟环境与真实世界具有高度的相似性,患者在训练康复中学习到的运动和生活技能还可在现实环境中加以运用,可视化虚拟康复可促进生活技能的有效转化^[8,9]。近年来,学者们对VR技术在脑卒中康复中的应用进行了大量研究,但内容较多,研究方向错综复杂,尚缺乏对该领域文献的整体分析和梳理。本文借助CiteSpace文献计量学软件,以VR技术应用于脑卒中领域的相关文献为计量对象,绘制可视化图谱,展示该领域的研究结构及进程。

1 资料与方法

1.1 文献来源

文献数据来源于Web of Science(WOS)核心合集,包含子库SCI-EXPANDED、SSCI、A&HCI、CPCI-S、ESCI、CCR-EXPANDED、IC。检索策略为:主题(stroke OR apoplexy OR ischemic stroke OR hemorrhagic stroke OR cerebrovascular disease OR cerebrovascular accident)AND主题(virtual reality OR virtual scene OR virtual environment OR augmented reality OR mixed reality),时间选取2011~2020年,语种限定为英语,文献类型选择论著、综述和会议摘要。在WOS中共检索到1 967篇相关文献,由两位评价者独立阅读文献标题和摘要进行筛选,剔除无关文献23篇,最终纳入1 944篇。将数据以纯文本格式导出,以“download_XXX”的形式重新命名保存,并导入CiteSpace(5.7R5版)软件。

1.2 方法

CiteSpace软件是一款基于科学文献分析,构建知识图谱、分析学科研究现状、热点、前沿和趋势的可视化软件。知识图谱是显示科学基本知识发展及结构关系的一种图形,它以知识域为研究对象,通过可视化的方法来呈现科学知识的抽象信息^[10]。通过节点的大小和连线反映研究对象的频次和联系的紧密程度(即中心度)。节点越大,发文量越高;连线越密,说明联系程度越高。设置参数:时间跨度为2011~2020年,时间切片(slice length)为1(即以“1年”为一个时区对文献数据进行分割);主题词来源和关键路径为系统默认值;节点类型(Node Type)分别选取国家、机构、学科、关键词和突现词等进行网络分析;根据分析节点不同,调整阈值Top N(指提取每个时间切片内的对象数量)、Top N%(指提取每个时间切片内排名前N%的对象),并选择不同的剪切方式。

2 结果

2.1 文献量

十年来,各年新增文献量总体呈持续上升态势,根据折线图的整体增长趋势可以预测未来几年这一研究领域将继续保持平稳增长,表明这一研究领域正受到更多研究者的关注及重视,也反映该领域尚存在许多研究缺口和亟待解决的重难点问题,见图1。

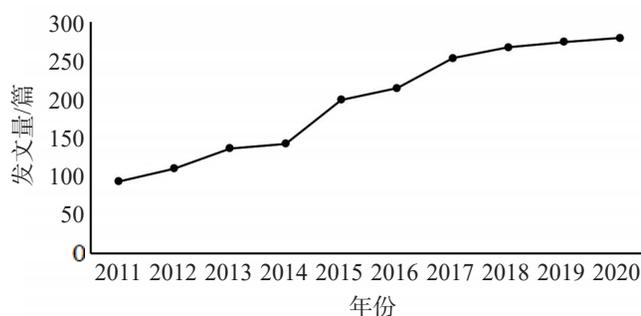


图1 2011~2020年WOS各年新增相关文献量

2.2 国家

以国家为节点类型对VR技术与脑卒中相关文献进行分析,共得到99个节点,382条连线,网络密度为0.078 7。美国占据10年来全部发文量的20%(398篇),其次是加拿大(8.6%,170篇)、意大利(8.5%,168篇)、中国(7.4%,147篇)、西班牙(7.0%,136篇)、韩国(6.8%,132篇)、英国(5.0%,97篇)、德国(4.5%,88篇)。排名前四的国家对科研成果的贡献率都在5%以上。中心度排名前八的分别为美国(0.30)、英国(0.25)、加拿大(0.22)、西班牙(0.16)、荷兰(0.16)、瑞士(0.12)、意大利(0.08)、德国(0.08),美国、英国、加拿大和西班牙与其他国家联系程度较高且具有较强的学术影响力。综合来看,美国在该领域的相关研究中处于主导地位。我国发文量处于第四位,在国际研究上相对活跃,但中心度较低,仅为0.01,说明在与其他国家联系上尚存不足,有待进一步加强合作。

2.3 机构

对发文机构进行合作网络分析,共得到371个节点,405条连线,网络密度为0.005 9。发文量排名前八的分别为加拿大麦吉尔大学(72篇)、犹太康复医院(29篇)、瑞士联储技术研究所(28篇)、渥太华大学(28篇)、新泽西理工学院(25篇)、美国东北大学(24篇)、罗格斯州立大学(24篇)、萨米库克大学(24篇),表明这些机构具有较强的研究实力。中心度排名前八的机构分别为美国西北大学(0.09)、加拿大麦吉尔大学(0.08)、不列颠哥伦比亚大学(0.08)、罗格斯州立大学(0.06)、墨尔本大学(0.06)、新泽西理工学院(0.05)、美

国东北大学(0.05)、瑞士联储技术研究所(0.04)。美国西北大学的发文量贡献较小,但其中中心度最高。因此,机构的合作价值并不完全与发文量贡献有关,部分机构具有强烈的合作意向。此外,加拿大麦吉尔大学和不列颠哥伦比亚大学也与其他机构合作较为广泛。

2.4 学科

以学科为节点进行分析显示,共得到136个节点,735条连线,网络密度为0.0801。发文量排名前八的学科分别为工程学(1149篇)、神经科学(1102篇)、计算机科学(1027篇)、康复学(584篇)、机器人学(113篇)、心血管系统(95篇)、卫生保健科学(95篇)、心理学(91篇)。中心度排名前八的学科分别为工程学(0.55)、神经科学(0.44)、计算机科学(0.44)、心理学(0.14)、康复学(0.08)、卫生保健科学(0.08)、机器人学(0.06)、外科学(0.06)。其中,工程学、神经科学和计算机科学相关的文献量居于前列,而且与其它学科联系最为紧密。此外,VR技术应用于脑卒中的研究还涉及康复学、心理学、机器人学等众多学科领域。

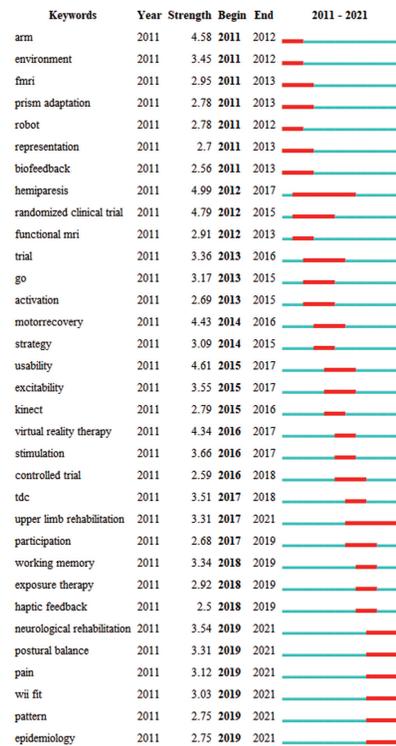
2.5 研究热点(关键词)

以关键词为节点进行“共现分析”,共得到515个节点,4465条连线,网络密度为0.0337。频次排名前八的关键词分别为virtual reality(1029次)、stroke(脑卒中,972次)、rehabilitation(康复,779次)、recovery(恢复,298次)、therapy(治疗,233次)、balance(平衡,195次)、upper limb(上肢,194次)、stroke rehabilitation(卒中康复,189次)、reliability(可靠性,168次)、system(系统,153次),VR的频次最高。提示随着技术的突破和经济的提高,VR可能会在临床康复中得到更广泛的应用和推广。中心度排名前八的关键词分别为motor rehabilitation(运动康复,0.09)、adaptation(适应,0.08)、transcranial magnetic stimulation(经颅磁刺激,0.07)、spinal cord injury(脊髓损伤,0.07)、plasticity(可塑性,0.06)、motivation(动机,0.06)、deficit(缺乏,0.06)、cortex(皮质,0.06)、motor function test(运动功能测试,0.06)、system(系统,0.05),运动康复中心度最高,反映其是脑卒中康复干预的核心,也是患者关注的重点。

2.6 高突现词分析

突现词是某段时间内频次变化率高的词,在一定程度上能探测某一学科领域的发展趋势。对突现词分析显示,VR技术应用于脑卒中的研究在不断扩大和优化,见图2。在2011~2013年,手臂、环境、功能性磁共振成像、棱镜适应训练、康复机器人、生物反馈是当时的研究趋势;2014~2017年,逐步转向偏瘫、随机对照

试验、激活、运动恢复、策略、可行性、应激性、刺激。近几年上肢康复、参与、暴露疗法、触觉反馈、神经康复、疼痛、姿势平衡、任天堂Wii健身(游戏名)、模式和流行病学则逐步成为研究热点和潮流。突现词的变化,在一定程度上反映了VR技术应用于脑卒中的研究进展和延伸。



注:近十年来的33个突现词,红色线段代表该词成为突现词的持续时间
图2 突现词分析图谱

2.7 关键词聚类时区图

运用对数极大似然率(log-likelihood ratio, LLR)算法,针对不同数据源中的相似性对文献关键词进行聚类分析,再分别以关键词出现的年份和聚类标签作为X、Y轴,生成关键词聚类时区图,见图3。从图中可看到各聚类发展演变的研究跨度,步态(#0)、经颅直流电刺激(#2)、电子游戏(#3)及康复(#6)所代表的领域时间跨度较大。步态(#0)、电子游戏(#3)、康复(#6)、远程康复(#12)等关键词外周有紫色圈,表明该关键词中心性>0.1,为不同聚类间的连接枢纽。

3 讨论

我国脑卒中发病率高于全球平均水平且呈上升态势,其高致残率的特点为患者和家庭带来了巨大的精神和经济压力^[1]。因此,探究更为安全高效的康复方案至关重要。本研究应用CiteSpace软件对十年来VR技术应用于脑卒中康复的文献进行分析,探讨这一技术应用的动态演变及未来趋势。

VR技术在脑卒中康复中的应用正受到越来越多的关注,每年发文量呈持续上升态势。从国家和机构

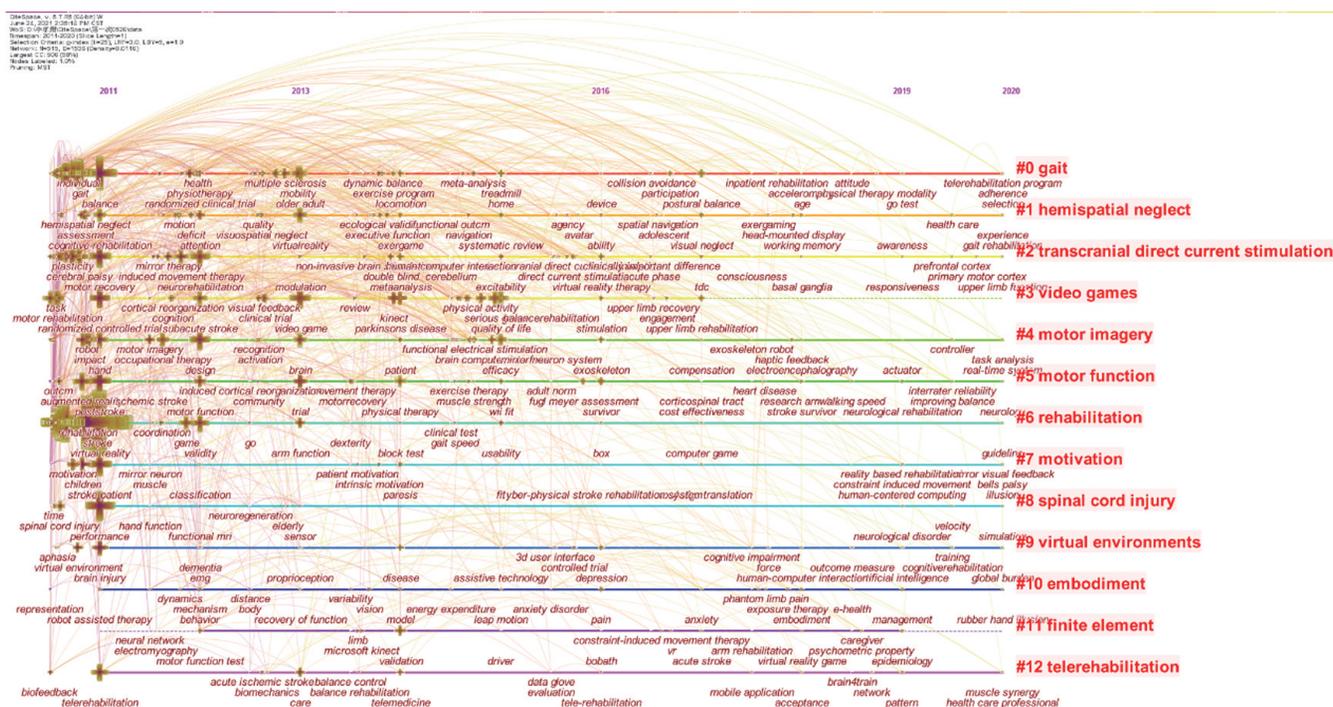


图3 关键词聚类时区图

的发文量来看,美国、加拿大、意大利和中国位于前列;发文量最高的机构为加拿大麦吉尔大学和美国犹太康复医院。此外,VR技术应用于脑卒中的研究涉及众多的学科领域,提示在未来研究中可增强团队合作和多学科交叉融合的意识,形成多中心学术研究共同体。

结合研究热点、高频突现词和关键词聚类时区图可以看出,该领域的研究大致分为三个阶段。第一阶段为2013年以前,主要包括手臂、环境、功能性磁共振成像、棱镜适应训练、康复机器人、生物反馈等高突现词。其中,手功能的恢复对脑卒中患者的生活质量有重要影响^[12]。VR技术可模拟真实环境,帮助患者进行手指精细运动功能训练,也可拓展患者的认知和感知能力^[13,14]。功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)是一项结合了功能、解剖和影像三方面的因素,能动态、无创、可靠地评估脑卒中患者脑功能的成像技术^[15]。棱镜适应训练则能有效地改善脑卒中患者视空间忽略症状^[16]。第二阶段为2014~2017年,在此时期偏瘫、运动恢复等引起广泛关注。运动功能的恢复是脑卒中患者最重要的目标之一。VR视觉技术可在下肢及行走训练中在虚拟道路设置视觉线索,有效引导患者迈出行走的第一步^[17]。对动物和人类的研究表明,密集的特定任务训练能诱导大脑皮质重组和运动行为改变^[18]。近年来已有多项研究探讨VR疗法对大脑皮质功能重组的影响^[19]。第三阶段为2017年以后,参与、暴露疗法、触觉反馈、疼痛、任天堂Wii健身等逐步成为研究热点和潮流。触觉是最新的研究热

点之一,VR技术可利用微处理器和传感器构成数据手套,与视、听觉相结合,提高虚拟环境的逼真感^[20]。随着数据手套和其他手部传感器设备技术的提高,基于VR技术的手功能训练系统将得到巨大的发展^[21,22]。目前,也有大量研究肯定了VR技术在缓解脑卒中患者疼痛中的作用。Triberti等^[23]进行关于用VR技术缓解疼痛的研究,结果证实,VR技术可有效缓解多种因素诱发的疼痛,且还能改变一些大脑区域的活动情况。VR技术近年来也成为心理学研究的重要对象。研究表明,有80%以上脑卒中患者存在严重的心理问题^[24]。通过构建安全、适宜的虚拟外在环境,VR技术可有效地改善脑卒中患者焦虑、烦躁、失眠等心理障碍^[25]。游戏厂商的加入更是丰富了康复训练的形式和趣味性。任天堂Wii VR游戏训练是目前主流的具有运动控制特点的商业游戏系统,国外研究表明,Wii游戏训练可以帮助提高脑卒中患者偏瘫上肢功能的恢复^[26]。在未来,这种商用游戏化设备可以推广到脑卒中患者的家庭康复项目,实现智慧化互联网康复。

十年间,从对VR技术初步建立认识到逐步扩大功能、丰富内容、升级形式;从对脑卒中患者单纯的运动恢复,到对其机制的深层次研究以及更高意义康复目标的追寻,该领域的研究在逐层递进且更加全面清晰,整体研究速度较快。2019年12月,新冠肺炎的大流行对全球公共卫生和医疗服务提出了前所未有的新挑战。为了控制病毒传播,世界各地都实施了隔离措施,许多神经疾病患者中断了获得常规医疗服务的机

会^[27]。2021年6月8日,国家卫生健康委员会发布《关于加快推进康复医疗工作发展的意见》中提出积极发展社区和居家康复医疗,鼓励有条件的医疗机构通过“互联网+”将康复医疗服务延伸至社区和居家^[28]。未来可以设想基于远程医疗和虚拟现实的居家康复方案。VR技术的发展,离不开科技水平的提高,人工智能时代的到来,也将给脑卒中后康复带来新的机遇和挑战。

本研究首次对VR技术应用于脑卒中康复的文献进行了文献计量学分析,有助于帮助研究人员快速了解这一领域的研究热点及趋势,推动VR技术在脑卒中乃至其他康复领域中的进展。基于上述分析可知,VR技术在脑卒中康复中的应用前景广阔;真实多样的训练形式和与智慧化互联网的结合可能是其未来的研究热点和方向。

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]. *Lancet Neurol*, 2019, 18: 394-405.

[2] 张通,赵军,白玉龙,等. 中国脑血管病临床管理指南(节选版)——卒中康复管理[J]. *中国卒中杂志*, 2019, 14: 823-831.

[3] Norouzi-Gheidari N, Hernandez A, Archambault PS, 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]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020,17: 113-135.

[4] 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: 92-103.

[5] Nudo RJ. Role of Cortical Plasticity in Motor Recovery After Stroke[J]. *J Neurolog Phys Ther*, 1998, 22: 61-67.

[6] Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2004, 1: 10-18

[7] Holden MK. Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review[J]. *Cyberpsychol Behav*, 2005, 8: 212-219.

[8] Guadagnoli MA, Lee TD. Challenge Point: A Framework for Conceptualizing the Effects of Various Practice Conditions in Motor Learning[J]. *J Mot Behav*, 2004, 36: 212-224.

[9] Tieri G, Morone G, Paolucci S, et al. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2018, 15: 107-117.

[10] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace知识图谱的方法论功能[J]. *科学学研究*, 2015, 33: 242-253.

[11] 王亚楠,吴思缈,刘鸣. 中国脑卒中15年变化趋势和特点[J]. *华西医学*, 2021, 36: 803-807.

[12] 薛妍,张丽,金雪明,等. 脑卒中患者上肢功能恢复与认知训练的关系[J]. *神经损伤与功能重建*, 2020, 15: 210-212.

[13] Katz N. Virtual reality in neurorehabilitation[J]. *Textbook Neural Repair Rehabil*, 2006, 13: 182-197.

[14] Gaggioli A, Keshner EA, Weiss PL, et al. Advanced technologies in rehabilitation: empowering cognitive, physical, social and communicative skills through virtual reality, robots, wearable systems and brain-computer interfaces[J]. *ACM J*, 2009, 15: 304.

[15] 钟吉咪, 闻万顺, 程瑞动, 等. 功能磁共振成像在脑卒中患者康复中的应用进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2016, 22: 1028-1030.

[16] 兰月,丁明晖,何小飞,等. 虚拟现实棱镜适应训练对脑卒中视空间忽略的作用[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2014, 36: 104-108.

[17] Martelli D, Prado A, Xia B, et al. Development of a Virtual Floor Maze Test - Effects of Distal Visual Cues and Correlations With Executive Function in Healthy Adults[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2019, 27: 2229-2236.

[18] Nudo RJ, Wise BM, Sifuentes F, et al. Neural substrates for the effects of rehabilitation training on motor recovery after ischemic infarct [J]. *Science*, 1996, 272: 1791-1794.

[19] Dean CM, Shepherd RB. Task-Related Training Improves Performance of Seated Reaching Tasks After Stroke A Randomized Controlled Trial[J]. *Stroke*, 1997, 28: 722-728.

[20] Lohse KR, Hilderman C, Cheung KL, et al. Virtual Reality Therapy for Adults Post-Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis Exploring Virtual Environments and Commercial Games in Therapy[J]. *Plos One*, 2014, 9: 1-13.

[21] Valvoda JT, Kuhlen T, Bischof C. Interactive virtual humanoids for virtual environments[J]. *IT Center*, 2006, 12: 8-10.

[22] Carr J, Shepherd R. Neurological Rehabilitation: Optimizing Motor Performance[J]. *Butterworth-Heinemann*, 1998, 67: 215-216.

[23] Triberti S, Repetto C, Riva G. Psychological Factors Influencing the Effectiveness of Virtual Reality - Based Analgesia: A Systematic Review[J]. *Cyberpsychol Behavi Soc Netw*, 2014, 17: 335-345.

[24] Freeman D, Reeve S, Robinson A, et al. Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders[J]. *Psychol Med*, 2017, 47: 2393-2400.

[25] Mccann RA, Armstrong CM, Skopp NA, et al. Virtual reality exposure therapy for the treatment of anxiety disorders: An evaluation of research quality[J]. *J Anxiety Disord*, 2014, 28: 625-631.

[26] Karasu A, Batur E, Karataş G. Effectiveness of Wii-based rehabilitation in stroke: A randomized controlled study[J]. *J Rehabil Med*, 2018, 50: 406-412.

[27] Mantovani E, Zucchella C, Bottiroli S, et al. Telemedicine and Virtual Reality for Cognitive Rehabilitation: A Roadmap for the COVID-19 Pandemic[J]. *Front Neurol*, 2020, 11: 1-8.

[28] 卫生健康委,发展改革委,教育部,等. 关于加快推进康复医疗工作发展的意见[Z]. 国卫医发(2021)19号, 2021.

(本文编辑:王晶)