

虚拟现实技术在脑卒中后认知功能障碍康复中的研究进展

范伟超^{a,b}, 曾庆^a, 张卓栋^a, 李士林^a, 张琳婧^a, 何龙龙^a, 陈蓉^a, 黄国志^{a,c}

【关键词】 虚拟现实; 脑卒中; 认知功能障碍; 康复

【中图分类号】 R49; R743.3 【DOI】 10.3870/zgkf.2022.12.012

卒中后认知功能障碍(post-stroke cognitive impairment, PSCI)是指患者卒中后发生的认知功能下降,可表现出失语、失用、记忆、执行功能及视空间障碍等症候^[1],包括从卒中后认知障碍非痴呆至卒中后痴呆不同程度的认知障碍^[2]。约40%的卒中患者会出现认知功能障碍^[3],PSCI会给患者及其家庭带来沉重负担,严重影响患者的生活质量^[4],因此,近年来PSCI的预防和治疗逐渐成为神经康复领域的研究重点之一^[5]。

虚拟现实(virtual reality, VR)是指由计算机生成的、由人工模拟的现实日常生活环境,具有沉浸性、构想性和交互性等特点^[6]。基于VR技术的游戏任务可以增加患者训练的乐趣,提高参与度^[7]。20世纪末期VR技术逐渐应用于医疗领域,近年来也被应用于神经康复领域,并在治疗卒中后患者认知功能障碍和运动功能障碍方面取得了一定成效^[8]。虽然国内外已有VR技术对PSCI康复疗效的系统评价,但尚无文章对其可能的作用机制和应用方法进行综述,因此,本文在阐述VR技术对PSCI康复疗效的同时,也综述了其可能的作用机制和应用方法,为该技术在PSCI康复中的研究和推广应用提供参考。

1 VR技术在PSCI康复中可能的作用机制

认知功能依赖于相关脑神经网络,脑神经网络结构的病理变化与各种认知功能障碍有关,而认知功能障碍康复的基础是中枢神经系统的可塑性^[9]。认知功能康复包含了广泛的治疗性认知干预,主要是通过强化或重建患者先前学习的行为模式,及建立新的认知活动模式来补偿受损的神经系统,进而达到改善认知

功能的目的^[10]。VR技术作为一种较新的实用技术,其对认知康复的作用方式主要包括多种感官刺激(如视觉、听觉刺激等)、反馈式游戏任务训练(如实时的信息反馈、任务奖励等)和运动-认知任务训练(如特定任务的运动模仿、有氧运动等)等,其在PSCI康复中可能的作用机制如下:

1.1 多种感官刺激对认知功能恢复的作用机制 VR技术作为认知康复治疗的新方法,通过视觉、听觉等方式对认知相关的大脑区域进行多感官刺激,可能有助于大脑网络之间的连接和功能恢复。在视觉刺激方面,Lin等^[11]利用磁共振成像表明基于视觉加工速度训练可以明显引起大脑前扣带皮质和后扣带皮质反应,进一步改变中央执行网络和默认模式网络的静息态功能连接,认为基于视觉刺激相关训练可以改善轻度认知功能障碍患者的记忆力、日常生活活动能力、语言流畅性和认知控制。在听觉刺激方面,听觉刺激及反馈能够激活广泛的注意力和记忆相关大脑区域^[12],在音乐刺激下大脑一直在追踪、感知和分类诸如节奏、音色及节拍等不断变化的特征,进而可以激活前额叶皮质等区域^[13]。Castiglione等^[14]发现有效听觉刺激对患者的短期记忆有积极的影响,提示听觉刺激对认知功能障碍患者的恢复有积极作用。也有研究表明,VR技术因提供丰富刺激的感官体验让患者有身临其境的感觉,可增强其多巴胺与胆碱能神经递质的传导功能,使患者注意力好转,同时,也可以增加患者脑部血流,促进脑部损伤的血管新生从而有益于大脑神经系统^[15-18]。此外,P300是事件相关电位,其电位变化是机体认知过程神经电活动的反映,P300波幅越高则表明大脑对外部信息的加工效率越强^[19]。研究表明,与传统认知康复训练相比,VR技术干预后卒中患者P300波幅升高,提示患者认知功能改善^[20-21],因此,VR技术可能通过刺激脑部神经电活动,达到促进大脑功能恢复进而改善认知的作用。

1.2 反馈式游戏任务训练对认知功能恢复的作用机制 VR技术应用于康复的特点之一就是充分利用反馈式游戏任务训练对患者进行治疗。基于反馈式游戏任务训练的治疗可加强患者的自主参与意识并提高治

基金项目:国家自然科学基金项目(82072528、81874032、82002380);广东省自然科学基金项目(2022A1515012460);广东省校企合作协同育人项目(PROJ1007074041166696448)

收稿日期:2022-04-01

作者单位:南方医科大学 a. 珠江医院康复医学科,广州 510280; b. 护理学院,广州 510515; c. 康复医学院,广州 510280

作者简介:范伟超(1999-),男,在读硕士研究生,主要从事康复护理方向的研究。

通讯作者:黄国志, drhuang66@163.com

疗效果^[22]。研究发现^[23],基于VR反复的任务训练可以影响中枢神经系统的适应性,促进脑功能重组。基于VR的认知康复训练(包含实时信息反馈和奖励系统)可以提高患者训练参与度^[24],VR认知康复游戏的趣味性和即时反馈可以增强患者康复的动力,参与度及积极性的提高可以激活大脑神经递质通路(如胆碱能和多巴胺能系统)来触发思维过程,有助于改善神经可塑性^[25-26]。此外,在患者神经元修复方面,海马区氢质子磁共振波谱(proton magnetic resonance spectroscopy, 1H-MRS)代谢物可以反映大脑神经元修复,温鸿源等^[15]的研究表明VR游戏训练(如虚拟行走、虚拟赛车和虚拟滑雪等)可以提高患者海马区1H-MRS主要代谢物N-乙酰天门冬氨酸/肌酸比值,提示VR对认知康复的机制与其可调节海马区1H-MRS代谢物有关。

1.3 运动-认知任务训练对认知功能恢复的作用机制

运动-认知任务训练是指VR认知康复中包含了有益于认知功能康复的运动训练。VR技术不仅单纯模拟一个场景,还可以引导患者主动参与运动训练。在VR环境中进行运动训练,并使用特定的运动任务(如运动模仿)可能有利于激活镜像神经元系统,从而引发复杂的运动-认知过程^[27]。运动也可以通过提高脑源性神经营养因子的水平和促进海马区的血液流动来影响认知功能(如执行功能),从而产生有益认知功能恢复的新陈代谢效果^[18, 28]。在认知康复过程中,必要且有效的肢体活动可能会增强大脑的神经再生潜能并促进学习^[27, 29-30],原因可能是VR运动游戏对肌肉和大脑产生影响,表现为肌肉张力的变化会刺激营养因子的合成(如脑源性神经营养因子),营养因子输送到大脑区域(如海马区域等)后,可能增强海马区、额叶和顶叶皮层的神经可塑性^[31]。总之,VR技术作为PSCI康复的治疗方法之一,目前的研究通过核磁共振成像、脑电图和功能近红外光谱等神经成像技术^[17],表明其主要是通过多种感官刺激来提高患者训练时的主动参与感,以有趣、及时反馈的特点结合重复训练来改善大脑神经可塑性,进而实现改善患者认知功能的效果^[32],其机制还需进一步的研究证实。

2 VR 技术治疗 PSCI 的应用方法

2.1 单独治疗 现依靠VR技术进行认知康复的产品包括任天堂Wii、Xbox Kinect在内的商用产品以及专门为康复而定制的VR系统如Elements、Caren等^[33]。VR技术对患者认知康复的训练主要以游戏的方式进行,如有研究以循序渐进的方式对患者进行虚拟行走、滑雪等游戏活动训练,训练结束后患者对已完

成的活动细节进行回忆,此方法可以改善患者的认知功能^[15]。Kinect是微软公司研发的一种体感设备,现有研究将Kinect与康复医学技术结合来建立虚拟环境,让患者使用肢体动作控制虚拟画面,达到实时交流、交互融合的效果,Kinect体感交互康复训练可以改善患者的大脑认知功能^[21, 34]。然而,利用商用VR游戏设备对患者进行认知康复也存在一些不足,如为大众设计的VR游戏对PSCI患者来说可能太具挑战性,游戏内容也可能缺乏认知康复相关性^[35]。现有专业的VR认知康复系统,如Elements系统旨在通过交互功能增强卒中患者神经可塑性的恢复,Elements对卒中患者的认知和运动功能都有明显改善作用^[33]。综上,单纯基于VR技术进行认知康复干预的内容主要为轻体力游戏活动,让患者在娱乐项目中接受认知康复治疗^[36]。将单纯的VR设备与康复技术结合形成专业的VR康复系统,可以根据患者实际情况调整游戏难度并自动记录患者训练数据,这对患者的认知康复更有益处^[33, 37]。

2.2 联合治疗 联合治疗是指将VR技术联合其他一种或多种认知康复方法来帮助PSCI患者进行认知康复训练。

2.2.1 联合传统认知功能训练 VR技术主要与注意力(如图形识别)、记忆力(如图形记忆)和日常生活活动能力(activities of daily living, ADL)等传统认知训练项目联合。临床上,注意力训练常用于卒中后患者认知功能恢复。王晶等^[38]的研究表明,相对于单一的传统注意力训练,VR技术结合传统注意力训练(如图形数字匹配)对患者认知功能恢复效果更明显。基于VR技术的认知康复训练具有趣味性,可以减少患者注意力训练时的枯燥,改善患者因注意力不集中而难以配合训练的情况,让患者更好地集中注意完成训练任务,达到更佳康复效果。国外有研究将VR技术结合ADL训练^[39],利用虚拟现实ADL认知康复工具模拟患者所处城市的环境,并采用模拟超市购物等形式实现患者在虚拟环境中进行ADL训练。与包含ADL训练在内的传统认知训练相比,虚拟现实联合ADL等传统认知训练对患者认知功能康复的疗效更显著,其原因可能是VR提供了实时反馈刺激^[40]。

2.2.2 联合非侵入性脑刺激技术 非侵入性脑刺激技术利用磁场或电场调节大脑皮质神经元活动,具有无创性、易操作等特点,主要包括经颅磁刺激和经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)两种较为常用的方法。重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)具有降低皮层兴奋性、重塑神经网络的作用。有研究表明,

相对于单一使用 rTMS 治疗,采用 rTMS 联合 VR 康复训练系统治疗更有利于改善卒中后认知功能下降症状^[41-42]。tDCS 通过低强度、恒定的微弱电流作用于大脑皮质,可以调节脑皮质功能区的兴奋性。Lee 等^[43]的研究表明,VR 技术联合 tDCS 康复治疗对卒中后患者的认知功能恢复更有效。迄今为止,VR 技术联合非侵入性脑刺激技术促进 PSCI 患者认知康复的研究较少,尚缺乏高质量的循证医学证据证实 VR 技术联合非侵入性脑刺激技术对 PSCI 患者认知康复的有效性,因此,还需要更高质量的临床随机对照试验来证实其有效性。

2.2.3 联合运动疗法 学者们逐渐发现卒中患者的认知与运动的相关性^[28, 44],运动训练不仅可以增强卒中患者的运动功能,还可以改善患者的认知情况^[45-46]。现有研究主要将 VR 与上肢功能锻炼、有氧运动等运动疗法结合以探究其对认知功能的改善作用。有研究表明,VR 辅助上肢机器人训练有助于改善卒中患者的认知功能,上肢机器人功能锻炼的内容包括上肢稳定性训练、上肢关节活动度训练和上肢技巧性运动训练,而有氧运动也有助于患者执行功能的改善^[20, 47]。与运动治疗相结合的认知训练有效,其原因可能是运动通过改变大脑血液流动,从而改善脑组织的血氧和营养物质供应,对神经可塑性有促进作用^[47],而运动也可以促进大脑释放脑源性神经营养因子,增强神经可塑性^[28, 48]。

综上,VR 技术应用到 PSCI 康复中主要有单独和联合治疗方法。单独 VR 技术干预的内容包括利用 VR 评估和训练系统对患者进行执行功能、注意力和 ADL 等训练。联合治疗方法包括将 VR 技术联合传统认知康复治疗、非侵入性脑刺激技术或运动训练方法。VR 技术联合其他认知治疗方法可能达到最优康复效果。

3 VR 技术对 PSCI 康复的效果

3.1 VR 技术对注意力康复的效果 注意力是记忆力的基础,注意力缺陷会影响结构性或目标性活动。注意力缺陷会影响其他认知功能的康复^[49]。VR 的优势在于给予人多种感官刺激,而情绪的刺激可以提高人的注意力,葡萄牙学者的研究表明积极和中性的 VR 任务刺激有利于患者注意力的恢复,但负面刺激也可以增加患者训练的难度,对于患者来说更具有挑战性^[33]。放松状态下人的认知策略会改变,一份国外的病例报告显示,VR 技术联合常规呼吸放松方法对卒中后轻度认知障碍患者的注意过程有改善作用^[45]。

3.2 VR 技术对记忆力康复的效果 记忆障碍是卒

中后最常受影响的认知领域,主要表现为近期记忆障碍^[50],记忆功能受损会影响患者的康复进程。研究表明 VR 技术基于 VR 环境给患者身临其境的感受,患者在此环境中进行功能性操作有利于改善其海马区脑组织代谢,促进卒中后记忆功能障碍患者康复^[15]。但也有学者的研究表明 VR 技术对患者记忆力康复的疗效与传统方法相比没有优势^[51],其原因可能与不同研究者使用的 VR 认知康复及评估工具不同有关,从而导致结果有差异^[35]。

3.3 VR 技术对执行功能康复的效果 执行功能可简单理解为问题的解决能力,是指人的许多认知加工过程的协同操作,即在实现特定目标时,人所使用的灵活而优化的认知和神经机制^[52]。宋金花^[40]的研究给予脑卒中后认知障碍的患者 VR 技术治疗后发现,患者脑电数据的 P300 波幅增高,患者视空间执行功能改善显著,表明 VR 技术疗法效果较传统认知疗法好,传统技术和 VR 技术两者联合应用的效果也更佳。Rogers 等^[33]的研究也表明与传统认知康复相比,基于 VR 技术的康复系统可以更好地促进卒中后患者执行功能、运动和日常功能的恢复。但 Maier 等^[51]的研究表明,与传统认知康复疗法相比,VR 技术对患者的执行功能康复没有优势。VR 技术对 PSCI 患者执行功能康复的效果不尽相同,马锡超等^[53]的荟萃分析认为这可能是由于研究结局指标存在差异所致。

3.4 VR 技术对语言功能康复的效果 言语障碍会限制卒中患者的个人表达并影响社会交往^[54]。越来越多学者利用 VR 技术对卒中后言语障碍的患者进行康复训练,Liao 等^[28]的研究发现基于 VR 的躯体和认知训练在改善患者语言和工具性日常生活活动方面更有优势。有意大利学者表明 VR 技术为患者提供真实语境的交流环境,可以增强卒中患者语言康复的效果^[55]。Faria 等^[39]发现相对于传统纸笔认知训练,虚拟现实 ADL 训练方法对 PSCI 患者的语言记忆(如词汇记忆)有更佳的康复效果。Cao 等^[56]的荟萃分析也发现 VR 技术可以改善卒中后失语患者的功能性沟通能力。

3.5 VR 技术对视空间功能康复的效果 视空间功能障碍是卒中后常见的认知障碍,会对患者的日常生活产生影响。西班牙学者 Maier 等^[51]的研究表明,基于 VR 康复工具进行适应性联合认知训练对脑卒中认知障碍患者的视空间功能恢复有积极效果,与 Faria 等^[39]的研究一致。但 Zhu 等^[26]的荟萃分析表明,由于现有相关研究较少且缺乏针对性干预任务,VR 技术对患者的视空间功能恢复没有优势。未来还需进一步的研究证实 VR 技术对 PSCI 患者视空间功能康复

的效果。

综上,认知是人体的基本生理功能^[57],多项研究表明 VR 技术对 PSCI 患者认知功能的恢复有促进作用^[40, 53],VR 技术在具体认知(如语言等)领域的康复也有其优势。然而也有研究表明,VR 技术干预可有效改善脑卒中患者肢体活动、平衡功能,但对认知功能无改善作用^[35]。值得注意的是,面对互相联系的复杂神经网络,需要有更全面的认知功能障碍康复方法。

4 小结

现有 VR 技术对 PSCI 患者认知康复机制的研究较少,本文分析相关研究认为其主要是通过多感官刺激、反馈式游戏任务训练和运动-认知训练来改善 PSCI 患者中枢神经系统可塑性,促进患者认知重拾和学习,其机制还需进一步的循证研究证实。VR 技术的趣味性也增强了患者认知康复的依从性^[58],提高了患者的主动康复意识,对患者实现整体康复有重要意义。VR 技术对 PSCI 患者的注意力、执行功能和语言等认知领域的康复具有一定疗效,将传统认知康复方法与 VR 技术结合可能达到最优康复效果。

【参考文献】

- [1] 张勇, 杨百瑜, 张振馨, 等. 卒中后认知障碍的概念、病理生理和受损认知域[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(2): 509-511.
- [2] 董强, 郭起浩, 罗本燕, 等. 卒中后认知障碍管理专家共识[J]. 中国卒中杂志, 2017, 12(6): 519-531.
- [3] McKeivitt C, Fudge N, Redfern J, et al. Self-Reported Long-Term Needs After Stroke[J]. Stroke, 2011, 42(5): 1398-1403.
- [4] Park J H, Kim B J, Bae H J, et al. Impact of post-stroke cognitive impairment with no dementia on health-related quality of life [J]. J Stroke, 2013, 15(1): 49-56.
- [5] Bernhardt J, Borschmann K N, Kwakkel G, et al. Setting the scene for the Second Stroke Recovery and Rehabilitation Roundtable[J]. International Journal of Stroke, 2019, 14(5): 450-456.
- [6] McCloy R, Stone R. Science, medicine, and the future. Virtual reality in surgery[J]. BMJ, 2001, 323(7318): 912-915.
- [7] 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, 2021, 103(3): 523-541.
- [8] 赵肖奕, 陈丽霞. 虚拟现实技术在卒中患者康复中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(4): 486-489.
- [9] Corbetta M, Ramsey L, Callejas A, et al. Common Behavioral Clusters and Subcortical Anatomy in Stroke[J]. Neuron, 2015, 85(5): 927-941.
- [10] Bergquist T F, Malec J F. Psychology: Current practice and training issues in treatment of cognitive dysfunction[J]. Neuro-Rehabilitation, 1997, 8(1): 49-56.
- [11] Lin F, Heffner K L, Ren P, et al. Cognitive and Neural Effects of Vision-Based Speed-of-Processing Training in Older Adults with Amnesic Mild Cognitive Impairment: A Pilot Study[J]. J Am Geriatr Soc, 2016, 64(6): 1293-1298.
- [12] Johansson B B. Current trends in stroke rehabilitation. A review with focus on brain plasticity[J]. Acta Neurologica Scandinavica, 2011, 123(3): 147-159.
- [13] 张晶晶, 陈长香, 李淑香, 等. 听觉训练对脑卒中患者认知功能的影响[J]. 中华行为医学与脑科学杂志, 2016, 25(10): 905-908.
- [14] Castiglione A, Benatti A, Velardita C, et al. Aging, Cognitive Decline and Hearing Loss: Effects of Auditory Rehabilitation and Training with Hearing Aids and Cochlear Implants on Cognitive Function and Depression among Older Adults[J]. Audiol Neuro-otol, 2016, 21(1): 21-28.
- [15] 温鸿源, 李力强, 龙洁珍, 等. 3D 虚拟现实技术对脑卒中记忆功能障碍患者疗效及 ~1H-MRS 的影响[J]. 中国老年学杂志, 2017, 37(1): 100-102.
- [16] 刘智岚, 贾杰. 基于计算机认知训练技术在改善老年认知功能中的应用与展望[J]. 中国卒中杂志, 2021, 16(3): 246-250.
- [17] Teo W, Muthalib M, Yamin S, et al. Does a Combination of Virtual Reality, Neuromodulation and Neuroimaging Provide a Comprehensive Platform for Neurorehabilitation-A Narrative Review of the Literature[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2016, 10(3): 284-290.
- [18] Doniger G M, Beeri M S, Bahar-Fuchs A, et al. Virtual reality-based cognitive-motor training for middle-aged adults at high Alzheimer's disease risk: A randomized controlled trial[J]. Alzheimers Dement (N Y), 2018, 4(2): 118-129.
- [19] Zhong R, Li M, Chen Q, et al. The P300 Event-Related Potential Component and Cognitive Impairment in Epilepsy: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. Frontiers in Neurology, 2019, 10(7): 943-955.
- [20] 陈佳惟. 虚拟现实辅助上肢机器人训练对脑卒中患者上肢功能和认知功能的影响[D]. 武汉体育学院, 2020.
- [21] 肖湘, 梁斌. 虚拟现实训练对脑卒中恢复期患者认知功能和 P300 的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(3): 339-341.
- [22] Burdea G C, Grampurohit N, Kim N, et al. Feasibility of integrative games and novel therapeutic game controller for telerehabilitation of individuals chronic post-stroke living in the community[J]. Top Stroke Rehabil, 2020, 27(5): 321-336.
- [23] Bayona N A, Bitensky J, Salter K, et al. The role of task-specific training in rehabilitation therapies [J]. Top Stroke Rehabil, 2005, 12(3): 58-65.
- [24] Yang S, Chun M H, Son Y R. Effect of virtual reality on cognitive dysfunction in patients with brain tumor[J]. Ann Rehabil Med, 2014, 38(6): 726-733.
- [25] Kim B R, Chun M H, Kim L S, et al. Effect of virtual reality on cognition in stroke patients[J]. Ann Rehabil Med, 2011, 35(4): 450-459.
- [26] Zhu S, Sui Y, Shen Y, et al. Effects of Virtual Reality Intervention on Cognition and Motor Function in Older Adults With Mild Cognitive Impairment or Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. Front Aging Neurosci, 2021, 13(7): 586999-587005.

- [27] Torrisi M, Maggio M G, De Cola M C, et al. Beyond motor recovery after stroke: The role of hand robotic rehabilitation plus virtual reality in improving cognitive function[J]. *Journal of Clinical Neuroscience*, 2021,92(1): 11-16.
- [28] Liao Y Y, Tseng H Y, Lin Y J, et al. Using virtual reality-based training to improve cognitive function, instrumental activities of daily living and neural efficiency in older adults with mild cognitive impairment[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2020,56(1): 47-57.
- [29] Mandolesi L, Polverino A, Montuori S, et al. Effects of Physical Exercise on Cognitive Functioning and Wellbeing: Biological and Psychological Benefits[J]. *Front Psychol*, 2018,9(1): 509-521.
- [30] Calabrò R S, Accorinti M, Porcari B, et al. Does hand robotic rehabilitation improve motor function by rebalancing interhemispheric connectivity after chronic stroke? Encouraging data from a randomised-clinical-trial[J]. *Clin Neurophysiol*, 2019,130(5): 767-780.
- [31] Costa M, Vieira L P, Barbosa E O, et al. Virtual Reality-Based Exercise with Exergames as Medicine in Different Contexts: A Short Review[J]. *Clin Pract Epidemiol Ment Health*, 2019,15(1): 15-20.
- [32] Aminov A, Rogers J M, Middleton S, et al. What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes[J]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2018,15(1): 29-37.
- [33] Rogers J M, Duckworth J, Middleton S, et al. Elements virtual rehabilitation improves motor, cognitive, and functional outcomes in adult stroke: evidence from a randomized controlled pilot study [J]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2019,16(1): 56-68.
- [34] 于建发, 王爽, 谭玉恩, 等. 基于 Kinect 的体感交互对脑卒中患者治疗的应用[J]. *电子世界*, 2015, 24(1): 54-55.
- [35] Zhang B, Li D, Liu Y, et al. Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: A systematic review and meta-analysis[J]. *J Adv Nurs*, 2021,77(8): 3255-3273.
- [36] 杨荣, 王萍, 常海霞. 基于虚拟现实技术的综合干预对老年脑卒中后抑郁患者生活质量的改善作用[J]. *中国老年学杂志*, 2020, 40(23): 5077-5079.
- [37] Lohse K R, Hilderman C G, Cheung K L, 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(3): 93318-93325.
- [38] 王晶, 卫哲. 虚拟现实技术结合注意力训练法促进脑卒中功能康复的研究[J]. *中华脑科疾病与康复杂志(电子版)*, 2019,9(5): 267-270.
- [39] Faria A L, Pinho M S, Bermúdez I Badia S. A comparison of two personalization and adaptive cognitive rehabilitation approaches; a randomized controlled trial with chronic stroke patients[J]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2020,17(1): 78-85.
- [40] 宋金花. 虚拟现实技术在非痴呆型血管性认知障碍及远程康复中的应用[D]. 青岛大学, 2018.
- [41] 徐丽, 余茜. 认知障碍的康复治疗方法研究进展[J]. *实用医院临床杂志*, 2015,12(3): 189-192.
- [42] 柏玲, 杜长伟, 王文春, 等. rTMS联合VR训练治疗脑卒中后抑郁伴认知障碍的疗效及评估[J]. *西南国防医药*, 2021,31(5): 424-427.
- [43] Lee S, Cha H. The effect of clinical application of transcranial direct current stimulation combined with non-immersive virtual reality rehabilitation in stroke patients[J]. *Technol Health Care*, 2021,30(1): 117-127.
- [44] Mullick A A, Subramanian S K, Levin M F. Emerging evidence of the association between cognitive deficits and arm motor recovery after stroke: A meta-analysis[J]. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 2015,33(3): 389-403.
- [45] De Luca R, Torrisi M, Piccolo A, et al. Improving post-stroke cognitive and behavioral abnormalities by using virtual reality: A case report on a novel use of nirvana[J]. *Appl Neuropsychol Adult*, 2018,25(6): 581-585.
- [46] 王辉, 吴吉生. 虚拟现实训练对认知障碍的脑卒中偏瘫患者的影响[J]. *中国康复*, 2017,32(4): 299-301.
- [47] Hötting K, Röder B. Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition[J]. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 2013,37(9): 2243-2257.
- [48] van Praag H. Neurogenesis and exercise: past and future directions[J]. *Neuromolecular Med*, 2008,10(2): 128-140.
- [49] 陈滢, 刘虹, 佟建霞, 等. 经颅直流电刺激治疗脑卒中后注意力障碍的1例报告[J]. *中国康复医学杂志*, 2017,32(6): 713-715.
- [50] 林志诚, 杨珊珊, 薛偕华, 等. 针刺百会穴改善脑卒中患者记忆力的中枢机制[J]. *中国康复理论与实践*, 2015,21(2): 184-188.
- [51] Maier M, Ballester B R, Leiva 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): 42-50.
- [52] 王静, 马景全, 陈长香, 等. 体感游戏 Kinect 改善脑卒中患者执行功能的效果研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2014,29(8): 748-751.
- [53] 马锡超, 朱诗洁, 林洋, 等. 虚拟现实技术对脑卒中后认知功能障碍患者康复疗效的 Meta 分析[J]. *中国循证医学杂志*, 2021, 21(8): 907-914.
- [54] Berube S, Hillis A E. Advances and Innovations in Aphasia Treatment Trials[J]. *Stroke*, 2019,50(10): 2977-2984.
- [55] Picano C, Quadri A, Pisano F, et al. Adjunctive Approaches to Aphasia Rehabilitation: A Review on Efficacy and Safety[J]. *Brain Sciences*, 2021,11(1): 41-53.
- [56] Cao Y, Huang X, Zhang B, et al. Effects of virtual reality in post-stroke aphasia: a systematic review and meta-analysis[J]. *Neurological Sciences*, 2021,42(12): 5249-5259.
- [57] Cumming T B, Bernhardt J, Linden T. The montreal cognitive assessment: short cognitive evaluation in a large stroke trial[J]. *Stroke*, 2011,42(9): 2642-2644.
- [58] 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(8): 926-939.