

·综述·

虚拟现实技术在单侧忽略康复治疗中的研究进展*

姜学琴¹ 何 婷¹ 王惠芳^{1,2}

单侧忽略是脑损伤后常见的认知行为障碍,主要由右脑损伤引起,也可发生在左脑,但右脑损伤导致的左侧忽略更严重且持续时间更长^[1]。损伤常发生在顶叶、颞叶及额叶皮质,有时也发生在皮质下核^[2]。单侧忽略通常表现为患者无法注意或感知来自损伤大脑对侧空间的视、听、触觉等刺激^[3],伴有平衡功能、本体感觉下降^[4]。单侧忽略严重影响患者功能恢复,降低患者的日常生活能力,增加跌倒风险及住院时长^[5]。由此可见,单侧忽略的尽早发现及治疗对改善患者功能预后和提升康复疗效至关重要。

目前临床上治疗单侧忽略常采用眼遮蔽、镜像疗法、棱镜适应(prism adaptation, PA)、重复经颅磁刺激、经颅直流电刺激^[6-9]等方法,但是由于单侧忽略的异质性,尚未发现公认持续的、有效的单侧忽略治疗方案。传统的康复训练方式单一、趣味性低,同时需要花费大量人力成本。而在这些问题方面,虚拟现实技术(virtual reality, VR)具有多感觉反馈、安全性好、趣味性高及康复治疗个体化等优势,因此成为近年来单侧忽略评估及辅助疗法之一^[10-11]。VR可通过计算机和传感技术生成贴近生活的虚拟环境,提供有意义的任务性训练,从而改善患者忽略行为。本文简要综述了VR技术在单侧忽略治疗中的应用进展,为临床治疗方案的选择提供参考。

1 VR技术概述

1.1 VR技术的定义及分类

VR技术是一种人机交互技术,基于计算机创造多场景虚拟环境,实现视觉、听觉、触觉等多感觉反馈,帮助使用者进行功能性运动以达到功能重建目的^[12-13]。目前VR已广泛用于脑卒中、脑外伤、帕金森病等疾病的康复训练,可有效改善患者的认知功能和肢体功能,提升日常生活活动能力^[14-16]。

VR系统一般由三个部分组成,包括外部设备(连接使用者和虚拟环境的视、触、听等设备)、内部设备(追踪使用者位置及动作的手柄、数据手套、鼠标等设备),以及软件(用于创造虚拟环境的图形图像以及建模)^[17]。外界对虚拟世界的干扰(比如操作杆、穿戴设备的重量、外界声音等)、视觉呈现的

形式(头戴式显示器、环绕投影、电脑屏幕等),以及场景生动性等都会影响使用者与现实世界隔绝的程度,即沉浸程度^[18]。根据不同的沉浸程度,VR可分为非沉浸式VR和沉浸式VR;非沉浸式VR技术即桌面VR技术,使用者并未与现实环境阻隔,而是通过控制鼠标、手柄等相关设备,与电脑屏幕上图像产生互动;沉浸式VR技术通常需要佩戴头戴式VR设备,将使用者与现实环境完全阻隔,置身在三维空间的虚拟环境中^[19]。

1.2 VR技术对单侧忽略的干预机制及优势

单侧忽略的机制尚不明确,背侧注意网络(dorsal attentional networks, DAN)和腹侧注意网络(ventral attentional networks, VAN)损伤可能是导致单侧忽略的主要原因^[20]。DAN(包括顶内沟、额叶视区)主要负责由目标驱动的注意定向^[21],控制对侧空间注意的分配,也传送手眼运动的神经信号^[22]。大脑双侧DAN整合是单侧忽略恢复的关键,将多感觉统合、视觉任务、上肢活动融为一体的VR训练能提高大脑半球间静息状态的DAN联系^[23]。VAN(主要位于右脑,包括颞顶联合、腹侧额皮质)则负责由外界刺激驱动的注意调整^[21]。VAN会在目标觉察过程中被激活^[22],VR系统提供的动态刺激能够调整患者的视觉注意,动态的提示反馈能提高患者对忽略侧目标的觉察^[24]。功能性磁共振成像表明,VR的多感觉刺激和实时反馈能改善大脑皮质的血氧供应,提高背外侧额叶皮质、前扣带回皮质和颞叶皮质中血氧代谢水平^[25]。VR系统能借助现代科技将上述治疗单侧忽略的理论和概念应用到实践中^[26],从而激活DAN和VAN以改善单侧忽略的症状。

VR技术可以模拟真实的功能性活动场景,并能规避真实环境中的风险因素,从而保证参与活动的安全性^[27]。例如在VR环境下训练过马路可以避免车辆或行人对患者造成的潜在伤害^[28]。此外,相较于传统康复训练,VR通过有趣的互动游戏能够更好地激发患者的积极性^[27],提高其参与度,取得更好的治疗效果^[29-30]。VR还可以控制刺激的出现以及持续时间,并能根据患者情况定制刺激的频率^[31],这样可以制

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.05.025

*基金项目:2018年上海市残疾人康复科研鼓励项目

1 上海市养志康复医院(上海市阳光康复中心),同济大学附属养志康复医院,上海市,201619; 2 通讯作者

第一作者简介:姜学琴,女,硕士,中级治疗师; 收稿日期:2021-05-25

定出适合不同患者的个性化方案。

2 VR技术在治疗单侧忽略中的应用

2.1 非沉浸式VR

2000年至2015年间,VR技术治疗单侧忽略的研究主要集中在非沉浸式VR系统^[27]。2008年至2009年间, Kim等^[32]纳入了24例单侧忽略的卒中患者进行随机对照试验,实验组接受VR训练,对照组接受传统治疗,VR训练使用IREX非沉浸式系统,通过数据手套来完成不同够物、移动等虚拟任务。此研究显示,实验组在星星划消测试和凯瑟琳-波哥量表(Catherine Bergego scale, CBS)的表现中改善明显。VR技术对单侧忽略的症状有一定的改善作用,但是VR系统的操作难、成本高制约了其推广和普及。2013年, Sedda等^[33]介绍了一款可在家中使用的低成本、易操作的VR康复系统,研究中一例65岁的额颞叶实质内出血的患者在接受为期4周的VR视觉搜索训练后,神经心理学测试表现改善,并能将训练成果泛化到日常生活中(如读书、看报纸)。2015年,陶林花等^[34]应用桌面式BioMaster VR康复训练系统治疗脑卒中后单侧忽略功能障碍,发现对比单纯的康复训练,结合VR康复训练不仅大大提高了单侧忽略的治疗效果,更有利于认知功能的进一步恢复。

2.2 沉浸式VR

近年来,随着沉浸式VR技术成熟,治疗单侧忽略的沉浸式VR系统的研发和研究逐步增多。2017年, Yasuda等^[11]纳入了10例单侧忽略患者,使用头戴式显示器进行沉浸式远近空间的训练,包括看图命名(远)、够物训练(近)。为提高患者对左侧的注意,在远近训练中将屏幕内刺激进行遮挡。随着难度的增加,逐渐过渡到将右侧刺激全部遮挡,从而促进患者对左侧刺激的注意。治疗结果通过行为忽略量表(behavioral inattention test, BIT)进行评估,远空间评估时将BIT项目投射到远处的墙上,用激光笔进行操作。结果显示,患者的远空间忽略在治疗后表现改善,但线段等分测试中的表现和近空间忽略未见改善。该项目治疗一位大脑中动脉梗塞患者的单侧忽略的结果表明,VR能改善患者在神经心理学测试中的表现,但其日常生活能力未见提高^[35]。Laver等^[36]表示,丰富的VR场景更能调动患者积极性,而现有场景比较单一,患者很快产生倦怠。2020年, Huygelier等^[31]综合运用了单侧忽略治疗的理论原则,设计了三个不同场景:菜园、湖和森林,每个场景呈现早、傍晚、夜晚三个亮度,设置了18个级别,不同难度级别的刺激颜色、大小、位置以及维度(2D、3D)不同,目标分为静止和移动两种状态。结果显示,多场景沉浸式VR游戏中的多感觉刺激能提高左侧视野的目标探查。

与非沉浸式VR相比,沉浸式VR的沉浸程度更高,更能

使患者置身在虚拟环境中,但沉浸程度的高低是否会影响治疗结果,目前尚未有研究证明。

3 VR技术结合其他技术在治疗单侧忽略中的应用

目前临床上最主要的两种针对单侧忽略的治疗方法:自上而下(top-down)的干预方法和自下而上(bottom-up)的干预方法。自上而下的干预方法,如视觉扫描训练(visual scanning training, VST)、感觉反馈等,旨在通过代偿方法提高患者对忽略侧的注意;而自下而上的干预方法,如PA、视动刺激(optokinetic stimulation, OKS)等,主要是通过感觉输入和刺激直接作用于大脑半球以重新进行空间定位^[37-39]。VR技术则能将这两类干预方法相结合,为治疗单侧忽略提供新的治疗思路。

3.1 VR技术结合VST

由于单侧忽略患者对患侧缺乏注意,VST旨在培养患者视觉的扫描习惯,引导患者主动有意识地注意到患侧^[40]。标准VST包括:大屏幕数字探测、在点阵上复制画线、阅读和抄写训练、图片描述。但是传统VST单一,过程枯燥。因此, Fordell等^[38]研发了RehAtt™ VR训练系统,将VST与多感觉刺激结合,能改善慢性期单侧忽略症状,并能提高日常生活能力。

3.2 VR技术结合PA技术

PA是现在广泛使用且行之有效的单侧忽略的治疗之一^[37]。PA主要通过棱镜眼镜利用光学原理产生视觉偏移,患者通过视觉反馈不断适应,最终达到纠正中心偏移的治疗效果^[41]。然而传统PA治疗时,要改变棱镜镜头来调整棱镜偏移角度,需要遮挡调整时手的轨迹;因此, Cho等^[42]结合沉浸式VR技术研发了虚拟PA疗法,使用深度感知摄像头,解决了传统棱镜治疗面临的干扰,并且价格低廉。

3.3 VR技术结合OKS技术

OKS技术是通过观察屏幕上移动的点或线条^[43],来诱导大脑对空间位置进行重新定位^[44];当患者注视向患侧移动的视觉图像时,会给躯体向对侧旋转的印象,大脑这时就会向患侧重新定位来适应这种印象,以此减少对健侧的过度偏移^[45]。OKS简单有效、经济适用,能有效提高BIT测试结果及日常生活能力^[46],但在实际环境使用中OKS需作为背景以发挥作用^[47]。为实现OKS的临床使用, Kim等^[47]结合OKS与头戴式显示器训练,这种训练方法能减少OKS背景的干扰,改善患者日常活动的完成情况。

4 存在的问题及展望

VR技术通过构建视觉、听觉、触觉等多感官的治疗场景,利用多感觉刺激和反馈,能够有效改善远近空间忽略、提高对患侧的注意、提高认知能力、改善日常生活能力等。此

外,VR技术可结合其他治疗技术,如VST、PA、OKS等,解决了其他技术在治疗单侧忽略时面临的效率低、过程枯燥、干扰多等问题,提供更加先进科学的治疗。新的研究开发了成本较低的VR系统,使VR技术的使用能够更加普及。随着VR技术的发展,VR场景也越来越丰富,更加综合地将理论应用到VR游戏中。因此,与传统方法相比,VR技术治疗卒中后单侧忽略有很好的应用前景^[27]。

现有研究存在的问题:①缺乏样本量以及高质量的研究来证明结果的可靠性^[24]。②VR的治疗效果是否能泛化到日常生活中,研究结果并不一致^[33,35],是否与VR系统的类型或患者的损伤程度有关,有待进一步探讨。③高沉浸程度的VR系统与低沉浸程度的VR系统之间的治疗效果是否存在差异以及如何选择,尚无定论。④临床适用性的研究表明,VR在临床使用中可能会产生恶心、呕吐等副作用,因此,不是所有人群都适用^[48]。如何改善VR设备带来的不适感,扩大其受众,也是未来VR技术的探索方向。随着科技的发展,VR技术在不断地提高和改善,需要更多的研究去验证其对单侧忽略的治疗意义,并且不断地改进,研发出优化的VR系统,制定规范,更好地服务于临床治疗。

参考文献

- [1] Spaccavento S, Cellamare F, Falcone R, et al. Effect of subtypes of neglect on functional outcome in stroke patients [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2017, 60(6): 376—381.
- [2] Choi HS, Shin WS, Bang DH. Application of digital practice to improve head movement, visual perception and activities of daily living for subacute stroke patients with unilateral spatial neglect: preliminary results of a single-blinded, randomized controlled trial[J]. *Medicine*, 2021, 100(6): 1—7.
- [3] Vallar G, Calzolari E. Unilateral spatial neglect after posterior parietal damage[J]. *Handb Clin Neurol*, 2018, 151:287—312.
- [4] Semrau JA, Wang JC, Herter TM, et al. Relationship between visuospatial neglect and kinesthetic deficits after stroke [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2015, 29(4): 318—328.
- [5] Barrett AM, Houston KE. Update on the clinical approach to spatial neglect[J]. *Curr Neurol Neurosci Rep*, 2019, 19(5): 25.
- [6] Ianes P, Varalta V, Gandolfi M, et al. Stimulating visual exploration of the neglected space in the early stage of stroke by hemifield eye-patching: a randomized controlled trial in patients with right brain damage[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2012, 48(2): 189—196.
- [7] Pandian JD, Arora R, Kaur P, et al. miRror therapy in unilateral neglect after stroke: a randomized controlled trial [J]. *Neurology*, 2015, 83(11): 1012—1017.
- [8] Luvizutto GJ, Rizzati GR, Fogaroli MO, et al. Treatment of unilateral spatial neglect after stroke using transcranial direct current stimulation: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2016, 17(1): 479.
- [9] Vatanparasti S, Kazemnejad A, Yoonessi A, et al. The effect of continuous theta-burst transcranial magnetic stimulation combined with prism adaptation on the neglect recovery in stroke patients[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2019, 28(11): 104296.
- [10] Cipresso P, Serino S, Pedroli E, et al. A virtual reality platform for assessment and rehabilitation of neglect using a kinect[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2014, 196: 66—68.
- [11] Yasuda K, Muroi D, Ohira M, et al. Validation of an immersive virtual reality system for training near and far space neglect in individuals with stroke: a pilot study[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2017, 24(7): 533—538.
- [12] Neğüt A, Matu SA, Sava FA, et al. Virtual reality measures in neuropsychological assessment: a meta-analytic review[J]. *Clin Neuropsychol*, 2016, 30(2): 165—184.
- [13] Gamito P, Oliveira J, Coelho C, et al. Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games[J]. *Disabil Rehabil*, 2017, 39(4): 385—388.
- [14] 吴彩虹, 时美芳, 孙亚, 等. 早期虚拟现实训练对脑外伤患者功能康复的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2015, 37(4): 274—275.
- [15] 陈思, 刘杰, 李顺, 等. 虚拟现实技术对帕金森病患者平衡功能的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2017, 23(9): 1091—1095.
- [16] 王佳乐, 杨巧红. 虚拟现实技术在脑卒中患者康复中的应用进展[J]. *上海护理*, 2021, 21(1): 54—57.
- [17] Matijević V, Seci A, Masi V, et al. Virtual reality in rehabilitation and therapy[J]. *Acta Clinica Croatica*, 2013, 52(4): 453—457.
- [18] Moreno A, Wall KJ, Thangavelu K, et al. A systematic review of the use of virtual reality and its effects on cognition in individuals with neurocognitive disorders[J]. *Alzheimers Dement (NY)*, 2019, 5:834—850.
- [19] Kumar MS, Rajan BC, Rajakumar M, et al. Virtual reality and its applications in education, healthcare and agriculture[J]. *CSI Communications*, 2020, 44(4): 31—33.
- [20] Zigiottos L, Damora A, Albini F, et al. Multisensory stimulation for the rehabilitation of unilateral spatial neglect[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2020, 1—34.
- [21] Takamura Y, Fujii S, Ohmatsu S, et al. Pathological structure of visuospatial neglect: a comprehensive multivariate analysis of spatial and non-spatial aspects[J]. *iScience*,

- 2021, 24(4): 102316.
- [22] 杨永红, 方乃权, 何成奇. 基于脑注意网络的单侧忽略研究进展[J]. 四川医学, 2014, 35 (9): 1255—1259.
- [23] Wählin A, Fordell H, Ekman U, et al. Rehabilitation in chronic spatial neglect strengthens resting-state connectivity [J]. *Acta Neurol Scand*, 2019, 139(3): 254—259.
- [24] Pedrolí E, Serino S, Cipresso P, et al. Assessment and rehabilitation of neglect using virtual reality: a systematic review[J]. *Front Behav Neurosci*, 2015, 9:226.
- [25] Ekman U, Fordell H, Eriksson J, et al. Increase of frontal neuronal activity in chronic neglect after training in virtual reality[J]. *Acta Neurol Scand*, 2018, 138(4): 284—292.
- [26] Borghese NA, Bottini G, Sedda A. Videogame based neglect rehabilitation: a role for spatial remapping and multi-sensory integration?[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7:116.
- [27] Ogourtsova T, Souza Silva W, Archambault PS, et al. Virtual reality treatment and assessments for post-stroke unilateral spatial neglect: a systematic literature review[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2017, 27(3): 409—454.
- [28] Navarro MD, Lloréns R, Noé E, et al. Validation of a low-cost virtual reality system for training street-crossing: a comparative study in healthy, neglected and non-neglected stroke individuals[J]. *Neuropsychol Rehabil*, 2013, 23 (4): 597—618.
- [29] Rizzo AS, Koenig ST. Is clinical virtual reality ready for primetime?[J]. *Neuropsychology*, 2017, 31(8): 877—899.
- [30] 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(2): 107—117.
- [31] Huygelier H, Schraepen B, Lafosse C, et al. An immersive virtual reality game to train spatial attention orientation after stroke: a feasibility study[J]. *Appl Neuropsychol Adult*, 2020, 1—21.
- [32] 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.
- [33] Sedda A, Borghese NA, Ronchetti M, et al. Using virtual reality to rehabilitate neglect[J]. *Behav Neurol*, 2013, 26 (3): 183—185.
- [34] 陶林花, 金敏敏, 傅建明, 等. 虚拟现实技术治疗脑卒中单侧空间忽略的疗效观察[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2015, 37(1): 61—63.
- [35] Yasuda K, Muroi D, Hirano M, et al. Differing effects of an immersive virtual reality programme on unilateral spatial neglect on activities of daily living[J]. *BMJ Case Rep*, 2018, 2018:1—5.
- [36] Laver KE, Lange B, George S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 11(11): Cd008349.
- [37] Gammeri R, Iacono C, Ricci R, et al. Unilateral spatial neglect after stroke: current insights[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2020, 16:131—152.
- [38] Fordell H, Bodin K, Eklund A, et al. RehAtt - scanning training for neglect enhanced by multi-sensory stimulation in virtual reality[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2016, 23(3): 191—199.
- [39] Karnath HO, Rennig J, Johannsen L, et al. The anatomy underlying acute versus chronic spatial neglect: a longitudinal study[J]. *Brain*, 2011, 134(3): 903—912.
- [40] van Kessel ME, Geurts AC, Brouwer WH, et al. Visual scanning training for neglect after stroke with and without a computerized lane tracking dual task[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 7:358.
- [41] Facchin A, Beschin N, Toraldo A, et al. Aftereffect induced by prisms of different power in the rehabilitation of neglect: a multiple single case report[J]. *NeuroRehabilitation*, 2013, 32(4): 839—853.
- [42] Cho S, Kim WS, Park SH, et al. Virtual prism adaptation therapy: Protocol for validation in healthy adults[J]. *J Vis Exp*, 2020, 156: e60639.
- [43] Pitteri M, Kerkhoff G, Keller I, et al. Extra-powerful on the visuo-perceptual space, but variable on the number space: different effects of optokinetic stimulation in neglect patients[J]. *J Neuropsychol*, 2015, 9(2): 299—318.
- [44] von der Gablentz J, Könemund I, Sprenger A, et al. Brain activations during optokinetic stimulation in acute right-hemisphere stroke patients and hemispatial neglect: an fMRI study[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2019, 33(7): 581—592.
- [45] Kerkhoff G, Keller I, Artinger F, et al. Recovery from auditory and visual neglect after optokinetic stimulation with pursuit eye movements--transient modulation and enduring treatment effects[J]. *Neuropsychologia*, 2012, 50(6): 1164—1177.
- [46] 高呈飞, 朱其秀, 刘云霞, 等. 视动刺激治疗视空间偏侧忽略的临床研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(4): 324—328.
- [47] Kim JH, Lee BH, Go SM, et al. Improvement of hemispatial neglect by a see-through head-mounted display: a preliminary study[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2015, 12:114.
- [48] Ogourtsova T, Archambault PS, Lamontagne A. Exploring barriers and facilitators to the clinical use of virtual reality for post-stroke unilateral spatial neglect assessment[J]. *Disabil Rehabil*, 2019, 41(3): 284—292.