

虚拟现实技术在神经系统疾病康复中的应用进展

刘蓓蓓 丁勤能 朱武生

【摘要】 虚拟现实技术提供标准化且可重复的环境,可以精确检测单一感觉,是探索动作与感官之间联系的新方式,也是检测神经活动的新工具。本文对虚拟现实技术在神经系统疾病康复中的应用进展进行简要综述。

【关键词】 神经系统疾病; 康复; 虚拟现实(非 MeSH 词); 综述

Research progress on the role of virtual reality technology in rehabilitation of nervous system diseases

LIU Bei-bei¹, DING Qin-neng¹, ZHU Wu-sheng²

¹Department of Rehabilitation Medicine, ²Department of Neurology, Clinical School, Medical College of Nanjing University; Nanjing General Hospital of Chinese PLA, Nanjing 210002, Jiangsu, China

Corresponding author: ZHU Wu-sheng (Email: zwsemail@sina.com)

【Abstract】 With a standard and repeatable environment, virtual reality (VR) technology can precisely detect even a single sense. As a novel tool to test neural activities, VR is a brand new method to explore the connections between actions and senses. In this review, we summarize the application, prospect and limitation of VR technology in the rehabilitations of nervous system diseases.

【Key words】 Nervous system diseases; Rehabilitation; Virtual reality (not in MeSH); Review
This study was supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 81671170).

虚拟现实(VR)技术是一种通过计算机硬件和软件创建出的人机互动模拟技术,使用户有机会参与外观和感受与真实世界相似的个体和事件环境。在医学领域中,虚拟现实技术除可用于口腔科、整形外科和普通外科等手术技能的练习与评价外^[1],亦广泛应用于神经系统疾病的康复治疗。本文拟对虚拟现实技术在神经系统疾病康复中的应用进展进行简要综述。

一、虚拟现实技术的概念与特征

虚拟现实技术通过模拟真实世界,对 1 个或多个感官的神经通路进行输入,检测受试者动作,改进感官的刺激反应。有学者观察动物移动与其视觉流的变化,发现虚拟现实技术可以整合自然行为与精准控制实验^[2],是一项有价值的技术,具有以下

特点:(1)可提供受试者标准化且可重复的环境,刺激可以完全受控。(2)提供可增加或去除感觉信号的方案,精确检测单一感觉。(3)具有立体视野,可予以显著的深度动作、整合多感官信息、控制身体空间定位并产生移动,是探索动作与感官之间联系的新方式。(4)可通过穿戴式头部显示器设备连接到计算机,是检测神经活动的新工具。

二、虚拟现实技术在神经系统疾病康复中的应用

神经系统疾病多以运动障碍和姿势异常为主要临床特征,如步态异常、行动迟缓、失用性萎缩、平衡障碍等。虚拟情景训练通过大脑的学习和奖励机制促使患者在姿势控制、步态、认知功能和四肢协调性等方面有所改善。采用虚拟现实技术可以使康复训练产生超前性:先激活相应神经系统,虚拟现实技术通过捕捉动作、压力、重心等信息至视觉等感官生物反馈的所有步骤中延长系统潜伏期,而这种时间的延长可以被受试者感知,修复患者反应能力,从而产生神经可塑性。

1. 虚拟现实技术在脑卒中康复中的应用 脑卒

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2018.03.012

基金项目:国家自然科学基金资助项目(项目编号:81671170)

作者单位:210002 南京大学医学院临床学院 解放军南京总医院康复医学科(刘蓓蓓、丁勤能),神经内科(朱武生)

通讯作者:朱武生(Email:zwsemail@sina.com)

中引起肢体偏瘫,导致平衡障碍和步态异常。采用虚拟现实技术对脑卒中患者进行康复训练,可以改善动态平衡功能、纠正步态,但对静态平衡功能的改善不明显。由于骨盆失衡可能是肌肉弱化加重所致,与传统步态训练相比,虚拟现实技术可以协助物理治疗师纠正步态异常,通过分析骨盆和脊柱轨道的平衡控制能力,使骨盆旋转倾斜角更易控制,在降低偏瘫早期患者骨盆前倾效果方面更具优势。近 50% 的脑卒中后偏瘫患者遗留上肢功能障碍^[3],Schuster-Amft 等^[4]采用虚拟手臂对 2 例脑卒中患者进行双手够取、抓握、打开动作训练,结果显示,患侧上肢功能明显改善,可能原因是训练激活相应脑区;Goršic 等^[5]采用美国 Microsoft 公司生产的 Kinect 三维体感游戏机对脑卒中急性期和亚急性期患者进行上肢训练,发现竞技类游戏可以带给患者积极体验;田然等^[6]对脑卒中恢复期患者单侧或双侧上肢增加 4 周魔迅虚拟康复训练系统 V1.0(上海魔迅信息科技有限公司),结果显示,Fugl-Meyer 上肢评价量表(FMA-UE)和改良 Barthel 指数(mBI)评分均较对照组升高;Levin 等^[7]认为,虚拟现实技术有助于脑卒中患者获得正常运动模式。真实环境中的失能上肢或手在虚拟环境中的够取动作更流畅、控制速度更均匀,可能是由于抓握动作中患侧手打开程度更大,故达到最大够取速度和最大抓握宽度的时程更长。此外,温鸿源等^[8]的研究显示,三维虚拟现实技术通过调节海马组织氢质子磁共振波谱(¹H-MRS)代谢,可以改善存在记忆障碍的脑卒中恢复期患者认知功能,究其原因,可能是通过三维虚拟环境提供丰富的感官刺激,使患者体内多巴胺能和胆碱能系统神经递质传递功能增强,从而改善患者注意力。

2. 虚拟现实技术在帕金森病康复中的应用 有研究对帕金森病(PD)患者进行动态平衡训练,发现虚拟现实技术组较对照组在跨越障碍物速度、步长和动态平衡方面均有较大改善^[9],这是由于在跨越障碍物的平衡训练任务中,单腿支撑和重心向前摆动是核心任务,随着平衡功能的恢复,个体重心的摇摆幅度更大,移动时速度更快、更准确。采用静态虚拟现实技术对帕金森病患者进行康复训练,结果显示,冻结步态出现前的最后五步步行时间显著延长,最后三步步行时间无递增性差异^[10]。究其原因,可能是由于通过虚拟现实训练使患者在水平方向跨步步长和步速增加,从而使垂直方向患侧足廓

清能力增加。

3. 虚拟现实技术在多发性硬化中的应用 多发性硬化(MS)是一种多病灶、渐进性中枢神经系统疾病。传统跑台训练可以维持患者运动能力,但跑台训练结合虚拟现实训练 1 个月后,多发性硬化患者步速提高、步长增加^[11]。在多发性硬化患者家中安装虚拟现实游戏软件,可以最大安全度地改善患者运动和平衡功能。同时,功能性电刺激与虚拟现实技术的结合可以改善患者上肢功能障碍,提高动作准确性,使主动运动最大化^[12]。

4. 虚拟现实技术在脑瘫患儿中的应用 采用虚拟现实技术对脑瘫患儿进行康复训练可以提高其平衡功能和行走能力,改善患侧踝关节和骨盆运动功能以及行走对称性。在有反馈控制的跑台训练中采用虚拟现实技术对脑瘫患儿进行步态分析和康复训练,结果显示,患儿自主行走时间较以固定速度行走时间延长^[13]。脑瘫患儿对骨盆的控制能力较差,缺乏独立坐站转移能力,也是导致日常生活和活动危险增加的原因之一。通过虚拟现实游戏,脑瘫患儿脊柱产生的运动可以促使骨盆旋转,成为重要的代偿方式^[10],这可能是由于肌肉联合收缩增加脊柱和骨盆的共同运动,使其完成动作的时间缩短。

5. 虚拟现实技术在神经病理性疼痛中的应用 肿瘤患者病程中常发生神经病理性疼痛。心理治疗如猜想和分散注意力可以有效减轻疼痛。研究显示,药物化疗期间采用虚拟现实技术进行包括深呼吸训练、聆听轻松音乐、观赏喜欢视频等活动,可以显著降低患者的负面情绪、疼痛和焦虑^[14-15]。

6. 虚拟现实技术在认知功能障碍中的应用 虚拟现实技术可以作为认知功能的评价方法,从而成为制定康复目标的参考依据。采用两种不同条件的虚拟现实环境评价存在中度认知损害的多发性硬化患者的认知功能,结果显示,52% 患者无法完成模拟驾驶任务,80% 患者无法完成日常生活活动对应的认知行为^[16]。虚拟现实技术还可以用于评价职业能力之神经肌肉控制能力:采用虚拟现实技术对 65 岁以上老年人驾驶时的颈部和躯干旋转度进行评价并将测试结果作为个人驾驶信用记录^[17]。老年人在陌生环境如陌生居住地和医院等易出现认知功能障碍。一项研究纳入 129 例 55~96 岁独居老年人,进行为期 3 天的虚拟迷宫游戏任务并对寻找指定目的地的找路游戏的完成情况进行重复

研究,结果显示,测试者采用多种空间和非空间策略,捕捉老年受试者产生动作时肌肉和时程变化并观察他们对外界刺激的反馈激活能力,在 8 周的虚拟现实训练中,受试者伸髋能力和平衡控制能力显著提高,同时受试者空间定向任务反应能力提高,神经功能改善,故在进行认知行为时,对认知资源的动员程度更高^[18]。

三、虚拟现实技术在神经系统疾病康复中的展望及局限性

1. 远程康复效果评价 远程康复(TR)通过计算机技术、多媒体信息技术、虚拟现实技术情景训练等方式为功能障碍和残疾者提供康复服务^[19]。针对脑卒中患者和骨关节疾病患者的功能障碍,采用远程虚拟现实技术可以让患者在家中康复训练,再通过视频反馈训练效果,可以用于治疗效果的评价。Lloréns 等^[20]采用美国 Microsoft 公司生产的 Kinect 三维体感游戏机研究脑卒中后偏瘫患者的康复训练效果,30 例脑卒中患者分为家庭训练组和医疗机构训练组,持续 8 周,分别于康复训练前后采用 Berg 平衡量表(BBS)评价两组患者平衡功能,结果显示,两组患者基于虚拟现实的康复训练效果显著且提高程度相近。

2. 神经康复工程 在三维虚拟现实环境中,通过整合多媒体、空间定位感觉如加速计、感觉反馈设备如经皮电刺激、无线网络、可穿戴式视觉设备等,生物医学工程很快将发展成为更加理想的康复系统,受试者可以充分体验到一个局部或远程虚拟现实环境。目前,许多前瞻性软件开发公司开始对此领域进行投资,如美国 Microsoft 公司生产的 Hololens 全息眼镜(混合现实头戴式显示器),发现娱乐和计算机游戏的潜能,美国 Google 公司投资的 Magic Leap 三维虚拟现实眼镜,用于外科手术和康复训练。神经生物学家和生理学家正基于视觉反馈和神经影像学研发多种康复训练程序。

3. 康复医学职业教育 虚拟现实技术可以用于康复医学职业教育。张通等^[21]将虚拟现实技术用于康复专业的教育实践中,将学生在虚拟现实环境中对常见关节活动度技能培训情景进行反馈与效果评价,结果显示,进行虚拟现实技术教学后再进行传统教学的学生在提高训练趣味性、学习主动性和临床能力方面均优于传统教学方式。

4. 虚拟现实技术的局限性 虚拟现实技术可以给受试者带来真实感觉反馈,增强大脑皮质可塑

性,结合趣味性和任务性,避免传统康复训练枯燥乏味、单一重复的模式。然而虚拟现实技术仍存在以下不足:(1)存在潜伏期,这种时间延迟可能出现在使用模拟输入设备训练时的动作中、对虚拟现实环境的反应中和对外界刺激的变化中。(2)虚拟环境对应真实环境时,对距离感知存在误差。(3)由于视觉看到的虚拟现实画面与前庭系统感受到的真实位置信息不匹配,易引起受试者眩晕反应。(4)目前关于虚拟现实技术的大样本随机对照临床试验较少,且评价方法不尽一致^[22]。

四、小结

虚拟现实技术可以提供多种人工景物,使康复训练过程充满乐趣,提高患者的乐观情绪。将坐姿训练、站位平衡训练、上肢综合训练、步态行走训练、心理训练、认知行为训练等多种虚拟游戏,应用于神经系统疾病的康复治疗中,可以增强患者中线穿越能力、增加关节活动范围、促进躯体稳定性、改善手眼协调性、提高长期注意力、改善本体感觉和认知功能、提高多重感觉下姿势控制能力,较传统康复训练更加有效^[23]。

参 考 文 献

- [1] Yiannakopoulou E, Nikiteas N, Perrea D, Tsigris C. Virtual reality simulators and training in laparoscopic surgery[J]. *Int J Surg*, 2015, 13:60-64.
- [2] Minderer M, Harvey CD, Donato F, Moser EI. Neuroscience: virtual reality explored[J]. *Nature*, 2016, 533:324-325.
- [3] Widmer M, Held JP, Wittmann F, Lamberg O, Lutz K, Luft AR. Does motivation matter in upper-limb rehabilitation after stroke? ArmeoSenso-Reward: study protocol for a randomized controlled trial[J]. *Trials*, 2017, 18:580.
- [4] Schuster-Amft C, Henneke A, Hartog-Keisker B, Holper L, Siekierka E. Intensive virtual reality-based training for upper limb motor function in chronic stroke: a feasibility study using a single case experimental design and fMRI [J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2015, 10:385-392.
- [5] Goršic M, Cikajlo I, Goljar N, Novak D. A multisession evaluation of an adaptive competitive arm rehabilitation game [J]. *J Neuro Rehabil*, 2017, 14:128.
- [6] Tian R, Bai M, Ma T. Effect of virtual reality technology on upper limbs function and activities of daily living in stroke patients[J]. *Zhongguo Kang Fu Li Lun Yu Shi Jian*, 2016, 12: 1371-1374. [田然, 柏敏, 马腾. 虚拟现实技术对脑卒中患者上肢功能及日常生活活动能力的效果[J]. *中国康复理论与实践*, 2016, 12:1371-1374.]
- [7] Levin MF, Magdalon EC, Michaelsen SM, Quevedo AA. Quality of grasping and the role of haptics in a 3-D immersive virtual reality environment in individuals with stroke[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2015, 23:1047-1055.
- [8] Wen HY, Li LQ, Long JZ, Lin CH. Effects of 3D virtual reality technology on stroke patients with memory impairment and 'H-MRS[J]. *Zhongguo Lao Nian Xue Za Zhi*, 2017, 37:100-102. [温鸿源, 李力强, 龙洁珍, 林楚华. 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, 37:100-102.]
- [9] Liao YY, Yang YR, Cheng SJ, Wu YR, Fuh JL, Wang RY. Virtual reality - based training to improve obstacle - crossing performance and dynamic balance in patients with Parkinson's disease[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2015, 29:658-667.
- [10] Yelshyna D, Gago MF, Bicho E, Fernandes V, Gago NF, Costa L, Silva H, Rodrigues ML, Rocha L, Sousa N. Compensatory postural adjustments in Parkinson's disease accessed via a virtual reality environment[J]. Behav Brain Res, 2016, 296:384-392.
- [11] Peruzzi A, Cereatti A, Della CU, Mirelman A. Effects of a virtual reality and treadmill training on gait of subjects with multiple sclerosis: a pilot study[J]. Mult Scler Relat Dis, 2016, 5:91-96.
- [12] Sampson P, Freeman C, Coote S, Demain S, Feys P. Using functional electrical stimulation mediated by iterative learning control and robotics to improve arm movement for people with multiple sclerosis [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2016, 24:235-248.
- [13] Sloot LH, Harlaar J, van der Krogt MM. Self-paced versus fixed speed walking and the effect of virtual reality in children with cerebral palsy[J]. Gait Posture, 2015, 42:498-504.
- [14] Demeter N, Josman N, Eisenberg E, Pud D. Who can benefit from virtual reality to reduce experimental pain: a crossover study in healthy subjects[J]? J Euro Pain, 2015, 19:1467-1475.
- [15] Chirico A, Lucidi F, De Laurentis M, Milanese C, Napoli A, Giordano A. Virtual reality in health system: beyond entertainment. A mini - review on the efficacy of VR during cancer treatment[J]. J Cell Physiol, 2016, 231:275-287.
- [16] Lamargue-Hamel D, Deloire M, Saubusse A, Ruet S, Tailard J. Cognitive evaluation by tasks in a virtual reality environment in multiple sclerosis[J]. J Neurosci, 2015, 35:94-99.
- [17] Chen KB, Xu X, Lin JH, Radwin RG. Evaluation of older driver head functional range of motion using portable immersive virtual reality[J]. Exp Gerontol, 2015, 70:150-156.
- [18] Davis RL, Weisbeck C. Search strategies used by older adults in a virtual reality place learning task[J]. Gerontologist, 2015, 55 Suppl 1:118-127.
- [19] Veras M, Kairy D, Rogante M, Giacomozzi C. Outcome measures in tele - rehabilitation and virtual reality for stroke survivors: protocol for a scoping review[J]. Glob J Health Sci, 2016, 8:79-82.
- [20] Lloréns R, Noé E, Colomer C, Alcañiz Raya ML. Effectiveness, usability, and cost - benefit of a virtual reality - based tele - rehabilitation program for balance recovery after stroke: a randomized controlled trial[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2015, 96:418-425.
- [21] Zhang T, Li BJ, Jin L. Application of virtual reality training system in rehabilitation medicine education[J]. Zhongguo Kang Fu Li Lun Yu Shi Jian, 2015, 21:861-864. [张通, 李冰洁, 金玲. 虚拟现实训练系统在康复医学教育中的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2015, 21:861-864.]
- [22] Li BJ, Li F. Application progress of virtual reality rehabilitation technology in upper limb dysfunction after stroke[J]. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2017, 17:245-248. [李冰洁, 李芳. 虚拟现实康复技术在脑卒中后上肢运动障碍中的应用进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2017, 17:245-248.]
- [23] Meng L, Huang D, Liu HH, Qu Y. Research progress of new technologies in stroke rehabilitation [J]. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2017, 17:171-175. [孟琳, 黄丹, 刘洪红, 屈云. 脑卒中康复治疗新技术研究进展[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2017, 17:171-175.]

(收稿日期: 2018-01-24)

· 小词典 ·

中英文对照名词词汇(六)

兴奋性氨基酸转运体

excitatory amino acid transporter(EAAT)

兴趣区 region of interest(ROI)

虚拟现实 virtual reality(VR)

血氧水平依赖性功能磁共振成像

blood oxygenation level-dependent functional magnetic resonance imaging(BOLD-fMRI)

药物洗脱支架 drug-eluting stents(DES)

N-乙酰天冬氨酸 N-acetyl-aspartate(NAA)

英国健康促进网络

The Health Improvement Network(THIN)

用力肺活量 forced vital capacity(FVC)

原发性失眠 primary insomnia(PI)

运动前区皮质 premotor cortex(PMC)

载脂蛋白E apolipoprotein E(ApoE)

早发性阿尔茨海默病

early-onset Alzheimer's disease(EOAD)

早老素1 presenilin-1(PS-1)

早老素2 presenilin-1(PS-2)

支架内再狭窄 in-stent restenosis(ISR)

质谱法 mass spectrometry(MS)

中国精神障碍分类与诊断标准第3版

Classification and Diagnostic Criteria of Mental Disorders in China Third Edition(CCMD-3)

肿瘤坏死因子- α tumor necrosis factor- α (TNF- α)转化生长因子- β transforming growth factor- β (TGF- β)

自膨式支架 self-expanding stents(SES)

总tau蛋白 total tau(t-tau)

总体衰退量表 Global Deterioration Scale(GDS)

族错误率 family-wise error(FWE)

左旋多巴日等效剂量

levodopa equivalent daily dose(LEDD)