



虚拟现实技术在脑瘫儿童运动康复中的应用

渠晨欢,武宝爱*

摘要: 脑瘫是神经发育迟缓范畴中最严重的身体残障,导致患儿长期存在运动功能障碍,并部分伴有认知障碍。长期的功能障碍严重影响了脑瘫患儿的生活,不但降低其生活质量,同时还给患儿的家庭甚至社会造成巨大负担。脑瘫运动康复的方式有很多,其中虚拟现实技术是一种新兴的康复手段,有着趣味性强、安全性高等特点。本文采用文献资料法对近年来虚拟现实技术在脑瘫患儿运动康复中的应用进行简要回顾,为后续研究提供依据。

关键词: VR;虚拟现实技术;脑瘫;运动康复

中图分类号:G804.5 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2018)06-0092-05

DOI:10.12064/ssr.20180613

Application of Virtual Reality Technology in Sports Rehabilitation of Children with Cerebral Palsy

QU Chenhuan, WU Baoai*

(Shanxi University, Taiyuan 030000 China)

Abstract: In terms of neurodevelopmental delay, cerebral palsy is the most serious physical disability, which leads to the long-term motor dysfunction and partial cognitive impairment. Long-term dysfunction seriously affects the lives of children with cerebral palsy, not only reducing their quality of life, but also imposing a huge burden on families and even the society. There are many ways of motor rehabilitation for cerebral palsy, among which virtual reality technology is an emerging method, fun and safe. This paper briefly reviewed the application of virtual reality technology to the rehabilitation of children with cerebral palsy in recent years, so as to provide a reference for the follow-up researches.

Key Words: Virtual reality; VR, Cerebral palsy; Sports rehabilitation

0 前言

脑性瘫痪(CP)是指在幼儿脑发育未成熟时,受到非进行性脑损伤,导致患儿神经发育障碍,出现以运动功能、姿势控制障碍为特征的神经障碍综合症^[1]。这种神经障碍从幼儿时期开始出现,并持续终身,因此脑瘫是神经发育迟缓范畴中最严重的身体残障,并且通常伴有认知、语言等能力的损伤。引发脑瘫的非进行性脑损伤的原因主要分3类,即产前、产时和产后,对胎儿脑锥体系、锥体外系或小脑产生不可逆损伤^[2]。这类脑损伤导致的功能障碍长期存在,给患儿家庭甚至社会造成巨大的负担。为提高脑瘫患儿的运动功能,减轻患儿家庭的压力,降低社会负担,脑瘫儿童的运动康复备受研究者关注。

1 虚拟现实技术的概念及应用

虚拟现实(Virtual Reality,VR)技术是一种多学科交叉应用技术,综合利用了计算机网络技术和仿真人机交互技术,模拟输入视觉和触觉等感知,特点是让使用者有身临其境的感受和体验。将传统康复与虚拟现实技术相结合,对脑瘫客户进行康复训练,可以有效提高客户的运动能力,改善客户认知。

虚拟现实技术是由美国的Lanier公司于20世纪80年代首次提出的,借助计算机编程生成一种3D模拟场景,通过穿戴相应的辅助设备使使用者沉浸入该虚拟场景中,建立起人机交互模式^[3]。虚拟现实技术包括3部分:计算机图形技术、现实技术、多功能传感器交互式接口技术。结合这些技术,可以产

收稿日期:2018-10-11

第一作者简介:渠晨欢,女,在读硕士研究生,研究方向:运动人体科学。E-mail:1152834640@qq.com。

* 通讯作者简介:武宝爱,女,副教授,研究方向:运动人体科学。E-mail:469203910@qq.com。

作者单位:山西大学 体育学院,山西 太原 030006。



生以沉浸性、交互性、构想性为特征的虚拟现实场景,刺激使用者的视觉、听觉、触觉,使使用者可以对场景进行交互观察与控制。虚拟现实技术根据浸入程度主要分两大类:需要借助穿戴传感头盔和手套进行感觉输入的为完全沉浸式;而直接将影像投射在屏幕上的为非沉浸式虚拟现实技术,非沉浸式虚拟现实技术的感觉输入与投射屏幕的大小成正比。

近几年,这种使人产生身临其境感觉的虚拟现实技术在多个学科领域内受到关注并被引入使用,是今后多学科发展趋势之一。国内虚拟现实技术在康复中的应用较国外晚,开始主要用于偏瘫患者、骨伤患者的功能训练,后随着广泛的推广逐渐用于脑瘫康复。应用虚拟现实技术的康复训练在改善肢体障碍、认知能力、心理干预等方面均有成效,且儿童具有很大的应用潜力。

2 虚拟现实技术对脑瘫患儿的作用

2.1 虚拟现实技术对脑瘫患儿上肢运动功能的影响

上肢运动功能是患儿参与日常生活活动的关键,而脑瘫患儿上肢肌肉痉挛和挛缩,引起如肩内收内旋、前臂旋前、腕下垂等关节病变^[4]。脑瘫患儿肩上举困难、双上肢运动不协调、手抓握困难,对上肢粗大运动、精细运动都存在不同程度的影响,并减低患儿上肢反应能力,难以对变化的环境及时作出反应^[5],所以迫切需要有效的锻炼以恢复患儿上肢功能。目前广泛使用的物理治疗包括PNF(本体感觉神经肌肉促进疗法)、Bobath(神经生理疗法)、强制性使用等神经发育疗法,可以有效缓解脑瘫患儿的肌肉痉挛,部分改善其上肢运动功能,然而这些治疗要求治疗师有熟练的技能,患儿在家中没有治疗师的指导难以准确重复地得到训练,且不同的治疗师也无法为患儿提供高重复连贯性的训练,因此就需要更加智能化的康复技术。

国内外已经有大量的研究证明,虚拟现实技术对减轻上肢功能障碍,提高手功能有明显的效果。Rathinam通过元分析发现使用虚拟现实技术的脑瘫儿童手功能恢复程度与患儿的年龄成反比,与每日的训练强度成正比,这可能是由于脑瘫儿童的脑神经可塑性与年龄为负相关^[6]。Yoo利用生物反馈结合虚拟现实对18例痉挛型脑瘫患儿上肢运动功能进行训练并评估,测量上肢肌电反馈,结果发现结合虚拟现实技术后,训练使患儿的肱三头肌肌肉激活更有效,改善肌肉失衡和肢体协调异常,促进儿童上肢

精细活动的灵活性^[7]。虚拟现实训练更像是一种游戏体验,在虚拟环境中以任务为导向,建立可重复的即时反馈的活动,根据需要灵活调整任务难度,并提供更多的视、听觉反馈,这种游戏的人机交互方式能减少传统康复的枯燥吸引患儿的参与^[8,9]。从运动技能形成方面讲,运动技能的掌握需要经过泛化、分化、自动化的过程,要使动作协调连续准确、大脑皮质兴奋性抑制更为精确,就需要对每个动作进行重复训练,并逐渐过渡到更为连续的过程。Jakub等人分别招募了16名健康人和12名偏瘫患者进行虚拟现实训练,在训练前后进行fMRI(功能性磁共振成像)检查,测量视觉反馈强度与反应时长,发现脑右侧颞叶皮层、顶叶皮层、额上回和额下回出现视觉反馈延迟,同侧的运动皮层和双侧的感觉运动区域都被激活,介导神经可塑性增强,促使大脑的功能链接^[10,11]。虚拟现实训练可以使训练者在低注意力下进行准确的高重复性训练^[12],使其运动功能得到优化,再结合模拟环境,将功能训练逐渐过渡到日常生活中。虚拟现实训练的即时反馈不止于动作是否完成,还能对完成效果进行评估,脑瘫儿童可以通过竞技得分的方式,比较动作质量获取进步目标,从而吸引患儿的兴趣。由于游戏模式将脑瘫患儿的注意力转移至运动外部,在低注意力下完成的动作相较于在高注意力下完成的动作,运动获得性更好、更准确。

2.2 虚拟现实技术对脑瘫患儿下肢步行能力的影响

不同类型的脑瘫儿童存在不同的步态异常。偏瘫型脑瘫患儿表现为一侧肢体的运动失控,痉挛型脑瘫患儿占脑瘫患儿总数的一半以上,为最常见的脑瘫类型,主要表现为肌肉持续性紧张,肌张力增高使肢体运动姿势异常^[13]。长期的姿势异常易引起人体关节的异常,进一步加重肌肉痉挛^[14],同时会导致无法进行重心转移、难以保持步态平衡、运动控制差等问题。虚拟现实技术在改善脑瘫患儿的平衡、步行能力方面有明显作用,选择性的增加膝关节控制能力。Chunhee Cho等人招募了18名脑瘫儿童,实验组安排了每周3次、每次30min的虚拟现实步行训练,8周后虚拟现实训练组的儿童PBS(儿童平衡量表)分数从31.3提升到34.6,平衡能力较对照组显著提高,同时步行速度也明显提高^[15]。Gordon等人招募7名脑瘫患儿,进行了6周的虚拟现实模拟训练,训练后脑瘫患儿的粗大运动评定量表评分增加了7.34分,显示有显著的治疗作用^[16]。Marie让4名脑瘫儿童进行了短时间高强度的虚拟现实模拟步行



训练,对比训练前后的运动功能发现,在平衡转移能力、6 min 步行实验上有明显的提高,且治疗作用在训练结束后持续一至两个月,说明虚拟现实技术模拟步行可以提高脑瘫儿童的步行平衡能力、耐力,并出现延时治疗作用^[17]。Meyns 招募了 12 名下肢手术 6 周后的脑瘫患儿进行虚拟现实模拟运动康复随机对照实验,经过 6 个月的运动训练,发现进行虚拟现实训练的患儿有很高的依从性,在坐位平衡能力上表现略为突出,在站位行走上无明显差异,可能是在运动训练过程中,不断地突破了患儿的稳定极限,增强了躯干控制性^[18]。脑瘫患儿通过虚拟现实训练后在分离运动、保护性伸展反射方面也有明显提高。游戏愉悦性和训练动机在促进患儿的训练依从性上起到了关键的作用,并且降低了患儿 VAS(视觉模拟评分法)疼痛得分^[19]。改善功能程度与每日虚拟现实训练的治疗剂量有关,每日训练频率越多、训练时间越长,对脑瘫患儿的行走能力稳定性改善越明显。平衡和步态是预测功能独立性的重要因素,特别是对跌倒风险的评估。因此虚拟现实模拟训练能有效改善脑瘫患儿的下肢步行能力。

2.3 虚拟现实技术对脑瘫患儿认知能力的影响

虚拟现实技术不仅使患者在运动功能上有明显的提高,在改善认知方面也有着无法比拟的优势。有研究发现虚拟现实技术对多种疾病患者的认知均有显著影响,特别是帕金森、阿尔茨海默病、脑卒中、脑瘫等脑损伤较重又难以恢复的患者^[20]。采用青岛海蓝康复器械 HLKF-DT-01 数字评估与互动训练系统,训练非痴呆型血管性认知障碍患者,发现相较于传统认知训练,这种训练可以有效改善认知能力,特别是空间定位与执行功能、命名、注意、延迟回忆、定向能力方面^[21]。Shirley 等人招募了 14 名注意力缺陷儿童,为他们安排了 6 周的结合机器人的虚拟模拟绕过障碍物的步行训练,经过 18 次的训练后,患儿除了在步态变得更有规律性外,儿童的执行能力有显著的提高,记忆指数也同样有所增加,儿童的持续关注能力也得到改善^[22]。在 Borrego 的研究中也证实了虚拟现实技术对提高患儿认知功能有效^[23]。这种虚拟模拟技术是否能有效改善脑瘫患儿的认知能力仍有争议,可能的原因是治疗系统的选择不同,治疗结果也有差异。将虚拟现实技术运用到认知训练中,不仅以游戏的方式更吸引患者的兴趣,使患儿有更积极的参与性,而且使远程康复成为可能。患儿的康复是长期的,且由于认知障碍恢复较躯体运动功能恢复慢,患儿在部分生活自理回归家庭及社会后,在

很长一段时间内仍需要认知功能的训练。然而去医院、诊所由治疗师训练时间精力成本都较大,难以持续有效的进行认知训练。虚拟现实技术的发展为医生对患者的远程评估、监测及治疗提供了技术支持。

3 虚拟现实技术在脑瘫运动康复中的展望

3.1 虚拟现实技术促进脑瘫儿童远程康复

远程康复为患儿家庭和康复师之间建立了桥梁,在一定程度上解决了住院康复和门诊康复带来的经济压力,又能保持为患儿提供持续、有效的运动训练^[24]。目前远程康复主要有借助社交媒体或虚拟现实两种方式。相较于社交媒体提供的远程康复^[25],虚拟现实可以提供更多样的模拟训练方式,且更便于远程控制及实时监督,为脑瘫儿童的运动康复提供更多可靠、可选择的方案。Kairy 招募 52 例偏瘫患者,对实验组应用虚拟现实技术和互联网通信进行四周上肢远程运动训练,发现在一定程度上也能达到良好的功能恢复,部分提升家庭参与能力,使患儿在家庭康复中的运动效果连贯且有效^[26]。然而受限于设备的高昂价格和技术的成熟,目前这种虚拟现实相结合的远程康复技术在国内难以推广^[27,28]。如何降低成本又建立更完善的虚拟现实技术,为脑瘫儿童远程运动康复提供有力支持,值得今后更深入的研究。

3.2 虚拟现实技术缓解疼痛

除了伴有肌肉骨骼运动障碍外,高达 70% 的痉挛型脑瘫患儿也受到疼痛问题的困扰^[29]。疼痛这种共性问题,可能加重患儿的肢体畸形和姿势异常,并致使脑瘫患儿产生不愉快、焦虑等负向心理,进一步影响康复功能训练,使其难以配合甚至拒绝主动活动,降低治疗效果,严重降低脑瘫儿童的主观幸福感。引起痉挛型脑瘫患儿疼痛的原因主要与肌肉张力过高、不合理的训练强度、便秘等有关^[30]。Khadra 认为虚拟现实可以作为新型的非药理学心理辅助物,可以使患者通过沉浸式虚拟模拟技术转移注意力、克服恐惧、缓解疼痛,并能缓解疾病后焦虑、抑郁^[31]。Wittkopf 发现患者在虚拟现实训练时,与疼痛相关的大脑区域活动减少,对患肢疼痛的关注减低,疼痛阈值得到调节^[32]。Solca 将镜像疗法和沉浸式虚拟现实结合起来,增强患者的多感官刺激,通过与健康人对比心率变异性 and 疼痛评估,发现沉浸式虚拟现实训练通过重复性活动和延长治疗时限,使疼痛治疗整合和在运动训练中,减低了肢体疼痛程度^[33]。目前的实验主要关注在烧伤疼痛、幻肢痛等方面,对于由于



肌肉痉挛等原因导致的疼痛是否有同样影响,需要进一步的研究证实。

4 小结

虚拟现实运动训练相对于传统康复有明显的优势。由于传统康复多在治疗室中练习,患者在接受传统康复之后,在训练室中虽然其功能有所改善,能全部或部分达到日常生活活动能力,但绝大多数的患者在离开治疗室后,难以维持治疗效果,满足其日常生活活动需要。虚拟现实技术运用在康复中,通过场景模拟在很大程度上弥补了这一缺陷,帮助患儿恢复部分运动功能,提高独立生活能力。模拟生活场景中的日常活动,不仅可以消除患儿的紧张感,也可以起到由治疗室向社会活动逐渐过渡的作用,并且降低错误操作导致危险的可能性。

近几年来,虚拟现实技术在脑瘫患儿运动康复中得到逐渐推广,其治疗效果也得到认证。目前虚拟现实技术结合机器人对脑瘫患儿运动功能训练的研究较多,大量的结果表明虚拟现实技术作为新颖的运动康复手段可以改善脑瘫患儿的运动技能,主要表现在上肢精细运动的提高及下肢关节运动控制能力的改善。部分研究支持虚拟现实训练对认知能力的改善并能缓解疼痛,但对于运动功能改善的评估以主观量表为主,缺乏更为客观的评估手段。同时国内相关研究可以进一步采用大样本随机对照实验进行验证,进而为临床提供循证依据,指导运动治疗方案。

参考文献:

[1] 李晓捷,唐久来,马丙祥,等.脑性瘫痪的定义、诊断标准及临床分型[J].中华实用儿科临床杂志,2014,29(19):1520-1520.

[2] Gutvitz G., Wainstock T., Landau D., et al. Maternal smoking during pregnancy and long-term neurological morbidity of the offspring[J]. Addictive Behaviors, 2018, 88(86).

[3] 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,(4):245-248.

[4] Elvrum A. G., Saether R., Riphagen I. I., et al. Outcome measures evaluating hand function in children with bilateral cerebral palsy: a systematic review[J]. Developmental Medicine & Child Neurology, 2016, 58(7):662-671.

[5] Jung S. H., Song S. H., Kim S. D., et al. Does virtual reality training using the Xbox Kinect have a positive effect on physical functioning in children with spastic

cerebral palsy? A case series[J]. Journal of Pediatric Rehabilitation Medicine, 2018, 11(2): 95-101.

- [6] Rathinam C., Mohan V., Peirson J., et al. Effectiveness of virtual reality in the treatment of hand function in children with cerebral palsy: A systematic review[J]. Journal of Hand Therapy, 2018, 10(6):1-8.
- [7] Yoo J. W., Lee D. R., Cha Y. J., et al. Augmented effects of EMG biofeedback interfaced with virtual reality on neuromuscular control and movement coordination during reaching in children with cerebral palsy[J]. Neurorehabilitation, 2017, 40(2):175-185.
- [8] Robert M. T., Levin M. F. Validation of reaching in a virtual environment in typically developing children and children with mild unilateral cerebral palsy[J]. Developmental Medicine & Child Neurology, 2018, 114(4):20-34.
- [9] Lazzari R. D., Politti F., Belina S. F., et al. Effect of Transcranial Direct Current Stimulation Combined With Virtual Reality Training on Balance in Children With Cerebral Palsy: A Randomized, Controlled, Double-Blind, Clinical Trial[J]. Journal of Motor Behavior, 2016, 49(3):329-336.
- [10] Limanowski J., Kirilina E., Blankenburg F. Neuronal correlates of continuous manual tracking under varying visual movement feedback in a virtual reality environment[J]. Neuroimage, 2017, 146(9):81-89.
- [11] Ekman U., Fordell H., Eriksson J., et al. Increase of frontal neuronal activity in chronic neglect after training in virtual reality[J]. Acta Neurologica Scandinavica, 2018, 129(55):1-9.
- [12] 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]. Front Neurol, 2017, (8):452-462.
- [13] Kruse A., Schranz C., Tilp M., et al. Muscle and tendon morphology alterations in children and adolescents with mild forms of spastic cerebral palsy[J]. BMC Pediatrics, 2018, 18(1):156-164.
- [14] Lumsden D. E., Gimeno H., Elze M. C., et al. Progression to musculoskeletal deformity in childhood dystonia [J]. European Journal of Paediatric Neurology, 2016, 20(3):339-345.
- [15] Cho C., Hwang W., Hwang S., et al. Treadmill Training with Virtual Reality Improves Gait, Balance, and Muscle Strength in Children with Cerebral Palsy[J]. Tohoku Journal of Experimental Medicine, 2015, 238(3):213-218.
- [16] Gordon C., Roopchand-Martin S., Gregg A. Potential of the Nintendo Wii as a rehabilitation tool for children



- with cerebral palsy in a developing country: a pilot study [J]. *Physiotherapy*, 2012, 98(3):238-42.
- [17] Gagliardi C., Turconi A. C., Biffi E., et al. Immersive Virtual Reality to Improve Walking Abilities in Cerebral Palsy: A Pilot Study[J]. *Annals of Biomedical Engineering*, 2018, 46(9):1376-1384.
- [18] Meyns P., Pans L., Plasmans K., et al. The Effect of Additional Virtual Reality Training on Balance in Children with Cerebral Palsy after Lower Limb Surgery: A Feasibility Study[J]. *Gait & Posture*, 2017, 6(1):39-48.
- [19] Ravi D. K., Kumar N., Singhi P. Effectiveness of virtual reality rehabilitation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review[J]. *Physiotherapy*, 2016, 103(3):245-258.
- [20] Rose T., Chang S. N., Chen K. B. Immersion of virtual reality for rehabilitation - Review[J]. *Applied Ergonomics*, 2018, 69:153-161.
- [21] 宋金花,朱其秀,李培媛,et al.虚拟现实技术对非痴呆型血管性认知障碍患者认知功能、日常生活活动能力以及 P300 的影响[J].*中华物理医学与康复杂志*, 2018,40(3):195-197.
- [22] Shema-Shiratzky S., Brozgol M., Cornejo-Thumm P., et al. Virtual reality training to enhance behavior and cognitive function among children with attention-deficit/hyperactivity disorder: brief report[J]. *Developmental Neurorehabilitation*, 2018, 66(2):1-6.
- [23] Borrego A., Latorre J., Llorens R., et al. Feasibility of a walking virtual reality system for rehabilitation: objective and subjective parameters[J]. *Journal of Neuroengineering & Rehabilitation*, 2016, 13(1): 68-77.
- [24] 王丹,钟清玲.脑瘫患儿家庭远程康复的研究进展[J].*中华护理杂志*,2016,51(12):1474-1478.
- [25] Zuurmond M., O'Banion D., Gladstone M., et al. Evaluating the impact of a community-based parent training programme for children with cerebral palsy in Ghana[J]. *Plos One*, 2018, 13(9):1-17.
- [26] Kairy D., Veras M., Archambault P., et al. Maximizing post-stroke upper limb rehabilitation using a novel telerehabilitation interactive virtual reality system in the patient's home: study protocol of a randomized clinical trial[J]. *Contemporary Clinical Trials*, 2016, (47):49-53.
- [27] Yang W. C., Wang H. K., Wu R. M., et al. Home-based virtual reality balance training and conventional balance training in Parkinson's disease: A randomized controlled trial[J]. *Journal of the Formosan Medical Association*, 2016, 115(9):734-743.
- [28] Valdacs B. A., Smn G., Lambert-shirzad N., et al. Application of Commercial Games for Home-Based Rehabilitation for People with Hemiparesis: Challenges and Lessons Learned[J]. *Games Health J.*, 2018, 7(3):197-207.
- [29] 张尚,李晓捷,郭爽.痉挛型和不随意运动型脑性瘫痪儿童疼痛特点及对运动康复的影响[J].*中国康复理论与实践*,2018,24(2):196-202.
- [30] Barney C. C., Stibb S. M., Merbler A. M., et al. Psychometric properties of the brief pain inventory modified for proxy report of pain interference in children with cerebral palsy with and without cognitive impairment[J]. *Pain Reports*, 2018, 3.
- [31] Khadra C., Ballard A., Déry J., et al. Projector-based virtual reality dome environment for procedural pain and anxiety in young children with burn injuries: a pilot study [J]. *Journal of Pain Research*, 2018, 11(3):343-353.
- [32] Wittkopf P. G., Lloyd D. M., Johnson M. I. Managing limb pain using virtual reality: a systematic review of clinical and experimental studies[J]. *Disability & Rehabilitation*, 2018.
- [33] Solcà M., Ronchi R., Bello-Ruiz J., et al. Heartbeat-enhanced immersive virtual reality to treat complex regional pain syndrome[J]. *Neurology*, 2018, 91(5): e479-e489.

(责任编辑:刘畅)