

# 虚拟现实技术在脑性瘫痪患儿中的应用及研究进展

杨旭博<sup>1,2</sup> 潘静<sup>2,3</sup> 赵伊婷<sup>2,3</sup> 徐开寿<sup>2</sup>

<sup>1</sup>上海体育学院运动科学学院,上海 200438; <sup>2</sup>广州市妇女儿童医疗中心康复科,广州 510120;

<sup>3</sup>广州体育学院运动与健康学院,广州 510620

通信作者:徐开寿, Email: xksyi@126.com

**【摘要】** 脑性瘫痪(简称脑瘫)是引起儿童肢体残疾的最常见原因,主要表现为运动障碍和姿势异常。虚拟现实技术凭借沉浸性、交互性、构想性的特征,有利于调动患儿积极性,使其主动与虚拟环境中的对象进行重复性互动,可促进患儿的神经重塑,有效改善其运动和认知功能。本文就虚拟现实技术在脑瘫患儿中的临床应用及研究进展进行综述,旨在为临床实践和研究提供参考。

**【关键词】** 虚拟现实技术; 脑性瘫痪; 儿童; 运动功能; 远程康复

**基金项目:**国家自然科学基金(81902309,81672253),广东省自然科学基金(2019A1515010420)

**Funding:** National Natural Science Foundation of China (81672253, 81902309); Natural Science Foundation of Guangdong Province (2019A1515010420)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.03.022

脑性瘫痪(简称脑瘫)是由于发育中的胎儿或婴幼儿脑部受到非进行性损伤所导致的一组持续存在的中枢性运动和姿势发育障碍的活动受限症候群,可伴有感觉、知觉、认知、交流和行为障碍、癫痫及继发性肌肉骨骼问题<sup>[1-3]</sup>,目前临床其采用的康复技术(如限制-诱导运动疗法、力量训练、矫形器等)较枯燥乏味,患儿难以坚持<sup>[4-7]</sup>,然而虚拟现实(virtual reality)技术具有趣味性、多感官刺激和反馈及时等优势,可充分调动脑瘫患儿主观能动性,使其能够在虚拟环境中进行重复性的长期训练,从而更好地改善患儿运动及认知功能<sup>[8-12]</sup>。但迄今国内这方面的研究主要用于成年人<sup>[13-15]</sup>,在儿童的应用研究鲜见报道。本文就虚拟现实技术在脑瘫康复中的应用及研究进展进行简要综述,以期为国内临床实践和科研提供参考。

## 虚拟现实技术在脑瘫患儿中的临床应用

### 一、虚拟现实技术对肢体运动功能的影响

上肢的运动能力与患儿的日常生活、社会交往及日后的职业选择等密切相关,因此上肢功能训练一直是脑瘫康复中的重点<sup>[16]</sup>。Chiu等<sup>[17]</sup>选取62例6~13岁的偏瘫型脑瘫患儿,实验组32例患儿接受以家庭为中心的虚拟现实训练结合常规治疗,对照组进行常规治疗,每次40 min、3次/周、为期6周;采用握力器、9孔插板试验、Jebesen-Taylor手功能测试和监护者问卷调查监测其上肢运动功能变化,结果发现干预6周及12周后,2组患儿的上肢运动能力没有显著提高,但实验组的监护者发现患儿在日常生活中使用患侧上肢频率增加。Do等<sup>[18]</sup>和Pourazar等<sup>[12]</sup>的临床研究结果显示,脑瘫患儿接受虚拟现实训练后,其上肢运动速度、质量及灵巧性都有明显改善。Rathinam等<sup>[16]</sup>的系统综述发现,脑瘫患儿上肢功能障碍的改善与虚拟现实训练剂量存在正相关,但这一观点需要进一步验证。

虚拟现实训练不仅能够提高脑瘫患儿上肢运动能力,也可改善其出现的尖足、蹲伏和剪刀腿等异常步态<sup>[19]</sup>。Gagliardi等<sup>[20]</sup>选取16例7~16岁、粗大运动功能分级(gross motor func-

tion classification system, GMFCS)为I~III级的脑瘫患儿进行为期4周、5次/周、每次30 min的沉浸式虚拟现实步行训练,利用粗大运动功能测试量表(gross motor function measure, GMFM)、6 min步行测试、GRAIL实时步态分析系统和功能评估问卷进行评估,结果发现,与基线期相比,GMFM量表D区(站立)和E区(走、跑、跳)分数明显提高,步行速度、髋关节和踝关节活动度都有明显的改善。Ghais等<sup>[21]</sup>对虚拟现实训练矫正脑瘫患儿异常步态的Meta分析发现,虚拟现实训练可以改善脑瘫患儿的异常步态,尤其在步态速度、步幅及节奏等方面;并提出虚拟现实训练至少20~30 min/次、4次/周、超过8周才可能观察到训练效果,但这一结论需要更多研究去支持。总之,虚拟现实训练能提高脑瘫患儿肢体运动能力,除与虚拟现实技术提供丰富有趣的环境、充分调动患儿主观能动性等自身优势相关,其训练时间、年龄、认知水平和注意力的投入对于训练效果也至关重要<sup>[16,21-22]</sup>。

### 二、虚拟现实技术对平衡协调能力的影响

平衡与协调是儿童站立与行走的重要条件,脑瘫患儿因肢体痉挛、肌力弱和关节活动范围受限等因素,常出现平衡协调障碍,影响其整体运动能力。因此,脑瘫康复过程中需关注患儿平衡与协调能力的提升<sup>[3,23]</sup>。Meysen等<sup>[24]</sup>将11例5~18岁接受过下肢手术的脑瘫患儿(GFMCS I~IV级)进行随机分组,对照组7例患儿术后6周接受每日4 h、每周5 d的传统物理治疗,干预组4例患儿除接受传统物理治疗外,另接受每日30 min、3次/周的虚拟现实训练,每间隔3周,用躯干控制测试量表与视觉模拟评分评估患儿的坐姿平衡与愉悦感,直至患儿出院,结果显示与对照组相比,干预组的躯干控制测试量表评分有明显的提高,而视觉模拟评分有所下降;认为干预组患儿坐姿平衡改善的主要原因是干预组接受更多的训练,若对照组接受相同的训练时间和剂量,2组的测试结果显示差异无统计学意义。视觉模拟评分降低是因虚拟现实训练提供患儿有趣的训练环境和游戏,激发患儿主动参与的兴趣。Cho等<sup>[25]</sup>将18

例 4~16 岁、GMFCS I~III 级的双瘫型脑瘫患儿随机分为虚拟现实结合运动平板训练组和运动平板训练组,2 组接受为期 8 周、3 次/周、每次 30 min 的物理治疗和 30 min/次的运动平板或虚拟现实结合运动平板的训练,8 周后虚拟现实结合运动平板训练组的儿童平衡量表得分由 31.3 分提高到 34.6 分,GMFM 的 D 区和 E 区分别从 63.1 分和 52.7 分分别提高到 72.2 分和 57.9 分,这表明虚拟现实结合运动平板训练可提高脑瘫患儿的平衡与粗大运动能力,但样本量较小,该结果需要谨慎考虑。总之,虚拟现实训练能够提高脑瘫患儿的平衡协调能力,但因虚拟现实技术设备的多样性及脑瘫患儿不同程度的功能障碍,未来需要设计更好的研究方式以明确虚拟现实训练改善平衡与协调障碍的治疗效果。

### 三、虚拟现实技术对认知能力的影响

虚拟现实技术通过提供丰富有趣的虚拟环境激发患儿的参与训练的兴趣,完成目标型任务,从而帮助集中患儿的注意力,提高认知水平<sup>[26]</sup>。Shema-Shiratzky 等<sup>[27]</sup>对 14 例 8~12 岁注意力缺陷的患儿进行为期 6 周、3 次/周、每次 0.5~1.0 h 的机器人结合虚拟模拟跨障碍物的步行训练,分别于干预 6 周和 12 周后,利用 Neuro TraxTM 软件测评发现患儿的执行能力、记忆指数及注意力集中水平比基线水平高。Aran 等<sup>[28]</sup>将 90 例脑瘫患儿随机分为 2 组,2 组均行传统的作业治疗,干预组另在虚拟现实环境中完成 4 项任务,每次 45 min、2 次/周,为期 10 周;治疗 10 周后通过儿童动态职业认知评估发现,2 组的认知水平均有改善,但干预组的认知测试得分高于对照组,认为虚拟现实训练能够改善脑瘫患儿的空间知觉、视觉运动及思维操作,从而提高其认知能力。尽管相关研究已证明,虚拟现实训练能够改善认知障碍,但虚拟现实训练本身训练要求用户具有较好的理解能力,因此上述研究仅纳入认知水平尚可的患儿,未来需要进一步明确患儿进行虚拟现实认知训练的标准。

### 四、虚拟现实技术在远程康复中的应用

随着现代科技的进步,远程康复也正在起步,但实际使用过程中仍存在很多困难,而虚拟现实技术可助力其发展。Golomb 等<sup>[29]</sup>选取 3 例 13~15 岁的偏瘫型脑瘫患儿行远程虚拟现实上肢训练(为期 3 个月、5 次/周、30 分/次),利用握力计、Jebsen-Taylor 手功能测试和传感手套进行手功能评估,干预 3 个月后患儿的手握力、灵巧性和关节活动度与基线期相比有所改善。Farr 等<sup>[30]</sup>选取 5~6 岁 44 例脑瘫患儿(GMFCS I~II 级)进行以家庭为中心的远程虚拟现实训练(为期 12 周、3 次/周、每次 30 min),发现与基线水平相比,GMFM-66、站起-走等测试评分均明显提高。2 项研究均表明,家庭远程康复具有可行性,但远程虚拟现实训练也存在诸多问题,如操作的规范性、患儿参与的有效性等多种干扰因素一定程度上会影响治疗效果,未来在推广远程康复过程中需要进一步解决这些难题。

### 虚拟现实技术的可能作用机制

有学者<sup>[31-33]</sup>认为,虚拟现实技术主要通过激发脑瘫患儿的兴趣使其在虚拟环境中进行持续性重复性的练习,并利用听觉、视觉及本体感觉等多感知的持续反馈,使患儿得到正确行为和感觉的输入并固化,最终达到治疗目的,此观点是基于运动再学习和神经可塑性理论<sup>[34]</sup>,但内在的作用机制尚不清楚。

You 等<sup>[35]</sup>最早利用功能性磁共振成像分析,发现 1 例偏瘫型脑瘫患儿在经虚拟现实训练(为期 4 周、5 次/周、60 分/次)后双侧主要感觉运动区及同侧辅助运动区的皮质在训练期间被激活。Golomb 等<sup>[29]</sup>选取 3 例右侧偏瘫型脑瘫患儿进行以家庭为中心的虚拟现实训练(5 次/周、30 分/次,为期 3 个月),功能性磁共振成像监测发现,与基线相比,对侧(左)运动皮质区得到激活。总之,虚拟现实技术能够促进感觉运动系统重组,但这种重组如何具体帮助患儿肢体运动恢复尚不清楚,未来需要深入开展虚拟现实及其相关作用机制的研究,对明确虚拟现实技术的作用靶点及临床推广意义重大。

### 小结

虚拟现实技术凭借自身沉浸性、交互性、构想性等特点可充分调动患儿主动参与性,提高脑瘫患儿康复疗效。但作为一种新兴技术,目前虚拟现实技术的研究和使用过程中仍存在不足:①虚拟现实技术未开发针对不同年龄段(幼儿期、学龄前期及青春期)和 GMFCS 分级的训练场景;②各研究中入选标准、训练时间和训练强度各异,尚缺乏统一的治疗规范;③虚拟现实训练后脑瘫患儿在虚拟环境运动能力的提高,之后转移到现实环境的有效性,缺乏具体的评估标准;④相关文献有报道少量患儿出现恶心等不良反应<sup>[36]</sup>,虚拟现实技术应用中的适应证和禁忌证尚不明确;⑤虚拟现实相关设备尺寸过大、重量太重,患儿穿戴时配合程度待解决;⑥虚拟现实设备和场地投入费用昂贵,限制其大规模推广,这些都是未来研究需要重点解决的问题。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] Gulati S, Sondhi V. Cerebral palsy: an overview [J]. Indian J Pediatr, 2018, 85(11): 1006-1016. DOI: 10.1007/s12098-017-2475-1.
- [2] 徐开寿,肖农.康复治疗师临床工作指南-儿童疾患物理治疗技术[M].北京:人民卫生出版社,2019:30-50.
- [3] 中华医学会儿科学分会康复学组.儿童脑性瘫痪运动障碍的康复建议[J].中华儿科杂志,2020,58(2):91-95. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2020.02.005.
- [4] Novak I, Morgan C, Fahey M, et al. State of the evidence traffic lights 2019: systematic review of interventions for preventing and treating children with cerebral palsy [J]. Curr Neurol Neurosci Rep, 2020, 20(2): 3-6. DOI: 10.1007/s11910-020-1022-z.
- [5] 唐红梅,刘力茹,徐开寿.强制性运动疗法在偏瘫型脑性瘫痪中的应用及机制研究进[J].中国康复医学杂志,2018,33(10):1250-1253. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.10.026.
- [6] 中华医学会儿科学分会康复学组.儿童脑性瘫痪肉毒毒素治疗专家共识[J].中华儿科杂志,2018,56(7):484-488. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2018.07.002.
- [7] Xu K, He L, Mai J, et al. Muscle recruitment and coordination following constraint-induced movement therapy with electrical stimulation on children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized controlled trial [J]. PLoS One, 2015, 10(10): e0138608. DOI: 10.1371/journal.pone.0138608.
- [8] Ravi DK, Kumar N, Singhi P. Effectiveness of virtual reality rehabili-

- tation for children and adolescents with cerebral palsy: an updated evidence-based systematic review[J]. *Physiotherapy*, 2017, 103(3): 245-258. DOI: 10.1016/j.physio.2016.08.004.
- [9] Ren Z, Wu J. The effect of virtual reality games on the gross motor skills of children with cerebral palsy: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(20): 3885. DOI: 10.3390/ijerph16203885.
- [10] Wu J, Loprinzi PD, Ren Z. The rehabilitative effects of virtual reality games on balance performance among children with cerebral palsy: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(21): 4161. DOI: 10.3390/ijerph16214161.
- [11] Hung YC, Gordon AM. Virtual reality training for children with unilateral cerebral palsy [J]. *Dev Med Child Neurol*, 2018, 60(4): 334-335. DOI: 10.1111/dmcn.13699.
- [12] Pourazar M, Mirakhori F, Hemayattalab R, et al. Use of virtual reality intervention to improve reaction time in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial[J]. *Dev Neurorehabil*, 2018, 21(8): 515-520. DOI: 10.1080/17518423.2017.1368730.
- [13] Ahmad MA, Singh DKA, Mohd Nordin NA, et al. Virtual reality games as an adjunct in improving upper limb function and general health among stroke survivors[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(24): 5144. DOI: 10.3390/ijerph16245144.
- [14] Sheehy L, Tailon-Hobson A, Sveistrup H, et al. Sitting balance exercise performed using virtual reality training on a stroke rehabilitation inpatient service: a randomized controlled study[J]. *PM R*, 2020, 12(8): 754-765. DOI: 10.1002/pmrj.12331.
- [15] Montenegro JMF, Argyriou V. Cognitive evaluation for the diagnosis of Alzheimer's disease based on turing test and virtual environments[J]. *Physiol Behav*, 2017, 173: 42-51. DOI: 10.1016/j.physbeh.2017.01.034.
- [16] 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]. *J Hand Ther*, 2018, 32(4): 426-434.e1. DOI: 10.1016/j.jht.2018.01.006.
- [17] Chiu HC, Ada L, Lee HM. Upper limb training using will sports resort for children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized, single-blind trial [J]. *Clin Rehabil*, 2014, 28(10): 1015-1024. DOI: 10.1177/0269215514533709.
- [18] Do JH, Yoo EY, Jung MY, et al. The effects of virtual reality-based bilateral arm training on hemiplegic children's upper limb motor skills [J]. *NeuroRehabilitation*, 2016, 38(2): 115-127. DOI: 10.3233/NRE-161302.
- [19] Warnier N, Lambrechts S, de Port IV. Effect of virtual reality therapy on balance and walking in children with cerebral palsy: a systematic review[J]. *Dev Neurorehabil*, 2020, 23(8): 502-518. DOI: 10.1080/17518423.2019.1683907.
- [20] Gagliardi C, Turconi AC, Biffi E, et al. Immersive virtual reality to improve walking abilities in cerebral palsy: a pilot study [J]. *Ann Biomed Eng*, 2018, 46(9): 1376-1384. DOI: 10.1007/s10439-018-2039-1.
- [21] Ghai S, Ghai I. Virtual reality enhances gait in cerebral palsy: a training dose-response meta-analysis [J]. *Front Neurol*, 2019, 10: 236. DOI: 10.3389/fneur.2019.00236.
- [22] Martins FPA, Massetti T, Crocetta TB, et al. Analysis of motor performance in individuals with cerebral palsy using a non-immersive virtual reality task-a pilot study[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2019, 15: 417-428. DOI: 10.2147/NDT.S184510.
- [23] Porras DC, Siemonsma P, Inzerberg R, et al. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: systematic review[J]. *Neurology*, 2018, 90(22): 1017-1025. DOI: 10.1212/WNL.0000000000005603.
- [24] 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]. *Games Health J*, 2017, 6(1): 39-48. DOI: 10.1089/g4h.2016.0069.
- [25] 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 J Exp Med*, 2016, 238(3): 213-218. DOI: 10.1620/tjem.238.213.
- [26] Robert MT, Levin MF. Validation of reaching in a virtual environment in typically developing children and children with mild unilateral cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2018, 60(4): 382-390. DOI: 10.1111/dmcn.13688.
- [27] 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]. *Dev Neurorehabil*, 2019, 22(6): 431-436. DOI: 10.1080/17518423.2018.1476602.
- [28] Aran OT, Sahin S, Köse B, et al. Effectiveness of the virtual reality on cognitive function of children with hemiplegic cerebral palsy: a single-blind randomized controlled trial[J]. *Int J Rehabil Res*, 2020, 43(1): 12-19. DOI: 10.1097/MRR.0000000000000378.
- [29] Golomb MR, McDonald BC, Warden SJ, et al. In-home virtual reality videogame telerehabilitation in adolescents with hemiplegic cerebral palsy[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2010, 91(1): 1-8.e1. DOI: 10.1016/j.apmr.2009.08.153.
- [30] Farr WJ, Green D, Bremner S, et al. Feasibility of a randomised controlled trial to evaluate home-based virtual reality therapy in children with cerebral palsy[J]. *Disabil Rehabil*, 2021, 43(1): 85-97. DOI: 10.1080/09638288.2019.1618400.
- [31] Levac D, McCormick A, Levin MF, et al. Active video gaming for children with cerebral palsy: does a clinic-based virtual reality component offer an additive benefit: a pilot study[J]. *Phys Occup Ther Pediatr*, 2018, 38(1): 74-87. DOI: 10.1080/01942638.2017.1287810.
- [32] Bortone I, Leonardi D, Solazzi M, et al. Integration of serious games and wearable haptic interfaces for Neuro Rehabilitation of children with movement disorders: a feasibility study[J]. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*, 2017, 2017: 1094-1099. DOI: 10.1109/ICORR.2017.8009395.
- [33] Yu Y, Lauer RT, Tucker CA, et al. Visual dependence affects postural sway responses to continuous visual field motion in individuals with cerebral palsy[J]. *Dev Neurorehabil*, 2018, 21(8): 531-541. DOI: 10.1080/17518423.2018.1424265.
- [34] Massetti T, da Silva TD, Crocetta TB, et al. The clinical utility of virtual reality in neurorehabilitation: a systematic review[J]. *J Cent Nerv Syst Dis*, 2018, 10: 1179573518813541. DOI: 10.1177/1179573518813541.
- [35] You SH, Jang SH, Kim YH, et al. Cortical reorganization induced by virtual reality therapy in a child with hemiparetic cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2005, 47(9): 628-635. DOI: 10.1111/j.1469-8749.2005.tb01216.x.
- [36] Bashiri A, Ghazisaeedi M, Shahmoradi L. The opportunities of virtual reality in the rehabilitation of children with attention deficit hyperactivity disorder: a literature review[J]. *Korean J Pediatr*, 2017, 60(11): 337-343. DOI: 10.3345/kjp.2017.60.11.337.

(修回日期: 2022-01-20)

(本文编辑: 汪玲)