

基于虚拟现实技术的居家康复训练在脑瘫患儿中应用的范围综述

张静¹, 杨龙飞², 刘宇², 高岩³

(1.中国医科大学附属第一医院 手术室,辽宁 沈阳 110000;2.中国医科大学 护理学院,辽宁 沈阳 110000;
3.中国医科大学附属盛京医院 康复科,辽宁 沈阳 110000)

【摘要】目的 对基于虚拟现实技术的居家康复训练在脑瘫患儿中应用的研究进行范围审查,以全面了解其康复训练的优势与不足。**方法** 按照范围综述写作指南,在9个中英文数据库检索2021年8月31日以前发表的相关文献,对结果进行筛选、汇总和分析。**结果** 纳入30篇文献,对其发表时间、研究地点、研究类型、干预方法、干预时长及效果进行总结分析。**结论** 虚拟现实技术对患儿功能恢复有积极作用,建议未来开发更多个性化的康复项目,在治疗团队指导下制定合适的训练计划。

【关键词】 虚拟现实;脑瘫;康复训练;居家;范围综述

doi:10.3969/j.issn.2097-1826.2023.02.017

【中图分类号】 R473.2 【文献标识码】 A 【文章编号】 2097-1826(2023)02-0071-05

Rehabilitation Training Based on Virtual Reality Technology for Children with Cerebral Palsy at Home: A Scoping Review

ZHANG Jing¹, YANG Longfei², LIU Yu², GAO Yan³ (1. Operating Room, The First Hospital Affiliated to China Medical University, Shenyang 110000, Liaoning Province, China; 2. School of Nursing, China Medical University, Shenyang 110000, Liaoning Province, China; 3. Department of Rehabilitation, Shengjing Hospital, China Medical University, Shenyang 110000, Liaoning Province, China)

Corresponding author: LIU Yu, Tel: 024-31939546

【Abstract】Objective To do a scoping review of virtual reality-based rehabilitation training for children with cerebral palsy at home, and to comprehensively understand the pros and cons of virtual reality-based rehabilitation training. **Methods** According to the scope review writing guidelines, relevant articles published before August 31, 2021 were retrieved from 9 Chinese and English databases, and the results were screened, summarized and analyzed. **Results** Thirty articles were included, and the publication time, study location, study type, intervention methods, intervention duration and effects were summarized and analyzed. **Conclusions** Virtual reality technology has a positive effect on the functional recovery of children. It is suggested to develop more personalized rehabilitation projects in the future and develop appropriate training plans under the guidance of the treatment team.

【Key words】 virtual reality; cerebral palsy; rehabilitation training; at home; scoping review

[Mil Nurs, 2023, 40(02): 71-75]

脑性瘫痪(cerebral palsy, CP)简称脑瘫,是指由于非进行性损伤导致发育中的胎儿或婴儿出现中枢性运动障碍、姿势异常及神经功能紊乱等,是导致儿童发育期残障的主要原因^[1]。2020年报告显示,国内<6岁儿童CP患病率为0.23%,略高于国际平均患病率(0.21%)^[2]。康复是CP患儿的主要恢复手段,有研究^[3]发现虚拟现实(virtual reality, VR)技术对CP患儿肢体功能恢复有效,并能提高患儿康复的积极性。VR技术是利用计算机硬件和软件所创造的模拟环境和视觉感知刺激,通过穿戴设备实现人机互动,使用户产生身临其境的效果^[4]。目前,基于VR技术的康复训练干预方案不尽相同,其效果差异较大。本研究拟基于范围综述的方法学框

架,对VR技术在CP患儿居家康复中的应用现状进行分析,以全面了解VR康复训练的优势与不足,为未来进一步优化和推广提供参考。

1 资料和方法

将澳大利亚乔安娜布里格斯研究所(Joanna Briggs Institute, JBI)发布的范围综述写作指南^[5]作为方法学框架。

1.1 确定研究问题 经过文献查阅和小组讨论,确定本研究主要问题为探索VR技术在CP患儿居家康复训练中的应用现状、VR技术类型、使用效果等,提出VR康复训练的优势与不足。

1.2 文献检索 检索PubMed、Web of Science、EBSCO、Cochrane Library、中国知网、维普中文期刊文献库、万方医学网数据库、中国生物医学文献数据库和台湾学术文献数据库等9个数据库。确定研究主题为CP和VR技术,英文检索式为[(CP OR

【收稿日期】 2021-10-20 【修回日期】 2022-11-15

【作者简介】 张静,硕士,护士,电话:024-83283099

【通信作者】 刘宇,电话:024-31939546

cerebral palsy OR spastic quadriplegia OR spastic OR spastic hemiplegia OR ataxia OR mixed types) AND (virtual reality OR virtual simulation OR virtual environment)] AND (home OR home-based OR home based),中文检索式为[(脑瘫 OR 脑性瘫痪 OR 痉挛性偏瘫 OR 痉挛性双瘫 OR 痉挛性四肢瘫 OR 不随意型 OR 共济失调型 OR 混合型) AND(虚拟现实 OR 虚拟技术 OR 虚拟仿真 OR 模拟现实 OR 模拟仿真 OR 虚拟环境 OR 仿真技术)]AND(居家 OR 家庭)。检索时限为建库至2021年8月31日。

1.3 文献纳入及排除标准 根据PCC原则^[6],即研究对象(participants)、概念(concept)、情境(context),确定纳入标准。(1)研究对象(P):CP患儿,年龄≤18岁;(2)概念(C):涉及为CP患儿功能康复所提供的基于VR技术的训练,不包括仅基于视频游戏的干预;(3)情境(C):居家/家庭。排除标准:(1)研究计划书、指南、意见和政策性文件;(2)侧重于VR技术的发展;(3)综述性文献;(4)除中英文以外的语种;(5)无法找到全文。

1.4 文献筛选和资料提取分析 将文献导入Endnote X9软件,由2名研究者阅读标题和摘要独立筛选。阅读全文根据标准二次筛选。若意见不统一,二人讨论确定纳入与否。2名研究者分别对纳入文献进行数据提取,包括发表时间、研究地点、研究类型、干预方法、干预时长及效果等,最后汇总分析。

2 结果

初步检索得到178篇文献,除重后剩余140篇。阅读标题和摘要排除后剩余47篇文献。全文通读筛查,最终纳入30篇文献。

2.1 文献特征 本研究纳入的30项研究^[3,7-35]发表于2008—2021年,其中美国7项^[19-20,24-25,31-33]、中国台湾5项^[8,15,17-18,22]、瑞典4项^[14,26-27,35]、澳大利亚4项^[11,13,23,34]、英国2项^[3,30]、加拿大2项^[10,29]、丹麦2项^[12,21]、荷兰2项^[16,28],沙特阿拉伯1项^[7]和韩国1项^[9];随机对照研究15项^[3,7-20]、前后对照研究11项^[21-31]、质性研究2项^[34-35]和个案报告2项^[32-33],详细信息见表1。

表1 纳入文献特征

作者及年份	干预内容	干预时长	结果
Farr等 ^[3] ,2019	干预组(n=10)以任天堂Switch运行的VR游戏干预;对照组(n=11)常规训练	12周	粗大运动功能、平衡能力、跑步速度和敏捷性改善
Alsaiif等 ^[7] ,2015	干预组(n=20)以任天堂Switch运行的VR游戏干预;对照组(n=20)无特殊干预	12周	基本运动能力、大肌肉力量、行走效率改善
Chiu等 ^[8] ,2014	干预组(n=30)任天堂Switch运行的VR游戏+常规训练;对照组(n=27)常规训练	6周	手部协调性、手功能改善无意义;随访期间,握力和手部功能有改善
Cho等 ^[9] ,2016	干预组(n=9)以任天堂Switch运行的VR游戏干预;对照组(n=9)常规训练	8周	步态、平衡、肌力和粗大运动功能改善
Kassee等 ^[10] ,2017	干预组(n=3)以任天堂Switch运行的VR游戏干预;对照组(n=3)抗阻训练	6周	上肢功能质量、患手握力、完成上肢任务的困难程度改善
James等 ^[11] ,2015	干预组(n=47)以任天堂Switch运行的VR游戏干预;对照组(n=45)常规训练	20周	上肢单手速度和灵巧度、视空间能力改善,手部精细动作能力、上肢功能改善无意义
Lorentzen等 ^[12] ,2015	干预组(n=34)任天堂Switch运行的VR游戏+常规训练;对照组(n=12)常规训练	20周	日常活动能力改善无差异;肢体力量改善;平衡能力无改善
Mitchell等 ^[13] ,2016	干预组(n=47)以任天堂Switch运行的VR游戏干预;对照组(n=44)常规训练	20周	步行耐力、复合功能力量改善,日常活动能力、参与度改善无差异
Ramstrand等 ^[14] ,2012	干预组(n=8)以任天堂Switch运行的VR游戏干预;对照组(n=8)无特殊干预	5周	平衡能力、方向控制感无明显改变
Wang等 ^[15] ,2021	干预组(n=9)任天堂Switch运行的VR游戏+约束诱导疗法;对照组(n=9)约束诱导疗法	8周	上肢运动功能、手功能、患手使用率、儿童情绪、参与度改善,父母压力无变化
Jannink等 ^[16] ,2008	干预组(n=5)基于索尼PlayStation的VR游戏+常规训练;对照组(n=5)常规训练	6周	上肢功能质量改善
Chen等 ^[17] ,2013	干预组(n=13)采用虚拟骑行系统;对照组(n=14)常规训练	12周	粗大运动功能改善不明显;肌肉力量、股骨密度改善
Chen等 ^[18] ,2012	干预组(n=13)采用虚拟骑行系统;对照组(n=14)常规训练	12周	粗大运动功能、肌肉力量改善
Chen等 ^[19] ,2015	干预组(n=3)采用Xbox Kinect搭载的VR游戏干预;对照组(n=11)无特殊干预	8周	精细手部动作、身体协调性、力量改善
Levac等 ^[20] ,2017	干预组(n=5)Xbox Kinect搭载的VR游戏+游戏光盘干预;对照组(n=6)游戏光盘干预	7周	粗大运动功能、步行效率改善
Bilde等 ^[21] ,2011	9例采用任天堂Switch运行的VR游戏干预	20周	运动技能、肌肉力量、运动强度、视觉感知能力有改善,辅助手功能、平衡能力无变化

续表 1

作者及年份	干预内容	干预时长	结果
Chiu 等 ^[22] ,2018	20 例采用任天堂 Switch 运行的 VR 游戏+常规训练	8 周	肌肉力量、平衡能力、步行能力和参与独立性改善
Boyd 等 ^[23] ,2012	9 例采用任天堂 Switch 运行的 VR 游戏干预	20 周	运动技能、手功能力量改善
Golomb 等 ^[24] ,2010	3 例采用基于索尼 PlayStation 的 VR 游戏	5~9 周	前臂骨骼健康、握力、手功能、手指活动范围改善,平衡力无变化
Huber 等 ^[25] ,2010	3 例基于索尼 PlayStation 的 VR 游戏	18~43 h	手指活动范围、患手活动能力、握力和手功能改善
Sandlund 等 ^[26] ,2014	15 例采用基于索尼 PlayStation 的 VR 游戏+常规训练	4 周	平均速度、峰值速度下降,运动直线度、运动精度提高,峰值速度的相对时间无改善
Sandlund 等 ^[27] ,2011	15 例采用基于索尼 PlayStation 的 VR 游戏+常规训练	4 周	日常身体活动增加,上肢协调性、一般运动功能无明显改善
Meyns 等 ^[28] ,2017	3 例采用 Xbox Kinect 搭载的 VR 游戏干预	6 周	平衡能力提高,控制能力大部分改善
Knights 等 ^[29] ,2014	9 例采用 PCGamerBike Mini 干预	6 周	心血管健康水平提高;生活质量、步行效率、三头肌皮褶厚度改变无意义
Weightman 等 ^[30] ,2011	18 例采用家庭康复系统干预	4 周	日常活动能力、运动速度和流畅性改善;精细运动控制力和肘关节运动范围无变化
Wu 等 ^[31] ,2011	5 例采用遥控玩具车干预	24 周	感觉功能、日常活动能力、运动能力、手功能改善,患肢操作能力无变化
Golomb 等 ^[32] ,2011	1 例采用基于索尼 PlayStation 的 VR 游戏干预	48 周	前臂骨骼健康、手指活动范围、握力和手功能改善
Reifenberg 等 ^[33] ,2017	1 例采用 Timocco 干预	8 周	优势手活动能力、运动能力、自理行动能力、感知压力改善,上肢末梢功能无变化
James 等 ^[34] ,2015	10 例采用任天堂 Switch 运行的 VR 游戏干预	20 周	从儿童和家庭、干预特征和医疗服务人员三方面阐述 VR 的积极作用
Sandlund 等 ^[35] ,2012	15 例采用基于索尼 PlayStation 的 VR 游戏干预	4 周	VR 训练的积极体验;肢体功能改善

2.2 康复训练方法 在 30 项研究中,既有专门为 CP 患儿开发的康复训练系统($n=3$),如虚拟自行车、家庭康复系统等,其康复训练项目可以有针对性的满足患者需求;大部分研究使用的是基于任天堂

Switch^[3,7-15,21-23,34]、索尼 PlayStation^[16,24-27,32,35] 和 Xbox Kinect^[19-20,28] 运行的商用 VR 游戏。这些为大众开发的系统也越来越多地应用于康复领域,其康复训练方法见表 2。

表 2 基于 VR 技术的康复训练方法

项目	内容
训练设备	定制的康复训练系统:如虚拟骑行系统 ^[17-18] ,是一个与电脑相连的固定自行车系统,用户在虚拟健身房场景中进行交互式运动,电脑通过监测踏板运动判断是否增加运动阻力,用以改善患儿的下肢功能;或使用与电脑相连的传感力臂及操作杆,参与者通过控制上肢运动来完成虚拟训练任务 ^[30] 。 商用 VR 游戏:大多包括附带 VR 游戏软件的电脑及用于捕捉肢体运动的摄像头和用户身上的遥控器 ^[8-10] 、追踪条带 ^[11-13,21,23,34] 或感应球 ^[33] 等,用来监测其动作幅度或准确性。部分 VR 游戏还配备平衡板 ^[3,12,14,22,34] 、哑铃 ^[20] 等设备,以达到不同的训练目的。
训练内容	大部分研究 ^[7,9,11,13,14,16,20,22,24,26,29-31] 使用含有游戏成分的 VR 技术,如打网球或射击等,在虚拟场景中做出模拟动作即可完成游戏任务。 少数研究 ^[18,21,23] 在虚拟环境下通过互动练习或实时反馈完成训练,如跟着电脑中的虚拟角色作出动作,并通过实时得分不断修正,达到锻炼的目的。
实施人员	大多由家长监督实施。 部分研究 ^[8,12-13,15,20,22,29,34] 是由家长和治疗团队共同监督,并根据患儿状态不断调整训练难度。治疗团队大多由理疗师组成,部分研究将医生 ^[12-13] 、儿科专家 ^[12] 、心理专家 ^[11,13] 、助理护士 ^[17-18,29] 或招聘的顾问家长 ^[3] 、运动教练 ^[29] 纳入治疗团队。
训练时长	部分研究 ^[10,12,21,23,30] 强调运动重复次数,从 25~144 次不等。基于家庭的 VR 康复训练周期从 4 周到 14 个月不等,频率从每周 3~7 d 不等,强度从每天 15~90 min 不等。7 项研究 ^[8,10,12,15,19,25,31] 在 4 周到 14 个月内进行随访工作。
评价工具	评估上肢活动功能多用布氏运动能力测验、辅助手部评估等工具;评估全身运动功能使用最多的是运动和过程技能评估量表和粗大运动功能测量;下肢运动能力的改善主要通过行走测试来判断;部分研究使用不同量表评估患儿姿势控制与平衡能力的变化情况。

3 讨论

3.1 成立治疗团队以提高 VR 康复训练效果 在缺乏有效监督和指导下,居家康复的 CP 患儿可能疏于练习,或使用错误的训练方式而导致严重后果。基于 VR 技术的康复训练以互联网为媒介,实现治疗团队对 CP 患儿的远程指导和有效监督,为偏

远地区患儿的康复治疗提供可能。包括理疗师、儿科医生、护士等在内的治疗团队在制定合适的训练计划后,主要任务是监督居家训练情况,根据反馈调整训练难度,为患儿家庭提供持续的技术支持^[13,22,29]。VR 康复训练能有效改善患儿的运动功能和生活质量,但这并不意味着治疗的程序化,治疗团

队的个性化方案定制对患儿的康复至关重要^[20]。专科护士在团队中主要负责记录患儿的训练效果,与患儿及家庭照顾者定期联系,提供动作指导并解决出现的问题,这能够提高患儿参与训练的依从性^[3,29]。有研究^[36]发现,家庭照顾者对患儿康复效果有潜在影响,这要求护士不仅具备相关的专业知识,还要掌握健康教育、沟通协调等实践能力^[37],鼓励家庭照顾者参与康复训练,促进患儿恢复。

3.2 开发基于VR技术的康复项目以满足患儿个性化需求 有研究^[34]显示,76.7%的研究选择商用VR游戏,这些新奇的电子产品容易激发患儿兴趣,提高参与训练的动力。但由于商用游戏不是为治疗而设计,部分VR游戏需要重复使用且难度单一,有家长认为游戏内容和难度不能完全满足患儿需求,导致训练时间达不到要求^[3,27,34],几周后积极性减退^[14,35],因此开发难度多层次、种类多样化的游戏以满足患儿需求是有必要的;此外,任天堂游戏手柄、PS游戏机等对于低收入家庭来说价格仍是难以负担的^[38],很难推广使用。因此,开发低成本、个性化的康复系统更有利于VR技术在更多地区和家庭应用,这与Park等^[39]研究结果一致。项目开发团队应纳入多方面人才,富有经验的专科护士可以提供更多患儿日常面临的挑战,基于此构建虚拟训练场景,开发符合患儿需求的VR康复训练项目。

3.3 了解VR康复训练机制以完善干预流程 在纳入的28篇量性研究中,基于VR技术的康复训练对大部分CP患儿的运动、平衡功能有积极作用,但其机制尚不明确。有研究^[10,21]认为,在VR康复训练模式下,患儿的训练强度和训练量比其他方法更高。Boyd等^[23]指出,足够强度和持续时间的训练可能是神经可塑性改变的必要条件。因此,在未来研究中不仅要强调训练时长,还要针对特定动作进行重复练习,以达到最佳的康复效果^[21]。护士应为患儿及家属讲解其内在机制,强调训练的标准动作和时间要求,鼓励患儿积极练习。良好的训练效果会对患儿行为动机产生正向反馈,部分研究随访^[8,31,32]发现,患儿的功能改善在干预后几个月内持续存在,但大多数研究缺乏长期效果追踪,应在未来研究中完善随访工作。

3.4 促进VR技术在居家康复中的应用和发展 VR康复训练在CP患儿中的实施取得了初步成效,但还需从以下方面完善:(1)虑及样本人群的单一性,可纳入各个年龄阶段的患者^[17],或将VR康复项目应用于不同类型的CP患儿^[9],也有研究^[32]建议将VR游戏推广用于其他神经系统疾病患者,扩大使用范围^[11];(2)目前研究多为小样本量,需要更多

样本来探究VR康复训练的使用效果^[14,19]。此外,VR康复训练的形式、时长及训练频率等因素与训练效果的关系尚不清楚^[40],因此需要开展更多研究以制定合适的康复目标和计划;(3)选择准确的评估工具是至关重要的,有研究^[10,24]发现患儿的功能水平在训练后有很大进步,但在量表结果中无明显体现。因此需要使用或开发更合适的测评工具。

4 小结

基于VR技术的康复训练在CP患儿中应用逐渐广泛。本研究总结了VR技术在CP患儿功能锻炼中的优势与不足。在现有研究基础上,未来可开发更多适用于CP患儿的康复训练项目,针对不同的康复目标,制定个性化训练计划,实现对CP患儿功能障碍的最佳康复训练。

【参考文献】

- [1] CARR L J, REDDY S K, STEVENS S, et al. Definition and classification of cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2005, 47(8): 508-510.
- [2] 封玉霞, 庞伟, 李鑫, 等. 中国0~6岁儿童脑瘫患病率的Meta分析[J]. *中国全科医学*, 2021, 24(5): 603-607.
- [3] FARR W J, 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.
- [4] DECKER S, SPORTSMAN S, PUETZ L, et al. The evolution of simulation and its contribution to competency[J]. *J Contin Educ Nurs*, 2008, 39(2): 74-80.
- [5] LOCKWOOD C, DOS SANTOS K B, PAP R. Practical guidance for knowledge synthesis: scoping review methods[J]. *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)*, 2019, 13(5): 287-294.
- [6] PETERS M D J, MARNIE C, TRICCO A C, et al. Updated methodological guidance for the conduct of scoping reviews[J]. *JBI Evid Implement*, 2021, 19(1): 3-10.
- [7] ALSAIF A A, ALSENANY S. Effects of interactive games on motor performance in children with spastic cerebral palsy[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(6): 2001-2003.
- [8] CHIU H C, ADA L, LEE H M. Upper limb training using Wii Sports Resort™ for children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized, single-blind trial[J]. *Clin Rehabil*, 2014, 28(10): 1015-1024.
- [9] 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*, 2015, 238(3): 213-218.
- [10] KASSEY C, HUNT C, HOLMES M W R, et al. Home-based Nintendo Wii training to improve upper-limb function in children ages 7 to 12 with spastic hemiplegic cerebral palsy[J]. *J Pediatr Rehabil Med*, 2017, 10(2): 145-154.
- [11] JAMES S, ZIVIANI J, WARE R S, et al. Randomized controlled trial of web-based multimodal therapy for unilateral cerebral palsy to improve occupational performance[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2015, 57(6): 530-538.
- [12] LORENTZEN J, GREVE L Z, KLIIM-DUE M, et al. Twenty weeks of home-based interactive training of children with cerebral palsy improves functional abilities[J/OL]. [2021-10-05].

- <https://bmcnneurol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12883-015-0334-0>.DOI:10.1186/s12883-015-0334-0.
- [13] MITCHELL L E, ZIVIANI J, BOYD R N. A randomized controlled trial of web-based training to increase activity in children with cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2016, 58(7): 767-773.
- [14] RAMSTRAND N, LYGNEGARD F. Can balance in children with cerebral palsy improve through use of an activity promoting computer game? [J]. *Technol Health Care*, 2012, 20(6): 501-510.
- [15] WANG T N, CHEN Y L, SHIEH J Y, et al. Commercial exergaming in home-based pediatric constraint-induced therapy: a randomized trial[J]. *OTJR(Thorofare N J)*, 2021, 41(2): 90-100.
- [16] JANNINK M J, VAN DER WILDEN G J, NAVIS D W, et al. A low-cost video game applied for training of upper extremity function in children with cerebral palsy: a pilot study[J]. *Cyberpsych Beh*, 2008, 11(1): 27-32.
- [17] CHEN C L, CHEN C Y, LIAW M Y, et al. Efficacy of home-based virtual cycling training on bone mineral density in ambulatory children with cerebral palsy[J]. *Osteoporosis Int*, 2013, 24(4): 1399-1406.
- [18] CHEN C L, HONG W H, CHENG H, et al. Muscle strength enhancement following home-based virtual cycling training in ambulatory children with cerebral palsy[J]. *Res Dev Disabil*, 2012, 33(4): 1087-1094.
- [19] CHEN Y, GARCIA-VERGARA S, HOWARD A M. Effect of a home-based virtual reality intervention for children with cerebral palsy using super pop VR evaluation metrics: a feasibility study [J/OL]. [2022-09-05]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4589626/>.DOI:10.1155/2015/812348.
- [20] LEVAC D, MCCORMICK A, LEVIN M F, 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.
- [21] BILDE P E, KLIIM-DUE M, RASMUSSEN B, et al. Individualized, home-based interactive training of cerebral palsy children delivered through the Internet [J/OL]. [2022-09-05]. <https://bmcnneurol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2377-11-32>.DOI:10.1186/1471-2377-11-32.
- [22] CHIU H C, ADA L, LEE S D. Balance and mobility training at home using Wii Fit in children with cerebral palsy: a feasibility study[J/OL]. [2022-09-05]. <https://bmjopen.bmj.com/content/8/5/e019624.long>.DOI:10.1136/bmjopen-2017-019624.
- [23] BOYD R, MITCHELL L, ZIVIANI J, et al. Move it to improve it (Mitii)- Feasibility of a novel web-based therapy for children and adolescents with cerebral palsy[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2012, 54(Suppl 5): 76-77.
- [24] GOLOMB M R, MCDONALD B C, WARDEN S J, et al. In-home virtual reality videogame telerehabilitation in adolescents with hemiplegic cerebral palsy[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2010, 91(1): 1-8.
- [25] HUBER M, RABIN B, DOCAN C, et al. Feasibility of modified remotely monitored in-home gaming technology for improving hand function in adolescents with cerebral palsy[J]. *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, 2010, 14(2): 526-534.
- [26] SANDLUND M, DOMELLOF E, GRIP H, et al. Training of goal directed arm movements with motion interactive video games in children with cerebral palsy—a kinematic evaluation [J]. *Dev Neurorehabil*, 2014, 17(5): 318-326.
- [27] SANDLUND M, WATERWORTH E L, HAGER C. Using motion interactive games to promote physical activity and enhance motor performance in children with cerebral palsy[J]. *Dev Neurorehabil*, 2011, 14(1): 15-21.
- [28] MEYNS P, HARLAAR J, VAN DE POL L, et al. Can virtual reality games improve scores on clinical balance scales in children with cerebral palsy: preliminary results of a randomized controlled clinical trial[J]. *Gait Posture*, 2017, 57(1): 234-235.
- [29] KNIGHTS S, GRAHAM N, SWITZER L, et al. An innovative cycling exergame to promote cardiovascular fitness in youth with cerebral palsy [J]. *Dev Neurorehabil*, 2014, 19(2): 135-140.
- [30] WEIGHTMAN A, PRESTON N, LEVESLEY M, et al. Home based computer-assisted upper limb exercise for young children with cerebral palsy: a feasibility study investigating impact on motor control and functional outcome[J]. *J Rehabil Med*, 2011, 43(4): 359-363.
- [31] WU Y N, WILCOX B, DONOGHUE J P, et al. The impact of massed practice on children with hemiplegic cerebral palsy: pilot study of home-based toy play therapy[J]. *J Med Biol Eng*, 2012, 32(5): 331-342.
- [32] GOLOMB M R, WARDEN S J, FESS E, et al. Maintained hand function and forearm bone health 14 months after an in-home virtual-reality videogame hand telerehabilitation intervention in an adolescent with hemiplegic cerebral palsy[J]. *J Child Neurol*, 2011, 26(3): 389-393.
- [33] REIFENBERG G, GABROSEK G, TANNER K, et al. Feasibility of pediatric game-based neurorehabilitation using telehealth technologies: a case report [J]. *Am J Occup Ther*, 2017, 71(3): 7103190040p1-7103190040p8.
- [34] JAMES S, ZIVIANI J, KING G, et al. Understanding engagement in home-based interactive computer play: perspectives of children with unilateral cerebral palsy and their caregivers[J]. *Phys Occup Ther Pediatr*, 2016, 36(4): 343-358.
- [35] SANDLUND M, DOCK K, HAGER C K, et al. Motion interactive video games in home training for children with cerebral palsy: parents' perceptions[J]. *Disabil Rehabil*, 2012, 34(11): 925-933.
- [36] FERRE C L, BRANDAO M, SURANA B, et al. Caregiver-directed home-based intensive bimanual training in young children with unilateral spastic cerebral palsy: a randomized trial[J]. *Dev Med Child Neurol*, 2017, 59(5): 497-504.
- [37] VALDES B A, GLEGG S M N, 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.
- [38] SAENZ-DE-URTURI Z, GARCIA-ZAPIRAIN SOTO B. Kinect-based virtual game for the elderly that detects incorrect body postures in real time[J/OL]. [2022-09-05]. <https://www.mdpi.com/1424-8220/16/5/704>.DOI:10.3390/s16050704.
- [39] PARK S H, SON S M, CHOI J Y. Effect of posture control training using a virtual reality program on sitting balance and trunk stability in children with cerebral palsy[J]. *NeuroRehabilitation*, 2021, 48(3): 247-254.
- [40] DAREKAR A, MCFADYEN B J, LAMONTAGNE A, et al. Efficacy of virtual reality-based intervention on balance and mobility disorders post-stroke: a scoping review [J/OL]. [2022-09-05]. <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12984-015-0035-3>.DOI:10.1186/s12984-015-0035-3.