

虚拟现实技术在孤独症谱系障碍儿童干预中的研究进展

郭乃绮 综述 王瑜 审校

(上海交通大学医学院附属儿童医院上海市儿童医院儿童保健医学部康复科, 上海 200062)

[摘要] 孤独症谱系障碍 (autism spectrum disorder, ASD) 是儿童期神经发育障碍性疾病之一, 目前治疗尚无特效方法, 主要干预措施以教育训练和行为矫正为主。虚拟现实作为新兴技术, 是一种以计算机为基础的环境模拟系统, 通过融合多种来源信息实现交互式动态和沉浸式体验, 近年逐渐被应用于 ASD 儿童干预训练。该文将综述虚拟现实在 ASD 儿童的情绪认知、社交能力、生活能力、运动能力、特殊恐惧方面的干预研究进展, 为 ASD 干预训练拓展新方向。

[中国当代儿科杂志, 2024, 26 (4): 414-419]

[关键词] 孤独症谱系障碍; 虚拟现实; 干预; 儿童

Recent advances in the virtual reality technology for treating children with autism spectrum disorder

KUO Nai-Chi, WANG Yu. Department of Rehabilitation of Child Health Care Medical Division, Shanghai Children's Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200062, China (Wang Y, Email: wy_rain@126.com)

Abstract: Autism spectrum disorder (ASD) is one of the neurodevelopmental disorders in children, and there are currently no specific treatments, with the main interventions focusing on educational training and behavioral correction. Virtual reality, as an emerging technology, is a computer-based environmental simulation system that achieves interactive dynamics and immersive experiences by integrating information from multiple sources. In recent years, it has been gradually applied in intervention training for children with ASD. This paper reviews the recent studies on the effects of virtual reality intervention on emotional cognition, social skills, daily living skills, motor skills, and specific phobias in children with ASD, offering a new direction for ASD intervention training.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2024, 26(4): 414-419]

Key words: Autism spectrum disorder; Virtual reality; Intervention; Child

孤独症谱系障碍 (autism spectrum disorder, ASD) 作为神经发育障碍之一, 核心症状为沟通和社交互动存在缺陷、重复刻板行为、兴趣局限等^[1]。美国疾病预防控制中心 2023 年研究结果显示 8 岁儿童 ASD 患病率达 2.76%^[2], 中国 6~12 岁 ASD 儿童患病率约为 0.7%^[3]。ASD 病因尚不明确, 暂无特效药物, 主要通过康复训练治疗^[4]。现阶段干预训练模式对专业人员的质量和治療场景要

求较高。国内当前康复训练服务机构远不能满足现有 ASD 儿童的需求, 且地域差异大, 专业水平参差不齐^[5]; 长期训练费用昂贵, 很多家庭无力承受^[6]; 康复训练中为了降低刻板重复, 需频繁变换训练元素, 对传统干预模式带来极大挑战^[7]; 大部分 ASD 儿童存在感知觉异常, 传统干预模式对环境不同程度的直接接触会增加 ASD 儿童的不良情绪^[8-9]。综上, 一种能够保证 ASD 长程、高强

[收稿日期] 2023-10-30; [接受日期] 2024-02-26

[基金项目] 上海交通大学/医学院-儿童医院临床研究培育专项重点项目 (2021YLYZ02); 上海市卫生健康委员会公共卫生体系建设三年行动计划 (2020—2022 年) 重点学科建设项目 (GWV-10.1-XK14); 深圳市深爱公益基金会专项研究基金 (SA202300107); 上海交通大学医学院-儿童医院临床研究培育专项面上项目 (2022YLYM09)。

[作者简介] 郭乃绮, 女, 硕士研究生。

[通信作者] 王瑜, 女, 主任医师。Email: wy_rain@126.com。

度、个体化并且价格相对低廉的康复模式亟待开发应用。近年来,国内外许多研究应用虚拟现实(virtual reality, VR)技术对ASD儿童进行干预。本研究就VR在儿童ASD的干预进展进行综述。

1 VR技术的概述

VR技术能够融合现实世界和虚拟世界,借由算法,复制各种场景,产生身临其境的体验,并能够通过控制器进行人机交互,具有沉浸性、互动性、想象性特点^[10]。

在安全性方面,大多数真实情境存在危险性,VR技术能够对输入刺激与环境因素进行绝对控制,为学习规则和重复训练提供安全场所,使患儿在训练过程中获得一个较可控、社会挑战性小、舒适的环境^[11],并模拟相应情景提供训练^[12]。同时,VR能够营造出真实的环境,将同样的技能转换到不同环境中进行练习,并将学到的技能运用至现实生活中,根据不同患儿调整训练内容及刺激程度,针对个体的强项和弱项,制定个性化训练方案^[13]。再者,VR技术中可使用追踪器来追踪身体活动、眼动数据等客观数据,在干预期间进行实时调整,同时借此数据评价治疗效果^[14]。最后,VR技术可以使多个患儿同时进行干预训练,并结合互联网进行远程治疗,减少线下干预次数,节省患儿家庭医疗费用^[15]。

2 VR技术在ASD儿童干预中的研究进展

2.1 情绪认知

ASD患儿大多存在非言语沟通障碍和非典型的认知特征,包括社会认知和灵活认知受损,表现为对面部表情识别反应障碍和较差的理解他人情绪的能力^[16]。许多ASD患儿无法使用适应性策略进行情绪调节^[17]。其中,认知障碍与情绪失调、社交缺陷、感觉异常存在关联性,能够影响社会关系发展^[18]。Ip等^[19]基于Kolb学习风格框架,在日常生活中创造各种社会情境引发体验式学习。采用随机对照试验,以176名6~12岁ASD儿童为研究对象,为干预组设计8个模拟日常生活的VR学习场景。患儿首先体验某些社会互动中的感受,并获得社会规范及知识技能,再根据学习结果应用至后续场景。其中,面部表情的识别和自我情绪认知已被嵌入学习场景中,患儿先进行面部表情拼图匹配,接着进入冲突场景中识别自己情绪,

于最终场景将先前所学技能进行应用。结果提示,试验组心理教育评核量表(Psychoeducational Profile Third Edition)中情感表达和社会互惠的两个子测验量表平均得分在干预后显著提高($P<0.001$),而对照组在干预前后差异无统计学意义。Chu等^[20]开发基于VR技术的认知行为训练系统的训练方案,招募78名学龄前期ASD儿童参与随机对照试验,对照组接受学习风格简介(learning style profile)干预训练,VR组患儿在学习风格简介训练基础上,给予VR干预。VR干预是将沉浸式交互式视频游戏技术与应用行为分析和感觉统合训练相结合,由3个场景和6个步骤组成,包括游戏感知、规则交流、互动交流、认知训练、反应抑制和综合反馈。研究发现,两组ASD儿童的孤独症儿童行为量表(Autism Behavior Checklist)的总分、感觉、交往、运动、生活自理能力得分,以及儿童孤独症评定量表(Childhood Autism Rating Scale)总分均较干预前显著下降($P<0.05$),而VR组在干预前后上述量表评分的差值均显著高于对照组($P<0.05$),提示基于VR技术的认知行为训练系统在ASD儿童康复训练中起积极正向作用。

2.2 社交能力

相较于同龄人,ASD患儿缺乏早期社会兴趣及动机,影响社会参与能力^[21]。即使他们表现出社交兴趣,也缺乏与他人进行适当互动的社交技能^[22]。Ke等^[23]为9~11岁ASD儿童设计基于VR互动和模拟的社交沙盘游戏,游戏根据目标结构分为以问题导向(如益智游戏等)或自我决定(如探索和社会游戏等)。游戏内容中存在基于个性化和标准化的部分,旨在培训人际沟通中的反应和启动,解决任务相关问题时的谈判和认知灵活性,以及自我表达能力。患儿家长于干预前后完成患儿的社交沟通量表(Social Communication Questionnaire, SCQ)和社会技能评定量表(Social Skills Questionnaire, SSQ)评定患儿干预前后的社交能力变化。ASD患儿的SCQ得分较前下降($P=0.01$),提示ASD患儿社交沟通障碍下降,而SSQ得分较前上升($P<0.05$),提示ASD患儿社交技能提升。因此,该干预模式能够提升ASD患儿的社交能力。Soltiyeva等^[24]针对4~15岁ASD儿童及青少年开发了“我可爱奶奶的农场”自适应沉浸式VR训练系统,该系统中ASD患儿进行与农夫和动物互动的任务,其间随着患儿在情境中的情绪和行为变化,虚拟人物(农夫)的行为也随之改变。

ASD儿童第一阶段先探索VR环境并问候农夫,第二阶段进入家中与农夫和动物进行互动,其间两阶段通过完成指定任务取得分数。研究发现,80%的ASD儿童在干预过程中积极与虚拟角色互动。所有ASD儿童第一阶段和第二阶段平均得分自2.83分提高至3.33分,提示ASD儿童能够适应训练环境,经过训练获得较好表现。ASD儿童利用此系统进行社交训练,能够改善社交互动和沟通技巧。

2.3 生活能力

ASD儿童存在社交和社会互动不足使得他们无法接纳社会暗示和规范^[25],导致生活能力较弱,受伤风险较高^[26]。VR能创建一个模拟的自然环境,不但有利于技能泛化,还给予风险较低的训练环境。Tan等^[27]开发安全过马路的VR严肃游戏来锻炼ASD儿童学习交通规则及安全过马路的方法。患儿首先在辅导课程学习交通规则的基本知识,并在有限的帮助下在四个游戏级别的交通场景中进行严肃游戏,最后接受简单的问题测试。研究结果显示,3/5的ASD儿童获得满分,2名儿童在测验中只犯了一个错误,提示多数参与者在干预后获得过马路的技能,并学会识别交通标志。

相较于正常发育儿童,ASD青少年就业率较低,特别是在面试求职环节存在障碍^[28]。Genova等^[29]通过随机对照试验来评估基于VR的面试工具能否改善ASD青少年求职过程中面试表现。对照组接受学校提供的标准特殊教育就业前过渡服务,试验组在对照组基础上接受为期10h的虚拟现实面试培训(virtual reality job interview training, VRJIT)。VRJIT是互联网提供的计算机化模拟面试器,包含面试技能的传授和与虚拟角色模拟面试环节,提供重复练习的机会和绩效反馈机制。结果显示,干预组在盲目评分模拟面试评定量表(Mock Interview Rating Scale)中受访者表现方面评分较干预前显著提升($P=0.03$)。

2.4 运动能力

ASD儿童普遍存在运动障碍,表现为难以掌握与年龄相仿的运动技能,在平衡、运动计划、步态、精细和大体运动协调中功能较为低下^[30]。VR提供安全的平台可实现身体运动的训练。Moraes等^[31]设计的MoveHero软件游戏,要求在游戏中不允许球体掉落,球体到达目标位置时才能抓住球体,在试验中分别存在VR虚拟任务和触屏界面的真实任务。将10~16岁间的ASD患儿分为两个序列,序列A(先行虚拟试验,再转移至真实试

验)和序列B(先行真实试验,再转移至虚拟试验)。结果显示患儿在接受序列A后游戏的准确度和精度显著升高($P<0.001$),提示虽然在VR环境中训练较真实环境困难,但能获得推广到真实情况的感知运动能力,促使运动能力自虚拟向真实环境的泛化。

He等^[32]设计基于VR的多级别辅助治疗系统,招募12名6~8岁ASD儿童参加随机对照试验,试验组于不同训练场景中通过玩具或垃圾分类进行动手能力训练,通过投篮游戏进行身体协调能力的训练,过程中根据受试者表现,调整训练难度;对照组过程中未接受干预。将训练系统中游戏任务得分和正确率作为评估内容,结果显示,试验组于干预前后物品分类的正确率自20%~40%提升至50%~75%,而在投篮游戏分数自12~18分提高至22~28分,而对照组正确率和得分无明显变化或出现下降,表明此训练模式能够提升ASD儿童动手能力和身体协调能力。

2.5 特殊恐惧

ASD症状除了常见的社交障碍和重复刻板行为,还存在对物体/情况的极端或非理性恐惧^[33]。同时,对感觉刺激的非典型反应,特别是声音敏感性,表现为对特定声音出现回避行为,产生自主性恐惧反应如捂住耳朵、打击耳朵等自伤行为^[34]。研究显示,负面行为的激活是特定种类的声音引起,而非特定强度和频率的声音引起的,提示该反应是由边缘系统引起的心理-情绪反应,可以认为是特定恐惧的一种^[35]。Johnston等^[36]利用交互式VR严肃游戏SoundFields,在VR环境中使用基于头部跟踪双耳的空间音频,让参与者接触常见环境中令他们感到痛苦的声音。针对ASD青少年进行4次试验,使用改良笑脸评定量表(Modified Smiley-Face Assessment Scale)评定自我焦虑评分,发现参与者自我焦虑评分较干预前显著降低($P=0.026$),提示SoundFields能够帮助ASD患儿改善听觉超敏反应的有效工具。Maskey等^[37]使用平板电脑输出的VR结合认知行为疗法对8名8~12岁ASD儿童进行研究,参与者暴露在模拟恐惧刺激的层次结构中,包括蜜蜂、狗和开放空间,在多会话干预之后,ASD儿童的Spence儿童焦虑量表(Spence Children's Anxiety Scale)评定的焦虑症评分较干预前下降,平均分数自41.0分下降至31.3分。长期随访结果显示,ASD儿童干预后6个月的焦虑症评分(平均分数为38.0分)仍低于干

预前基线值,提示该干预模式的效果能长期维持,且对现实世界中的恐惧症有所改善。

3 VR 技术应用于 ASD 儿童的局限性及展望

3.1 VR 技术应用于 ASD 儿童的问题及局限性

VR 技术是一种新兴的 ASD 治疗方法,其研究还处在起步阶段,仍有许多不足之处。首先,网络病是在 VR 体验中的常见的身体安全问题,表现为疲劳、不适和头晕,甚至引发眼睛疲劳、恶心及身体定向障碍等症状^[38]。为减少上述不良反应,未来可设计和发放网络病易感性问卷,根据问卷的结果进行干预前风险评估,受试者在初次使用 VR 时需立即报告不适并得到治疗师的支持^[39]。其次,多数研究侧重 VR 技术对 ASD 社交和情感技能的干预效果,缺乏证据表明 VR 技术在 ASD 其他方面的效果,重复刻板行为作为 ASD 核心症状之一,暂无任何一项 VR 相关干预研究能解决此问题^[40]。因此,在未来可以针对其余领域进行更多的研究。最后,现今基于 VR 技术的 ASD 儿童干预的研究样本量较少,且研究应用的 VR 技术类型及评估测量工具多样,尚无法在技术类型及干预效果间建立系统的关系,而且多数研究缺乏后续的随访评估,无法得知 VR 干预的长期效果。综上,未来可进行多中心大样本研究,并在干预后进行长期随访。

3.2 VR 技术应用于 ASD 儿童的展望

现阶段对 VR 技术对 ASD 儿童康复疗效评估主要依赖于行为学评估,如任务或测试中表现的改善,关于这些行为的神经机制尚不清楚。未来可以利用神经生理学和神经成像技术等客观数据来追踪 ASD 儿童的大脑反应变化,从大脑可塑性的角度评估基于 VR 的多模式训练的疗效,阐明行为改善的神经基础^[41]。另一方面,将 VR 技术与人工智能、互联网、增强现实等技术相结合,建构元宇宙场景,形成全息仿真、虚实融合、虚实互联的技术,为 ASD 儿童提供个性化的支持^[42]。

作者贡献声明:郭乃绮负责研究设计及文献查阅;王瑜负责进行指导与校对。

利益冲突声明:所有作者均声明无利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders[M]. 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Association, 2013: 591-643.
- [2] Maenner MJ, Warren Z, Williams AR, et al. Prevalence and characteristics of autism spectrum disorder among children aged 8 years: Autism and Developmental Disabilities Monitoring Network, 11 sites, United States, 2020[J]. MMWR Surveill Summ, 2023, 72(2): 1-14. PMID: 36952288. PMCID: PMC10042614. DOI: 10.15585/mmwr.ss7202a1.
- [3] Zhou H, Xu X, Yan W, et al. Prevalence of autism spectrum disorder in China: a nationwide multi-center population-based study among children aged 6 to 12 years[J]. Neurosci Bull, 2020, 36(9): 961-971. PMID: 32607739. PMCID: PMC7475160. DOI: 10.1007/s12264-020-00530-6.
- [4] Hyman SL, Levy SE, Myers SM, et al. Identification, evaluation, and management of children with autism spectrum disorder[J]. Pediatrics, 2020, 145(1): e20193447. PMID: 31843864. DOI: 10.1542/peds.2019-3447.
- [5] 李海, 赵翔, 洪琦, 等. 孤独症谱系障碍儿童家长的家庭干预培训需求调查[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(11): 1571-1575. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2023.11.014.
- [6] Bertacchini F, Demarco F, Scuro C, et al. A social robot connected with chatGPT to improve cognitive functioning in ASD subjects[J]. Front Psychol, 2023, 14: 1232177. PMID: 37868599. PMCID: PMC10585023. DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1232177.
- [7] Shane HC, Albert PD. Electronic screen media for persons with autism spectrum disorders: results of a survey[J]. J Autism Dev Disord, 2008, 38(8): 1499-1508. PMID: 18293074. DOI: 10.1007/s10803-007-0527-5.
- [8] Chen Q, Deister CA, Gao X, et al. Dysfunction of cortical GABAergic neurons leads to sensory hyper-reactivity in a Shank3 mouse model of ASD[J]. Nat Neurosci, 2020, 23(4): 520-532. PMID: 32123378. PMCID: PMC7131894. DOI: 10.1038/s41593-020-0598-6.
- [9] Lee JH, Lee TS, Yoo SY, et al. Metaverse-based social skills training programme for children with autism spectrum disorder to improve social interaction ability: an open-label, single-centre, randomised controlled pilot trial[J]. EClinicalMedicine, 2023, 61: 102072. PMID: 37483546. PMCID: PMC10359727. DOI: 10.1016/j.eclinm.2023.102072.
- [10] Yeung AWK, Tosevska A, Klager E, et al. Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the scientific literature[J]. J Med Internet Res, 2021, 23(2): e25499. PMID: 33565986. PMCID: PMC7904394. DOI: 10.2196/25499.
- [11] McCleery JP, Zitter A, Solórzano R, et al. Safety and feasibility of an immersive virtual reality intervention program for teaching police interaction skills to adolescents and adults with autism[J]. Autism Res, 2020, 13(8): 1418-1424. PMID: 32762029. DOI: 10.1002/aur.2352.
- [12] Yazici MS, McKenzie B. Strategies used to develop socio-

- communicative skills among children with autism in a Turkish special education school and implications for development of practice[J]. *Int J Disabil Dev Educ*, 2020, 67(5): 515-535. DOI: 10.1080/1034912X.2019.1614152.
- [13] Bian DY, Wade J, Swanson A, et al. Design of a physiology-based adaptive virtual reality driving platform for individuals with ASD[J]. *ACM Trans Access Comput*, 2019, 12(1): 2. DOI: 10.1145/3301498.
- [14] Hocking DR, Ardalan A, Abu-Rayya HM, et al. Feasibility of a virtual reality-based exercise intervention and low-cost motion tracking method for estimation of motor proficiency in youth with autism spectrum disorder[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2022, 19(1): 1. PMID: 34996473. PMCID: PMC8742363. DOI: 10.1186/s12984-021-00978-1.
- [15] Johnson CR, Barto L, Worley S, et al. Telehealth parent training for sleep disturbances in young children with autism spectrum disorder: a randomized controlled trial[J]. *Sleep Med*, 2023, 111: 208-219. PMID: 37806263. DOI: 10.1016/j.sleep.2023.08.033.
- [16] Tavassoli T, Miller LJ, Schoen SA, et al. Sensory reactivity, empathizing and systemizing in autism spectrum conditions and sensory processing disorder[J]. *Dev Cogn Neurosci*, 2018, 29: 72-77. PMID: 28579480. PMCID: PMC6987900. DOI: 10.1016/j.dcn.2017.05.005.
- [17] Berkovits L, Eisenhower A, Blacher J. Emotion regulation in young children with autism spectrum disorders[J]. *J Autism Dev Disord*, 2017, 47(1): 68-79. PMID: 27838805. DOI: 10.1007/s10803-016-2922-2.
- [18] Goldsmith SF, Kelley E. Associations between emotion regulation and social impairment in children and adolescents with autism spectrum disorder[J]. *J Autism Dev Disord*, 2018, 48(6): 2164-2173. PMID: 29427118. DOI: 10.1007/s10803-018-3483-3.
- [19] Ip HHS, Wong SWL, Chan DFY, et al. Enhance affective expression and social reciprocity for children with autism spectrum disorder: using virtual reality headsets at schools[J]. *Interact Learn Environ*, 2022. Epub ahead of print. DOI: 10.1080/10494820.2022.2107681.
- [20] Chu L, Shen L, Ma C, et al. Effects of a nonwearable digital therapeutic intervention on preschoolers with autism spectrum disorder in China: open-label randomized controlled trial[J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25: e45836. PMID: 37616029. PMCID: PMC10485722. DOI: 10.2196/45836.
- [21] Neuhaus E, Webb SJ, Bernier RA. Linking social motivation with social skill: the role of emotion dysregulation in autism spectrum disorder[J]. *Dev Psychopathol*, 2019, 31(3): 931-943. PMID: 30957732. PMCID: PMC8148424. DOI: 10.1017/S0954579419000361.
- [22] Ung D, Wood JJ, Ehrenreich-May J, et al. Clinical characteristics of high-functioning youth with autism spectrum disorder and anxiety[J]. *Neuropsychiatry (London)*, 2013, 3(2): 10.2217/npv.13.9. PMID: 24179485. PMCID: PMC3808966. DOI: 10.2217/npv.13.9.
- [23] Ke F, Moon J, Sokolij Z. Designing and deploying a virtual social sandbox for autistic children[J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2022. Epub ahead of print. PMID: 36524469. DOI: 10.1080/17483107.2022.2156630.
- [24] Soltiyeva A, Oliveira W, Madina A, et al. My lovely granny's farm: an immersive virtual reality training system for children with autism spectrum disorder[J]. *Educ Inf Technol (Dordr)*, 2023, 28(12): 16887-16907. PMID: 37361850. PMCID: PMC10199436. DOI: 10.1007/s10639-023-11862-x.
- [25] Lu A, Chan S, Cai YY, et al. Learning through VR gaming with virtual pink dolphins for children with ASD[J]. *Interact Learn Environ*, 2018, 26(6): 718-729. DOI: 10.1080/10494820.2017.1399149.
- [26] Lee LC, Harrington RA, Chang JJ, et al. Increased risk of injury in children with developmental disabilities[J]. *Res Dev Disabil*, 2008, 29(3): 247-255. PMID: 17582739. DOI: 10.1016/j.ridd.2007.05.002.
- [27] Tan QP, Huang LH, Xu D, et al. Serious game for VR road crossing in special needs education[J]. *Electronics (Basel)*, 2022, 11(16): 2568. DOI: 10.3390/electronics11162568.
- [28] Penton T, Bowling N, Vafeiadou A, et al. Attitudes to interpersonal touch in the workplace in autistic and non-autistic groups[J]. *J Autism Dev Disord*, 2023, 53(12): 4731-4743. PMID: 36083393. PMCID: PMC10627924. DOI: 10.1007/s10803-022-05710-z.
- [29] Genova HM, Lancaster K, Morecraft J, et al. A pilot RCT of virtual reality job interview training in transition-age youth on the autism spectrum[J]. *Res Autism Spectr Disord*, 2021, 89: 101878. DOI: 10.1016/j.rasd.2021.101878.
- [30] Kilroy E, Ring P, Hossain A, et al. Motor performance, praxis, and social skills in autism spectrum disorder and developmental coordination disorder[J]. *Autism Res*, 2022, 15(9): 1649-1664. PMID: 35785418. PMCID: PMC9543450. DOI: 10.1002/aur.2774.
- [31] Moraes ÍAP, Lima JA, Silva NM, et al. Effect of longitudinal practice in real and virtual environments on motor performance, physical activity and enjoyment in people with autism spectrum disorder: a prospective randomized crossover controlled trial[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2022, 19(22): 14668. PMID: 36429386. PMCID: PMC9690405. DOI: 10.3390/ijerph192214668.
- [32] He JL, Zhang HY, Zhao HY. Research on the auxiliary treatment system of childhood autism based on virtual reality[J]. *J Decis Syst*, 2021. Epub ahead of print. DOI: 10.1080/12460125.2021.2003512.
- [33] Leyfer OT, Folstein SE, Bacalman S, et al. Comorbid psychiatric disorders in children with autism: interview development and rates of disorders[J]. *J Autism Dev Disord*, 2006, 36(7): 849-861. PMID: 16845581. DOI: 10.1007/s10803-006-0123-0.
- [34] Stiegler LN, Davis R. Understanding sound sensitivity in individuals with autism spectrum disorders[J]. *Focus Autism Other Dev Disabl*, 2010, 25(2): 67-75. DOI: 10.1177/1088357610364530.
- [35] Lucker JR. Auditory hypersensitivity in children with autism

- spectrum disorders[J]. *Focus Autism Other Dev Disabl*, 2013, 28(3): 184-191. DOI: 10.1177/1088357613475810.
- [36] Johnston D, Egermann H, Kearney G. SoundFields: a virtual reality game designed to address auditory hypersensitivity in individuals with autism spectrum disorder[J]. *Appl Sci*, 2020, 10(9): 2996. DOI: 10.3390/app10092996.
- [37] Maskey M, McConachie H, Rodgers J, et al. An intervention for fears and phobias in young people with autism spectrum disorders using flat screen computer-delivered virtual reality and cognitive behaviour therapy[J]. *Res Autism Spectr Disord*, 2019, 59: 58-67. DOI: 10.1016/j.rasd.2018.11.005.
- [38] Oh H, Lee G. Feasibility of full immersive virtual reality video game on balance and cybersickness of healthy adolescents[J]. *Neurosci Lett*, 2021, 760: 136063. PMID: 34174345. DOI: 10.1016/j.neulet.2021.136063.
- [39] Chen CY, Chuang CH, Tsai TL, et al. Reducing cybersickness by implementing texture blur in the virtual reality content[J]. *Virtual Real*, 2022, 26(2): 789-800. DOI: 10.1007/s10055-021-00587-2.
- [40] Karami B, Koushki R, Arabgol F, et al. Effectiveness of virtual/augmented reality-based therapeutic interventions on individuals with autism spectrum disorder: a comprehensive meta-analysis[J]. *Front Psychiatry*, 2021, 12: 665326. PMID: 34248702. PMCID: PMC8260941. DOI: 10.3389/fpsy.2021.665326.
- [41] De Luca R, Naro A, Colucci PV, et al. Improvement of brain functional connectivity in autism spectrum disorder: an exploratory study on the potential use of virtual reality[J]. *J Neural Transm (Vienna)*, 2021, 128(3): 371-380. PMID: 33677622. DOI: 10.1007/s00702-021-02321-3.
- [42] Yang DW, Zhou J, Chen RC, et al. Expert consensus on the metaverse in medicine[J]. *Clin eHealth*, 2022, 5: 1-9. DOI: 10.1016/j.ceh.2022.02.001.
- (本文编辑: 王颖)
- (版权所有©2024 中国当代儿科杂志)