

- [30] Bielczyk NZ, Uithol S, van Mourik T, et al. Disentangling causal webs in the brain using functional magnetic resonance imaging: A review of current approaches[J]. *Netw Neurosci*, 2019, 3(2):237—273.
- [31] Zuo XN, Kelly C, Di Martino A, et al. Growing together and growing apart: regional and sex differences in the lifespan developmental trajectories of functional homotopy [J]. *Journal of Neuroscience*, 2010, 30(45):15034—15043.
- [32] Shan Y, Wang YS, Zhang M, et al. Homotopic connectivity in early pontine infarction predicts late motor recovery [J]. *Front Neurol*, 2018, 9:907.
- [33] Nijssen B, Visser-Meily JM, van Mierlo ML, et al. Temporal evolution of poststroke cognitive impairment using the montreal cognitive assessment[J]. *Stroke*, 2017, 48(1): 98—104.
- [34] Farahani FV, Karwowski W, Lighthall NR, et al. Application of graph theory for identifying connectivity patterns in human brain networks: A systematic review [J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2019, 13:585.
- [35] Zhang J, Zhang Y, Wang L, et al. Disrupted structural and functional connectivity networks in ischemic stroke patients[M]. Elsevier Ltd, 2017, 364:212—225.
- [36] Bournonville C, Hénon H, Dondaine, et al. Identification of a specific functional network altered in poststroke cognitive impairment[J]. *Neurology*, 2018, 90(21): e1879—e1888.
- [37] Hagberg G, Fure B, Thommessen B, et al. Predictors for favorable cognitive outcome post-stroke: a seven-year follow-up study[J]. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 2019, 48(1—2):45—55.
- [38] Molad J, Halleli H, Korczyn AD, et al. Vascular and neurodegenerative markers for the prediction of post-stroke cognitive impairment: results from the TABASCO study[J]. *J Alzheimers Dis*, 2019, 70(3):889—898.
- [39] Casolla B, Caparros F, Cordonnier C, et al. Biological and imaging predictors of cognitive impairment after stroke: a systematic review[J]. *J Neurol*, 2019, 266(11): 2593—2604.
- [40] Wu JX, Xue J, Zhuang L, et al. Plasma parameters and risk factors of patients with post-stroke cognitive impairment [J]. *Ann Palliat Med*, 2020, 9(1):45—52.

· 综述 ·

虚拟现实技术在孤独谱系障碍治疗领域的应用研究进展*

赵晓鑫¹ 杜亚松^{1,2}

孤独谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一种神经发育障碍性疾病,其基本特征是交互性社交交流和社交互动的持续损害和受限的、重复的行为、兴趣或活动模式^[1]。2018年一项对我国30个孤独症流行病学调查的meta分析显示,我国孤独症患者患病率约为1.4%^[2]。ASD病因尚不明确,亦无特效药物治疗,目前主要通过康复训练提高患者在日常生活中的自理、认知、社会交往及社会适应的能力。然而我国儿童精神科医师及康复培训人员严重缺乏,训练机构培训水平参差不齐,不同地区医疗资源分布不均衡,因此远不能满足广大患儿早期干预的需求。作为一种计算机领域的高新

技术,虚拟现实(virtual reality, VR)技术治疗ASD的研究成为近年来十分活跃的领域。本文就VR技术在ASD治疗领域的应用进行综述。

1 VR技术及其应用于ASD治疗的优势

1.1 VR技术

VR技术,是通过多媒体平台构建的一个可能实现或是不可能实现的虚拟事物或环境,具备交互性、沉浸性与想象性的特性,可以借由“虚拟化身”使操作者沉浸在计算机生成的虚拟环境中,并成为其中的一员,能够与虚拟环境中的各

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.06.026

*基金项目:重大慢性非传染性疾病防控研究专项(2017YFC1309903);上海市卫健委卫生行业临床研究专项(20194Y0071)

1 上海交通大学医学院附属精神卫生中心儿童与青少年精神科,上海市,200030; 2 通讯作者

第一作者简介:赵晓鑫,男,在读博士; 收稿日期:2020-03-21

种对象进行实时交互,从而获得身临其境的体验^[3]。近年来,VR技术在心理及精神疾病治疗领域取得了重大的发展。VR技术已经被用于包括恐怖症、创伤后应激障碍、强迫障碍及ASD在内的多种精神疾病的治疗,并取得了一定的成效^[3-7],这些研究成果使VR技术在心理及精神疾病治疗领域的应用得到普遍的认可,也吸引了更多的专家或团队投入其中。

1.2 VR应用于ASD治疗的优势

20世纪80年代有学者开始研究VR技术在ASD患儿康复训练中的应用。至今,该领域的研究已逐渐深入,并取得了一定的突破。VR技术应用于ASD患儿康复训练具有其独特优势:

安全的训练场景:VR技术干预ASD患儿的安全性主要体现在以下两个方面:社交障碍是ASD的核心症状之一,且在现实环境中,各种刺激是不可控的,患儿在这样的环境中容易产生焦虑情绪及退缩表现,VR技术的一个优势就在于可以降低或高度把控输入刺激的强度,将其控制在ASD患儿可接受的范围之内,从而减少ASD患儿社交过程中焦虑的来源,在一定程度上解决了这个问题^[8]。VR技术可以为ASD患儿避免真实环境中的危险因素,如具有一定危险性的过马路及乘坐公交车等生活场景,利用VR技术提供真实的马路场景,可以使ASD患儿在安全的环境中循序渐进地习得生活技能^[9]。

个体化的治疗:ASD患儿的症状、行为及能力的异质性很大,甚至每个个体在不同的时间段的行为及能力也会表现出巨大的差异。使用VR技术治疗ASD,可以根据患儿的需求及能力水平来调整训练的内容、输入刺激的强度及类型。从而设计出适合不同ASD患儿的个性化训练方案^[10]。

促进习得技能的泛化:ASD患儿的思维缺乏概括性及抽象性,因而在一个场景中习得的技能很难泛化到其他场景中,VR技术可以将同一技能切换至不同的场景中进行训练,这有助于ASD患儿习得技能的泛化;此外,VR环境的高度逼真有利于ASD患者将习得的技能更好地泛化到现实世界中去。

2 VR治疗ASD患儿的研究现状

2.1 神经认知缺陷干预

ASD患者存在明显的神经认知障碍,是其核心症状之一。神经认知是指人的接收、贮存和运用信息的认知过程,包括记忆、注意、感知、知识表征、推理、创造力,及问题解决等的运作等。Haigh等^[11]将76例成年高功能ASD患者与64例健康对照者进行了对比,并对他们的信息处理速度进行了标准化测量,研究发现ASD患者完成测试的耗时明显延长,表明ASD患者信息处理速度较慢;同时研究发现,处理速度较慢的ASD患者在自闭症诊断观察量表(autism diagnostic

observation schedule, ADOS)中的交流和社会交互分量表得分较高,提示ASD患者的信息处理速度减慢可能导致了其社交技能的障碍,因此提高处理速度的干预措施可能会提高自闭症患者的社交能力。此外,有研究表明神经认知功能可以直接预测ASD患者的适应性功能,所以针对神经认知能力的心理干预可能有利于ASD患者的社会适应^[12-13]。

针对ASD患儿神经认知功能缺陷,多项研究报道了VR在ASD干预中的有效性。De Luca Rosaria等^[14]对一例16岁的ASD患儿进行了两种不同的认知训练,研究发现联合认知行为治疗和VR技术的方法才能改善注意和空间认知功能,并显著减少了患儿的刻板重复行为,而单纯采用行为认知疗法后,以上认知功能并未得到明显改善。正如之前在其他神经系统疾病中报道的那样,VR技术可以显著改善患者神经认知功能^[15-16]。有研究发现,使用增强现实技术可以提高ASD患儿的持续选择性注意力^[17]。Wang等^[18]纳入4例ASD患儿,采用VR技术加强患儿对关键的上下文信息的注意力,研究发现所有患儿的情境处理和认知灵活性均得到显著改善。

2.2 社会认知缺陷干预

ASD患儿的认知障碍主要涉及两个方面:神经认知功能和社会认知功能。社会认知是指:在社会生活中,理解他人心理状态,预测他人想法,判断他人行为,并指导自身的社会行为的高级认知过程^[19]。目前对ASD患者社会认知功能的研究主要集中在心理理论和情绪认知两个方面^[20-22]。

心理理论(theory of mind, TOM)指个体理解自我和他人的愿望、意图和信念等心理状态,并由此对他人行为做出因果性解释和预测的能力^[23]。Zhang等^[24]采用了5个心理理论任务,较为全面地测评了76例健康儿童与34例ASD患儿的心理理论功能,结果显示,与健康对照组相比,ASD患儿在多样愿望、多样信念、知识的获得、错误信念及隐匿的情绪等5个心理理论任务中的表现均落后于健康儿童,提示ASD患儿存在心理理论能力的缺陷,他们可能难以理解他人的愿望或意图,从而影响患儿的人际交往和社会适应。

情绪认知(emotion perception)是指通过他人的面部表情、声音变化或者二者的结合来辨别他人情绪的能力^[25]。一项汇集了16项研究数据的元分析^[26]发现,ASD患儿对包括恐惧、惊讶、愤怒、厌恶、悲伤在内的五种基本情绪的识别存在障碍,但对喜悦的面孔情绪识别能力正常,该发现与既往研究结果一致^[20]。但也有研究发现^[12],ASD患儿可以准确地识别出不同的面孔情绪,但是他们较健康对照表现得更加深思熟虑,因此更加耗时,推测ASD患儿很可能是通过这种耗时的补偿策略来达到了与健康对照者相当的识别正确率。许多著名的社会发展理论均强调ASD患者情绪认知缺陷与其日常社会功能紧密联系^[27]。因此,ASD患儿情绪认知功能改善对其社

会功能的恢复及其预后的改善有重要意义^[12]。

近年来,越来越多的研究者投入到对VR技术干预ASD患儿社会认知功能的研究中。Didehbani等^[28]利用基于VR技术的社会认知训练系统干预ASD患儿的社交技能,研究对30例7—16岁ASD患儿进行干预,以教室、餐厅、校园等为背景在上课、玩、吃饭及安抚他人等活动中对社交技能进行干预,对干预前后分别进行情绪识别、社会归因、注意及执行功能等方面的测评,分析表明从基线期到干预期ASD患儿的情绪认知、社会归因、注意及执行功能均有显著改善,提示VR技术能够提高ASD患者的社会认知能力,是一种非常有效的ASD社交技能训练辅助技术。Cheng等^[29]团队开发的基于沉浸式虚拟环境的社会理解系统,用于改善ASD患儿的社交理解及技能方面的缺陷,通过评估该系统在帮助ASD患儿学习非言语交流的有效性、社交动机及社会认知功能发现,该系统通过提供一个有效的学习环境,ASD患儿的社会理解及技能得到了明显改善,也在一定程度上证明了VR技术在ASD患儿康复训练中的可行性。与现实生活中的训练相比,该系统给ASD患儿带来的社交压力要小得多,他们可以自由地与虚拟人物互动,在不同的虚拟社交场景下练习社交理解和技能。综上所述,VR技术可以有效改善ASD患儿的社会认知功能,并展现出了独特的优势及良好的应用前景。

2.3 沟通及社交技能缺陷干预

ASD患儿大多有不同程度的语言发育迟缓以及运用语言的能力缺陷,以致不能有效地表达自己。ASD患儿不单在语言理解方面有障碍,对面部表情、手势等非语言沟通方式的理解也有困难,所以难以了解他人的意愿和感受。此外,大部分ASD患儿都缺乏主动与人沟通的动机。社交技能缺陷是孤独症患儿突出的特征,严重影响孤独症患儿与他人进行情感交流及互动,从而导致患儿难以与他人建立及维持朋友关系^[30-32]。与传统的干预训练方法相比,VR技术的自身优势,如沉浸感与真实感,使其成为训练患儿沟通技巧、社交策略和非语言沟通等能力的有效干预手段^[33-35]。

在一项研究中^[36],研究者采用一种称为图像交换通信系统(picture exchange communication system, PECS)的方法,对12例孤独症儿童经VR技术干预前后的语言交流功能进行了研究。PECS是一种利用语言符号进行语言交流训练的方法,训练中儿童并不会自动地说话,而是通过图片或符号的支持,从而能够清楚地理解语言所传达的信息。在早期阶段,患儿接收非语言符号信息,而在PECS使用的最后阶段,患儿被激励着能够自主说话。实验结果表明,采用基于VR技术的PECS治疗后,孤独症患儿的语言交流能力有显著提高,且使得孤独症患儿更加容易完成各个阶段的学习任务。Bernardini等^[37]开发了一个名为ECHOES的训练系统,该系

统的智能引擎即是一个称为Andy的3D虚拟人物,Andy开发为ASD患儿提供了一个可靠的社交伙伴,通过鼓励ASD患儿参与互动学习活动,在一系列游戏中提高ASD患儿的沟通技能。该研究团队进行了大规模的多中心干预研究,以评估ECHOES及Andy对ASD患儿社会交往及社交参与度的影响。该系统部署在英国的五所学校,19例ASD患儿参与了这项研究,在8周的时间里,他们每周数次操作ECHOES系统,每次持续10—20min。研究表明,训练前后ASD患儿与Andy进行社交行为的次数明显增加,提示患儿非常乐意将Andy视为社交中值得信赖的伙伴,并且ASD患儿的社会行为表现均有改善,原本认为这些孩子不善于交流的老师 and 研究人员,对患儿取得的进步也感到非常惊讶。而在另一项研究中,Zhao等^[38]开发了一个基于协同虚拟环境的ASD社会交互干预平台。该平台允许两个孩子在VR环境中玩一系列互动游戏,通过简单的手势协作来移动一些虚拟物体。这些游戏旨在促进患儿之间的自然交流与合作,该训练系统允许患儿使用基于凝视和语音的通信共享信息来讨论游戏策略。12例ASD患儿与12例健康儿童参与了该研究,研究中,每一例ASD患儿匹配一例健康儿童进行训练。研究者通过收集被试对该训练系统的反馈信息,分析被试训练前后的游戏表现及沟通表现发现,该训练系统不仅得到了ASD患儿和健康儿童的认可,并且提高了其在游戏中的合作能力,显示了该系统培养ASD患儿沟通协作能力的潜力。

综上所述,VR技术下的互动训练对ASD患儿的沟通及社交技能的提高具有显著效果,并可以提高患儿主动表达的能力。但VR技术对于ASD患儿社交能力训练所取得的成效能否持续、能否推广仍需讨论。

2.4 生活技能缺陷干预

ASD患儿由于其自身的障碍与缺陷,生活自理能力落后于其他同龄儿童,并缺乏生活的基本技能,与传统的训练方法相比,为ASD患儿营造一个更加安全且真实的训练环境,有助于患儿生活技能的提高^[39]。

Adjorlu等^[40]的研究发现,应用VR技术可以辅助ASD患儿的训练者对其进行日常活动技能的组织。在研究中,研究者采用VR技术营造出了“超市购物”的场景,其目的是帮助ASD患儿培养独立进行安全购物的必要技能。共有9例12—15岁的ASD患儿参与了这项研究,其中4例作为训练组,其余5例作为对照组。9例ASD患儿在训练前后均在真实超市进行购物并接受评估。为了评估参与者购物的效率和效果,研究人员记录了每个人购物的开始和结束时间,同时在参与者完成每次购物后均对其购物车中的物品及购物清单进行了拍照,以便统计参与者购置所需物品的个数。训练组ASD患儿要求在虚拟购物超市中完成7天的训练,而对照组则不进行任何训练。结果显示,基线期训练组的患儿比

对照组患儿购物耗时平均慢 11s,而经过 VR 训练后,训练组购物耗时较对照组平均快了 52s,训练组完成任务的效率更高,且在购物过程中向辅助人员寻求帮助的次数更少。研究表明,应用 VR 技术有助于将虚拟情境中的日常生活技能实施扩展到真实的生活之中。

在另一项研究中,研究者采用 VR 技术营造出乘坐公交车的场景,用以训练 ASD 患儿使用公共交通工具的能力。在虚拟场景中,ASD 患儿需要在一个虚拟的城市中乘坐公交车到达特定的目的地。该城市中共有 4 条公交线路,患儿需要完成 7 项乘车任务,其中 4 项仅需要乘坐一个线路即可达到目的地,而其余 3 项任务需要乘坐 2 个线路的公交车才可达目的地。为了尽可能还原现实生活中的场景,虚拟空间中加入人群、交通工具及小动物等,这样的设置可能会引起患儿的焦虑情绪。经过训练,患儿获得了更多的乘坐公交车常识,并可以准确地应用到任务中,此外,在公交车中的焦虑情绪也得到了明显的缓解。该研究结果表明,基于 VR 技术的游戏任务可以有效地帮助 ASD 患儿在日常生活中变得更加独立,尤其是在乘坐公交车技能方面。

因此,VR 技术有助于提高 ASD 患儿生活技能的提高,可控的刺激、安全的环境及沉浸式的体验,使 ASD 患儿生活技能的提高更加显著,且更容易将习得的技能迁移到现实世界中。

3 VR 治疗 ASD 患儿疗效的神经机制

VR 技术治疗 ASD 患儿具有诸多优势,但其作用机制至今不明确。近十年来,MRI 作为一种新兴的技术,在探究 ASD 患儿脑结构及功能异常的研究领域中有了快速的发展,使得人们进一步从脑结构及功能层面了解 VR 治疗 ASD 患儿的治疗机制成为了可能。然而目前探究 VR 技术干预 ASD 患儿前后脑影像学改变的研究还比较缺乏。截至目前,国外仅有一项研究试图探究 VR 技术干预 ASD 患儿获得行为收益背后的神经机制,而国内尚无该领域的研究报道。Yang 等^[41]采用基于 VR 技术的社会认知训练系统(virtual reality-social cognition training,VR-SCT)对 17 例青年 ASD 患者进行了为期 5 周(共 10h)的训练,应用一种较成熟的任务态 MRI 技术分别对被试治疗前及治疗后大脑血氧依赖水平(blood oxygen level dependent, BOLD)信号进行检测,对比治疗前后 BOLD 信号发现,共有三个主要的脑区功能活动发生改变,分别为左侧顶上小叶、右侧后颞上沟及左侧额下回。

研究发现,受过训练的 ASD 患者在处理非社会性信息时,左侧顶上小叶区域脑激活程度比处理社会性信息时明显减低,该区域的受损与视觉上对非社会性特征的过度关注有关,而对社会性特征方面存在一定程度的忽视^[42],该特征是

ASD 的特异性病征,同时也是 ASD 的致残性病征。Yang 等^[41]研究发现,大脑在处理社会性和非社会性信息时的右侧后颞上沟功能激活与 VR-SCT 引起的心理理论范畴的行为变化存在相关。该区域被认为是社会认知处理的中枢,并对他人行为的视觉、听觉和躯体感觉线索进行时间整合^[43]。此外,Yang 等发现,受过训练的 ASD 患者在处理社会性和非社会性的信息时,左侧额下回区域脑激活程度明显减低,并且激活程度与识别情绪任务中的社会情绪信息处理功能存在相关。已有研究表明,在面部识别和处理情绪刺激方面,大脑的右半球较左半球更具有优势^[44-45]。

4 VR 技术干预 ASD 研究领域的问题及局限性

近年来 VR 作为一种新型的技术手段逐渐应用于 ASD 干预领域,并取得了一定的成果,但该领域的研究尚处于初级阶段,存在一些需要注意的问题及局限性。

①VR 技术的使用需要和现实生活相结合。在单用户的 VR 系统中,同一时间只能一个被试训练系统内操作,虚拟环境中的其他人物都是预先设定好的,这就会导致 VR 系统缺乏现实性及社会性。VR 技术的使用,最终目的是提高 ASD 患儿在现实生活中的各项适应能力,所以需要将它的应用与现实生活密切结合,并且需要在虚拟环境习得的技能放在现实生活中进行检验,并进一步训练和发展^[46]。此外,有研究者曾对 ASD 青少年应用多用户的合作性 VR 系统作了探索性的实验研究^[47],在其中多个用户能通过化身与其他用户进行互动,这使得在虚拟场景中发生的行为具有很高的现实性和社会性。这是该领域的研究与实践过程中首先应注意的一个问题。

②重视辅导者的作用^[46]。辅导者在 VR 技术干预 ASD 患儿的过程中扮演着重要的角色,他们不仅可以保护患儿的安全,还可以帮助患儿理解虚拟情景中发生了什么,为他们解释行为背后的原因,以据此令其做出恰当的反应。因此需要重视辅导者在干预中的作用,将辅导者安排纳入到整个训练系统中,以促进干预效果。

③接触 VR 设备及程序可能会导致大多数人明显的不适,出现类似晕车的症状,包括眼疲劳、头痛、恶心和出汗等。参与者视觉所看到的立体 VR 画面与其前庭系统所感受的真实位置信息之间的冲突是造成 VR 视觉不适的重要原因。

④方法学问题:被试常常是高功能 ASD 患儿或成年 ASD 患者,缺乏对于低功能 ASD 患儿经 VR 技术治疗后疗效的探讨。绝大多数的研究采用的 VR 技术实际上并不是严格意义上的头戴显示器的沉浸式 VR,而是屏幕或者投影产生的虚拟环境;该领域研究缺乏较高等级的循证医学证据支持 VR 干预 ASD 的有效性,因此,需要采用更科学合理的实验

设计及多中心大样本随机对照研究来验证VR干预ASD的有效性。

5 VR技术干预ASD的展望

①将增强现实(augmented reality, AR)应用到ASD患儿的干预训练中。AR无需在固定空间进行,不依赖强大的计算机,相较于VR设备,AR设备要小巧的多,甚至可能只是一个盒子大小的投射装置,直接将虚拟场景投射于现实环境中。AR技术的使用摆脱固定训练场所的限制,设备更加小巧,进而促进VR技术干预ASD的普及。此外,因为免去了佩戴沉重的头戴显示器设备,从而减轻了头颈部的压力及VR训练中常出现头晕的不适。②VR技术干预研究应纳入评估技能转移情况的具体测量参数,以便量化评估在虚拟环境中学习到的技能在多大程度上转移或推广到了真实世界。③社交式VR技术的应用,增加患者与现实世界的互动,这种非程序化的互动提高了患者交流的灵活性,从而增强了患者习得技能的迁移性。④未来VR干预ASD领域的研究需进一步扩大样本量,加强对低功能ASD患儿的VR干预研究,设立与实验组相匹配的ASD对照组,获得更加具有说服力的研究证据,从而支持VR技术干预ASD患儿的有效性。

参考文献

- [1] Association AP. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (5th ed.) (DSM-5)[M]. American Psychiatric Publishing, 2013.
- [2] 刘贤, 林穗方, 陈文雄, 等. 中国儿童孤独症谱系障碍患病率meta分析[J]. 中国儿童保健杂志, 2018,(4):402—406,429.
- [3] Mishkind MC, Norr AM, Katz AC, et al. Review of virtual reality treatment in psychiatry: evidence versus current diffusion and use[J]. Curr Psychiatry Rep, 2017, 19(11):80.
- [4] Oing T, Prescott J. Implementations of virtual reality for anxiety-related disorders: systematic review[J]. JMIR Serious Games, 2018, 6(4):e10965.
- [5] Boeldt D, McMahon E, McFaul M, et al. Using virtual reality exposure therapy to enhance treatment of anxiety disorders: identifying areas of clinical adoption and potential obstacles[J]. Front Psychiatry, 2019, 10:773.
- [6] Maskey M, Rodgers J, Ingham B, et al. Using virtual reality environments to augment cognitive behavioral therapy for fears and phobias in autistic adults[J]. Autism Adulthood, 2019, 1(2):134—145.
- [7] Gamito P, Oliveira J, Alves C, et al. Virtual reality-based cognitive stimulation to improve cognitive functioning in community elderly: a controlled study[J]. Cyberpsychol Behav Soc Netw, 2020,23(3):150—156.
- [8] 李改智, 杜亚松. 虚拟现实在孤独谱系障碍中的应用[J]. 中国儿童保健杂志, 2018, 26(2):174—176.
- [9] Cox DJ, Brown T, Ross V, et al. Can youth with autism spectrum disorder use virtual reality driving simulation training to evaluate and improve driving performance? An exploratory study[J]. J Autism Dev Disord, 2017, 47(8):2544—2555.
- [10] Strickland D, Marcus LM, Mesibov GB, et al. Brief report: two case studies using virtual reality as a learning tool for autistic children[J]. J Autism Dev Disord, 1996, 26(6):651—659.
- [11] Haigh SM, Walsh JA, Mazefsky CA, et al. Processing speed is impaired in adults with autism spectrum disorder, and relates to social communication abilities[J]. J Autism Dev Disord, 2018, 48(8):2653—2662.
- [12] Otsuka S, Uono S, Yoshimura S, et al. Emotion perception mediates the predictive relationship between verbal ability and functional outcome in high-functioning adults with autism spectrum disorder[J]. J Autism Dev Disord, 2017, 47(4):1166—1182.
- [13] Carter Leno V, Vitoratou S, Kent R, et al. Exploring the neurocognitive correlates of challenging behaviours in young people with autism spectrum disorder[J]. Autism, 2019, 23(5):1152—1164.
- [14] De Luca R, Leonardi S, Portaro S, et al. Innovative use of virtual reality in autism spectrum disorder: A case-study [J]. Appl Neuropsychol Child, 2019:1—11.
- [15] De Luca R, Russo M, Naro A, et al. Effects of virtual reality-based training with BTs-Nirvana on functional recovery in stroke patients: preliminary considerations[J]. Int J Neurosci, 2018, 128(9):791—796.
- [16] Maggio MG, De Cola MC, Latella D, et al. What about the role of virtual reality in parkinson disease's cognitive rehabilitation preliminary findings from a randomized clinical trial[J]. J Geriatr Psychiatry Neurol, 2018, 31(6):312—318.
- [17] Escobedo L, Tentori M, Quintana E, et al. Using augmented reality to help children with autism stay focused[J]. IEEE Pervasive Computing, 2014, 13(1):38—46.
- [18] Wang M, Reid D. Using the virtual reality-cognitive rehabilitation approach to improve contextual processing in children with autism[J]. Scientific World Journal, 2013, 2013: 716890.
- [19] Besag FMC, Vasey MJ. Social cognition and psychopathology in childhood and adolescence[J]. Epilepsy Behav, 2019, 100(Pt B):106210.
- [20] Yeung MK, Lee TL, Chan AS. Impaired recognition of negative facial expressions is partly related to facial perception deficits in adolescents with high-functioning autism spectrum disorder[J]. J Autism Dev Disord, 2020, 50(5): 1596—1606.
- [21] Velikonja T, Fett AK, Velthorst E. Patterns of nonsocial

- and social cognitive functioning in adults with autism spectrum disorder: asystematic review and meta-analysis[J]. JAMA Psychiatry, 2019, 76(2):135—151.
- [22] Bishop-Fitzpatrick L, Mazefsky CA, Eack SM, et al. Correlates of social functioning in autism spectrum disorder: the role of social cognition[J]. Res Autism Spectr Disord, 2017, 35:25—34.
- [23] Nagar Shimoni H, Weizman A, Yoran RH, et al. Theory of mind, severity of autistic symptoms and parental correlates in children and adolescents with asperger syndrome [J]. Psychiatry Res, 2012, 197(1—2):85—89.
- [24] Zhang T, Shao Z, Zhang YR. Developmental steps in the theory of mind of typical Chinese children and Chinese children with autism spectrum disorder[J]. Research in Autism Spectrum Disorders, 2016, 23:210—220.
- [25] Brewer R, Bird G, Gray KLH, et al. Face perception in autism spectrum disorder: Modulation of holistic processing by facial emotion[J]. Cognition, 2019, 193:104016.
- [26] Uljarevic M, Hamilton A. Recognition of emotions in autism: a formal meta-analysis[J]. J Autism Dev Disord, 2013, 43(7):1517—1526.
- [27] Gaigg SB. The interplay between emotion and cognition in autism spectrum disorder: implications for developmental theory[J]. Front Integr Neurosci, 2012, 6:113.
- [28] Didehbani N, Allen T, Kandalaft M, et al. Virtual reality social cognition training for children with high functioning autism[J]. Computers in Human Behavior, 2016, 62:703—711.
- [29] Cheng Y, Huang CL, Yang CS. Using a 3D immersive virtual environment system to enhance social understanding and social skills for children with autism spectrum disorders [J]. Focus on Autism and Other Developmental Disabilities, 2015, 30(4):222—236.
- [30] Thabtah F, Peebles D. Early autism screening: a comprehensive review[J]. Int J Environ Res Public Health, 2019, 16(18):3502.
- [31] 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.
- [32] Yamada T, Miura Y, Oi M, et al. Examining the treatment efficacy of PEERS in Japan: improving social skills among adolescents with autism spectrum disorder[J]. J Autism Dev Disord, 2020, 50(3):976—997.
- [33] Yuan SNV, Ip HHS. Using virtual reality to train emotional and social skills in children with autism spectrum disorder [J]. London J Prim Care (Abingdon), 2018, 10(4):110—112.
- [34] Ip HHS, Wong SWL, Chan DFY, et al. Enhance emotional and social adaptation skills for children with autism spectrum disorder: A virtual reality enabled approach[J]. Computers & Education, 2018, 117:1—15.
- [35] Manju T, Padmavathi S, Tamilselvi D. A rehabilitation therapy for autism spectrum disorder using virtual reality[C]. In Smart Secure Systems - IoT and Analytics Perspective. Singapore: Springer Singapore, 2018: 328—336.
- [36] Taryadi and Kurniawan I. The improvement of autism spectrum disorders on children communication ability with PECS method Multimedia Augmented Reality-Based[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2018, 947: 012009.
- [37] Bernardini S, Porayska-Pomsta K, Sampath H. Designing an intelligent virtual agent for social communication in autism[C]. In Proceedings of the Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment (AIIDE013). Boston, MA, USA, 2013:9—15.
- [38] Zhao H, Swanson AR, Weitlauf AS, et al. Hand-in-hand: acommunication-enhancement collaborative virtual reality system for promoting social interaction in children with autism spectrum disorders[J]. IEEE Trans Hum Mach Syst, 2018, 48(2):136—148.
- [39] Simoes M, Bernardes M, Barros F, et al. Virtual travel training for autism spectrum disorder: proof-of-concept interventional study[J]. JMIR Serious Games, 2018, 6(1):e5.
- [40] Adjorlu A, Hoeg ER, Mangano L, et al. Daily living skills training in virtual reality to help children with autism spectrum disorder in a real shopping scenario[C]. In Adjunct Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Nantes, France, 2017: 294—302.
- [41] Yang YJD, Allen T, Abdullahi SM, et al. Neural mechanisms of behavioral change in young adults with high-functioning autism receiving virtual reality social cognition training: A pilot study[J]. Autism Res, 2018, 11(5):713—725.
- [42] Klin A, Lin DJ, Gorrindo P, et al. Two-year-olds with autism orient to non-social contingencies rather than biological motion[J]. Nature, 2009, 459(7244):257—261.
- [43] Yang DY, Rosenblau G, Keifer C, et al. An integrative neural model of social perception, action observation, and theory of mind[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2015, 51: 263—275.
- [44] Adolphs R. Neural systems for recognizing emotion[J]. Curr Opin Neurobiol, 2002, 12(2):169—177.
- [45] Adolphs R, Damasio H, Tranel D, et al. A role for somatosensory cortices in the visual recognition of emotion as revealed by three-dimensional lesion mapping[J]. J Neurosci, 2000, 20(7):2683—2890.
- [46] 张倩. 虚拟现实技术在自闭症患者干预中的应用[J]. 中国特殊教育, 2010,(5):27—31.
- [47] Parsons S, Mitchell P, Leonard A. Do adolescents with autistic spectrum disorders adhere to social conventions in virtual environments[J]. Autism, 2005, 9(1):95—117.