

VR 在儿童孤独谱系障碍辅助治疗中的应用

范磊¹, 杜亚松², 翟广涛¹

1. 上海交通大学图像通信与网络工程研究所, 上海 200230

2. 上海交通大学医学院附属精神卫生中心, 上海 200030

摘要 概述了虚拟现实技术的特性, 及其在医疗和精神卫生方面的研究与应用情况; 介绍了孤独谱系障碍(ASD)发现与认识深化的过程, 以及现有各种非药物治疗方法的分类和比较。通过分析虚拟现实技术与 ASD 的相关性, 阐述虚拟现实技术应用于 ASD 研究和辅助治疗的过程和最新进展。深入剖析了虚拟现实技术在 ASD 辅助治疗中面临的问题, 相应的解决方法, 发现的新现象和新思路, 以及通过大量实验总结的经验和技巧。探讨了进一步研究和实验的方向。

关键词 虚拟现实; 人工智能; 孤独谱系障碍; 人机交互; 辅助治疗

虚拟现实(virtual reality, VR)技术可以创建和体验虚拟世界, 利用算法生成模拟环境, 通过融合多源信息实现交互式动态和沉浸式体验。VR 技术被认为是人工现实(artificial reality), 可以支持和支撑包括娱乐、体育、工业、军事、医学、交通、智慧城市等多种行业发展的关键技术。儿童孤独谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是目前发现率逐年增高的一种精神类疾病, 结合现有治疗体系, VR 技术作为 ASD 辅助治疗的一种新手段, 从原理到机制和作用, 都具有其特殊性, 相关研究带来了新发现, 并指出了未来研究新方向。

1 VR 技术发展、特性及医疗应用

1.1 VR 技术发展史

1935 年, Stanley Weinbaum 在其小说《Pygmalion's spectacle》中描述了一种包括视觉、嗅觉、触觉等全方位

沉浸式体验的新型眼镜, 标志着虚拟现实概念首次被提出^[1]。1955 年, Morton Heilig 在论文《The cinema of the future》中, 提出了“多维感知剧院”的概念, 进而在 1962 年研发出了名为 Sensorama 的机械式虚拟现实原型机, 其中包含 5 段视频内容, 被广泛认为是世界上第 1 台虚拟现实设备。然而 Sensorama 及虚拟现实的概念和技术并没有得到大规模推广^[1]。1938 年, Antonin Artaud 在论文《La réalité virtuelle》中首次提到戏剧中的角色和道具具有虚拟的性质, 1958 年, 其论文的英文版《The theater and its double》中首次使用了虚拟现实——virtual reality 一词^[1]。1968 年, Ivan Sutherland 及其学生 Bob Sproull 首次创造了虚拟现实和增强现实头盔(head-mounted display, HMD), 受当时技术限制, 这个头盔非常沉重, 必须悬挂在房顶之上, 又名达摩克里斯之剑。随后 Myron Krueger 于 20 世纪 70 年代提出了人工现实一词——artificial reality。1978 年, 美国麻省

收稿日期: 2018-04-20; 修回日期: 2018-05-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(61422112, 61371146, 61521062)

作者简介: 范磊, 工程师, 研究方向为图像显著性分析与应用, 电子信箱: lei.fan@sjtu.edu.cn; 翟广涛(通信作者), 教授, 研究方向为图像处理与图像质量评价, 电子信箱: zhaiguangtao@sjtu.edu.cn

引用格式: 范磊, 杜亚松, 翟广涛. VR 在儿童孤独谱系障碍辅助治疗中的应用[J]. 科技导报, 2018, 36(9): 46-56; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2018.09.006

理工学院发明了另一个知名的虚拟现实系统——阿斯彭电影地图(Aspen movie map),再现了美国科罗拉多州阿斯彭冬夏两季的景色及虚拟模型。1982年,美国Atari公司成立了VR实验室,受经济及游戏行业不景气影响,实验室于两年后关闭。然而,公司职员如Tom Zimmerman, Scott Fisher, Jaron Lanier and Brenda Laurel等一直进行VR相关领域的研究。Jaron Lanier于1985年成立了VPL Research公司,开发了数据手套、头戴显示、声控输入等设备。

20世纪90年代,VR技术经历了第1次商业化,索尼、任天堂等游戏公司均陆续推出了自己的VR游戏机产品,电影方面也有《异度空间》《暴风行动》《杀戮空间》等被推出。1994年开始,日本的游戏公司世嘉和任天堂分别推出SegaVR-1和Virtual Boy等游戏设备,引起行业内关注,由于VR技术还不成熟,产业链不完备,生态圈不健全,VR产品由于游戏画质差、价格高、延迟大,并未得到消费者和消费级市场的认可。所以直到20世纪90年代末,VR的应用仍主要集中于医学研究、民航培训、机械与建筑设计、军事训练等专业领域,距离推广普及还有一定距离。

转机出现在2014年,Facebook以20亿美元收购Oculus,VR开始进入消费级市场,在全球范围内快速铺开,直到迎来2016年爆发的VR元年。微软、谷歌、苹果等跨国巨头公司均收购了VR相关企业或成立了VR部门,索尼公司推出PSP VR,谷歌公司推出Cardboard,三星与Oculus公司合作推出Gear VR,HTC公司推出Vive。在国内,迅速涌现出数百家VR创业公司,快速覆盖几乎所有的产业链环节,使得VR设备成本大大降低,性能可以初步满足消费应用,并丰富了行业级应用和消费级应用的内容,初步解决了阻碍VR商业化的核心技术问题。由于主机显卡的运算能力已比较强大,头戴式设备可以支撑虚拟世界的高质量渲染。由于移动计算的性能也已得到大幅提升,一体设备可以满足大部分消费级应用的需求。

高盛集团有分析预测,到2025年全球VR市场的年营收规模将达到1100亿美元(约7100亿元),相关的软件销售额达720亿美元,这意味着届时VR领域总的市场规模将达到1820亿美元(约12000亿元),在10年内成长为一个万亿级别的新市场。

VR经过2014—2015年产业高速发展和大量资本投入。2016年下半年开始,资本投入和产业期望逐渐

趋于理性,媒体报道出现了所谓VR资本寒冬论。随着VR产业的发展,行业细分领域越来越明晰,投资者也由广投转为精投,这时投资者的投资心理与投资大环境本身也发生变化,投资者对于VR产业投资逻辑趋于冷静和对VR创业公司盈利能力反复拷问,将当下VR投资市场形势描述为“资本寒冬”,这只是一个产业发展到一定程度必然承受的过程。“如果未来技术条件跟不上的话,大众消费领域可能会遭遇低潮期,但产业的发展过程总是有低潮和高潮,任何一项新兴产业的发展都这样。”中国工程院院士赵沁平认为,未来应该更关注VR技术的行业应用,例如VR在教育、医疗、装备制造研发、智慧城市的城市规划等方面的应用。可以预计,从2017年开始的未来5年,将是VR技术和产业发展的关键时期。

1.2 VR技术的“3I”特性

虚拟现实是以仿真的方式为用户创建一个实时反映实体对象变化与相互作用的三维虚拟世界,并通过头戴式显示器(HMD)、手柄、数据手套等辅助传感设备,提供用户一个观测与该虚拟世界交互的三维界面,使用户可直接参与并探索仿真对象在所处环境中的作用与变化,产生沉浸感,并进而获得思维及想象的自由。关于虚拟现实技术的基本特征,美国科学家Grigore Burdea和Philippe Coiffet曾在1993年世界电子年会上提出了虚拟现实的3个最突出的特征:交互性(interactivity)、沉浸性(immersion)、想象性(imagination)^[2](图1),即虚拟现实的“3I”特性,此种虚拟世界由计算机生成,可以是现实世界的再现,亦可以是构想中的世界,用户可借助视觉、听觉及触觉等多种传感通道与虚拟世界进行自然的交互。

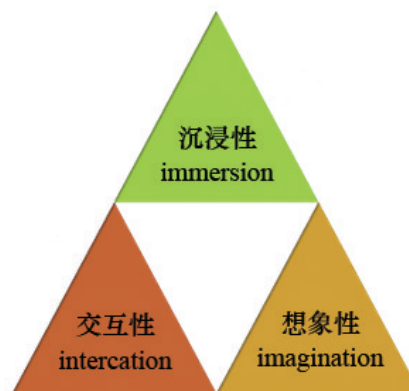


图1 虚拟现实技术的“3I”特性

Fig. 1 3I components of VR

交互性,是指参与者与虚拟环境之间以自然的方式进行交互。使用者可以借助专用的交互设备(如HMD、手柄控制器、数据手套、位置跟踪器等传感设备)进行交互。HMD是显示设备,为用户提供视觉沉浸感;手柄控制器及数据手套是虚拟现实应用的主要输入设备,它们作为一只虚拟的手或控件用于VR场景的模拟交互。

沉浸性,是指用户感受到作为主体存在于虚拟环境中的真实程度,是VR系统性能直接衡量标准。导致用户产生沉浸性的原因主要有以下2方面:多感知性,理想的虚拟现实应该具有人所具有的以视觉为主的多种感知功能;自主性,虚拟环境中物体依据物理定律做出与主体动作相符合的反馈。另外,影响沉浸性的因素还有图像质量、深度信息、视野、延时等。

想象性,是指在虚拟环境中,用户可以根据所获取的多种信息和自身在系统中的行为,通过联想、推理和逻辑判断等思维过程,随着系统的运行状态变化对系统运动的未来进展进行想象,以获取更多的知识,认识复杂系统深层次的运动机制和规律性。

随着虚拟现实行业相关联技术的提升,资本驱动着行业爆点正在逼近,虚拟现实本身所需要的一些支撑技术现在已经逐步成熟,所创造的用户体验也开始逐步到达一个被大众和消费者所接受的水平。

1.3 VR技术在医疗、健康卫生领域的应用

虚拟现实的沉浸环境使得很多医疗过程中的大阻碍都有望得以解决,虚拟现实在医疗中非常有应用前景及社会价值,目前国际上很多公司在尝试,比较有代表性的包括:Vivid Vision使用虚拟现实头显治疗弱视、斜视等,且其弱视治疗水平处于世界领先地位。EchoPixel公司致力于在3D医学图像方面取得革命性的进展,提供真3D医学模型可视化软件解决方案。Medical Realities公司在虚拟现实实时手术转播方面的进展处于世界领先地位,其对于医疗技术和医疗教育的发展意义重大。BIOFLIGHT VR公司、SURGEVRY公司和Osso VR公司致力于虚拟现实与医疗教育相结合方面的探索,前两个公司涉及范围更广一些,包括医疗的各个方面的教育或模拟,而Osso VR公司则专注于手术模拟平台的开发。老牌医疗看护公司ONE CARING TEAM也在探索利用虚拟现实技术为家庭提供医疗保健服务,主要针对老年人群,对可预防的健康问题提供建议、治疗等服务。

VR技术的“3I”特性使其可以在精神健康研究与应用中发挥广泛的作用。例如PSIOUS公司和PHOBOS致力于用虚拟现实技术治疗焦虑症等心理健康问题。DeepStream VR和applied VR公司致力于开发用于缓解疼痛的VR软件和平台。其他如恐高症、恐惧症(图2)、戒毒(图3)、战争创伤愈合等相关研究与应用十分普遍。



图2 VR技术用于恐惧症治疗(图片来源:cnm.com)

Fig. 2 VR for phobia therapy



图3 VR戒毒(图片来源:lfeng.com)

Fig. 3 VR for drug addiction treatment

2 孤独谱系障碍

孤独谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一组起病于婴幼儿时期的全面性精神发育障碍,患病率逐年增加。临床特征主要表现为人际交往和互动模式异常,兴趣范围狭窄和活动内容局限。原来被称为孤独症(在日本及中国香港、中国台湾地区又称自闭症),属于广泛性发育障碍(pervasive development disorder, PDD)的范畴^[3]。1980年出版的、由美国精神病学会制订的《Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 3rd EDITION》(DSM-III)中,孤独症一词正式出现。1987年的DSM-III修订版《Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 3rd edition revised》(DSM-III-R)和1994年的更新版《Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 4th edition》(DSM-IV)继续采用孤独症的术语^[4]。

2013年5月,《Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5th edition》(DSM-5)颁布,将孤独症更名为孤独谱系障碍,并列入神经发育障碍的范畴,把原来属于广泛性发育障碍的 Rett 综合征和 Asperger 综合征不再作为特殊障碍类型进行描述,前者将被视为单独的疾病单元^[5]。ASD 概念的变化从 DSM-IV 的传统意义上的 Kanner“三联症”(人际交往障碍、言语和语言发育障碍、行为刻板 and 兴趣范围狭窄)改变为 DSM-5 中 2 个基本症状:1) 多种情景中持续存在的社交和互动障碍;2) 刻板、重复的行为、兴趣或活动障碍,以及可以和注意缺陷多动障碍(attention deficit hyperactivity disorder, ADHD)共病的特征^[5]。

2.1 ASD 的共同特点

ASD 起病于 3 岁前,通常在 5 岁以内已经比较明显,临床表现为人际交往与沟通模式异常,言语和非言语交流障碍,兴趣和活动内容局限、行为刻板重复。在成长的过程中,症状可能有缓慢改善,在多种场合中会存在广泛性、质的异常,社会功能也有不同程度的受损,年龄越大越显示出社会功能的不足。

美国疾病控制与预防中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)调查报告显示 ASD 患病率从 2007 年的 6.6/1000 人,增加到 2014 年的 14.7/1000 人,表明每 68 个 8 岁儿童中就有 1 人患 ASD (14.7/1000 人)^[6],可见儿童 ASD 的患病率呈逐年上升的趋势。目前国内尚无全国的流行病学调查资料。Sun 等^[6]通过 Meta 分析显示在中国大陆的患病率为 11.8/10⁴,中国大陆、中国香港、中国台湾 3 个地区的患病率为 26.6/10⁴^[7]。

2.2 ASD 主要非药物治疗方法

ASD 的治疗方法主要分为药物治疗和非药物治疗两大类。非药物治疗包括心理行为干预、物理治疗、电子辅助治疗和社会交往技能训练。

心理行为干预是通过非化学成分的手段对 ASD 进行干预的方法^[8],属于非药物治疗。早在 1998 年,Hefflin 等^[9]将 ASD 的非药物治疗分为以下 4 类:以促进人际关系为目的疗法,例如地板时光(floor time)、人际关系发展干预(relationship development intervention, RDI);以干预技巧发展为目的干预疗法,例如图片交换交流系统(picture exchange communication system, PECS)^[10]、行为分解训练法(discrete trial training, DTT);基于生理功能的干预疗法,例如感觉统合训练、听觉统合训练等;综合疗法,主要是指 ASD 及相关障碍儿童的教育课程,

例如 Lovaas 训练法、应用行为分析法(applied behavior analysis, ABA)。

物理治疗包括重复经颅磁刺激(repetitive transcranial magnetic stimulation, rTMS)^[11]、针刺疗法。

电子辅助系统,包括基于平板电脑的电子辅助沟通系统(digital augmentative and alternative communication, DAAC)^[12]和基于头戴式显示器的虚拟现实技术。

社会交往技能训练^[13-14],例如社交技能教育和促进项目(program for the education & enrichment of relational skills, PEERS)^[15]。

2.3 ASD 的“能力缺失三角形”

ASD 儿童公认存在的“能力缺失三角形”:交流、互动、想象(图 4)^[5]。恰好与前面所述 VR 技术“3I 三角形”一一对应:沉浸性、互动性、想象性(imagination)。这种不谋而合的相关性启发并引导了 VR 技术在 ASD 辅助治疗中的探索和应用:VR 技术的沉浸性为 ASD 治疗提供了内容可控的交流,互动性提供了反馈可测的互动,想象性提供了泛化的想象空间。



图 4 ASD 能力缺陷三角形

Fig. 4 ASD triad of impairments

3 VR 辅助 ASD 治疗研究现状

虽然 ASD 儿童“能力缺失三角形”与 VR 技术“3I”三角形的相关性启发并引导了 VR 技术在 ASD 辅助治疗中的探索和应用,但在相当长一段时期,VR 技术并没有与 ASD 发生密切的关系,只是作为 2 个平行的过程并列存在。特别是 VR 技术早期设备非常笨重,体验很差,并不适合儿童,尤其是 ASD 儿童的佩戴和实验,无法进入实用化(图 5)。

由图 6 可见,ASD 主题搜索热度在过去的十几年间相对平稳,而 VR 技术的搜索热度则出现了一个快速上升的过程,在 2016 年末达到一个前所未有的高峰后,热潮快速的消退,之后又出现小幅反弹。相对于国外的

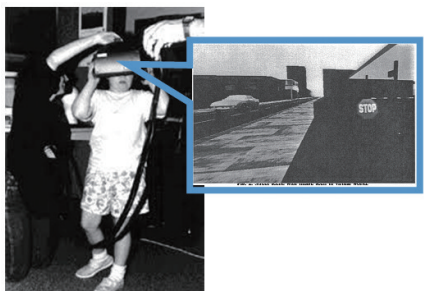


图5 早期VR头戴显示器——Provision 100 VR工作站
Fig. 5 Early VR HMD: Provision 100 VR workstation

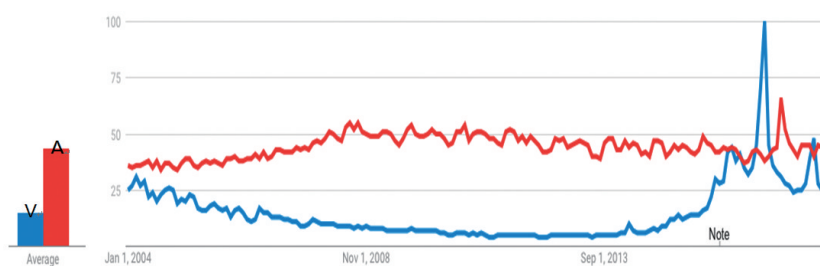


图6 VR与ASD搜索热度变化
Fig. 6 Search popularity change for VR and ASD on Google

ASD研究应用虚拟现实技术,国内相关研究和关注还相对初步,英文和中文期刊检索结果如图7^[16]~图9所示。

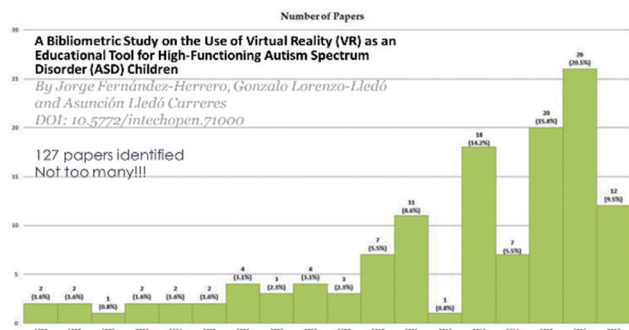


图7 虚拟现实用于ASD辅助教育的英文论文数量
Fig. 7 Paper quantity for VR based ASD treatment/training

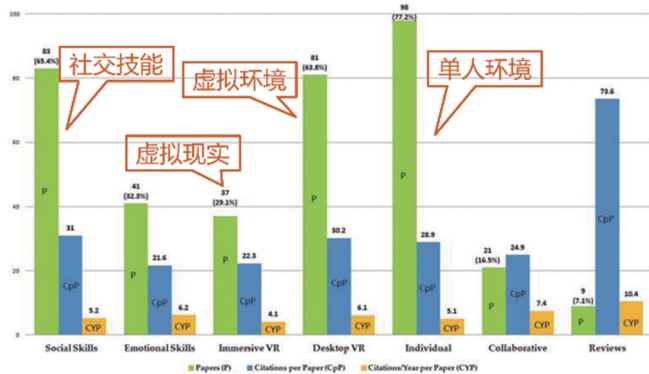


图8 虚拟现实用于ASD辅助教育的论文主题
Fig. 8 Paper quantity on topics of VR for ASD treatment/training

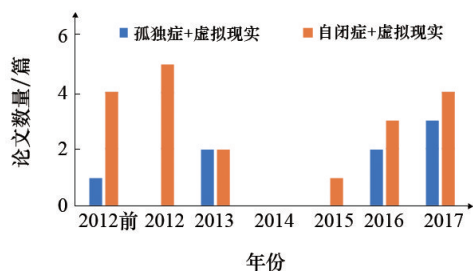


图9 虚拟现实+孤独症(自闭症)的中文期刊论文数量
Fig. 9 Chinese paper quantity on topics of VR+ASD

对检索到127篇英文文献^[16]和27篇中文文献分析发现,绝大多数的论文和实验中提到的VR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(virtual environments, VE)^[18]。究其原因,早期实验面临的问题是没有实用化的头戴式显示器,后期问题主要是ASD儿童存在大比例的不同程度接触敏感。对VR环境下直接照搬自传统量表体系的实验内容分析表明,直接进行社交内容训练,ASD儿童大比例表现出拒绝或无法持续使用的现象。尤其是针对VR设备接受性训练,社交的认知基础,内容衔接过渡的缺失,极大降低了VR技术在ASD的推广应用和深入研究^[17]。

调研文献中有相当的比例属于虚拟环境^[18]应用于研究,基于屏幕或投影显示相关内容,相对于传统手段有了长足进步,并且跟桌面式固定眼动等跟踪设备结合,用于采集更多测试信息。但VE技术和与之配套的固定眼动仪存在严重的局限性:缺乏沉浸性,无法全向显示,当ASD儿童扭头或走动的时候,既无法有效提供刺激,又无法有效跟踪眼动,极大地降低了数据有效率和有效性。

4 VR用于ASD辅助治疗的新探索

4.1 ASD能力欠缺与VR“3I”特性的关系

通过大量实验探索虚拟现实技术在ASD辅助诊断和辅助治疗中的规律,通过大量已知现象重复和未知现象发现,循证前述ASD“能力缺陷三角形”与VR的“3I特性三角形”相关关系(图10)。

针对国内外其他尝试头戴显示器VR训练ASD儿童的团队的调查发现,多数团队尝试直接使用社交化场景和课程,往往会遇到儿童拒绝佩戴头盔以及对课

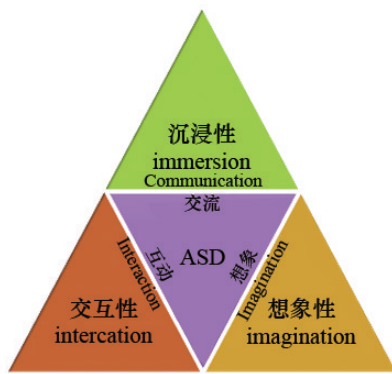


图10 ASD能力缺陷三角形与VR“3I”三角形
Fig. 10 ASD triad of impairments & 3I's of VR

程不感兴趣的问题,坚持和强迫往往会适得其反,例如会有儿童反抗佩戴头盔,或者带上头盔后闭眼或者反复摘掉,导致很多团队不得不放弃头戴式VR显示器手段,退回到大屏幕或投影等虚拟场景手段。

通过对上海交通大学附属上海精神卫生中心1500多例临床诊断和治疗数据的分析总结,以及许多协作培训机构一线培训教师的经验汇总,本课题组在实验设计和内容开发上广泛参考多方建议,采用循序渐进的方式,严格遵循“开发测试—对照组实验—机构固定人群实验—医院门诊自愿实验”4步流程,把经过上一环节充分实验的场景投入下一环节实验,充分沟通,观察出很多行之有效的规律,发现了许多过去在量表和问诊形式下没有或者不显著的新现象。始终强调安全第一,规范操作,从组织和流程设计上,时刻严格确保头戴VR显示器的儿童安全,避免碰撞与磕绊等意外。

4.2 眼动与注意机制

大量常规实验和眼动实验显示(图11、图12),不同年龄和功能的ASD儿童与同年龄对照组儿童对比,对社交相关视觉信息注意机制的专注度和持久度,存在不同程度的比较弱势。而大多数阻碍ASD儿童入学和生活的技能,对注意机制专注度和持久度的联合要求,是在对应ASD儿童能力包络之外的,这从一个侧面也印证了ASD儿童相关行为障碍的“能力门槛”的存在。ASD儿童注意机制的专注度与持久度的不足,在面对需要相对较高专注度和相对较长持久度的对应行为能力需求时,会体现出注意力不足以胜任的现象,具体表现为退缩,被动,或急躁等现象^[9]。

在提升ASD儿童注意力的同时,通过降低门槛,细化阶梯,策略性地把ASD儿童无法直接跨越的能力门



图11 头戴式虚拟现实眼动跟踪

Fig. 11 Eye-tracking in VR HMD

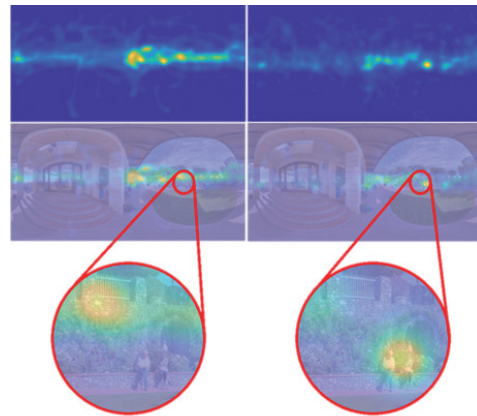


图12 孤独症与对照组VR全景眼动差异

Fig. 12 VR HMD eye tracking: ASD group vs controls

槛降低,并把跨度过大的能力台阶做特定分解。比如实物教学到读写教学跨度经VR和触屏教学过渡后明显减小,便于儿童循序渐进。由于ASD儿童人群存在年龄和功能的差异,所以各个平台和场景的针对性设计,使得各个平台和场景存在对儿童能力分级的良好效果。这也反过来印证,现实场景—头盔式虚拟现实场景—平板显示器的虚拟环境场景—书面读写场景4级场景,对实验人群的注意机制专注度和持久度要求逐渐升高。

例如参加实验的一个5岁的ASD儿童,存在一定的语言障碍,初期只能说2个字的词语,未患有色盲症,却不能分辨颜色,平时不能也不愿使用手机或者平板,更无法顺利完成纸面读写等任务,经过3次VR实验后,开始接受头戴式VR显示器,经过3~6个月、每周一次的系统性VR训练后,说话的字数逐渐能增加到10个字左右,并通过场景实验试错学习,学会了各种颜色和形状的对表达,开始主动尝试要求使用手机和平板电脑等电子装置,消除了早先存在的惧怕退缩等挫折感。考虑到多数参试ASD儿童处于智力发育的年纪,以及家长和学校也同步进行大量的训练和努力,所以不能

够想当然地认为VR辅助治疗是导致类似明显效果的唯一或主要原因,但对于此类现象的持续观察,交叉隔离实验和分析,有助于发现ASD的更多规律,从而为ASD致病和治疗机制研究提供更多线索,进而指导相关VR研究和开发的深入进行。总之,通过ASD的VR辅助治疗,在实践层面,系统性调动儿童知觉与肢体运动配合,获得更高的专注度,改善持久度,从而突破被动学习时无法逾越的能力门槛,获得个体能力与信心的长期提升。

又例如,儿童数学认知,从对具体物品的手动点数,到对抽象数字概念的理解,跨越正常儿童3~6岁的发育过程,是儿童6岁进入小学学习的能力基础之一。这个从具体到抽象的认知能力飞跃,对于相当比例的ASD儿童是一个超出能力范围的“能力门槛”,针对正常儿童的常规教学方法普遍会给ASD儿童带来学习和认知体验上的挫折感。于是策略性地降低“能力门槛”跨度,扩大ASD儿童注意机制“关注度-持久度”能力包络空间,从而覆盖相应技能的能力需求,最终实现ASD儿童能力提升,跨越现实挫折感阻碍。具体的实现方式,例如在现实教学和符号化读写之间,加入基于头戴显示器的VR体验和基于平板等显示器的VR体验两级过渡“台阶”,在虚拟现实根据指示实现点数和数字描红之间的试错学习,然后稳定后迁移到平板显示虚拟环境中,有策略地利用VR技术的“3I”特性来调动儿童较高的注意机制专注度和持久度,去突破那些直接纸面读写时注意力水平无法突破的“能力门槛”,把“现实—读写”二级台阶,细化分解为“现实—VR—VE—读写”的4级能力阶梯,有策略地降低每级台阶挑战,从而降低挫折感发生概率,改善学习体验,提高儿童学习效率和效果。

4.3 问题与挑战

由于相当大比例的ASD儿童存在惧怕洗头、理发、扎辫子等不同程度的头部接触敏感,所以引导儿童接受VR头盔是开展后续社交训练的关键。ASD儿童中高比例存在的接触性敏感的问题,成为限制头戴式VR显示器和VR技术应用于ASD研究和诊断治疗的最大障碍。由于VR技术在ASD儿童分解降低挫折和能力提升中的关键性阶段和作用,扩展现有社交训练单一环节,前面增加接受性训练,后面增加泛化训练,从而突破接触性敏感阻碍,让ASD儿童乐于佩戴头戴式VR显示器就成了研究和后续应用的关键(图13)。经过反

复的实验、讨论和循证,消除儿童的不安全感,吸引儿童自愿参加VR培训和辅助治疗的过程,成了最终解决接触性敏感的脱敏过程关键。



图13 VR-ASD辅助治疗对传统社交训练的功能流程扩展

Fig. 13 VR-ASD adjutant therapy extending the ordinary social training procedure

经过反复实验和优化,对355人次实验统计,约63%的儿童可以在每周一次的头3次尝试训练中接受头戴式VR显示器,进入第2阶段的认知学习的辅助治疗过程,且体验良好,没有反复,主要以5~8岁的中低年龄儿童为主;大约26%的儿童在每周一次的头3次尝试中接受头戴式VR显示器,但在接下来第2阶段的认知学习的辅助治疗过程中,体验随环境和身体状况影响而时好时坏,效果存在反复和波动现象,比如炎热天气、长时间等待和父母责备等因素的作用非常显著,主要以9~12岁的中高年龄儿童为主;另外还有11%的ASD儿童难以接受头戴式VR显示器,生活中表现为极难以接受理发、扎辫子和戴帽子等行为,个别家长坚持尝试的儿童,在为期4、5个月的长间隔试验后,逐渐消除不安全感,接受头盔,作为个案,后期走向尚在持续观察中。

具体操作中,如果儿童在接受VR头盔前有任何的犹豫或者退缩,则正面理解接受儿童的感受,允许他们自由选择和拒绝,而不加催促,给与儿童“拒绝的权力”有助于儿童引发兴趣,并消除紧张等不安全感;而任何负面的强迫引发的抵触,则需要一定时间间隔的状态恢复,以消除不安全感的积累。

筛选与示范的作用同样非常显著。ASD儿童群体中功能程度较高,且情绪较为稳定的5~8岁的儿童在前3次甚至第1次实验中,接受VR头盔的成功率大大高于平均水平。精细筛选儿童的示范,对其他儿童,甚至对教师和家长信心的建立具有非常重要的作用。在同一机构,最初几个成功样本稳定接受培训前,儿童培训彼此间独立,减少互相干扰;而在医院门诊志愿参加实验的儿童和家长群体中,样本进入稳定学习前的隔离

和减少干扰,尤为必要。

4.4 功能与流程

ASD儿童的VR辅助治疗全流程分为4步,分别解决ASD儿童对VR辅助治疗方法的接受、社交的认知基础、社交化体验和训练、融合性训练的问题(图14)。



图14 VR-ASD辅助治疗的功能阶段和流程

Fig. 14 VR-ASD adjuvant therapy procedure & functional phases

接受性训练阶段,最首要的一步是获得家长的理解与认可,儿童持续有效的培训与家长的理解与认可密不可分,多数家长在实验中体现了莫大的理解与支持,长期坚持训练,并与实验人员深入广泛沟通,给出了很多有益的建议和意见。其次是儿童安全感与成就感的培养,通过实验人员熟练而有效的流程控制,通过给予ASD儿童“不做的选择权”,获取安全感,从而加快脱敏过程,帮助儿童顺利建立指令与反馈体系,为下面3步的辅助治疗打好基础。接受性训练阶段对于不同类型ASD儿童的统计与分析,有助于为后续辅助治疗选择个性化的训练内容和策略。

社交的认知基础训练,为后续的社交训练与应用预备了必要的各种要素信息。ASD儿童学习技能的不足极大影响了儿童对知识要素的获取,而知识与常识的缺乏,又反过来严重影响了ASD儿童对社交过程的理解。所以利用VR辅助治疗过程高效、内容可控的特点,抽丝剥茧,把复杂的社交化场景和过程分解成社交的信息元素(从简单的图形要素、语义化信息,到表情、动作等社交化信息元素),社交的人人和人物关系,社交的过程与典型情节,分门别类,循序渐进,最终把复杂的问题分解转化为不同能力ASD儿童可以理解掌握的能力和技巧要素,进而逆向集成和简单应用,为后2个阶段的学习训练打好基础。

社交化训练是整个VR-ASD辅助治疗的关键环节,是培养儿童社会生活技能的关键。通过VR等场景下对场景化社交行为的观察、模仿、被动化反馈,一对一互动和多人互动(PEERS),用场景和情节来集成前述训练中学习的各种认知和技能要素,从而达到从熟练掌握到跃跃欲试的“从能力到意愿”的提升,为后续的融合性训练做好充分的客观能力和主观意愿上的准备。

融入社会,意味着获得独立生活的能力,并建立与他人相互依赖的良性关系,所以融合性训练作为最后一个环节,也成为整个VR-ASD辅助治疗体系的终极目的实现的阶段。而这也将是最能体现VR技术手段相对于常规言传身教进步的地方,由于内容与过程可控,加之眼动跟踪、动作捕捉等技术与人工智能技术的深入应用,融会贯通,举一反三,成为这一阶段最有潜力,也最值得期待的环节。这一环节中,VR技术的应用需要与其他不同治疗手段结合。脱离了组织和过程的碎片化技术或内容,不能够行之有效地促进ASD儿童完成对所学知识的泛化和对社交准则的理解,从而获得持久而足够的社交意愿(图15)。



图15 大量孤独症儿童经过接受性训练后对认知和社交培训的良好适应

Fig. 15 Children got used to following courses after the acceptance of training phase

4.5 代表性场景简介

在VR-ASD辅助治疗体系中,以下场景(图16、图17)完成辅助治疗4个环节的不同功能。

1) 气球大作战, Balloon Boom。气球疗法,此场景旨在对ASD儿童进行VR头戴显示器的接受度训练,提升对语言指令理解与交互过程熟悉,在训练中根据提示,击破指定颜色的气球,锻炼ASD儿童颜色识别能力、听从指令能力,注意力,以及完成任务能力。

2) 小小音乐家, Musical Cub。音乐疗法,训练ASD儿童对图像化指令的理解与反应,并提升乐感和自信心。此场景根据ASD儿童程度,引导(或者自由)敲击音符立方体或1~3个八度的乐器音阶,演奏音乐库中的不同特点乐曲,从而改善视觉、听觉、触觉统合,提升ASD儿童的主动性、表现欲及音乐创造力和自信心。

3) 我是大画家, Magical Paintbrush。1.0版立方体自由选择颜色进行喷绘,2.0版白板临摹数字、字母、图形和简单汉字,3.0版立体仿绘不同教学人物形象等,致力于改善手部小肌群的灵敏度、协调性及手部力量。丰富对事物属性的感知和认知,提高思维水平。增加

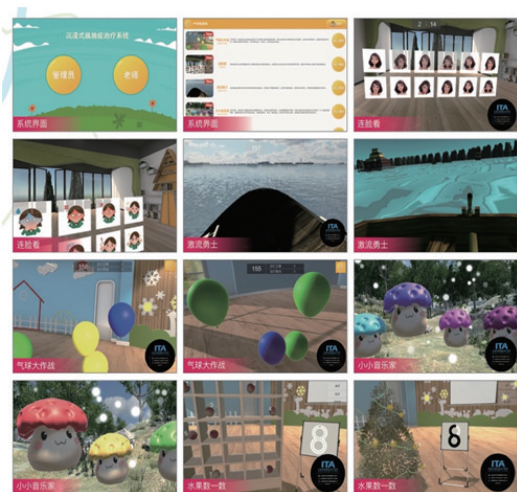


图 16 VR-ASD 辅助治疗训练各场景:
接受训练和认知训练

Fig. 16 VR-ASD courses: Acceptance training &
cognition training



图 17 VR-ASD 辅助治疗训练各场景:社交训练

Fig. 17 VR-ASD courses: Social interaction training

与心理表象产生共鸣能力。

4) 保龄时刻, Bowling Time。此款场景通过模拟保龄球运动,锻炼 ASD 儿童们握、甩等配合性动作以及手眼协调能力。

5) 神奇积木, Amazing Block。此款结构化的场景提供宽敞的操作场地和足够的结构元件,引导 ASD 儿童认识建构材料。把搭建好的积木作品放在前面,有意识的提供范例,指导他们学习模仿技能。在搭建的过程中锻炼他们的观察力、记忆力、视觉动作协调能力,并可通过相应曲线反映 ASD 儿童观察力和反应速度提升。

6) 激流勇士, Steam Hero。此场景通过模拟开阔水面和狭窄溪流的划艇运动,训练 ASD 儿童手眼协调能力,运动空间感知能力、提升体力和耐力,并培养坚强勇敢的努力精神。

7) 马路大冒险, Street Venture。这个场景为交通安全培训,场景中出现往来车辆和红绿灯指示,锻炼 ASD 儿童的反应能力、识别和躲避危险的能力,通过在马路躲避车辆的场景,锻炼 ASD 儿童的安全意识和日常生活技巧。

8) 打地鼠, Whack, Whack。训练 ASD 儿童的手眼协调能力和反应速度,有不同身材儿童的相应型号和根据反应力进阶的 4 级速度评分体系,可以给出 ASD 儿童反应力的发展曲线。

9) 连脸看, Facelink。趣味化提升 ASD 儿童对精细图形和人面部表情的关注度和敏锐性,从而提升儿童在社交中的专注度和持久度,改善父母和他人与 ASD 儿童交流的融洽度。

10) 可视化编程, Vivi-coding。针对阿斯伯格等高性能 ASD 儿童的特殊需求,通过针对性开发的立体图形化编程语言和直观开发环境,让 ASD 儿童自然而然学会编程思想,提升对空间、时序与逻辑思维能力,并发展看图说话和自编自导故事的能力,最高可以编导简单四幕话剧,引导 ASD 儿童日常广泛阅读和深入学习的兴趣。

11) 好记性, Smart Memory。针对 ASD 儿童特点的专注力和记忆力训练,分三级难度和四档速度,并可给出 ASD 儿童记忆力进步曲线。

12) 积木圣手, Broad Builder。根据非语言指令,在空间中布置不同形状的积木模块,进而构建特定空间结构,训练 ASD 儿童的空间反应能力和想象力。

13) 水果数一数, Fruit Counting。此场景旨在提升 ASD 儿童的数量感知能力,并改善读写可能存在的困难,通过儿童在平面和空间中的点数训练,提升儿童的试错能力和手眼联合注意机制,从而带来注意机制集中度和持久度的进步。

4.6 AI 技术在 VR-ASD 中的应用

人工智能技术(AI 技术)与 VR 技术的结合,为 ASD 程度辅助诊断和辅助治疗过程控制提供了有利支持。

VR 环境下的深度学习参与辅助诊断,通过 VR 设备的运动传感器自动记录 RapidABC 等量表数据,获取受测者的眼球(图 18),头部和肢体动作与场景内容的

相关性参数,获取可以指示受测者注意机制专注度和持久度的指示信息,用于对受测者状态和进展的比对判断;进而自适应调整场景和辅助治疗内容,以及适时进入下一阶段。

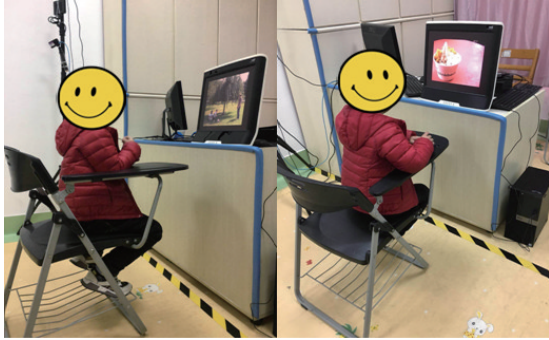


图 18 AI眼动分析 ASD 注意机制变化

Fig. 18 Eye-tracking experiments of ASD Children

在实验中也发现 ASD 儿童存在眩晕不敏感现象,VR 设备记录个别 ASD 儿童由于自身刻板行为,2 min 内持续旋转 20~40 圈,并没有明显的眩晕和肢体失调状况。今后将更多关注和深入研究 ASD 儿童的眩晕机制。

文献和实验表明,实体机器人可以为 ASD 儿童带来成人不同的交流和安抚(图 19),实体机器人与 VR 机器人的结合搭配,有助于儿童将 VR 场景学习成果与现实经验结合并泛化^[20]。



图 19 实体机器人与 VR 机器人结合

Fig. 19 Robotics in reality and VR for ASD treatment

5 结论

VR 技术的进步为 ASD 的辅助治疗提供了新的技术手段,把许多传统精神类疾病领域之外的方法用于 ASD 的实践和探索,突破了传统方法的应用空间,在解决传统问题的同时,也发现了许多新问题和新现象,深化了对 ASD 和 VR 技术的认识。

下一步的工作将继续深入探究 ASD 的表征和基因等深层因素的因果性挖掘。大量样本 ASD 儿童在 VR 场景中的眼动、头动和身体运动指示的注意机制持久度和专注度等指标与分组,通过基因计算技术和人工智能深度学习,挖掘与 ASD 儿童及其父母基因的关系,循证特定基因位点对 ASD 的指示作用,以及各个分型之间的区分和程度差别,最终用于基因筛查、婚育后下一代 ASD 风险评估、孕早期胎儿 ASD 筛查等技术的开发。

参考文献 (References)

- [1] 中国电子学会. 2017 VR/AR 技术与产业研究报告[R]. 北京: 中国电子学会, 2017.
Chinese Institute of Electronics. 2017 VR/AR technology and industry research report[R]. Beijing: Chinese Institute of Electronics, 2017.
- [2] Burdea G, Gomez D, Langrana N. Distributed virtual force feedback[C]//IEEE Workshop on Force Display in Virtual Environments and its Application to Robotic Teleoperation. Piscataway NJ: IEEE, 1993: 24-44.
- [3] 杜亚松. 孤独谱系障碍非药物治疗进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2017, 25(12): 1189-1193.
Du Yasong. ASD non drug therapy progress[J]. Chinese Journal of Child Health Care, 2017, 25(12): 1189-1193.
- [4] United States Centers for Disease Control and Prevention. Prevalence of autism spectrum disorders: Autism and developmental disabilities monitoring network(NO.SS- 1) [J]. Surveillance Summaries, 2007, doi: 10.1037/e562722010-001.
- [5] American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, fifth edition(DSM-5)[M]. Washington DC: American Psychiatric Publishing, 2013.
- [6] McCarthy M. Autism diagnoses in the US rise by 30%, CDC reports[R/OL]. [2018-03-31]. <https://minimanuscript.com/manuscripts/autism-diagnoses-in-the-us-rise-by-30-c.pdf>.
- [7] Xiang S, Allison C, Matthews F E, et al. Prevalence of autism in mainland China, Hong Kong and Taiwan: A systematic review and meta-analysis[J]. Molecular Autism, 2013, 4(1), doi: 10.1186/2040-2392-4-7.
- [8] 杜亚松. 孤独谱系障碍治疗、康复的研究进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2015, 23(12): 1233-1235.
Du Yasong. ASD therapy and recure research progress[J]. Chinese Journal of Child Health Care, 2015, 23(12): 1233-1235.
- [9] Heflin L J, Simpson R L. Intervention for children and youth with autism: Prudent choice in a world of exaggerated claims and empty promises. Part 1: Intervention and treatment option review[J]. Focus on Autism & Other Developmental Disabili-

- ties, 1998, 13(2): 194–211.
- [10] 吕桃, 杜亚松. 图片交换沟通法治疗孤独谱系障碍的研究进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2014, 22(12): 1274–1276.
Lv Tao, Du Yasong. PECS in ASD therapy research progress [J]. Chinese Journal of Child Health Care, 2014, 22(12): 1274–1276.
- [11] Oberman L M, Rotenberg A, Pascual-Leone A. Use of transcranial magnetic stimulation in autism spectrum disorders[J]. Journal of Autism & Developmental Disorders, 2015, 45(2): 524–536.
- [12] 周扬, 黄懿扬, 陈一心. 孤独谱系障碍教育训练的辅助干预研究进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2015, 23(5): 497–499.
Zhou Yang, Huang Yiyang, Chen Yixin. Research Progress on auxiliary intervention in education and training of ASD[J]. Chinese Journal of Child Health Care, 2015, 23(5): 497–499.
- [13] Bauminger N, Kasari C. Loneliness and friendship in high-functioning children with autism[J]. Child Development, 2000, 71(2): 447–456.
- [14] Laugeson E A, Park M N. Using a CBT approach to teach social skills to adolescents with autism spectrum disorder and other social challenges: The PEERS method[J]. Journal of Rational-Emotive and Cognitive-Behavior Therapy, 2014, 32(1): 84–97.
- [15] 李改智, 杜亚松. 社交技能教育和促进项目对孤独谱系障碍青少年社交技能的提升作用研究进展[J]. 中国儿童保健杂志, 2017, 25(9): 917–920.
Li Gaizhi, Du Yasong. Research progress on PEERS for ASD adolescents social skill improving[J]. Chinese Journal of Child Health Care, 2017, 25(9): 917–920.
- [16] Fernández-Herrero J, Lorenzo-Lledó G, Carreres A L. A bibliometric study on the use of virtual reality (VR) as an educational tool for high-functioning autism spectrum disorder (ASD) children[M]//Fernández-Herrero J, Lorenzo-Lledó G, Lledó A. Carreres Contemporary Perspective on Child Psychology and Education. London: Intech Open, 2018.
- [17] Strickland D, Marcus L M, Mesibov G B, et al. Brief report: Two case studies using virtual reality as a learning tool for autistic children[J]. Journal of Autism & Developmental Disorders, 1996, 26(6): 651–659.
- [18] Mitchell P, Parsons S, Leonard A. Using virtual environments for teaching social understanding to 6 adolescents with autistic spectrum disorders[J]. Journal of Autism & Developmental Disorders, 2007, 37(3): 589–600.
- [19] Wang M, Anagnostou E. Virtual reality as treatment tool for children with autism[M]. New York: Springer, 2014.
- [20] Esteban P G, Baxter P, Belpaeme T, et al. How to build a supervised autonomous system for robot-enhanced therapy for children with autism spectrum disorder[J]. Paladyn Journal of Behavioral Robotics, 2017, 8(1): 18–38.

VR as an adjuvant tool in ASD therapy

FAN Lei¹, DU Yasong², ZHAI Guangtao¹

1. Institute of Image Communication & Network Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200230, China

2. Shanghai Mental Health Center, Medical School, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China

Abstract This paper reviews the features and development of VR technologies and their applications in medical treatments and mental health. It presents a history of discovery and understanding of ASD and the framework of an ASD non drug therapy system. A new treatment based on VR for ASD treatment is then introduced by analyzing the relation between VR and ASD, with various issues for research and development of VR-ASD treatment being discussed. New discoveries, new ideas, and massive experimental experience and skill are surveyed. Future research and development directions are prospected as well.

Keywords virtual reality; artificial intelligence; autism spectrum disorder; human-computer interaction; adjuvant therapy ●



(责任编辑 刘志远)