

• 科研论著 •

虚拟现实技术干预孤独谱系障碍儿童青少年的可行性与安全性初探

闫文洁¹, 翟天舒¹, 李焱¹, 江文庆¹, 陈静¹, 孙智信¹, 林裕雄¹, 张喜燕², 杜亚松¹

1. 上海交通大学医学院附属精神卫生中心, 上海 200030; 2. 同济大学附属精神卫生中心

摘要: **目的** 评估沉浸式虚拟现实(IVR)干预孤独谱系障碍(ASD)儿童青少年适应性能力的可行性、可接受性、安全性及有效性。**方法** 2023 年 9 月—2024 年 8 月招募 33 例 8~16 岁 ASD 受试者,参与为期平均 8 周,每周 1 次,每次 1h 的 IVR 干预。通过问卷、访谈、任务完成时间进行评估。**结果** 28 例(84.8%)ASD 受试者完成了干预。可接受性方面,100%的受试者及其监护人对干预的设置满意并对内容感兴趣;临场感量表(IPQ)结果显示,首次干预后的总分处于可接受范围内(0.41 ± 0.85),但末次干预后总分显著下降至 0.26 ± 0.98 ,差异有统计学意义($t=2.150, P=0.041$)。安全性方面,受试者和监护人报告的不适症状比例分别为 39.4%和 33.3%,主要表现为头晕;首次干预后模拟器眩晕问卷(SSQ)总分处于可接受范围内(19.77 ± 12.07),末次干预后总分为 17.36 ± 13.11 ,差异无统计学意义($t=1.060, P=0.298$)。有效性方面,自制日常生活技能问卷总分显著提升($t=3.788, P=0.001$),各场景下 IVR 任务的完成时间显著降低($P<0.001$)。**结论** 该 IVR 系统对 ASD 儿童青少年安全、可行、有效,未来研究应设置对照、扩大受试者范围、引入更多客观评估,并优化系统以减轻干预过程中产生的晕动症,提升其可用性。

关键词: 孤独谱系障碍; 沉浸式虚拟现实; 适应性能力; 可行性; 安全性

中图分类号:R749.94 文献标识码:A 文章编号:1008-6579(2025)07-0738-05 doi:10.11852/zgetbjzz2024-1154

Exploration of the feasibility and safety of virtual reality intervention for children and adolescents with autism spectrum disorder

YAN Wenjie¹, ZHAI Tianyu¹, LI Yan¹, JIANG Wenqing¹, CHEN Jing¹, SUN Zhixin¹, LIN Yuxiong¹,
ZHANG Xiyang², DU Yasong¹

1. Shanghai Mental Health Center, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200030, China;

2. Mental Health Center of Tongji University

Corresponding author: DU Yasong, E-mail: yasongdu@163.com

Abstract: **Objective** To evaluate the feasibility, acceptability, safety, and effectiveness of immersive virtual reality (IVR) interventions in improving adaptive skills in children and adolescents with autism spectrum disorder (ASD). **Methods** From September 2023 to August 2024, 33 ASD participants aged 8–16 years were recruited to undergo an IVR intervention lasting an average of 8 weeks, with one session per week and each session lasting 1 hour. Assessments were conducted using questionnaires, interviews, and task completion time. **Results** Finally 84.8% of participants completed the intervention. In terms of acceptability, 100% of participants and their guardians were satisfied with the intervention setup and found the content engaging. The Presence Questionnaire (IPQ) results showed that the total score after the first intervention was within an acceptable range (0.41 ± 0.85), but it significantly decreased to 0.26 ± 0.98 after the final intervention ($t=-2.150, P=0.041$). Regarding safety, 39.4% of participants and 33.3% of guardians reported mild discomfort, primarily dizziness. The Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) total score after the first intervention was within an acceptable range (19.77 ± 12.07), and it was 17.36 ± 13.11 after the final intervention, with no statistically significant difference ($t=1.060, P=0.298$). In terms of effectiveness, the total score of the self-designed daily living skills questionnaire significantly improved ($t=3.788, P=0.001$), and the completion times for IVR tasks across various scenarios significantly decreased. **Conclusions** The IVR system is safe, feasible, and effective for children and adolescents with ASD. Future studies should include control groups, expand the participant pool, incorporate more objective assessments, and optimize the system to reduce motion sickness and enhance usability.

Keywords: autism spectrum disorder; immersive virtual reality; adaptive ability; feasibility; safety

基金项目:国家重点研发计划“重大慢性非传染性疾病防控研究”重点专项子课题(2017YFC1309903);上海市公共卫生体系建设三年行动计划(2020-2022)重点学科建设计划(GWV-10.1-XK19);上海市浦东新区卫生健康委员会优秀青年医学人才培养项目(PWRq2021-09)

作者简介:闫文洁(1996—),女,博士研究生,主要研究为孤独谱系障碍儿童青少年的神经机制研究。

通信作者:杜亚松, E-mail: yasongdu@163.com

孤独谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一种以持续的社交交流和互动缺陷,以及受限、重复的行为模式、兴趣或活动为核心症状的神经发育障碍^[1]。ASD 患者常伴随适应性能力缺陷,表现为沟通、社交和日常生活技能的障碍^[2]。队列研究表明,4 岁和 9 岁时的适应性能力落后与 ASD 患者成年期较差的功能结局相关^[3]。

虚拟现实技术是一种通过算法生成实时交互的三维虚拟世界的技术,具有交互性、沉浸性和想象性,能够弥补 ASD 患者在互动和想象力方面的不足^[4]。沉浸式虚拟现实(immersive virtual reality, IVR)技术通过头戴显示器、手柄等设备提供多感官交互体验^[5],近年来广泛应用于各领域研究。本研究旨在设计一种 IVR 干预系统,评估其在提升 ASD 儿童青少年适应性能力方面的可行性、可接受性、安全性和有效性,为未来 IVR 干预系统的优化与应用提供参考。

1 对象和方法

1.1 对象 研究对象于 2023 年 9 月—2024 年 8 月从上海精神卫生中心儿少精神科门诊连续招募。纳入标准:1)8~16 岁;2)由副主任及以上级别医师根据精神疾病诊断与统计手册第五版(Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition, DSM-5)标准诊断为 ASD;3)韦氏儿童智力量表-第四版(Wechsler Intelligence Scale for Children-IV, WISC-IV)总智商 ≥ 50 及适应行为评定量表-第二版(Adaptive Behavior Assessment System-II, ABAS-II)一般适应综合分数 ≥ 50 ;4)若正在接受其他治疗,原治疗方案保持不变。排除标准:患有视力、听力障碍、癫痫、严重躯体疾病或脑器质性疾病,以及精神分裂症等不适合进行 IVR 干预的神经、精神类疾病。研究经上海精神卫生中心伦理委员会批准(批件号:2019-02),所有受试者及监护人均签署了知情同意书并自愿参与。

1.2 评估工具

1.2.1 临床评估 WISC-IV 用于智商的评定,反映儿童的一般智能情况,总智商 ≥ 80 为正常水平,70~79 为临界水平,50~69 为轻度落后^[6]。ABAS-II 是用于评估个体在日常生活中适应环境和应对需求的能力的标化工具,综合适应能力评分标准与 WISC-IV 相同,总 Cronbach's α 系数为 0.99^[7]。

1.2.2 临场感量表 临场感量表(IGroup Presence Questionnaire, IPQ)用于评价 VR 环境质量,包括空间临场感、参与感、真实感 3 个维度以及 1 个一般因

素,共 14 个条目,采用 7 点计分(-3~3 分),维度得分及总分越高,临场感越强。总 Cronbach's α 系数为 0.75,重测信度为 0.82^[8]。为减轻受试者负担,仅在首次及末次干预后填写本问卷。每次干预后,受试者以 1(完全没有)~7 分(非常强烈)评估继续参与训练的意愿。

1.2.3 模拟器眩晕问卷 模拟器眩晕问卷(Simulator Sickness Questionnaire, SSQ)用于评估 VR 引起的不适症状,包括恶心、动眼和定向障碍 3 个维度,共 16 个条目,采用 4 点计分(0~3 分)。各维度及总分根据题目权重计算,得分越高眩晕感越强。总 Cronbach's α 系数为 0.75,重测信度为 0.76^[9]。为减轻受试者负担,仅在首次及末次干预后填写本问卷。每次干预后,受试者以 1 分(非常不适)~7 分(非常舒适)评估舒适感,并口头报告不适症状。

1.2.4 自制日常生活技能问卷 根据 IVR 训练场景设计,包括“地铁购票”、“购物遇到困难时求助工作人员”、“整理书包”、“在餐厅点餐及付款”等 25 个题目,每题以 1(完全不会)、2(协助下能完成)、3(少量提示下能完成)、4(能独立完成)评分。总分范围 25~100 分,得分越高代表相应技能水平越高。

1.2.5 IVR 内置计时系统 系统自动记录各任务的完成时间。地铁和超市场景因需重复训练同类能力,还会记录每步骤时间,如超市的任务响应、取货完成、前往付款、付款完成、离场完成时间;地铁的购票、安检、进站、乘车及出站时间。家庭和游乐园场景因训练能力多样,仅记录总完成时间。

1.2.6 定性访谈 干预结束后,对受试者监护人进行半结构化访谈,涵盖了可接受性和安全性两方面。可接受性:1)儿童是否对 IVR 干预的内容感兴趣? 2)如果后续设计了新的干预场景,儿童是否愿意继续参加 IVR 训练? 3)您认为目前的训练时间与频率是否合理? 安全性:1)干预的过程中儿童反映过哪些不适症状? 2)不适症状在训练结束后会持续存在吗? 3)不适症状的严重程度随着训练次数的增加是否有改善?

1.3 IVR 干预

1.3.1 硬件设备 1)跑步机:配备万向轮,支持受试者根据任务自由行走;2)头戴显示器:无线传输虚拟图像供受试者观看;3)手柄:用于与虚拟环境交互,如选择或抓握等操作;4)外接显示屏:供研究人员实时监控受试者行为并提供指导。

1.3.2 场景 系统涵盖了地铁、超市、家庭和游乐园四大场景,共 36 项任务,每个场景包含 8~10 个任务,旨在训练多种适应性技能,如刷卡进站、超市

支付宝结账、寻找餐厅点餐及识别家庭潜在危险等。

1.3.3 干预设置 每项任务在 IVR 干预中需完成 2 次,共 72 次任务。干预过程分为 8 次,具体次数根据受试者的接受度和能力调整,每次干预约 60min。

1.4 统计学方法 定量资料:建立 Excel 数据库,双录入性别、年龄等信息,使用 SPSS 25.0 分析。正态分布计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,部分计量资料为近似正态分布,同以 $\bar{x} \pm s$ 表示,前后比较使用配对 t 检验,计数资料以例数(%)表示, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。定性资料:通过腾讯会议记录访谈内容,经逐字检查后应用框架法分析,使用 NVivo 11.0 进行文本编码并提炼主题。

2 结 果

2.1 研究对象的基线特征 本研究共招募 40 例 ASD 受试者,经评估,5 例因总智商低于 50 被排除,2 例因无法按时参与干预被排除,最终纳入 33 例。受试者中男性 29 例(87.9%),女性 4 例(12.1%);平均年龄(13.66 ± 2.28)岁,其中儿童(8~12 岁)13 例(39.4%),青少年(13~16 岁)20 例(61.6%);总智商(99.42 ± 21.40)分,其中轻度落后 5 例(15.2%),正常水平 28 例(84.8%);总适应能力(81.64 ± 14.09)分,其中轻度落后 5 例(15.2%),临界水平 6 例(18.2%),正常水平 22 例(66.7%)。研究开始时,11 例(33.3%)接受药物治疗,1 例(3.0%)参与康复训练,7 例(21.2%)同时接受药物和康复治疗,其余 14 例(42.4%)未接受任何治疗。

2.2 IVR 设备配戴情况可行性 在 33 例受试者中,所有人经 IVR 设备教学后均能正确操作。期间,3 例因共患抽动障碍无法持续佩戴设备退出;1 例因病请假超过 4 周退出;另 1 例因多次损坏设备被迫退出。最终,28 例受试者(84.8%)完成全部干预。

2.3 IVR 设备干预的环境质量及可接受性调查结果 28 例受试者在干预中表现出较高的持续参与意愿,得分(6.00 ± 1.14)分。配对样本 t 检验显示,与首次干预相比,末次干预的 IPQ 总分显著下降($t = 2.150, P = 0.041$),但各子维度及一般因素的下降差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。访谈结果显示,所有监护人均认为受试者对 IVR 内容感兴趣。20 例监护人愿意让受试者继续参与后续训练;7 例表示需视受试者时间安排而定;1 例因干预效果不明显拒绝继续参与。此外,所有受试者及监护人均认可训练的频率和时间安排。

2.4 IVR 设备干预的不适症状调查结果 在 IVR

干预中,13 例受试者(39.4%)报告了不适症状,其中 6 例仅报告头晕,5 例报告头晕伴疲劳,症状在停止使用设备后自行消失。受试者不适感较低,平均得分(5.13 ± 0.96)分。配对样本 t 检验显示,末次干预后 SSQ 总分及各子维度得分干预前后差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。访谈结果显示,11 位监护人(33.3%)表示,受试者在干预期间曾出现头晕或疲劳,症状在干预后随即消失。其中,10 例受试者仅在前 2~3 次干预中有不适,1 例受试者每次训练均有不适。另有 1 位监护人提到,受试者曾在干预结束 6h 后曾感“身体不自主向前移动”,该症状在休息并安抚情绪后消失。

表 1 IVR 干预前后 IPQ 问卷及 SSQ 问卷分数比较($\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Comparison of IPQ and SSQ scores before and after IVR Intervention($\bar{x} \pm s$)				
调查问卷	首次干预后	末次干预后	t 值	P 值
可接受性_IPQ				
空间临场感	0.61 ± 0.91	0.52 ± 0.97	1.609	0.119
参与感	0.07 ± 0.96	0.07 ± 1.41	1.043	0.306
真实感	0.41 ± 1.08	0.17 ± 1.28	1.880	0.071
一般因素	0.75 ± 1.18	0.57 ± 1.50	0.775	0.445
总分	0.41 ± 0.85	0.26 ± 0.98	2.150	0.041
安全性_SSQ				
恶心	19.08 ± 13.00	16.35 ± 14.16	1.155	0.258
动眼	14.62 ± 10.32	13.54 ± 10.79	0.537	0.595
定向障碍	18.89 ± 17.14	15.91 ± 15.66	0.875	0.389
总分	19.77 ± 12.07	17.36 ± 13.11	1.060	0.298

注:IPQ 问卷各维度及总分均值的取值范围均为-3~3;SSQ 问卷中恶心的取值范围为 0~200.34 分,动眼的取值范围为 0~159.19 分,定向障碍的取值范围为 0~292.32 分,总分的取值范围为 0~235.62 分。

2.5 IVR 设备干预效果的有效性 自制日常生活技能问卷结果显示,与干预前日常生活技能得分相比(91.15 ± 9.64),干预后该得分(95.22 ± 5.92)显著提升($t = 3.788, P = 0.001$)。IVR 内置计时系统显示,与第一遍任务完成时间相比,第二遍任务完成时间均显著降低($P < 0.001$)。见图 1。

3 讨 论

3.1 IVR 技术在 ASD 儿童青少年干预中的可行性

本研究中,84.8%的受试者完成了所有干预,与其他神经发育障碍 IVR 干预研究的完成率相当^[10],表明该干预在 ASD 儿童青少年中的可行性较好。例如,Amaral 等^[11]设计的针对 16~38 岁 ASD 患者社会注意 IVR 干预中,88.2%的受试者完成了全部 7 次训练;Gabrielli 等^[12]针对 13~18 岁 ASD 青少年

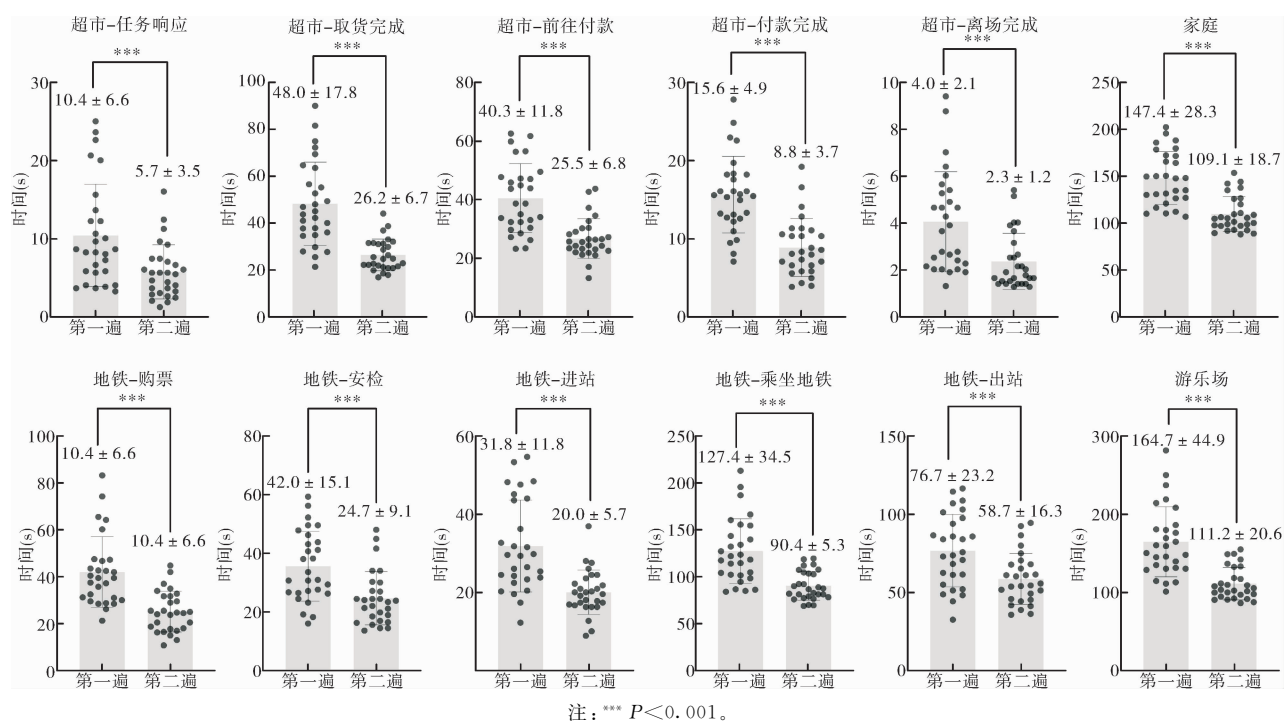


图1 第一遍和第二遍任务完成时间比较

Fig. 1 Comparison of task completion time between the first and second attempts

社交技能的 IVR 干预中,仅 10% 的受试者完成了全部 4 次训练,61% 的受试者完成了 3 次训练;Ravindran 等^[13]设计的针对 9~16 岁 ASD 青少年联合注意的 IVR 训练中,100% 的受试者完成了全部 5 次训练,但任务完成率为 80.3%。IVR 训练的完成率受训练内容、时间、频率及受试者感官挑战等因素影响^[14],在本研究中,5 名退出者并非因不良反应退出,其中 3 名因共患抽动障碍,影响了头戴显示器的佩戴和画面稳定性,这可能加剧晕动症并引发精神紧张,从而进一步诱发抽动症状,形成恶性循环。因此,在评估 IVR 干预适用对象时,应谨慎考虑共患抽动障碍的患者。另有 1 名无其他治疗的受试者因频繁移除设备和破坏性行为退出,表明纳入前需评估受试者的症状严重程度,以确认其是否适合在当前阶段接受 IVR 干预。

3.2 IVR 技术在 ASD 儿童青少年干预中的可接受性 有系统综述指出,ASD 患者对 IVR 技术具有高度接受性^[14]。本研究中,受试者均对 IVR 训练内容感兴趣,继续参与意愿较强,大多数监护人支持继续参与,并认可训练的频率与时长安排,表明该系统具备较高的可接受性。IVR 系统的核心特征是沉浸感,即提供生动逼真体验的能力,临场感可用于评估沉浸体验的程度,且高临场感与干预后技能泛化高度相关^[15]。本研究中,首次和末次干预的临场感总分均大于 0,说明沉浸程度在可接受范围内。尽管

缺乏神经发育障碍患者的相关数据,但与其他领域研究一致,例如,Just 等^[16]调查的老年精神病房中 IVR 使用后的平均临场感评分为 0.41。此外,末次干预的临场感分数较首次有所下降,可能与多次暴露导致的适应性现象有关^[17]。参与感指个体专注于虚拟场景事件而非旁观虚拟世界的程度,本研究中参与感得分相对较低,可能因研究侧重生活技能训练,而虚拟互动内容相对有限。

3.3 IVR 技术在 ASD 儿童青少年干预中的安全性

晕动症是 IVR 使用中的主要问题,也是安全性评估的重要指标。尽管 SSQ 无统一界限标准,有研究认为总分 ≤ 20 为安全范围^[18],本研究中,首次和末次干预的 SSQ 各维度及总分均低于 20 分,受试者干预后自评不适感较低,未出现严重不良事件(如癫痫发作),表明该系统安全性良好。问卷和访谈结果一致,约 30%~40% 的受试者在干预中出现头晕,但症状均在停止使用 IVR 设备后消失,且不良反应随着训练次数增加逐渐减少,末次干预的 SSQ 得分较首次有所下降,说明多次训练可逐步减轻晕动症状^[19]。这与 McCleery 等^[20]的研究结果一致,其对 31 名 12~38 岁 ASD 患者的研究显示,不良反应从首次干预的 30% 降至第 2~3 次干预的 7%,另有 Malihi 等^[21]的研究报告,28% 的 8~18 岁 ASD 患者在 IVR 使用后出现了不良反应。一项系统综述发现,14 岁以下儿童使用 IVR 后几乎无显著安全问

题或不良事件^[22],但由于纳入的研究对象为非神经发育障碍儿童,研究对不良事件定义不明、缺乏客观评估方式及报告质量较低,这些研究的参考价值有限。

3.4 IVR 技术在 ASD 儿童青少年干预中的有效性

购物和公共交通是适应性技能训练的关键领域,对独立生活至关重要。例如,Simões 等^[23]对 10 名 14~24 岁 ASD 患者进行了 3 次 IVR 公交训练,任务成功率达 93.8%,显著改善了现实中的乘车表现,并降低了焦虑水平(皮肤电活动);Miller 等^[24]对 7 名 10~22 岁 ASD 患者进行了 3 次 IVR 乘飞机训练,提升了其注意力、特定语言和活动的理解能力;Lamash 等^[25]对 59 名 11~19 岁 ASD 患者开展桌面式 VR 训练,并在现实超市中测试,结果显示干预组的注意力、执行功能、购物准确性和策略显著改善,且技能成功迁移至现实场景;Adjorlu 等^[26]研究超市购物训练时,干预组与对照组在购物时间上无显著差异,这可能与任务难度和行走距离等因素有关。研究表明,多次重复训练有利于提高训练效果^[27],本研究中,每项任务均训练 2 次,尤其是乘坐地铁和购物能力在不同场景中反复练习。主观日常生活问卷得分和客观任务完成时间均显著改善,进一步支持了 IVR 干预在实际应用中的潜力。

3.5 局限性与未来研究方向 1)本研究的 33 名受试者均来自临床招募,可能偏向行为问题较重但合作度高、对 IVR 态度积极且对晕眩等副作用不敏感的群体。未来应在社区和特殊学校中招募更具有代表性的受试者,并设置对照组以提高研究的证据等级;2)本研究通过问卷及访谈等多维度评估系统的可接受性和安全性,但均为主观反馈,可能受受试者的社交沟通能力的限制而影响结果的客观性。未来可引入功能性磁共振成像、脑电图、眼动追踪、心率变异性等客观生理指标进行补充评估^[17, 28];3)尽管该系统已多次优化,部分任务仍存在闪退、延时或位置追踪错误等问题,可能导致任务延迟、设备校准中断,影响用户体验并加重晕动症。未来应进一步改进 IVR 系统,减少不适感,提升沉浸感和系统可用性。

综上,本研究调查了 IVR 系统提升 ASD 儿童青少年适应性能力的可行性、可接受性、安全性和有效性。结果显示,受试者退出率低,受试者兴趣度高,干预方案合理,临场感评分良好,无严重不良事件,少数受试者出现可迅速消退的轻微副作用,训练的能力得到了提升,初步证明了其应用的可行性、可接受性、安全性和有效性。未来研究应扩大受试者范围,结合更多客观评估指标,并持续优化系统以减轻晕动症并提高可用性。

参考文献

- [1] American Psychological Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5[M]. 5th ed. Washington, DC: American Psychological Association, 2013.
- [2] Tassé MJ, Schalock RL, Balboni G, et al. The construct of adaptive behavior: Its conceptualization, measurement, and use in the field of intellectual disability[J]. Am J Intellect Dev Disabil, 2012, 117(4): 291-303.
- [3] McCauley JB, Pickles A, Huerta M, et al. Defining positive outcomes in more and less cognitively able autistic adults[J]. Autism Res, 2020, 13(9): 1548-1560.
- [4] Pyun KR, Rogers JA, Ko SH. Materials and devices for immersive virtual reality[J]. Nat Rev Mater, 2022, 7(11): 841-843.
- [5] Fusco A, Tieri G. Challenges and perspectives for clinical applications of immersive and non-immersive virtual reality [J]. J Clin Med, 2022, 11(15):4540.
- [6] 张厚粲. 韦氏儿童智力量表第四版(WISC-IV)中文版的修订[J]. 心理科学, 2009, 32(5): 1177-1179.
Zhang HC. The revision of WISC-IV Chinese version[J]. Psychol Sci, 2009, 32(5): 1177-1179.
- [7] 李毓秋, 邱卓英. 适应性行为评定量表第二版中文版(儿童用)标准化研究[J]. 中国康复理论与实践, 2016, 22(4): 378-382.
Li YQ, Qiu ZY. Standardization of adaptive behavior assessment system-II (6-18 years old) Chinese version[J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2016, 22(4): 378-382. (in Chinese)
- [8] 梁家辉, 柯晓晓, 汪亚珉. 中文版虚拟现实环境临场感量表的应用与修订[J]. 人类工效学, 2021, 27(2): 39-44, 80.
Liang JH, Ke XX, Wang YM. The reliability and validity of Chinese version of Igroup presence questionnaire[J]. Chin J Ergon, 2021, 27(2): 39-44, 80. (in Chinese)
- [9] 张孝湘, 柯晓晓, 张乐然, 等. 仿真场景眩晕问卷中文版测评大学生的效度和信度[J]. 中国心理卫生杂志, 2022, 36(1): 68-72.
Zhang XX, Ke XY, Zhang LR, et al. Validity and reliability of the Chinese version of the simulator sickness questionnaire in college students[J]. Chin Ment Health J, 2022, 36(1): 68-72. (in Chinese)
- [10] Valentine AZ, Brown BJ, Groom MJ, et al. A systematic review evaluating the implementation of technologies to assess, monitor and treat neurodevelopmental disorders: A map of the current evidence[J]. Clin Psychol Rev, 2020, 80: 101870.
- [11] Amaral C, Mouga S, Simões M, et al. A feasibility clinical trial to improve social attention in autistic spectrum disorder (ASD) using a brain computer interface[J]. Front Neurosci, 2018, 12: 477.
- [12] Gabrielli S, Cristofolini M, Dianti M, et al. Co-design of a virtual reality multiplayer adventure game for adolescents with autism spectrum disorder: Mixed methods study[J]. JMIR Serious Games, 2023, 11: e51719.

(下转第 770 页)

- specific coping responses to suicidal urges: A case series analysis and illustration of the idiographic method[J]. *Suicide Life Threat Behav*, 2022, 52(3): 490-499.
- [36] Van Orden KA, Witte TK, Cukrowicz KC, et al. The interpersonal theory of suicide[J]. *Psychol Rev*, 2010, 117(2): 575-600.
- [37] Czyz EK, Horwitz AG, Arango A, et al. Short-term change and prediction of suicidal ideation among adolescents: A daily diary study following psychiatric hospitalization[J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2019, 60(7): 732-741.
- [38] Al-Dajani N, Czyz EK. Suicidal desire in adolescents: An examination of the interpersonal psychological theory using daily diaries[J]. *J Clin Child Adolesc Psychol*, 2022; 1-15.
- [39] Czyz EK, Yap JRT, King CA, et al. Using intensive longitudinal data to identify early predictors of suicide-related outcomes in high-risk adolescents: Practical and conceptual considerations[J]. *Assessment*, 2021, 28(8): 1949-1959.
- [40] Czyz EK, Koo HJ, Al-Dajani N, et al. Predicting short-term suicidal thoughts in adolescents using machine learning: Developing decision tools to identify daily level risk after hospitalization[J]. *Psychol Med*, 2021.
- [41] Nugent NR, Arney M, Boker S, et al. Adolescents hospitalised for suicidality: Biomarkers, social and affective predictors: A cohort study[J]. *BMJ Open*, 2022, 12(10): e056063.
- [42] Fischer A, Rosner R, Renneberg B, et al. Suicidal ideation, self-injury, aggressive behavior and substance use during intensive trauma-focused treatment with exposure-based components in adolescent and young adult PTSD patients[J]. *Borderline Personal Disord and Emot Dysregul*, 2022, 9(1):1.
- [43] Czyz EK, King CA, Biermann BJ. Motivational interviewing-enhanced safety planning for adolescents at high suicide risk: A pilot randomized controlled trial[J]. *J Clin Child Adolesc Psychol*, 2019, 48(2): 250-262.
- [44] Czyz EK, King CA, Prouty D, et al. Adaptive intervention for prevention of adolescent suicidal behavior after hospitalization: A pilot sequential multiple assignment randomized trial [J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2021, 62(8): 1019-1031.
- [45] Webb CA, Forgeard M, Israel ES, et al. Personalized prescriptions of therapeutic skills from patient characteristics: An ecological momentary assessment approach[J]. *J Consult Clin Psychol*, 2022, 90(1): 51-60.
- 收稿日期:2024-04-30 修回日期:2024-08-08 本文编辑:杨媛媛

(上接第 742 页)

- [13] Ravindran V, Osgood M, Sazawal V, et al. Virtual reality support for joint attention using the floreo joint attention module: Usability and feasibility pilot study[J]. *JMIR Pediatr Parent*, 2019, 2(2): e14429.
- [14] Yi YJ, Heidari MN, Brannan D, et al. Design considerations for virtual reality intervention for people with intellectual and developmental disabilities: A systematic review [J]. *Herd*, 2024, 17(4): 212-241.
- [15] Rose T, Nam CS, Chen KB. Immersion of virtual reality for rehabilitation - review[J]. *Appl Ergon*, 2018, 69: 153-161.
- [16] Just SA, Lütt A, Siegle P, et al. Feasibility of using virtual reality in geriatric psychiatry[J]. *Int J Geriatr Psychiatry*, 2024, 39(1): e0600.
- [17] Weech S, Kenny S, Barnett-Cowan M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: A review [J]. *Front Psychol*, 2019, 10: 158.
- [18] Ardic FN, Metin U, Gökcan BE. Subjective visual vertical test with the 3D virtual reality system: Effective factors and cybersickness[J]. *Acta Oto-Laryngologica*, 2023, 143(7): 570-575.
- [19] Zhang LL, Wang JQ, Qi RR, et al. Motion sickness: Current knowledge and recent advance [J]. *CNS Neurosci Ther*, 2016, 22(1): 15-24.
- [20] 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.
- [21] Malihi M, Nguyen J, Cardy RE, et al. Short report: Evaluating the safety and usability of head-mounted virtual reality compared to monitor-displayed video for children with autism spectrum disorder[J]. *Autism*, 2020, 24(7): 1924-1929.
- [22] Bexson C, Oldham G, Wray J. Safety of virtual reality use in children: A systematic review[J]. *Eur J Pediatr*, 2024, 183(5): 2071-2090.
- [23] Simões 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.
- [24] Miller IT, Miller CS, Wiederhold MD, et al. Virtual reality air travel training using apple iPhone X and google cardboard: A feasibility report with autistic adolescents and adults[J]. *Autism Adulthood*, 2020, 2(4): 325-333.
- [25] Lamash L, Klinger E, Josman N. International conference on virtual rehabilitation[C]. 2017-6-19. New Jersey: IEEE Xplore.
- [26] Adjorlu A, Høeg ER, Mangano L, et al. International symposium on mixed and augmented reality[C]. 2017-10-9. New Jersey: IEEE Xplore.
- [27] de Moraes Í AP, Monteiro CBM, Silva TDD, et al. Motor learning and transfer between real and virtual environments in young people with autism spectrum disorder: A prospective randomized cross over controlled trial[J]. *Autism Res*, 2020, 13(2): 307-319.
- [28] Shen ZQ, Sun F, Wang Y, et al. Research progress in physiological evaluation and treatment of visually induced motion sickness in virtual reality[J]. *Acta Acad Med Sin*, 2023, 45(6): 980-986.
- 收稿日期:2024-09-20 修回日期:2025-01-24 本文编辑:杨媛媛