

虚拟现实技术应用于言语功能康复的专家共识*

徐建光^{1,2,3,11} 单春雷³ 敖丽娟⁴ 郭 帅⁵ 常有军⁶ 李 放⁷ 李春波⁸ 王 彤⁹
张道强¹⁰ 华续赞^{1,2,3} 郑谋雄^{1,2,3} 吴佳佳^{1,2,3} 陈茉弦⁴ 陆蓉蓉⁷ 马 洁² 薛 炘²

摘要

目的:制定虚拟现实(virtual reality, VR)技术应用于言语功能康复的专家共识,为言语功能障碍患者的VR康复提供指导意见。

方法:由国家科技部重点研发计划(2018YFC2001600)项目组牵头制定,组成康复医学、神经科学、中医学、工程学、人工智能等多学科专家团队。经多轮会议讨论,结合项目研发经验和循证医学方法学,系统检索临床研究数据并评价证据质量,制订共识内容。

结果:本共识聚焦于VR技术应用于言语功能的康复评估和康复治疗,内容包含VR言语康复的应用对象范围、基于VR技术的言语康复内容要求、不良反应、康复流程以及临床应用推荐。

结论:本共识为VR技术在言语功能康复领域提供了系统化和标准化的指导,促进技术应用和临床实践的推广,为相关研究和实践提供了重要依据。

关键词 虚拟现实;言语功能;康复;专家共识

中图分类号:R493 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2024)-06-0761-06

言语产生是在中枢神经系统的控制下,通过外周发音器官复杂而精确的运动产生语音来实现的。关于言语产生的理论认为,言语产生是通过不同阶段实现的,分别是词汇提取、音位编码、言语运动计划及言语运动执行,任何一个阶段出现损伤,均会产生言语障碍^[1]。虚拟现实(virtual reality, VR)是一种利用计算机技术和交互设备(如头戴式显示器、手柄、手套等)人工创建一个接近真实世界的环境,允许一个或多个用户与虚拟环境及其三维实体进行交互的技术,具有沉浸感、交互性和想象力三大特点^[2-4]。随着科技的发展,VR技术在医学领域逐渐被广泛应用。在康复医学领域,使用VR技术带来的新方法对言语功能障碍患者进行言语康复评估和治疗的应用逐渐深入^[5]。为推动VR技术在言语功能康复的规范化应用,提供更加系统、全面、精准的临床指导,本共识组结合国内外相关研究和临床实践情况,制定了VR技术应用于言语功能康复的专家共识。

1 共识制定方法

本共识主要由国家科技部重点研发计划(项目编号:

2018YFC2001600)项目组制定,专家选择遵循专业性、权威性和多学科的原则,由项目组组织的康复医学、神经科学、中医学、工程学、人工智能等多学科专家组成。经多轮会议讨论,结合项目研发过程的经验和成果,并在循证医学方法学的指导下,通过系统检索临床研究数据、评价临床证据及判断证据质量,再经讨论后制订,以期为言语功能障碍患者的VR康复提供指导意见。

本共识通过检索PubMed、Embase、Web of Science英文数据库以及中国知网、万方数据库、维普数据库等中文数据库,纳入基于VR技术的言语功能康复评估和康复治疗的研究文献,参考牛津循证医学中心(Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, OCEBM)证据等级评价系统对证据质量进行评价。采用2009年更新制定的版本,并依据临床证据分级标准和推荐强度系统将循证等级划分为5级(1—5级),推荐强度采用A-D(从强到弱)。最终纳入文献27篇^[13-17,19-20,28-33,36-49],其中VR用于言语功能评估的发表文献4篇,VR用于言语康复治疗发表22篇,VR用于言语康复治疗的meta分析1篇^[49]。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.06.001

*基金项目:国家科技部重点研发计划项目(2018YFC2001600, 2018YFC2001604)

1 中医智能康复教育部工程研究中心,上海市,201203; 2 上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院康复医学中心; 3 上海中医药大学康复医学院; 4 昆明医科大学康复医学院; 5 上海大学机电工程与自动化学院; 6 四川省八一康复中心(四川省康复医院); 7 复旦大学附属华山医院康复医学科; 8 上海市精神卫生中心; 9 江苏省人民医院康复医学中心; 10 南京航空航天大学; 11 通讯作者
第一作者简介:徐建光,男,教授,主任医师; 收稿日期:2024-01-16

2 VR言语康复的应用对象范围

VR作为一种新兴的言语康复工具,已被广泛应用于多种言语功能障碍人群的言语功能评估和康复治疗,包括:言语功能发育迟缓儿童、脑卒中等脑损伤引起的各类失语症患者、口吃患者、老年性言语障碍患者等^[6-10]。VR言语康复可以在多种场合进行,如医院康复部门、社区康复中心、居家康复等,并且有利于远程康复的开展。

VR技术在言语康复方面的应用非常广泛,它不仅局限于传统的言语障碍治疗,还可扩展到社交技能训练、多语言学习、言语认知障碍干预以及文化适应性训练等领域^[11-13]。VR可以创建多种语言和文化背景的环境,有利于不同语言和文化背景下的个性化言语康复环境设置^[14]。对于孤独症谱系障碍(Autism Spectrum Disorder, ASD)或社交障碍的患者,VR技术可提供安全、可控的环境,用以练习和提高社交互动能力^[15-16]。VR技术可以创建逼真的环境,模拟现实生活中的对话情景,比如家庭聚会、购物或就医,让失语症患者在模拟的社交场景中进行交流和练习,并将习得的技能转移到现实生活中。对于患有轻度认知障碍或阿尔茨海默病的老年人,VR言语康复可以帮助患者通过特定的训练来维持或提高言语能力,特别是在记忆和注意力相关的言语功能^[17]。对于重度言语障碍的患者,VR技术可以结合眼动追踪和其他非传统输入方法,让患者通过眼睛或其他能动的部位与虚拟环境互动,从而提供交流的可能性^[18]。对于言语障碍患者,尤其是患有言语障碍的儿童,VR可以用来模拟他们熟悉的文化环境,使治疗更加个性化、更具文化敏感性,从而提高使用者的参与度和康复疗效^[15,19]。对于神经退行性疾病相关的言语障碍,例如患有帕金森病、多发性硬化症的患者,可能有言语流畅性和发音清晰度的问题。VR可以模拟特定的语言环境和情景,帮助患者在安全环境下进行针对性的康复训练^[20]。对于构音障碍的患者(如声带损伤),VR可以提供模拟、控制的环境来进行构音康复训练,提高言语功能^[20]。

当前尚无明确指出针对VR言语康复的禁忌证,但采用VR技术时应考虑一些安全措施,包括:规定使用VR程序的最低年龄限制,确保使用者具备基本的认知和理解能力,在专业人员监督下使用程序,明确VR不是所有言语障碍治疗的唯一手段,公开其可能的副作用等。此外,治疗师应在使用VR程序前接受专业培训,并在必要时设计紧急响应机制。

言语治疗师和研究者需要根据VR言语康复的具体设计和目的,决定是否及如何介入康复过程。在某些康复形式中,如基于游戏的互动训练,治疗师可能仅需要提供初始指导;而在其他形式中,如模拟真实场景的练习,治疗师可能需要辅助患者进行训练。治疗师在VR康复过程中的角色可能包括:设定康复目标和进度,评估治疗效果,监控VR互动过

程以保证患者安全,处理患者的不良反应或情绪波动,并决定是否继续VR干预等。

3 VR言语康复的内容要求

3.1 基于VR技术的言语功能康复评估

基于VR技术的言语功能评估能够提供一个全面、互动和个性化的评估平台,对言语功能的评估有较好评估效度^[30-31]。这种方法不仅可以全面评估言语功能,还能在提供安全、舒适环境的同时,考察个体在多种复杂情境下的沟通能力。VR言语功能评估的组成元素除了硬件设备和通用的软件设计外,还应综合考虑技术特性和言语功能评估的关键元素。

在虚拟评估环境的设计方面,要重视环境的多样性与真实性。需要能够真实模拟多种社交和沟通环境的VR场景,以确保这些环境适用于不同年龄和背景的个体。例如,为儿童设计的场景包含学校或游乐场,而成人则在工作环境或社交聚会等虚拟场景中进行评估^[30-33]。互动性同样重要,虚拟环境能够响应和适应患者的行为和反应,从而促进患者的参与和沟通。

在言语功能的全面评估方面,需要对个体在虚拟环境中的言语、语言功能进行全面评估,包括表达、理解、命名、复述等功能评估,也包括对词汇的使用、句子结构和语法进行分析。同时,发音和语音的监测是评估的重要组成部分,这涉及对发音的清晰度、语音的节奏和语调的评估。必要时建议增加对非言语沟通能力的评估,包括面部表情、肢体语言和眼神交流等。

建议在VR言语功能评估中增加相关认知功能评估。通过VR环境中的任务和活动,评估个体在虚拟环境中规划、组织和执行任务的能力^[34-35]。例如对物体基本形状的匹配、动物拼图及日常用品匹配的认识,以及听指令反应技能。

在评估后提供详尽的评估报告,包括功能状况、改进领域和康复建议。基于评估结果,提供个性化的后续干预和训练建议。

3.2 基于VR技术的言语功能康复治疗

VR技术在言语康复领域的应用为患者提供了显著的便利和优势。VR利用计算机建立的虚拟环境为患者再现日常生活场景,让患者在虚拟环境中感知和操作实物,提高了患者对简单语音指令的听理解、阅读文字能力及识别图形能力^[36]。同时VR存在一定的趣味性,使患者被动治疗变为主动治疗,单调枯燥的康复过程变得有趣、轻松、容易,有助于提高患者治疗信心和积极性。

在个性化和目标导向的训练设计方面,基于初期评估结果,为患者制定个性化的康复训练计划。针对其特定的言语障碍类型和程度,以及康复目标,制定相应的康复方案。为

了适应患者的康复进程和能力提升,设计递增难度的训练任务,帮助患者逐步提升他们的言语能力。

在沉浸式和互动的训练环境方面,利用VR技术创建逼真的社交场景,模拟日常生活中的常见沟通环境。此外,确保训练环境具备高度互动性也非常重要,鼓励患者积极参与,从而提高治疗效果。

言语和非言语沟通技能的综合训练是言语康复中的重要组成部分。包括对发音清晰度、语法准确性、词汇丰富度等方面的训练,以及对语言理解、指令执行的训练^[14]。同时,非言语沟通技能的训练,如面部表情、肢体语言、眼神交流等,也是重要的组成部分^[15,37]。

场景模拟与角色扮演可以大大提高康复治疗的有效性。设计不同类型的社交互动场景,如家庭、工作场所、公共场所等,可以帮助患者提高其适应不同社交情境的能力^[38]。

认知功能训练也是VR言语功能康复中不可或缺的一部分。通过特定的VR游戏和任务,集中用户的注意力和训练记忆力,提升患者在虚拟环境中规划、组织和执行任务的能力,可提高患者的总体交流能力^[13,29]。

实时反馈与调整对于确保治疗效果至关重要。通过持续监测患者在训练中的表现,包括言语清晰度和反应时间等,根据患者的表现和言语功能的改善实时调整训练难度和内容。

在安全性与舒适度方面,需要确保VR环境对用户友好,防止引起眩晕等不适。同时,确保VR设备安全适用于不同年龄和能力的患者也非常重要。

4 VR言语康复的不良反应

不良反应包括VR技术本身的不良反应,如恶心和眩晕、眼睛疲劳等,建议在使用VR进行治疗时,限制每次治疗的时长,并在治疗间隙提供休息时间。还可能引起平衡和定向问题,可能引发跌倒等不良事件。因此,在使用VR进行言语康复时,必须确保治疗环境的安全,避免患者因失去空间定向而发生不良事件。另外对于易患癫痫或有癫痫倾向的人,VR中的快速闪烁可能诱发癫痫发作,这是VR使用的一个严重但不广泛的副作用。建议控制屏幕闪烁频率,避免使用过于剧烈的视觉效果。对有癫痫风险的患者进行筛查,避免高风险患者的使用。

不良反应还包括言语康复可能带来的一些问题。存在患者可能过度依赖VR环境的风险,而这些环境可能并不总是准确地代表现实世界的沟通场景。这种过度依赖可能阻碍所学技能向现实生活的转移。因此,康复计划应包括将在VR中学习的言语交流技能应用到现实生活中的训练。VR环境可能无法完美复制在现实生活中社交互动的所有细节,如肢体语言和面部表情。这种不匹配可能导致在这些社交

互动活动训练时出现困难。因此,在设计VR训练内容时,应尽可能地模拟真实的社交互动。对于认知功能受损的患者,复杂且刺激的VR环境可能导致认知负荷过重,影响康复治疗的有效性。因此,治疗内容和难度需要根据患者的认知能力进行设计和调整。虽然VR可以提供即时反馈,但它可能缺乏人类治疗师所能提供的细腻和富有同理心的反馈,尤其是在言语功能康复中,真实情感交流和互动的缺乏,可能会影响治疗效果和患者的康复动机。

在使用基于VR技术的言语康复时,需要全面考虑上述不良反应,并采取相应的预防和应对措施,以确保治疗的安全性和有效性。

5 VR言语康复流程

临床上,功能康复需要经历功能评估-康复治疗-再评估-康复治疗-疗效随访的过程,需要在精准评估的基础上不断优化治疗、康复方案和技术路径。对于VR言语康复,可遵循以下流程:

5.1 治疗前评估

包括评估患者的言语能力、认知水平、技术熟练度以及对VR的接受度。还应重点考虑患者的情感和心理状态,以及对VR环境的适应能力。此外,还应考虑患者的医疗史和任何可能影响治疗的现有条件。评估可以通过标准化测试、非正式的观察和患者及家属的访谈来完成。这一阶段的重点是确定患者的需求和治疗目标。

5.2 治疗前准备

包括对使用VR设备的培训,解释VR治疗的过程和期望结果,并确保患者对即将进行治疗感到舒适和安全。对于一些年长、儿童或对技术不熟悉的患者,需要提供更多的支持。此外,为避免VR环境引起的不适,应逐步引导患者适应VR设备,如在训练开始前进行短时间的适应性暴露。此外,还应应对治疗环境进行适当的设置,确保无干扰因素,并且设备运行正常。

5.3 正式治疗

患者将通过VR程序进行各种言语和语言功能康复。应根据患者的具体需求选择合适的VR康复内容。例如,对于有发音问题的患者,选择专注于语音发音练习的内容;对于语言组织能力较弱的患者,选择那些强调句子构造和故事叙述的练习。在正式治疗过程中,治疗师应密切监控患者的表现,并提供实时反馈,监控患者在虚拟环境中的互动模式,评估功能情况,并调整治疗计划。治疗应以渐进的方式进行,逐步增加难度,以促进持续的言语功能改善。

5.4 治疗后报告

应详细记录患者的表现和反应,包括在VR环境中的适应情况、言语功能的改善情况以及任何在治疗过程中观察到

的情感或心理反应。

5.5 定期评估

应全面考虑患者的言语功能、心理状态和VR适应能力。评估结果应用于指导后续治疗,并与患者及其家属进行充分沟通。这些评估应包括与治疗前评估相同的测试,以便于比较和评估言语功能康复进展情况。

5.6 向现实世界应用的过渡

随着患者在虚拟环境中的功能改善,重点应逐渐转移到逐步引导患者将在VR场景中训练的技能应用到现实世界中,或在更自然的虚拟环境中进行练习,或者进行一些现实场景的训练,以增强在现实环境中应用这些技能的能力。

5.7 在治疗计划结束时,进行最终评估

以评定患者的总体康复进展和疗效,包括言语功能的提高和日常生活能力。后续跟进计划应包括维持练习、必要时的进一步治疗,以及定期检查以确保言语功能持续康复。

6 基于VR技术的言语功能康复临床应用推荐

6.1 VR技术应用于言语功能康复评估

共识建议:

①选择适当的VR技术:在采用VR技术进行言语功能评估的过程中,首先根据评估需求选择适当的VR技术。沉浸式VR,由于其能够提供更全面的环境模拟和深入的情景交互,适合于需要高度互动和真实体验的言语评估。非沉浸式VR侧重于特定的评估活动,更适用于具体和控制性的评估任务。

②言语功能的多维度评估:采用VR技术进行言语功能评估应进行多维度评估,包括语言理解、语言表达以及认知语言功能等多个方面,以确保对言语功能的全面评估。

③场景的真实模拟:VR技术应尽可能地模拟真实生活中的沟通场景,以提供一个受控且真实的评估环境。此外,针对特定人群(例如儿童、成人)和特定条件(如言语障碍、认知障碍)的言语功能评估,场景应进行个性化制定。

④质量控制:确保评估工具的信度和效度,对VR言语评估工具进行信度和效度的验证是保证评估结果可靠性的重要环节。

⑤与传统评估方法相结合:VR言语功能评估的设计和开发应与传统评估方法相结合,这不仅有助于比较和验证结果的有效性,还能确保评估方法的全面性和综合性。

6.2 VR技术应用于言语康复治疗

不同证据级别的研究均显示基于VR技术的言语功能康复可以显著改善不同疾病导致的言语功能障碍,包括脑卒中失语症患者^[17,28-29,37,44-46]、ASD患儿的言语障碍^[15,43]、脑肿瘤相关性失语症患者^[47]、口吃患者^[20,42]等。

对于脑卒中后失语症患者,6项随机对照研究结果显示

VR技术在言语功能康复的疗效优于常规言语康复治疗^[17,28-29,37,44-45](推荐强度B/2b),具体体现在VR能更好的改善患者的言语流畅度、听理解、复述、命名等,在此基础上VR有助于提升患者的依从性以及参与度。1项随机对照研究显示在常规言语治疗的基础上加上VR言语康复能更好的改善卒中后患者的动名词出声阅读和描写能力^[46](推荐强度B/2b)。另有meta分析研究结果显示VR康复可降低脑卒中后失语症患者的言语功能障碍严重程度,但与常规言语康复治疗相比仅具有临界统计学意义^[49]。由于脑卒中患者多伴有运动功能障碍,针对脑卒中后失语患者的VR场景多设计在游戏或虚拟日常活动中进行单词阅读、语义识别等言语训练任务并配合相应的肢体动作协同完成。

在儿童言语康复方面,VR治疗在改善ASD患儿的言语康复方面较为常见。1项干预前后对照研究结果显示VR技术能帮助ASD患儿进行词汇学习^[14](推荐强度B/2c)。2项随机对照研究表明与常规康复治疗相比,VR能更好的改善ASD患儿的言语交流能力和日常活动能力^[19,43](推荐强度B/2b)。另有1项研究表明在基础家庭康复护理的基础上加上VR治疗能更好的帮助患儿改善言语沟通、社会交往以及刻板行为,并增强了患儿的认知理解、情感表达以及动作模仿能力^[15](推荐强度B/2b)。针对两组VR治疗孤独症儿童的随机对照研究显示,患儿在观看自己熟悉活动的影像视频比观看熟人在VR中的交互视频言语使用频率更高,注意力更持久^[40]。由于儿童往往不易集中在训练任务上,针对儿童的VR场景多伴有卡通的游戏性质以增强患儿的注意力和参与度,除此之外针对患儿的训练大多有家长或训练人员陪伴进行以确保使用者的安全。

VR技术在改善口吃矫正治疗方面也有所涉及。1项随机对照试验显示,针对口吃患者发声的VR言语康复系统能提高口吃矫正效率,通过观察虚拟人物正确的发声能更好地让口吃患者意识到自身发声的问题,在常规矫正的基础上加上VR技术能更显著提升整体矫正率^[20](推荐强度B/2b)。1项研究对3例患者结构化访谈结果显示,对于中度和重度口吃患者VR技术能改善患者言语沟通行为能力^[42]。

共识建议:

①个性化康复计划:在言语功能康复领域,基于VR技术的康复方案已经显示出显著的效果。包括对卒中后失语患者、ASD患儿的研究均强调了个性化康复计划的重要性。建议根据患者的具体功能情况和康复需求制定个性化的VR康复计划,特别是考虑到不同言语障碍类型和康复目标的多样性。

②沉浸式交互环境:在VR康复治疗的环境设计方面,沉浸式和互动性环境的应用是关键。利用VR技术模拟各种复杂的语言环境和社交场景,从简单的日常对话到复杂的社交

互动,根据患者的康复需求和能力制定康复方案,针对性地解决患者的具体问题。此外,通过VR提供的互动性和反馈机制即时地指导和纠正患者的言语康复,从而提高其言语理解和输出能力。

③结合认知康复训练:认知功能训练也是VR言语康复的重要组成部分。通过特定的VR游戏和任务,如命名、复述、听理解等,可以集中用户的注意力、强化记忆力及执行功能,有效提高言语功能和整体沟通能力。

④VR言语康复与神经科学理论结合:特定神经环路的重塑机制对于言语康复至关重要。言语功能障碍,尤其是由脑损伤引起的功能障碍,往往涉及特定的神经环路和网络。神经可塑性是大脑对于伤害或学习新技能时的自我修复和适应过程,通过重塑既有的神经环路和建立新的环路来达成。VR技术通过创建模拟的、可控的和沉浸式的语言环境,能够刺激这些特定的神经环路,促进有利重塑,从而促进言语功能康复。将VR技术与神经科学理论结合,不仅提供了一种更为个性化、动态且反应性强的康复策略,也为VR言语康复提供了科学理论基础。

7 总结与展望

在康复医学领域,VR技术应用于言语功能康复是一个前沿且迅速发展的领域。在言语功能评估方面,VR技术能够模拟各种社交场景,全面了解个体的沟通能力,并识别需要干预的特定领域。在言语功能的康复治疗方面,VR技术尤其在脑卒中后失语、儿童言语康复中显示出巨大潜力。VR在言语的康复已有较多应用,研究间的结果有一定的差异,但有大多数研究认为VR对自发言语、命名、听理解、复述能力等方面具有改善作用,尤其是VR和常规言语康复联合的效果已被公认。尽管如此,现有的临床研究仍然是比较小样本的研究,证据等级还较低,还需要更多高质量、大样本的临床试验来得出更确切的结论。随着VR技术进一步发展,康复理论,尤其是神经可塑性机制的进一步阐明,VR与人工智能、康复机器人、非侵入性脑刺激等康复技术联用,将会发挥更大作用,在言语功能康复的应用也有着更广阔前景。

参考文献

- [1] Bohland JW, Bullock D, Guenther FH. Neural representations and mechanisms for the performance of simple speech sequences[J]. *J Cogn Neurosci*, 2010,22(7): 1504—1529.
- [2] Yeung AWK, Tosevska A, Klager E, et al. Virtual and augmented reality applications in medicine: analysis of the scientific literature[J]. *Journal of medical Internet Research*, 2021, 23(2): e25499.
- [3] Tao G, Garrett B, Taverner T, et al. Immersive virtual reality health games: a narrative review of game design[J]. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2021, 18(1): 31.
- [4] Veras M, Kairy D, Rogante M, et al. Scoping review of outcome measures used in telerehabilitation and virtual reality for post-stroke rehabilitation[J]. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 2017, 23(6): 567—587.
- [5] Burdea GC, Polistico K, House GP, et al. Novel integrative virtual rehabilitation reduces symptomatology of primary progressive aphasia: a case report[J]. *The International Journal of Neuroscience*, 2015, 125(12): 949—958.
- [6] 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 in Adulthood: Challenges and Management*, 2020, 2(4): 325—333.
- [7] Zhang M, Ding H, Naumceska M, et al. Virtual reality technology as an educational and intervention tool for children with autism spectrum disorder: Current perspectives and future directions[J]. *Behavioral Sciences (Basel, Switzerland)*, 2022, 12(5): 138.
- [8] Maggio MG, Latella D, Maresca G, et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: An overview[J]. *The Journal of Neuroscience Nursing*, 2019, 51(2): 101—105.
- [9] Almudhi A. Evaluating adaptation effect in real versus virtual reality environments with people who stutter[J]. *Expert Review of Medical Devices*, 2022, 19(1): 75—81.
- [10] Brassel S, Brunner M, Power E, et al. Speech-language pathologists' views of using virtual reality for managing cognitive-communication disorders following traumatic brain injury[J]. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 2023, 32(2S): 907—923.
- [11] Kruk RS, Reynolds KA. French immersion experience and reading skill development in at-risk readers[J]. *Journal of Child Language*, 2012, 39(3): 580—610.
- [12] Moon J, Ke F. Effects of adaptive prompts in virtual reality-based social skills training for children with autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2023. DOI: 10.1007/s10803-023-06021-7.
- [13] Burdea GC, Polistico K, House GP, et al. Novel integrative virtual rehabilitation reduces symptomatology of primary progressive aphasia: A case report[J]. *International Journal of Neuroscience*, 2015, 125(12): 949—958.
- [14] Bosseler A, Massaro DW. Development and evaluation of a computer-animated tutor for vocabulary and language learning in children with autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2003, 33(6): 653—672.
- [15] 赵俊强, 张欣欣, 卢一, 等. 基于虚拟现实技术的孤独症谱系障碍患儿核心症状家庭康复干预效果研究[J]. *护理研究*, 2021, 35(23): 4214—4217.
- [16] Kampmann IL, Emmelkamp PM, Hartanto D, et al. Exposure to virtual social interactions in the treatment of social anxiety disorder: A randomized controlled trial[J]. *Behaviour Research and Therapy*, 2016, 77: 147—156.
- [17] Rosaria DL, Simona L, Giuseppa M, et al. Virtual reality as a new tool for the rehabilitation of post-stroke patients with chronic aphasia: an exploratory study[J]. *Aphasiology*, 2023, 37(2): 249—259.
- [18] Xu F, Xu J, Zhou D, et al. A bibliometric and visualization analysis of motor learning in preschoolers and chil-

- dren over the last 15 years[J]. Healthcare (Basel, Switzerland), 2022, 10(8): 1415.
- [19] 李志伟. 基于Kinect的自闭症儿童体感康复系统设计[D]. 石家庄: 河北大学, 2018.
- [20] 严磊. 基于移动平台的3D虚拟口吃辅助矫正软件设计与实现[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.
- [21] Ryu JK, Soon BK, Park HJ. The effects of augmented reality based language intervention on sentence comprehension and repetition of patients with aphasia[J]. Special Education Rehabilitation Science Research (Korean), 2020, 59(2): 227—250.
- [22] De Simone MS, Costa A, Tieri G, et al. The effectiveness of an immersive virtual reality and telemedicine-based cognitive intervention on prospective memory in Parkinson's disease patients with mild cognitive impairment and healthy aged individuals: design and preliminary baseline results of a placebo-controlled study[J]. Frontiers in Psychology, 2023, 14: 1268337.
- [23] Bruschetta R, Maggio MG, Naro A, et al. Gender influences virtual reality-based recovery of cognitive functions in patients with traumatic brain injury: a secondary analysis of a randomized clinical trial[J]. Brain Sciences, 2022, 12(4): 491.
- [24] Park M, Ha Y. Effects of virtual reality-based cognitive rehabilitation in stroke patients: a randomized controlled trial[J]. Healthcare (Basel, Switzerland), 2023, 1(21): 2846.
- [25] 王广帅. 自闭症谱系障碍儿童情绪社交缺陷量化评估与个性化干预[D]. 武汉: 华中师范大学, 2019.
- [26] Vaezipour A, Aldridge D, Koenig S, et al. Rehabilitation supported by immersive virtual reality for adults with communication disorders: semistructured interviews and usability survey study[J]. JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies, 2023, 10: e46959.
- [27] Dettler BD, Schwartz B. Virtual reality in speech and language therapy: Requirement for the use of virtual reality in aphasiathrapy: a practical approach[J]. International Journal of Stroke, 2020, 15(1 Suppl): 733.
- [28] 崔锦娜, 陈奕菲, 吴春薇, 等. 两种手动作视频对脑卒中慢性非流畅性失语症患者言语功能的影响[J]. 现代中西医结合杂志, 2021, 30(20): 2212—2216.
- [29] Giachero A, Calati M, Pia L, et al. Conversational therapy through semi-immersive virtual reality environments for language recovery and psychological well-being in post stroke aphasia[J]. Behavioural Neurology, 2020, 2020: 2846046.
- [30] 鲍金歌. 基于计算机辅助技术的孤独症儿童语言功能评估研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2020.
- [31] Tarnanas I, Schlee W, Tsolaki M, et al. Ecological validity of virtual reality daily living activities screening for early dementia: longitudinal study[J]. JMIR Serious Games, 2013, 1(1): e1.
- [32] 陈靛影, 张凯, 杨宗凯. 人机交互式孤独症儿童语言能力动态评估研究[J]. 电化教育研究, 2023, 44(10): 48—53, 86.
- [33] Brundage SB, Graap K, Gibbons KF, et al. Frequency of stuttering during challenging and supportive virtual reality job interviews[J]. Journal of Fluency Disorders, 2006, 31(4): 325—339.
- [34] Struchen MA, Pappadis MR, Sander AM, et al. Examining the contribution of social communication abilities and affective/behavioral functioning to social integration outcomes for adults with traumatic brain injury[J]. J Head Trauma Rehabil, 2011, 26(1): 30—42.
- [35] Togher L, Douglas J, Turkstra LS, et al. INCOG 2.0 guidelines for cognitive rehabilitation following traumatic brain injury, part IV: cognitive-communication and social cognition disorders[J]. J Head Trauma Rehabil, 2023, 38(1): 65—82.
- [36] Maresca G, Leonardi S, De Cola MC, et al. Use of virtual reality in children with dyslexia[J]. Children (Basel, Switzerland), 2022, 9(11): 1621.
- [37] 吴春薇, 桂沛君, 陈宸, 等. 手动作动态视频及静态图片观察疗法对脑卒中慢性非流畅性失语的作用[J]. 临床和实验医学杂志, 2019, 18(10): 1096—1100.
- [38] Marshall J, Booth T, Devane N, et al. Evaluating the benefits of aphasia intervention delivered in virtual reality: results of a quasi-randomised study[J]. PLoS One, 2016, 11(8): e0160381.
- [39] Fasting RB, Lyster SAH. The effects of computer technology in assisting the development of literacy in young struggling readers and spellers[J]. European Journal of Special Needs Education, 2005, 20(1): 21—40.
- [40] Mineo BA, Ziegler W, Gill S, et al. Engagement with electronic screen media among students with autism spectrum disorders[J]. Journal of Autism and Developmental Disorders, 2009, 39(1): 172—187.
- [41] Sinwook A, Kim GH, Park HJ, et al. Effects of the speech therapy program based augmented reality on improving naming and functional communication ability of the patients with expressive aphasia[J]. The Journal of Transdisciplinary Study, 2017, 1(1): 57—67.
- [42] Brock KR. A Preliminary Investigation into the Effectiveness of a Virtual Reality Scenario for Adolescents Who Stutter[D]. New Orleans, Louisiana: Tulane University, 2023.
- [43] 汪月娟, 李慧娟, 胡效荣, 等. 基于数字化的视听系统结合虚拟现实技术治疗儿童孤独症的病例对照研究[J]. 中国妇幼保健, 2016, 31(22): 4777—4780.
- [44] 李孝红, 朱燕琴, 魏桂兰, 等. 镜像视频训练在脑卒中早期言语康复中的应用[J]. 中国保健营养, 2019, 29(11): 271—272.
- [45] 叶维霞, 高震, 冯晓燕, 等. 虚拟现实技术联合言语训练对卒中后失语患者语言功能康复的影响[J]. 浙江中西医结合杂志, 2021, 31(3): 239—242.
- [46] 张耀文, 武惠香, 李鑫, 等. 虚拟现实技术对运动性失语患者的治疗作用[J]. 中国听力语言康复科学杂志, 2021, 19(2): 128—132.
- [47] 曾迎春, 曾玲晖, 张国龙, 等. 基于沉浸式虚拟现实的肿瘤相关性失语症康复训练系统的设计与可行性研究[J]. 中国护理管理, 2022, 22(8): 1242—1246.
- [48] Cappadona I, Ielo A, La Fauci M, et al. Feasibility and effectiveness of speech intervention implemented with a virtual reality system in children with developmental language disorders: a pilot randomized control trial[J]. Children (Basel, Switzerland), 2023, 10(8): 1336.
- [49] Cao Y, Huang X, Zhang B, et al. Effects of virtual reality in post-stroke aphasia: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurological Sciences, 2021, 42(12): 5249—5259.