

虚拟现实技术应用于认知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 马浩² 薛灼²

摘要

目的:制定虚拟现实(virtual reality, VR)技术应用于认知功能康复的专家共识,为认知障碍患者的VR康复提供指导意见。

方法:本共识由科技部国家重点研发计划(2018YFC2001600)项目组牵头组织康复医学、工程学、人工智能等多学科专家,经过多轮专家调研、会议讨论,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。

结果:本共识聚焦于VR技术应用于认知功能的康复评估和康复治疗,内容包括VR认知康复的应用对象范围和不良反应、基于VR技术的认知康复的内容要求、康复流程以及临床应用推荐。

结论:本共识的制定为VR技术在认知功能康复领域提供了全面而系统的指导,促进VR康复技术的进一步发展和临床实践的推广。

关键词 虚拟现实;认知功能;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)-05-0609-09

认知是人类最基本的心理过程,是指个体认识和理解事物的过程,包括从简单地对自己与环境的确定、感知,到注意、学习和记忆、思维和语言等。狭义的认识功能由多个认知域组成,包括记忆、计算、时间空间定向、执行能力、语言理解和表达等方面。认知障碍是由于各种原因导致大脑获取、编码、储存和提取信息功能出现异常,包括记忆障碍、执行/注意障碍、视空间障碍和语言障碍等^[1]。引起认知障碍的病因是多种多样的,如血管性(如脑梗死、脑出血)、神经变性(如阿尔茨海默病、路易体痴呆、帕金森病)和感染性(如梅毒、人类免疫缺陷病毒)等。

虚拟现实(virtual reality, VR)是一种基于计算机的人机交互技术,其通过模拟多场景虚拟环境,实现视觉、听觉、触觉等多种感觉的反馈。VR根据沉浸程度可分为完全沉浸式、半沉浸式和非沉浸式^[2]。完全沉浸式VR依赖于3D显示器(如头戴式显示器),能够有效地让用户感觉他们存在于虚拟环境中,从而获得最高级别的沉浸感。半沉浸式VR借助大型曲面显示器或投影仪可提供适度的沉浸感和交互性(如Kinect),而非沉浸式VR基于低交互性的平板显示器的桌面(如平板电脑)。近年来VR被逐渐引入康复治疗领域,其在

认知障碍患者功能康复中的应用不断增多。

本共识由科技部重点研发计划(2018YFC2001600)项目组组织参与单位的康复医学、工程学、人工智能等多学科专家进行会议讨论,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,以为认知障碍患者的VR康复提供指导意见。

1 证据来源

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技术的认知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)。纳入文献199篇,包括VR认知评估29篇;VR认知干预170篇,其中meta分析38篇。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.05.001

*基金项目: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认知康复的应用对象范围

采用VR技术进行认知功能评估和干预,在患有发育性和获得性认知障碍的不同人群中被广泛应用。相关疾病包括:①儿童和青少年的发育性认知障碍,如脑性瘫痪、自闭症谱系障碍、注意力缺陷多动障碍和学习障碍等儿童和青少年。②最常见的获得性认知障碍包括神经退行性疾病和脑血管病。神经退行性疾病如阿尔茨海默病、帕金森病、额颞叶变性、路易体痴呆等疾病引起的记忆、言语、视空间功能障碍^[3];血管性认知障碍如脑卒中、脑小血管病导致的认知障碍,特别是注意力、执行功能的受损^[4]。③老年人、精神疾病和肿瘤等特定人群的认知功能障碍、职业相关认知退化^[5-6],以及经历过重大手术或长期住院的患者的慢性康复期的认知康复^[7]。

VR认知干预的场合包括:康复医院,综合医院康复科、神经科、老年科,社区卫生服务中心和居家康复等。通过在这些场合使用VR,患者可以在模拟的环境中进行认知训练和评估,有助于提升他们的认知能力和日常生活技能。在疫情和其他导致患者难以亲自到访医院的情况下,VR技术可以通过远程康复程序提供支持,使患者在家中也能继续进行有效的认知康复。

VR在认知康复中应用对象范围广泛,但面上也存在一些禁忌证需要注意。首先,有严重出血倾向的患者在使用VR设备可能涉及头部移动和可能的碰撞,患者容易因头部受伤而引发内部出血。因此,通常建议避免使用VR设备或在使用时谨慎小心,并在医生的指导下进行。此外,对于心脏病患者、癫痫患者或者有严重运动障碍的人群,使用VR设备可能会引发不适甚至诱发相关症状。有严重焦虑、精神分裂等精神疾病患者可能对虚拟现实中的刺激产生负面反应。因此,在使用VR技术进行认知康复之前,需要严格评估患者的病史及特殊情况,以确保其安全性和有效性,并在专业人士的指导下进行操作和监督。

此外,认知康复VR应用的安全措施至关重要。这些措施包括:确定VR要适用于特定年龄段的患者;确保患者在医疗专业人员的监督下使用VR设备;强调VR程序不能替代传统治疗和药物;明确向患者公开VR技术相关的不良反应数据等。此外,治疗师在使用VR程序前应接受专业培训,并在程序使用过程中密切监控患者的反应。

治疗师和研究者应根据VR认知干预的设计和目的不同,决定是否以及如何介入VR干预过程。在一些被动的认知训练中,治疗师可能仅需要低强度的参与;而在需要主动交互的VR认知训练中,治疗师则需要更多地介入。在VR环境中以虚拟形象出现,进行远程实时指导时,则可能需要高强度的治疗师参与。对于自主VR认知训练,治疗师可能仅作为观察者,但至少应确保治疗的安全性,评估治疗结果,

并在必要时介入。

3 VR认知康复的内容要求

3.1 基于VR技术的认知功能康复评估

VR认知功能评估应专门针对不同的认知域进行设计,如记忆力、空间定向、注意和执行功能、语言理解和表达能力等。例如,对于阿尔茨海默病患者,重点关注记忆力和空间定向能力的评估^[8];而对于脑卒中患者,则更关注他们的语言和执行功能^[9]。VR评估要精确地针对患者的特定需求和症状表现。

VR认知功能评估应该创建模拟真实生活场景的虚拟环境,这不仅可以提高评估的真实性,还能使患者在更贴近日常生活的环境中进行测试。例如,通过模拟超市购物场景,评估患者的计划制定、决策能力和记忆力^[10];通过模拟公共交通环境,评估患者的注意力、空间定向和社交能力^[11]。VR评估内容应根据患者的年龄、病情、文化背景等因素进行个体化定制,并能够根据患者在评估过程中的表现进行适应性调整。

VR评估系统需要具备高度的互动性和沉浸感。与传统的评估方法相比,这种设计可以使患者更加积极地参与到评估过程中,从而更真实地反映其认知功能^[12]。

为了确保评估结果的准确性和可靠性,VR评估系统应能够准确、连续地记录患者在虚拟环境中的表现,包括反应时间、任务完成情况、错误类型等。这些数据对于评估结果的解释和后续康复计划的制定至关重要。

VR评估工具和程序必须经过严格的标准化和实证研究验证,以确保其效度和信度。

3.2 基于VR技术的认知功能康复治疗

个性化和定制化的设计是VR认知功能康复治疗的核心。考虑到每个患者的认知障碍状况和需求不同,VR训练内容应根据个体的具体情况进行设计。例如,对于记忆障碍的患者,设计一系列记忆增强的训练任务,如记忆物品的位置或序列^[13];而对于执行功能受损的患者,设计一些需要规划和决策的任务,如虚拟的任务完成或问题解决场景^[14]。考虑到患者的文化和语言背景对认知处理的影响,VR训练内容应具有文化适应性。例如,应使用患者熟悉的符号、语言和场景,以提升训练的相关性和易接受性。

模拟真实生活场景是VR认知训练的一大优势。通过创造类似超市购物、使用公共交通或安排日常家务等活动的虚拟环境,患者可以在接近真实的情境中练习和提升日常生活中所需的认知技能^[15]。这种现实模拟不仅增强了训练的相关性,也有助于患者更好地将训练成果应用到日常生活中。虽然VR提供了一个沉浸式的训练环境,但将虚拟训练与现实环境相结合也很重要。例如,设计一些训练任务,要求患

者在虚拟环境中学习技能后,在现实生活中应用这些技能。

VR技术的一个独特优势是其提供的多感官互动体验。跨感官协同的任务,如视觉和听觉信息的整合,有助于提高患者的综合感官处理能力和注意力控制^[16]。在VR认知训练中,很容易忽视情绪和动机因素。设计训练时,应考虑引入相关元素以激发患者的积极情绪和动机,如使用鼓励性的反馈、奖励系统以及吸引人的视觉和声音效果。除了视觉和听觉刺激,VR还可以结合触觉反馈,如使用震动或温度变化来增强训练体验。这种多感官刺激对于激活大脑的不同功能区,促进记忆和注意力的提升非常有效^[17]。

VR技术可以和相关辅助技术有机结合,可以将VR认知康复变得更加高效和普及。对于运动功能受限的患者,VR认知训练应与机器人或外骨骼等运动辅助技术相结合,可以帮助患者完成VR环境中的物理互动,如行走、抓取物体等,同时促进认知功能的康复训练^[18]。设计的VR训练内容应着重于运动和认知功能的协调^[19]。结合VR技术与其他数字化工具的可能性和优势,多元化的治疗方式可能为认知康复带来更为全面和有效的治疗手段。如在VR技术的基础上,增强现实(augmented reality, AR)技术的应用可以为患者提供更丰富的交互体验。AR技术可以将虚拟信息叠加在真实环境中,帮助患者更好地理解 and 适应其物理环境,尤其是在日常生活技能训练方面。将VR技术与移动健康应用程序结合,可以促进患者在家中的自我管理和训练。通过移动设备,患者可以接收定制化的训练计划和反馈,增强其参与度和康复效果。

VR认知功能康复训练的一个常被忽视的方面是社交互动。虚拟环境可以模拟各种社交场景,提供与虚拟角色甚至其他用户的互动机会有助于提升患者的社交技能和情感理解。如群体活动或协作任务,可以促进患者的社交技能和团队合作能力^[20]。

脑功能康复的核心是特定神经环路的重塑,而目前虚拟现实康复训练技术较多关注视听场景带来的趣味性和沉浸度,导致其临床疗效遇到瓶颈。VR在认知康复中的应用需要在单纯视听刺激任务的基础上,更深入地结合特定神经环路的重塑机制和理论,构建环路靶向的VR认知任务。VR训练内容应基于神经科学的研究,针对特定的神经环路和大脑区域进行设计。例如,如果目标是改善患者的执行功能,训练内容应专注于激活和加强前额叶相关的神经环路^[21-22]。设计的VR任务应有明确的神经科学基础,确保每个任务都旨在通过特定的神经机制来促进认知功能的恢复或增强。例如,通过复杂的决策任务来激活大脑的决策制定区域^[23]。VR内容设计应结合认知神经科学的研究成果,包括神经环路重塑机制以及认知康复的最新理论。

4 VR认知康复的不良反应

不良反应包括VR技术本身带来的不良反应,如眼睛疲劳和视觉不适、眩晕和恶心、平衡和空间定位感知问题,建议选择更加稳定和静态的VR场景,或适当减少使用时间,在VR训练期间确保足够的休息间隔。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。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,避免高风险患者使用。

不良反应也包括认知康复特异性的问题。如干扰认知康复进程,这主要发生在VR训练不适合患者的特定情况,例如,对VR环境过于敏感的患者可能会感到压力或焦虑,这可能阻碍他们认知能力的恢复。特别是在模拟高风险或紧张的场景中,患者可能会有过度的心理压力,影响在训练中的参与度和康复疗效。VR环境的沉浸感和多感官刺激可能会导致某些患者经历认知过载,特别是在初期适应VR训练时^[24]。这种过载可能表现为注意力分散、思维混乱,甚至在极端情况下,可能导致临时性的认知功能下降^[25]。这种情况通常发生在VR环境过于复杂或刺激强度过高时,特别是对于那些认知能力受损较严重的患者。治疗和研究团队应密切监控患者的反应,及时调整康复计划。这包括对VR场景的选择、训练的强度和持续时间进行适当的调整,以及在必要时提供额外的心理支持。重要的是要确保VR训练的内容和强度与患者的个人需求和能力相匹配。另外,还可能出现现实环境适应性障碍,长时间暴露于虚拟环境中可能导致患者在现实世界中的感知和认知能力出现暂时性适应障碍。这种现象可能表现为在现实世界中的方向感丧失、时间感知错乱,甚至在日常活动中的协调性下降^[26]。因此,为了减轻这种影响,VR训练应与现实世界的活动相结合,以帮助患者保持两者之间的平衡。例如,可以在VR训练后进行现实世界中的相应活动,以帮助患者逐渐适应现实环境。安排团体活动,让患者在现实生活中与他人互动,以补充VR训练的真实社交性^[27-28]。

5 VR认知康复流程

临床上,功能康复需要经历评估-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认知康复,可遵循以下流程:

5.1 治疗前评估

包括认知能力、身体状况和心理状态的全面评估。对患者的认知功能的详细分析,除了常规的认知评估,更深入地分析特定认知域的障碍,如工作记忆、空间理解、注意力切换等,有助于制定更精准的VR认知康复治疗方

评估,以识别患者的认知障碍与其大脑结构和功能之间的关系,明确认知障碍的神经基础,为后续的个性化治疗奠定基础。

5.2 治疗前准备

需要向患者和其家属解释VR治疗的流程、目标和潜在的风险与益处。此外,应测试患者对VR设备的适应性,包括技术适应性和心理适应性。为避免设备引起的不适,可以提前进行短时的适应性训练。尤其是对于使用机器人和外骨骼辅助设备的患者,需要进行设备的调试和适配,确保患者能够舒适且安全地与设备互动。

5.3 正式治疗

应结合VR技术和辅助设备,设计针对特定认知障碍和神经环路的个性化康复方案,充分利用神经环路重塑机制来提高治疗效果。对于执行功能障碍的患者,可以设计需要规划和决策的虚拟任务,同时利用机器人辅助技术协助进行复杂的执行动作模拟。治疗应在专业人员的指导下进行,重点是通过特定的VR场景和任务来促进认知功能的康复。注意事项包括监控患者在治疗过程中的认知和运动反应,确保他们在训练中感到舒适,并及时调整治疗方案。

5.4 治疗后报告

应提供详细的治疗报告,包括患者在特定任务中的认知表现数据、运动交互数据以及任何显著的进步或问题。为后续治疗提供重要信息,同时帮助患者了解自身的康复进程。

5.5 定期评估

定期对患者的认知功能进行评估,以监测其在学习过程中的进展,追踪患者在特定认知功能上的改善,如注意力持续时间、记忆保留情况等。这些评估应使用与治疗前相同的工具进行,以确保结果的可比性。评估应涵盖从基本的认知任务到复杂的认知运动协调任务。这些评估结果将指导后续治疗的调整和优化。分析患者在长期治疗中的认知趋势,以评估VR训练的长期疗效。

5.6 向现实世界应用的过渡

治疗的最终目标是提高患者在现实生活中的功能和自理能力。因此,应鼓励和引导患者将在VR环境中学习到的技能应用于日常生活中的具体场景。模拟现实生活中的任务,如购物计划、家务安排,以促进真实生活能力的提升。对于使用辅助技术的患者,应考虑如何将虚拟环境中的学习经验转化为现实生活中的实际操作技能。

5.7 最终评估和后续跟进

综合评估患者在认知功能和日常生活技能上的进步。根据最终评估结果,制定后续跟进计划,包括必要时的进一步治疗、家庭康复指导或其他支持措施。对于长期需要使用辅助技术的患者,应提供持续的技术支持和指导。

6 基于VR技术的认知功能康复临床应用推荐

6.1 VR技术应用于认知功能康复评估

在康复医学领域,特别是认知功能康复方面,利用VR技术进行认知功能评估是一个创新且有效的方法^[29]。首先,关键在于根据被评估者的需求和评估目标选择合适的VR类型,无论是沉浸式、半沉浸式还是非沉浸式。使用高质量的VR设备,可以显著提高评估的准确性和用户体验。其次,在评估任务设计上,应覆盖各类认知域,如记忆、空间认知和执行功能等;同时模拟真实生活场景,如购物、使用公共交通和家庭管理等,以确保评估的实用性和准确性。此外,对VR认知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。考虑到个体差异和文化背景,个性化的评估选项是不可忽视的部分。同时,用户体验和操作便利性也是至关重要的,要确保VR评估界面直观易懂,并采取措施预防和管理可能出现的不适,如眩晕、视力疲劳等。在数据处理方面,应对收集的数据进行精确的处理和分析,并严格保护评估数据的隐私。为了跟上技术进步和最新研究成果,定期对评估工具进行必要的评估和更新(专家建议)。

6.2 VR技术应用于认知功能康复治疗

已有非常多的随机对照试验和meta分析研究结果表明,基于VR的认知功能康复可以显著改善各种疾病引起的认知障碍患者的认知功能,提高日常生活能力,包括脑卒中^[30-50]、阿尔茨海默病^[51-62]、轻度认知障碍^[63-67]、帕金森病^[68-69]、脑外伤^[70-79]、肿瘤^[80-86]、精神系统疾病^[87-90]、心肺系统疾病^[91-94]等。

6.2.1 脑卒中:VR认知康复对脑卒中患者表现出显著的疗效,尤其在注意力、记忆力、视空间能力、执行功能等方面^[95]。1项随机对照研究结果显示常规认知康复治疗在增加基于VR技术的认知功能康复后疗效更显著^[32](推荐强度A/1b)。5项meta分析研究结果显示基于VR技术的认知功能康复对脑卒中患者的整体认知功能、注意功能、执行功能、言语功能、视空间功能均显示出更好的疗效^[96-100](推荐强度A/1a)。

6.2.2 脑外伤:VR技术可有效介入脑外伤患者的认知康复中,显著提升患者的注意力、记忆力、执行功能、空间认知等多个领域的认知功能恢复^[101]。1项系统综述对既往研究分析发现了VR对脑外伤患者认知功能的改善具有促进作用,并推荐了明确的治疗方案:结合不同的VR工具进行每天10—12次,持续时间20—40min,每周2—4次的训练^[101](推荐强度B/2a)。研究中VR训练内容包括从基本的蔬菜和水果识别的认知训练逐步过渡到更复杂的字母和数字识别的认知训练,适应于患者的具体需求和恢复阶段^[74]。

6.2.3 老年人:VR认知康复对于改善老年人的认知功能表现出明显的疗效,特别是执行功能、注意力和工作记

忆^[102-103]。3项meta分析研究结果显示基于VR技术的认知功能康复对老年人的整体认知功能显示出更好的结果^[104-106](推荐强度A/1a)。VR训练根据老年人的具体需要进行个性化调整,涉及多样化的训练场景,如VR厨房、花园和卧室场景下的日常生活任务模拟以及体育场场景下的运动任务等。

6.2.4 帕金森病(Parkinson's disease, PD):VR认知康复对于改善帕金森病引起的认知功能障碍表现出显著效果,特别是在注意力、记忆力、视空间能力和执行功能方面^[107]。VR技术为帕金森病患者提供认知和感觉刺激反馈,被认为是个性化康复和家庭治疗的替代方案^[108]。1项随机对照研究的初步结果显示,VR训练相较于传统的康复训练对于执行和视空间能力方面的认知功能有更大的改善^[109](推荐强度A/1b)。1项系统综述显示运动游戏和VR结合可能被认为是PD患者认知康复框架中有前途的康复干预措施^[110](推荐强度A/1a)。

6.2.5 精神类疾病:VR认知康复对于改善精神类疾病引起的认知功能障碍表现出显著效果,研究证据涉及孤独症^[111]、强迫症^[90]、抑郁症^[73, 87-88, 112]、精神分裂症^[113-115]等疾病的VR认知康复。12项随机对照研究结果显示基于VR技术的认知功能康复疗效显著,推荐VR与常规认知康复相结合^[73, 87-88, 90, 111-116](推荐强度B/2b)。研究涉及的VR训练任务包括情景互动训练、VR暴露治疗(virtual reality exposure therapy, VRET)以及一些特定的认知功能训练任务等。

6.2.6 多种认知功能障碍疾病:在轻度认知功能障碍(mild cognitive impairment, MCI)^[60, 63-64, 66-67, 117-120]、阿尔茨海默病^[51, 53-55, 57-59, 61-62, 121-122]、非痴呆型血管性认知障碍^[123-124]和主观认知下降(subjective cognitive decline, SCD)^[125]等认知康复治疗中,VR认知康复可以有效改善患者的认知功能,且VR康复联合常规认知康复训练的效果优于单纯的认知康复训练,包括记忆力、注意力、语言能力、视空间和执行功能等方面(推荐强度B/2b)。有研究结果明确表明,12周基于VR的认知康复可增强MCI老年人的定向力、视空间感知和注意力等功能,建议使用VR应用程序来进行认知训练以更好地改善MCI老年人的认知功能,可有效延缓轻度认知障碍向痴呆的转化^[126]。针对老年痴呆患者,沉浸式虚拟现实技术不仅可以有效改善其认知功能,还能有效缓解其焦虑抑郁的心理状态,提升日常活动能力^[51, 62]。此外,VR训练还可有效地改善SCD患者的功能性体适能,适用于养老机构内推广应用^[125](推荐强度B/2b)。2项随机对照研究结果显示,基于VR技术的认知功能康复疗效显著优于常规认知康复治疗^[121, 127](推荐强度B/2b)。19项meta分析研究结果显示基于VR技术的认知功能康复对多种认知患者整体认知功能、记忆功能、执行功能和视空间功能均显示出更好的结果^[5, 98, 128-144](推荐强度A/1a)。VR技术可作为认知功能康

治疗的有效辅助手段。但VR干预的效果因患者的疾病情况、认知障碍严重程度、使用的VR技术和干预方法的不同而有所差异。在临床应用时,应结合患者的具体情况进行个性化设计和调整。

6.2.7 脑瘫儿童:基于VR的认知康复对于改善脑瘫儿童的认知功能表现出显著效果(推荐强度B/2b)。有研究结果表明,10周基于VR的认知康复可增强脑瘫儿童的认知功能,且显著优于单纯的认知康复疗法。建议将VR应用于认知康复,以改善脑瘫儿童的空间感知、运动执行、视觉运动构建和思维操作^[145](推荐强度B/2b)。也有研究指出,基于家庭的VR训练有助于改善脑损伤儿童的社会认知功能、运动模式和效率,是将临床治疗扩展到家庭的有效手段^[146]。VR训练根据儿童的具体需要进行个性化调整,涉及多样化的训练内容,如日常生活任务模拟、游戏等多样化训练内容和训练环境等。

7 总结与展望

VR技术在认知障碍康复领域展现出显著潜力。VR技术通过模拟多样化的虚拟环境和提供沉浸式体验,不仅改善了认知功能评估的精确度和效率,还在多种疾病引起的认知功能障碍中显示出促进认知功能康复的显著疗效。VR认知康复通过刺激特定脑区,如前额叶和海马,促进大脑重塑,从而改善注意力、记忆力、视觉空间能力和执行功能。未来研究需关注VR在不同患者群体中的应用效果,探讨其与其他数字化工具的结合使用,结合特定神经环路重塑机制和理论,以及开发个性化康复方案,以进一步提升其在认知障碍康复中的应用价值。

参考文献

- [1] De Luca R, Calabrò RS, Bramanti P. Cognitive rehabilitation after severe acquired brain injury: current evidence and future directions[J]. Neuropsychol Rehabil, 2018, 28(6): 879-898.
- [2] Kim E, Han J, Choi H, et al. Examining the academic trends in neuropsychological tests for executive functions using virtual reality: systematic literature review[J]. JMIR Serious Games, 2021, 9(4): e30249.
- [3] Erkinen MG, Kim MO, Geschwind MD. Clinical neurology and epidemiology of the major neurodegenerative diseases[J]. Cold Spring Harb Perspect Biol, 2018, 10(4): a033118.
- [4] Lancôt KL, Lindsay MP, Smith EE, et al. Canadian stroke best practice recommendations: mood, cognition and fatigue following stroke, 6th edition update 2019[J]. Int J Stroke, 2020, 15(6): 668-688.
- [5] Jahn FS, Skovbye M, Obenhausen K, et al. Cognitive training with fully immersive virtual reality in patients with neurological and psychiatric disorders: a systematic review of randomized controlled trials[J]. Psychiatry Res, 2021, 300: 113928.
- [6] Han K, Young Kim I, Kim JJ. Assessment of cognitive

- flexibility in real life using virtual reality: a comparison of healthy individuals and schizophrenia patients[J]. Comput Biol Med, 2012, 42(8): 841—847.
- [7] Zeng Y, Guan Q, Su Y, et al. A self-administered immersive virtual reality tool for assessing cognitive impairment in patients with cancer[J]. Asia Pac J Oncol Nurs, 2023, 10(3): 100205.
- [8] Cushman LA, Stein K, Duffy CJ. Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality[J]. Neurol, 2008, 71(12): 888—895.
- [9] Riva G, Mancuso V, Cavedoni S, et al. Virtual reality in neurorehabilitation: a review of its effects on multiple cognitive domains[J]. Expert Rev Med Devices, 2020, 17(10): 1035—1061.
- [10] Corti C, Oprandi MC, Chevignard M, et al. Virtual-reality performance-based assessment of cognitive functions in adult patients with acquired brain injury: a scoping review [J]. Neuropsychol Rev, 2022, 32(2): 352—399.
- [11] Faria AL, Andrade A, Soares L, et al. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: a randomized controlled trial with stroke patients[J]. J Neuroeng Rehabil, 2016, 13(1): 96.
- [12] Neğüt A, Matu SA, Sava FA, et al. Virtual reality measures in neuropsychological assessment: a meta-analytic review[J]. Clin Neuropsychol, 2016, 30(2): 165—184.
- [13] Baumann V, Birnbaum T, Breitling-Ziegler C, et al. Exploration of a novel virtual environment improves memory consolidation in ADHD[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 21453.
- [14] Borgnis F, Baglio F, Pedroli E, et al. Available virtual reality-based tools for executive functions: a systematic review[J]. Front Psychol, 2022, 13: 833136.
- [15] Dehn LB, Kater L, Piefke M, et al. Training in a comprehensive everyday-like virtual reality environment compared to computerized cognitive training for patients with depression[J]. Comput Hum Behav, 2018, 79: 40—52.
- [16] Kershner JR. Multisensory deficits in dyslexia may result from a locus coeruleus attentional network dysfunction[J]. Neuropsychologia, 2021, 161: 108023.
- [17] Kumar Sp. Improving working memory in science learning through effective multisensory integration approach[J]. Online Submission, 2018, 9: 83—93.
- [18] Nizam K, Athanasios A, Almpani S, et al. Converging robotic technologies in targeted neural rehabilitation: a review of emerging solutions and challenges[J]. Sensors, 2021, 21(6): 2084.
- [19] Rivera II EL. Game-based robotic training for upper limb function after stroke [D]. Sydney: Univ Technol Sydney, 2022.
- [20] Mukkawar VV, Netak LD. Technological evaluation of virtual and augmented reality to impart social skills[C]. International Conference on Intelligent Human Computer Interaction, 2021.
- [21] Georgiev DD, Georgieva I, Gong Z, et al. Virtual reality for neurorehabilitation and cognitive enhancement[J]. Brain Sci, 2021, 11(2): 221.
- [22] Hao J, Xie H, Harp K, et al. Effects of virtual reality intervention on neural plasticity in stroke rehabilitation: a systematic review[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2022, 103(3): 523—541.
- [23] Heekeren HR, Marrett S, Bandettini PA, et al. A general mechanism for perceptual decision-making in the human brain[J]. Nature, 2004, 431(7010): 859—862.
- [24] Wojciechowski A, Wisniewska A, Pysora A, et al. Virtual reality immersive environments for motor and cognitive training of elderly people: a scoping review[J]. Human Technol, 2021, 17(2): 145—163.
- [25] Banville F, Couture J F, Verhulst E, et al. Using virtual reality to assess the elderly: the impact of human-computer interfaces on cognition[C]. Human Interface and the Management of Information: Supporting Learning, Decision-Making and Collaboration, 2017.
- [26] Ip HHS, Wong SWL, Chan DFY, et al. Virtual reality enabled training for social adaptation in inclusive education settings for school-aged children with autism spectrum disorder (ASD) [C]. Blended Learning: Aligning Theory with Practices: 9th International Conference, 2016.
- [27] Chen C, Leung L. Are you addicted to candy crush saga? an exploratory study linking psychological factors to mobile social game addiction[J]. Telemat Inform, 2016, 33(4): 1155—1166.
- [28] Baxter N, Kabi F. Understanding human over-reliance on technology[J]. Long-Term Care, 2017, 5(5): 2.
- [29] 张梦迪. 基于虚拟现实技术的飞行人员空间认知能力评价研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2023.
- [30] 苏丽丽, 方小养, 林玲, 等. 上肢机器人虚拟情景任务导向性训练对脑卒中患者认知功能影响的研究[J]. 中国康复, 2022, 37(2): 101—104.
- [31] 龚顺枝. 上肢机器人虚拟情景任务导向性训练应用于脑卒中后合并认知障碍的偏瘫患者的效果[J]. 医学理论与实践, 2023, 36(4): 686—688.
- [32] 史哲. 上肢机器人虚拟现实训练治疗亚急性期脑卒中患者运动及认知功能障碍的随机对照临床试验[D]. 兰州: 甘肃中医药大学, 2017.
- [33] 薛慧. 神经电生理监测虚拟现实训练对脑卒中恢复期患者认知功能和肢体运动功能的影响[J]. 现代实用医学, 2020, 32(6): 613—615.
- [34] 钱平安, 冯红静, 沈凯杰, 等. 体感互动虚拟现实技术辅助用于脑卒中患者的康复效果[J]. 中国乡村医药, 2020, 27(7): 3—4.
- [35] 王静, 马景全, 陈长香, 等. 体感游戏kinect改善脑卒中患者执行功能的效果研究[J]. 中国康复医学杂志, 2014, 29(8): 748—751.
- [36] 周颖, 徐乐义, 李海燕. 体感游戏改善脑卒中患者认知功能障碍的效果[J]. 中国医药导报, 2018, 15(2): 115—118.
- [37] 张晓晓, 蒋明霞, 孙瑞慧, 等. 体感游戏联合高频重复经颅磁刺激在卒中后轻度认知功能障碍患者康复中的应用[J]. 中华现代护理杂志, 2022, 28(15): 2057—2061.
- [38] 张红利, 车文生, 楚娜娜. 头针联合虚拟情景互动训练对脑卒中患者功能康复的影响[J]. 中国老年学杂志, 2019, 39(20): 4902—4906.
- [39] 暴丽霞, 张朝霞, 王燕. 虚拟课堂对恢复期脑卒中患者认知偏向及健康行为的影响[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2021, 24(9): 800—806.
- [40] 付亏杰, 刘旭东, 范飞, 等. 虚拟现实技术对脑卒中恢复期患者认知功能的影响[J]. 承德医学院学报, 2019, 36(4): 303—305.
- [41] 许方军, 曹晓光, 王修敏, 等. 虚拟现实技术训练对脑卒中后认知功能及日常生活活动能力的影响[J]. 反射疗法与康复医学, 2021, 2(24): 120—124.
- [42] 任应国, 李尽义, 胡科, 等. 虚拟现实训练对脑梗死后认知

- 功能障碍的康复治疗效果[J]. 国际精神病学杂志, 2020, 47(6): 1193—1195.
- [43] 肖湘, 梁斌. 虚拟现实训练对卒中中恢复期患者认知功能和P300的影响[J]. 中国康复医学杂志, 2019, 34(3): 339—341.
- [44] 王辉, 吴吉生. 虚拟现实训练对认知障碍的卒中中偏瘫患者的影响[J]. 中国康复, 2017, 32(4): 299—301.
- [45] 付亏杰, 范飞, 王占波, 等. 虚拟现实训练治疗脑出血恢复期患者认知功能的疗效观察[J]. 按摩与康复医学, 2019(24): 7—9.
- [46] 郭佳琪, 董静. 虚拟现实训练治疗卒中后认知障碍的疗效观察[J]. 中外女性健康研究, 2020(24): 111—112.
- [47] 杨恒. 灯盏花素注射液联合虚拟现实康复训练对卒中患者认知功能及平衡能力的影响[J]. 中国疗养医学, 2020, 29(7): 755—756.
- [48] 胡艳群, 李斌, 王蛟颜, 等. 短期虚拟现实康复训练联合认知干预对老年卒中中偏瘫患者运动功能、Lovett肌力分级及生存质量的影响分析[J]. 中国医学前沿杂志: 电子版, 2018, 10(8): 97—101.
- [49] 黄爱茹, 付婧, 余茜. 多模块3D虚拟现实技术联合重复经颅磁刺激治疗卒中后认知功能障碍的效果[J]. 中华临床医师杂志: 电子版, 2022, 16(11): 1089—1095.
- [50] 赵德福, 景俊, 方琪, 等. 重复经颅磁刺激结合上肢机器人虚拟情景训练对卒中患者认知功能的研究[J]. 中国康复, 2020, 35(6): 295—298.
- [51] 刘桂兰, 陈楚玲. 基于虚拟现实技术的认知训练对老年痴呆病人认知功能恢复及负性情绪的影响[J]. 全科护理, 2021, 19(5): 652—654.
- [52] 杨凤珍. 体感互动游戏对老年痴呆患者的影响[J]. 中外医学研究, 2021, 19(14): 126—129.
- [53] 唐宏, 丛捷. 体感互动游戏干预改善老年痴呆患者认知功能的分析[J]. 中华养生保健, 2022, 40(5): 177—179.
- [54] 法卫玲, 陈黎, 强利敏. 体感互动游戏联合认知功能训练对阿尔茨海默病患者认知功能及生活质量的影响[J]. 齐鲁护理杂志, 2021, 27(20): 66—68.
- [55] 白珊珊, 朱宏伟. 体感互动游戏在老年痴呆患者认知功能改善中的应用[J]. 中华现代护理杂志, 2020, 26(10): 1359—1364.
- [56] 郑佳映, 陈雪萍. 体感互动游戏在老年痴呆患者中的应用研究[J]. 护理学杂志, 2018, 33(9): 5—9.
- [57] 刘晶京, 孙佳, 王红, 等. 虚拟现实技术对改善不同程度老年痴呆患者认知功能的疗效研究[J]. 河北医药, 2023, 45(1): 92—95.
- [58] 戎燕, 夏恩奎, 汤武亨. 虚拟现实技术指导下的认知功能训练对老年痴呆患者认知功能和生活质量的影响[J]. 中华现代护理杂志, 2019(2): 208—211.
- [59] 谢娟娟. 虚拟综合认知干预在轻中度阿尔茨海默病患者中的应用研究[D]. 湖州: 湖州师范学院, 2021.
- [60] 曹连平, 姚桂芬. VR技术结合重复经颅磁刺激治疗阿尔茨海默病源性轻度认知障碍的疗效观察[J]. 湖北科技学院学报: 医学版, 2023, 37(3): 212—215.
- [61] 杨伟, 王红, 陈卓铭, 等. 中药治疗与传统认知训练联合虚拟技术对阿尔茨海默病患者的疗效评价[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(7): 783—788.
- [62] 谢兴, 农青芳, 农冬晖, 等. 沉浸式虚拟现实技术在老年痴呆患者认知训练中的应用[J]. 广西医学, 2020, 42(20): 2717—2720.
- [63] 薛静刚, 秦金. 轻度认知障碍患者康复训练中虚拟现实技术的应用效果分析[J]. 中国全科医学, 2021, 24(S1): 110—112.
- [64] 贾卫. 虚拟场景踏车运动对遗忘型轻度认知障碍老年人记忆功能影响的研究[D]. 南宁: 广西中医药大学, 2021.
- [65] 宋金花, 朱其秀, 李培媛, 等. 虚拟现实技术对非痴呆型血管性认知障碍患者认知功能、日常生活活动能力以及P300的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2018, 40(3): 195—197.
- [66] 赵荣荣, 李谷维, 郭冲, 等. 虚拟现实技术在轻度认知障碍患者认知康复训练中的应用[J]. 神经损伤与功能重建, 2021, 16(10): 590—592.
- [67] 王大为, 吕凌. Anokan-VR虚拟现实康复训练系统结合原络通经针法治疗轻度认知功能障碍的临床观察[J]. 世界最新医学信息文摘, 2016, 16(13): 17—18.
- [68] 夏敏, 江一静, 郑得忠, 等. 体感游戏对帕金森病患者认知、步态的影响[J]. 临床荟萃, 2020, 35(10): 900—903.
- [69] 张黎明, 高磊, 薛翠萍, 等. 虚拟现实技术联合重复经颅磁刺激治疗帕金森病轻度认知障碍的临床疗效观察[J]. 中国康复, 2023, 38(3): 148—152.
- [70] 曾莹莹. 认知行为干预联合虚拟现实训练在重症颅脑损伤术后患者中的应用效果[J]. 河南医学研究, 2021, 30(28): 5362—5364.
- [71] 赵建功, 何建根, 刘尖尖, 等. 虚拟现实技术训练对重度颅脑外伤术后认知及运动功能康复的疗效分析[J]. 中国临床医生杂志, 2023, 51(7): 836—839.
- [72] 江山, 李娅娜, 王一鸣, 等. 虚拟现实训练技术对颅脑损伤患者认知功能恢复的疗效[J]. 中国康复, 2019, 34(9): 451—454.
- [73] 沈拾亦. 抑郁症患者前瞻性记忆损伤的脑影像机制和基于虚拟现实技术的认知干预研究[D]. 广州: 暨南大学, 2020.
- [74] 吴彩虹, 时美芳, 孙亚, 等. 早期虚拟现实训练对脑外伤患者功能康复的影响[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2015, 37(4): 274—275.
- [75] 谭晓洁. 早期虚拟现实训练对重度颅脑损伤患者认知功能和功能独立性的影响[J]. 临床护理杂志, 2017, 16(5): 19—22.
- [76] 陈淑丽. 早期虚拟现实训练在重度颅脑损伤术后病人护理中的应用[J]. 全科护理, 2021, 19(23): 3231—3233.
- [77] 杨杰华, 冼晓琪, 区大明, 等. 高压氧联合虚拟现实技术对重型颅脑损伤患者认知运动功能康复的疗效研究[J]. 实用医技杂志, 2020, 27(3): 280—283.
- [78] 邵文泽. 虚拟现实训练技术结合高压氧应用于重型颅脑损伤患者的临床效果[J]. 反射疗法与康复医学, 2022, 3(21): 169—171.
- [79] 袁翠玲, 杨珂. 早期虚拟现实训练结合正念认知训练对重型颅脑损伤术后患者神经功能及认知功能独立性的影响[J]. 中国疗养医学, 2021, 30(9): 960—962.
- [80] 杨祖云. 基于虚拟现实技术的认知康复训练模式在乳腺癌CRCI病人中的应用[J]. 全科护理, 2023, 21(31): 4340—4344.
- [81] 金艾香, 张旭, 章小飞, 等. 体感交互穴位按摩在乳腺癌化疗后认知障碍患者中的应用研究[J]. 护理与康复, 2020, 19(7): 10—14.
- [82] 黄学芳, 严海鸥, 于洁. 虚拟认知康复干预老年肝癌TACE术后致轻度认知障碍患者的效果观察[J]. 中西医结合肝病杂志, 2021, 31(10): 894—896.
- [83] 林海燕, 王丽华, 林红霞. 虚拟认知康复训练对保留乳头乳晕青年乳腺癌改良根治术后即刻乳房再造患者预后的影响[J]. 中国医学前沿杂志, 2021, 13(9): 71—75.
- [84] 白黎, 王晓东, 周芮伊, 等. 虚拟认知康复训练在肝癌经肝动脉灌注化疗栓塞术致轻度认知障碍患者中的应用[J]. 中华现代护理杂志, 2020(11): 1449—1454.
- [85] 陈肖敏, 金艾香, 朱慧, 等. 虚拟认知康复训练在乳腺癌化疗相关认知障碍患者中的应用[J]. 中华护理杂志, 2019, 54(5): 664—668.
- [86] 赵瑞莹, 许妍. 虚拟认知训练在肺癌化疗患者中的应用价值

- 分析[J]. 内科, 2021, 16(5): 674—677.
- [87] 张璐. 基于VR的注意训练对抑郁发作患者认知功能干预研究[D]. 广州: 暨南大学, 2019.
- [88] 李冰彬, 黄国胜, 叶鑫武. 基于虚拟现实注意力训练联合舍曲林治疗对未成年抑郁症患者认知功能及脑区比率低频振幅的影响[J]. 全科医学临床与教育, 2023, 21(4): 309—312.
- [89] 鲁玉霞, 张会娟, 卢海燕. 体感游戏治疗对学龄期孤独症患儿认知功能与生活技能的效果[J]. 国际精神病学杂志, 2020, 47(3): 475—478.
- [90] 杨军韦. 虚拟现实暴露治疗对强迫症临床症状及认知功能的影响研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2022.
- [91] 胡丹丹, 何俊, 丁渝权, 等. 虚拟现实技术在老年慢性阻塞性肺疾病并轻度认知障碍患者肺康复训练中的应用效果[J]. 实用心脑血管病杂志, 2018, 26(6): 85—88.
- [92] 杨秀艳, 李爱伟, 郝正玮. 虚拟现实技术支持下分级运动康复与认知功能训练对慢性心力衰竭并认知障碍患者的影响研究[J]. 实用心脑血管病杂志, 2019, 27(1): 14—18.
- [93] 张晓兰. 虚拟现实技术支持下分级运动康复与认知功能训练对慢性心力衰竭并认知障碍患者的影响研究[J]. 世界最新医学信息文摘, 2019, 19(A1): 110—111.
- [94] 谢玉明. 以虚拟现实技术为基础的分级运动康复结合认知功能训练对慢性心力衰竭患者的影响[J]. 护理实践与研究, 2020, 17(21): 43—45.
- [95] Maggio MG, Latella D, Maresca G, et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: an overview[J]. J Neurosci Nurs, 2019, 51(2): 101—105.
- [96] Aminov A, Rogers JM, Middleton S, et al. What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? a systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes[J]. J Neuroeng Rehabil, 2018, 15(1): 29.
- [97] Chen X, Liu F, Lin S, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on cognitive function and activities of daily living of patients with poststroke cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2022, 103(7): 1422—1435.
- [98] Gao Y, Ma L, Lin C, et al. Effects of virtual reality-based intervention on cognition, motor function, mood, and activities of daily living in patients with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Front Aging Neurosci, 2021, 13: 766525.
- [99] Xiao Z, Wang Z, Ge S, et al. Rehabilitation efficacy comparison of virtual reality technology and computer-assisted cognitive rehabilitation in patients with post-stroke cognitive impairment: a network meta-analysis[J]. J Clin Neurosci, 2022, 103: 85—91.
- [100] Zhang Q, Fu Y, Lu Y, et al. Impact of virtual reality-based therapies on cognition and mental health of stroke patients: systematic review and meta-analysis[J]. J Med Internet Res, 2021, 23(11): e31007.
- [101] Alashram AR, Annino G, Padua E, et al. Cognitive rehabilitation post traumatic brain injury: a systematic review for emerging use of virtual reality technology[J]. J Clin Neurosci, 2019, 66: 209—219.
- [102] Bapka V, Bika I, Sawidis T, et al. Cognitive training in community dwelling older adults via a commercial video game and an adaptation of the virtual reality platform fitforall: Comparison of the two intervention programs[J]. Hell J Nucl Med, 2017, 20(2): 21—29.
- [103] Li X, Niksirat K S, Chen S, et al. The impact of a multitasking-based virtual reality motion video game on the cognitive and physical abilities of older adults[J]. Sustainability, 2020, 12(21): 9106.
- [104] Lin C, Ren Y, Lu A. The effectiveness of virtual reality games in improving cognition, mobility, and emotion in elderly post-stroke patients: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurosurg Rev, 2023, 46(1): 167.
- [105] Sakaki K, Nouchi R, Matsuzaki Y, et al. Benefits of VR physical exercise on cognition in older adults with and without mild cognitive decline: a systematic review of randomized controlled trials[J]. Healthcare (Basel), 2021, 9(7): 883.
- [106] Yen HY, Chiu HL. Virtual reality exergames for improving older adults' cognition and depression: a systematic review and meta-analysis of randomized control trials[J]. J Am Med Dir Assoc, 2021, 22(5): 995—1002.
- [107] Triegaardt J, Han TS, Sada C, et al. The role of virtual reality on outcomes in rehabilitation of Parkinson's disease: meta-analysis and systematic review in 1031 participants[J]. Neurol Sci, 2020, 41(3): 529—536.
- [108] Rodríguez-Mansilla J, Bedmar-Vargas C, Garrido-Ardila EM, et al. Effects of virtual reality in the rehabilitation of Parkinson's disease: a systematic review[J]. J Clin Med, 2023, 12(15): 4896.
- [109] 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.
- [110] Marotta N, Calafiore D, Curci C, et al. Integrating virtual reality and exergaming in cognitive rehabilitation of patients with Parkinson disease: A systematic review of randomized controlled trials[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2022, 58(6): 818—826.
- [111] Zhao J, Zhang X, Lu Y, et al. Virtual reality technology enhances the cognitive and social communication of children with autism spectrum disorder[J]. Front Public Health, 2022, 10: 1029392.
- [112] 卢倩怡. 基于VR的工作记忆训练系统的研发及其对抑郁发作缓解期患者干预的研究[D]. 广州: 暨南大学, 2019.
- [113] Li S, Liu R, Sun B, et al. Effect of virtual reality on cognitive impairment and clinical symptoms among patients with schizophrenia in the remission stage: a randomized controlled trial[J]. Brain Sci, 2022, 12(11): 1572.
- [114] Shen ZH, Liu MH, Wu Y et al. Virtual-reality-based social cognition and interaction training for patients with schizophrenia: a preliminary efficacy study[J]. Front Psychiatry, 2022, 13: 1022278.
- [115] Wang X, Kou X, Meng X, et al. Effects of a virtual reality serious game training program on the cognitive function of people diagnosed with schizophrenia: a randomized controlled trial[J]. Front Psychiatry, 2022, 13: 952828.
- [116] Man DWK. Virtual reality-based cognitive training for drug abusers: a randomised controlled trial[J]. Neuropsychol Rehabil, 2020, 30(2): 315—332.
- [117] Khirallah Abd El Fatah N, Abdelwahab Khedr M, Alshammari M, et al. Effect of immersive virtual reality reminiscence versus traditional reminiscence therapy on cogni-

- tive function and psychological well-being among older adults in assisted living facilities: a randomized controlled trial[J]. *Geriatr Nurs*, 2023, 55: 191—203.
- [118] Hassandra M, Galanis E, Hatzigeorgiadis A, et al. A virtual reality app for physical and cognitive training of older people with mild cognitive impairment: mixed methods feasibility study[J]. *JMIR Serious Games*, 2021, 9(1):e24170.
- [119] Torpil B, Şahin S, Pekçetin S, et al. The effectiveness of a virtual reality-based intervention on cognitive functions in older adults with mild cognitive impairment: a single-blind, randomized controlled trial[J]. *Games Health J*, 2021, 10(2): 109—114.
- [120] 李圆圆, 段海宇. 虚拟现实技术对轻度认知功能障碍患者认知功能及脑电相干性的影响[J]. *成都医学院学报*, 2023, 18(4): 449—453.
- [121] Doniger GM, Beeri MS, Bahar-Fuchs A, et al. Virtual reality-based cognitive-motor training for middle-aged adults at high Alzheimer's disease risk: a randomized controlled trial[J]. *Alzheimers Dement*, 2018, 4: 118—129.
- [122] Oliveira J, Gamito P, Souto T, et al. Virtual reality-based cognitive stimulation on people with mild to moderate dementia due to Alzheimer's disease: a pilot randomized controlled trial[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(10):5290.
- [123] 宋金花. 虚拟现实技术在非痴呆型血管性认知障碍及远程康复中的应用[D]. 青岛: 青岛大学, 2018.
- [124] 储丽丽. 虚拟现实技术训练对非痴呆型血管性认知障碍患者的治疗效果研究[J]. *反射疗法与康复医学*, 2021(13) 150—152.
- [125] 孙志成, 王彤, 顾晓美, 等. 虚拟现实训练对养老机构主观认知下降患者认知功能和功能性体适能的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2023, 45(4): 320—325.
- [126] Torpil B, Şahin S, Pekçetin S, et al. The effectiveness of a virtual reality-based intervention on cognitive functions in older adults with mild cognitive impairment: a single-blind, randomized controlled trial[J]. *Games Health J*, 2021, 10(2): 109—114.
- [127] 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]. *Front Psychol*, 2023, 14:1268337.
- [128] Gómez-Cáceres B, Cano-López I, Aliño M, et al. Effectiveness of virtual reality-based neuropsychological interventions in improving cognitive functioning in patients with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Neuropsychol*, 2023, 37(7):1337—1370.
- [129] Hung SCW, Ho AYN, Lai I HW, et al. meta-analysis on the effectiveness of virtual reality cognitive training (VRCT) and computer-based cognitive training (CBCT) for individuals with mild cognitive impairment (MCI)[J]. *Electronics*, 2020, 9(12):2185.
- [130] Kim H, Jung J, Lee S. Therapeutic application of virtual reality in the rehabilitation of mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. *Vision (Basel, Switzerland)*, 2022, 6(4):68.
- [131] Kim O, Pang Y, Kim JH. The effectiveness of virtual reality for people with mild cognitive impairment or dementia: a meta-analysis[J]. *BMC Psychiatry*, 2019, 19(1):219.
- [132] Liu Q, Song H, Yan M, et al. Virtual reality technology in the detection of mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ageing Res Rev*, 2023, 87:101889.
- [133] Moreno A, Wall KJ, Thangavelu K, et al. A systematic review of the use of virtual reality and its effects on cognition in individuals with neurocognitive disorders[J]. *Alzheimers Dement*, 2019, 5: 834—850.
- [134] Papaioannou T, Voinescu A, Petrini K, et al. Efficacy and moderators of virtual reality for cognitive training in people with dementia and mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Alzheimers Dis*, 2022, 88(4): 1341—1370.
- [135] Tortora C, Di Crosta A, La Malva P, et al. Virtual reality and cognitive rehabilitation for older adults with mild cognitive impairment: a systematic review[J]. *Ageing Res Rev*, 2023, 102146—102146.
- [136] Wu J, Ma Y, Ren Z. Rehabilitative effects of virtual reality technology for mild cognitive impairment: a systematic review with meta-analysis[J]. *Front Psychol*, 2020, 11:1811.
- [137] Yan M, Zhao Y, Meng Q, et al. Effects of virtual reality combined cognitive and physical interventions on cognitive function in older adults with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ageing Res Rev*, 2022, 81:101708.
- [138] Yu D, Li X, Lai FH. The effect of virtual reality on executive function in older adults with mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis[J]. *Aging Ment Health*, 2023, 27(4): 663—673.
- [139] Zhu S, Sui Y, Shen Y, et al. Effects of virtual reality intervention on cognition and motor function in older adults with mild cognitive impairment or dementia: a systematic review and meta-analysis[J]. *Front Aging Neurosci*, 2021, 13:586999.
- [140] 陈云静, 韩梦景, 刘荣梅, 等. 虚拟现实技术对老年性痴呆患者干预效果的meta分析[J]. *中国老年保健医学*, 2023, 21(5): 37—43.
- [141] 边继萍, 刘晓凤, 魏利荣, 等. 虚拟现实技术用于轻度认知障碍患者康复的meta分析[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(21): 96—102.
- [142] 胡镭镭, 李斐斐, 陶佳萍, 等. 虚拟现实技术对老年痴呆患者干预效果的系统评价[J]. *健康研究*, 2023, 43(5): 519—524.
- [143] 王凯蓉, 卫婉蕊, 马晴雅, 等. 沉浸式虚拟现实认知训练对认知障碍患者干预效果的系统评价[J]. *中华护理杂志*, 2022, 57(2): 230—236.
- [144] 邹振亚, 刘冉冉, 杜娟, 等. 虚拟现实技术对轻度认知障碍患者认知干预效果的系统评价[J]. *中国实用护理杂志*, 2019, (8): 622—626.
- [145] Aran OT, Şahin S, Kose B, et al. Effectiveness of the virtual reality on cognitive function of children with hemiplegic cerebral palsy: a single-blind randomized controlled trial[J]. *Int J Rehabil Res*. 2020, 43(1):12—19.
- [146] Choi JY, Yi SH, Shim D, et al. Home-based virtual reality-enhanced upper limb training system in children with brain injury: a randomized controlled trial[J]. *Front Pediatr*, 2023, 11:1131573.