

## 虚拟现实技术：老年认知功能障碍新辅助疗法\*

李媛媛 张宇 郭晓航 党业兴 周姝冶 王智昊\*\*

吉林大学第一医院老年病科, 吉林 长春 130021

**[摘要]** 认知功能障碍是指个体的认知能力出现明显下降, 可能在语言理解、记忆、感知、执行功能等方面受损。认知功能障碍类疾病的发病率高、综合征发展快、疾病负担大, 给全球卫生和社会系统带来了挑战。虚拟现实(VR)技术作为一种非侵入性非药物治疗的方法, 具有强大的沉浸式和交互性特征, 可根据患者自身状态制定个性化计划。VR技术在认知功能障碍的识别、检测、干预上已有成效。本文对VR技术作为认知功能障碍新的辅助治疗方法作一综述, 分析其在康复训练、检测方面的应用, 并指出它的优势、不足和未来发展方向。

**[关键词]** 虚拟现实技术; 老年人; 认知功能障碍; 认知康复

doi: 10.3969/j.issn.1674-7593.2026.01.015

### Virtual reality-assisted cognitive rehabilitation: a novel pathway for supporting elderly minds

Li Yuanyuan, Zhang Yu, Guo Xiaohang, Dang Yexing, Zhou Shuye, Wang Zhihao\*\*

Department of Geriatrics, the First Hospital of Jilin University, Changchun 130021, China

\*\* Corresponding author: Wang Zhihao, email: wangzhih@jlu.edu.cn

**[Abstract]** Cognitive impairment denotes a substantial deterioration in an individual's cognitive faculties, potentially encompassing deficiencies in language comprehension, memory, perception, executive function, and more areas. Cognitive impairment disorders are marked by a high prevalence, swift symptom progression, and considerable illness burden, presenting significant challenges to global health and social systems. Virtual reality (VR) technology, as a non-invasive and non-pharmacological therapy method, facilitates the creation of individualized plans customized to the patient's condition through its immersive and interactive capabilities. Virtual reality has shown beneficial in the identification, evaluation, and intervention of cognitive impairment. This paper comprehensively discusses VR technology as an innovative adjunctive treatment for cognitive impairment, examines its applications in rehabilitation training and evaluation, and underscores its benefits, drawbacks, and prospective developments.

**[Key words]** Virtual reality technology; Elderly; Cognitive impairment; Cognitive rehabilitation

认知功能障碍是指个体认知过程中的一个或多个方面明显地减弱或丧失。按严重程度可从轻度认知功能障碍(Mild cognitive impairment, MCI)到重度痴呆不等, 给全球患者、家庭、社会带来沉重负担<sup>[1]</sup>。因此, 应采用有效的、经济的康复干预措施尽早进行认知功能障碍的管理<sup>[2]</sup>。目前干预认知功能障碍的治疗主要有药物治疗和非药物治疗两类。药物治疗有一定的疗效, 但不良反应, 如恶心、腹泻、心动过缓及晕厥风险增加。非药物干预包括认知训练、物理锻炼、社交活动、心理支持法及虚拟现实(Virtual reality, VR)技术等多方面。非药物治疗可增强大脑健康、降低风险并促进神经可塑性, 以此增强认知功能, 可为改善认知功能障碍提供新的治疗选择。

VR技术是通过计算机生成三维虚拟环境, 用户通过特定的设备(如头戴式显示器、手柄、传感器等)与虚拟环境进行交互, 从而获得沉浸式

的体验。核心特点是: 沉浸感、交互性及想象性。其在医学领域的应用广泛, 涵盖了医学教育、手术规划、心理治疗、康复训练等多个方面。其优势显著, 如沉浸式体验、高效的医疗训练、个性化治疗方案以及医疗成本降低等<sup>[3]</sup>。因此, 本文综述VR技术作为改善认知功能障碍的一种新型辅助治疗方法, 分析其技术优势, 在康复训练和监测方面的应用及未来研究方向, 使其为改善认知功能障碍发挥更大作用。

#### 1 VR技术优势

##### 1.1 多感官刺激与真实场景模拟

VR技术可提供视觉、听觉及触觉等多方面的感官刺激, 可激活多个脑区协同工作, 促进突触连接与重塑。可为患者模拟日常生活的真实场景(如超市购物、做饭、驾车), 制定功能性日常任务, 来锻炼患者的认知功能。通过情境化训练促进日常生活技能向现实场景迁移, 从而延缓认知

收稿日期: 2025-07-15 修回日期: 2025-10-13 录用日期: 2025-10-13

\* 吉林省发展和改革委员会创新能力建设资金项目(2024C009-5)

\*\* 通信作者: 王智昊, 电子邮箱 wangzhih@jlu.edu.cn

衰退的发展。有研究通过模拟购物场景为 MCI 和轻度痴呆 (Mild dementia, MD) 的老年患者提供全面、个性化的认知干预, 结果发现, 使用中国虚拟超市 (Chinese virtual supermarket, CVSM) 系统可以有效增强 MCI 和 MD 患者的认知功能 (一般认知功能、记忆力、执行功能和注意力)<sup>[4]</sup>。此外, VR 技术可以提供更具沉浸感和真实感的感官刺激, 对视觉和神经受损的患者尤其有益。还可以创建定制化的锻炼方案, 以满足每个患者的特定需求和能力, 从而提高治疗效果。与此同时, VR 技术在提高视觉和神经康复锻炼的有效性方面有显著效果<sup>[5]</sup>。VR 技术还可以提供高度还原性的真实场景模拟, 提高医护人员评估受控和交互式环境中空间记忆的能力<sup>[6]</sup>。

### 1.2 沉浸式体验与多任务整合

通过头戴式显示器、投影全屏等设备, VR 技术为患者提供身临其境的虚拟环境, 进行任务训练, 这种全沉浸式头显 (Head-mounted display, HMD) 会阻断外部干扰, 促使患者完成虚拟任务, 并增强前额叶-顶叶的注意力和调控能力。VR 的认知训练可有效改善 MCI 患者的额叶执行功能<sup>[7]</sup>。VR 技术提供了多感官和三维环境, 使患者能够完全沉浸在虚拟环境中。不仅如此, VR 技术在训练过程中会针对认知功能障碍的多个方面设计训练任务, 患者接受 1 次训练就可实现多方面认知状态的改善。其任务设计常整合记忆+执行+运动功能, 激活分布式脑网络协同工作, 模拟真实认知状态<sup>[7]</sup>。它的沉浸式和互动性可改善患者活动能力。应用 VR 技术后老年患者的社交活动参与度提高, 孤独感减少, 情绪恢复能力增强, 社会心理获益<sup>[8]</sup>。

### 1.3 促进神经可塑性

VR 训练可增加大脑齿状回的可塑性。健康大脑的神经可塑性主要有 3 种机制: ①周围神经损伤后轴突的再生, 当轴突被切断或损伤后, 近侧段的轴突会重新向靶组织生长, 以恢复功能。②通过现有细胞体中新树突、轴突和突触的生长来恢复受伤的中枢神经细胞, 通过强化或削弱现有神经元之间的连接 (突触), 以及生长出新的树突棘和轴突末梢, 来优化神经网络。③新神经元的大量生成, 发生在脑室下区和两个神经源性区域, 大脑中特定的神经干细胞或祖细胞经过增殖、分化和迁移, 最终整合到现有神经回路中, 形成功能性的新神经元<sup>[9]</sup>。动物模型研究表明, 在影响许多神经精神疾病和年龄相关认知功能障碍的发病机制中, 神经可塑性可能有重要作用<sup>[10]</sup>。此外, VR 疗法还可通过游戏的训练为运动障碍患者提供康复方案。例如抓取和释放虚拟球, 可刺激和激活镜像神经元。患者佩戴头戴式显示器, 使用运动控制器与虚拟环境进行交互。治疗 4 周后, 镜像神经元康复证明 VR 疗法可促进受伤大脑区域的

神经重塑并改善功能。同时应用静息功能磁共振成像和 Fugl-Meyer 评估, 发现 VR 康复在脑细胞重塑和运动功能方面有显著效果<sup>[11]</sup>。

## 2 VR 在认知功能障碍康复中的应用

### 2.1 VR 在 MCI 患者中的应用

MCI 是个体出现超出其年龄和教育水平预期的认知能力下降, 但这种下降尚未显著影响日常生活独立活动能力。MCI 患者可能出现部分认知能力下降, 表现在记忆、语言、注意力、推理或其他认知功能方面问题, 但仍保留日常生活能力, 有别于痴呆症<sup>[12]</sup>。

认知康复治疗 (Cognitive rehabilitation therapy, CRT) 及其他非药物干预手段存在经济制约、地域限制以及医疗资源获取不均等问题, 阻碍其广泛应用。VR 技术中的虚拟超市系统可作为认知评估与康复的工具, 它通过模拟购物任务 (如记忆商品清单、空间导航定位、目标物品筛选及支付结算等环节) 实现对使用者多项认知功能 (包括但不限于视觉空间定向、注意力分配、工作记忆维持等) 的量化评估与干预训练<sup>[13]</sup>。VR 技术可改善 MCI 及老年痴呆患者的认知和运动功能, 特别是在注意力、执行、记忆、整体认知和平衡方面<sup>[14]</sup>。不仅如此, VR 技术还可与其他技术联合应用, 如运动训练、生物反馈技术等, 实现更精准安全的效果。研究表明, VR 与运动训练融合的双重干预是一种有益的非药物干预策略, 可改善 MCI 患者的认知功能并减少抑郁<sup>[15]</sup>。Meta 分析表明, VR 在记忆、语言及整体认知功能方面对 MCI 患者有积极的治疗效果<sup>[16]</sup>。对主观认知能力下降或 MCI 患者进行完全沉浸式的 VR 训练, 可改善认知能力和精神症状, 静息态功能磁共振成像显示其额枕叶功能连接增加。这些发现表明, VR 技术为患者营造沉浸式丰富虚拟环境, 增强视觉空间能力, 改善情感状态和生活质量, 可阻止认知能力下降的进展<sup>[17]</sup>。

### 2.2 VR 在脑卒中患者中的应用

脑卒中是世界上导致死亡和残疾的主要原因之一, 也是导致 1.164 亿残疾人调整寿命年的原因之一<sup>[18]</sup>。脑卒中后认知功能障碍 (Post-stroke cognitive impairment, PSCI) 的主要特征是: 执行功能减退、记忆缺损、计算能力下降、视觉空间处理异常及语言功能障碍等<sup>[19]</sup>。可进一步损害患者的运动功能及日常生活活动能力, 显著降低脑卒中患者的生活质量<sup>[20]</sup>。目前的 PSCI 康复治疗存在设备资源匮乏、过度依赖药物干预及标准化认知训练有局限性等不足, 导致康复效果差。此外, 长期药物治疗有耐药现象, 且患者依从性差易脱落<sup>[21]</sup>。因此, 我们需要一种更为安全有效的针对 PSCI 的康复方式。

目前 PSCI 康复治疗的新方法有: 脑机接口 (Brain-computer interface, BCI)、机器人辅助治疗

(Robotic therapy, RT)、经颅直流电刺激 (Transcranial direct current stimulation, TDCS) 和 VR 等。BCI 是促进神经可塑性的有力工具, 对脑卒中后患者的运动恢复和神经可塑性产生积极作用<sup>[22]</sup>。RT 用于脑卒中后患者的运动康复治疗, 可提高亚急性脑卒中患者的手部精细动作的康复效果<sup>[23]</sup>。TDCS 通过阳极-阴极间施加的弱直流电调节神经元跨膜电位, 实现对皮层兴奋性的双向调控<sup>[24]</sup>。TDCS 在改善 PSCI 患者的记忆力、注意功能、空间忽略症状及日常生活能力等方面疗效确切, 且未增加不良事件风险<sup>[25-26]</sup>。不同水平沉浸式的 VR, 其康复干预的侧重点不同, 技能性沉浸可提高特定运动技能, 而策略性沉浸可提高更高层次的认知技能<sup>[9]</sup>。沉浸式的 VR 治疗在脑卒中后的运动康复中有很大的潜力。研究表明, 与标准疗法相比, 其在恢复四肢功能中有很大的优势<sup>[27]</sup>。最近一项随机对照试验 (Randomized controlled trial, RCT) 将 VR 沉浸式训练与计算机化认知训练在急性脑卒中患者中的应用进行了比较, 结果显示, 在注意力和记忆力方面效果相似, 但在改善日常生活方面, 使用 VR 的计算机化认知训练效果更佳, 支持此类训练对整体功能有远期转移效应<sup>[28]</sup>。在神经康复中, VR 技术可以通过沉浸式环境和多模态反馈来增加功能恢复<sup>[29]</sup>。在对脑卒中亚急性患者进行 VR 技术模仿日常生活及认知活动训练的研究中发现, 患者的整体认知功能、执行功能、记忆以及注意力等方面有所提高<sup>[30]</sup>。VR 康复训练可促进 PSCI 患者的认知功能康复和日常生活活动恢复, 可能是传统认知干预的良好补充方法<sup>[31]</sup>。

### 2.3 VR 在痴呆患者中的应用

痴呆是一种神经退行性疾病, 患者可以出现认知行为、心理状态、行为方式的改变, 严重者会导致功能障碍和残疾<sup>[32]</sup>。阿尔茨海默病 (Alzheimer disease, AD) 是全球痴呆最常见的原因之一。对 AD 患者进行 VR 干预后, 在认知、记忆、执行功能和身体平衡等方面有改善和提高<sup>[33]</sup>。

VR 技术是康复神经精神类疾病的常用方法。最近的认知训练研究表明, 通过反复的练习和锻炼可以增强大脑的功能和认知储备, 有助于轻中度痴呆患者认知程度的改善<sup>[34]</sup>。对 MCI 和痴呆患者进行的计算机化和 VR 认知治疗发现, 患者在注意力、执行功能和大脑能力 (视觉和语言) 方面有显著的进步, 同时抑郁和焦虑症状也有明显减轻<sup>[3]</sup>。在 AD 中, 最主要的症状表现为失认症, 而 VR 技术可针对不同个体, 开发出针对性的虚拟环境, 这些基于技术的环境可以模拟一系列复杂的活动, 对 AD 患者的意识水平进行多维度评估<sup>[33]</sup>。

### 2.4 VR 在脑损伤患者中的应用

获得性脑损伤 (Acquired brain injury, ABI), 又称后天性脑损伤, 对认知功能障碍有着显著影响。创伤性脑损伤是 ABI 最常见的类型。ABI 常常

导致持续的躯体、认知和社会功能障碍。认知功能障碍中通常表现为处理速度、推理和解决问题能力下降, 视觉空间认知降低, 持续注意力和工作记忆方面下降, 最终对日常生活活动和生活质量产生负面影响<sup>[35]</sup>。认知和运动康复计划是创伤性脑损伤患者临床康复的重要组成部分, 可改善功能结局和生活质量<sup>[36]</sup>。相较于传统康复干预, VR 技术在脑损伤后的功能恢复中可以参与感觉、认知和感知运动通路来丰富训练环境, 提高神经可塑性, 促进功能恢复。VR 的每个沉浸程度都可诱导神经可塑性变化<sup>[34]</sup>。VR 康复可用于改善运动和认知水平, 减少 ABI 患者的行为变化 (焦虑和抑郁症状), 减轻疼痛并激发同情心<sup>[37]</sup>。

### 3 VR 在认知功能障碍检测中的应用

认知功能障碍由多种因素引起, 如 AD、脑卒中、脑损伤及其他神经退行性疾病等。若能够早期检测, 可及早干预, 及时延缓其进展, 降低生活质量下降和残疾风险。

经典的简易精神状态检查表 (Mini-mental state examination, MMSE) 和蒙特利尔认知评估 (Montreal cognitive assessment, MoCA) 法涵盖了认知功能的多个方面, 如定向、记忆、注意力、计算、语言能力、视觉空间能力等<sup>[38]</sup>。传统神经心理学测试有效且可靠, 但必须由经过培训的医生进行测试, 低效且无法作为大规模痴呆筛查工具。在认知评估中, 合并症、从业者专业知识不足、评估工具的局限性等会影响评估的准确性, 导致 MCI 被误诊, 从而不能持续监测<sup>[39]</sup>。神经心理学纸笔测试缺乏生态有效性, 不能充分预测个体的现实世界功能<sup>[40]</sup>。VR 技术可能更好地评估个人在现实世界中的认知功能<sup>[41]</sup>。

VR 技术可用于认知状态的检测。许多研究将虚拟超市 (Virtual supermarket, VSM) 程序作为一款基于 VR 的认知评估工具, 用于测量学习、记忆、执行功能、语言和注意力。参与者在虚拟超市中导航, 完成购物任务, 并根据他们回忆商品位置和完成购买的能力进行评估<sup>[42]</sup>。VSM 是区分 MCI 患者和健康老年人的有效工具, 支持该工具用于评估记忆和执行功能<sup>[13]</sup>。有研究整合了眼动追踪技术、机器学习和 VR, 设计和开发一种高效、便携且定量的痴呆症早期筛查工具。通过 VR 与人工智能 (Artificial intelligence, AI) 结合对患者进行认知检测, 结果表明, VR 认知评估可以成为一种高效且便携的痴呆筛查工具<sup>[43]</sup>。

同时, 移动健康和可穿戴技术的最新进展进一步扩大了远程认知监测的可能性<sup>[44]</sup>。美国正在进行的一项大型研究调查中, 利用 iPhone 和 Apple Watch 数据识别 MCI 患者的可行性。初步结果显示, 认知检测有很强的可行性、可接受性和有效性<sup>[45]</sup>。

### 4 VR 技术在认知功能障碍干预中的优势与潜力

虚拟现实认知康复 (Virtual reality cognitive re-

habilitation, VR CR) 系统通过多维度认知训练、生态化场景模拟、个性化干预和量化评估等优势, 为认知康复提供了创新解决方案。该系统整合记忆、注意力和执行功能等多个认知领域, 设计具有挑战性的虚拟任务, 促进神经可塑性改变。临床研究证实, 其可显著改善患者的动态平衡、运动功能、视觉空间能力和生活质量<sup>[46]</sup>。VR CR 高生态效度的虚拟环境设计如模拟购物、烹饪等日常生活场景, 可有效提升患者的现实适应能力, 促进认知训练成果向实际生活技能的转化, 增强其独立生活和社会参与能力<sup>[47]</sup>。VR CR 系统根据患者的认知水平、疾病阶段和个体兴趣实现训练内容和难度的精准调控, 其游戏化设计显著提高了患者的参与动机和依从性。此外, VR CR 通过自动化数据采集和分析功能, 实时监测患者的训练表现, 为临床医生提供客观量化的评估指标<sup>[48]</sup>。既确保训练方案的可重复性和科学性, 又能根据康复进展动态调整干预策略, 实现个性化康复管理的闭环系统。

## 5 VR 技术的局限性与挑战

VR 技术在认知康复中的应用虽然前景广阔, 但仍面临若干关键挑战。老年患者群体普遍存在技术接受度障碍, 如 VR 技术使用不熟悉和负面态度倾向等<sup>[49]</sup>。这要求临床实施时需配备专门的技术培训人员。VR 技术实施中需要显示器、控制器、投影设备等多种电子设备, 所需成本高, 因此在应用时用户受限。所以应大力研究简化设备降低成本, 扩大其普及性。硬件方面, HMD 的持续使用可能引发视觉障碍、定向障碍及模拟器不适症状(恶心、头痛等)<sup>[50]</sup>。尽管多数研究中这些症状较轻, 但仍可能影响部分患者的训练依从性。同时现有研究方法有局限: 大多数 VR 试验样本量少, 并且短期随访和高度异质性的实验设计, 尤其是那些使用完全虚拟环境的试验<sup>[51]</sup>。其中样本量小会进一步导致统计功效降低, 难以说明检测数据的真实影响。样本中的社会人口学特征(例如社会经济地位和教育水平等)各不相同, 可能影响研究结果的普遍性, 未来的研究应该扩大样本量<sup>[8]</sup>。此外, 目前 VR 技术在认知功能障碍方面的干预多是短期研究, 很少进行系统的长时间干预, 在后续研究中应该多选择长期观察。这些因素共同制约了该技术在临床实践中的推广应用, 需要通过大样本、多中心的长期 RCT 来建立更具说服力的循证医学证据。

## 6 未来研究方向

### 6.1 优化干预方案与技术改进

未来 VR 认知康复技术的发展应重点推进以下创新: ①基于大数据和 AI 开发个性化训练系统, 通过实时监测患者认知状态和训练反应, 自动调整训练参数, 实现精准化干预。②构建整合视觉、听觉、触觉等多感官刺激的 VR 训练环境, 增强大

脑多感官信息整合能力, 促进更广泛的神经可塑性改变。③建立药物-生活方式-VR 训练的综合干预模式, 通过多靶点协同作用优化治疗效果。

### 6.2 扩大研究规模与深入机制探究

未来 VR 认知康复技术的发展可有以下研究方向: ①开展大规模、多中心 RCT 研究, 通过扩大样本量、延长干预周期和随访时间, 系统评估 VR 技术的长期疗效、安全性和成本效益, 为临床转化应用提供更可靠的循证医学证据。②结合功能磁共振成像、正电子发射断层扫描等先进神经影像技术和生物标志物检测, 深入揭示 VR 认知训练对大脑结构和功能的改善机制, 特别是其对皮层-皮层下运动控制区域和小脑镜像神经元系统的激活作用, 阐明这种神经可塑性变化与认知功能改善的内在关联, 为制定精准化、个体化的康复干预策略提供坚实的神经科学基础, 推动 VR 认知康复技术的临床转化。

### 6.3 提高技术可及性与普及性

VR 技术在医学领域中通过以下 3 个方面发挥更大作用: ①简化 VR 设备的操作流程并优化用户界面设计, 通过技术创新和规模化生产以降低设备成本, 提升老年人群体的使用便利性。②建立远程医疗平台的 VR 认知训练服务体系, 使患者能够居家接受专业指导, 积极推动 VR 技术在社区医疗机构和老年活动中心的普及应用, 扩大服务覆盖范围。将远程康复与 VR 结合使用, 监测和改善严重 ABI 患者的健康状况<sup>[52]</sup>。这对偏远地区、不宜出门的失能患者是一种友好的选择<sup>[37]</sup>。③探索将 VR 技术与 BCI 相结合, 利用 BCI 将大脑信号转化为计算指令的能力, 通过实时神经反馈机制动态优化训练方案, 充分发挥其在促进神经可塑性方面的独特优势。

## 7 小结

VR 技术作为一种新兴的非药物干预手段, 在老年人认知功能障碍的干预领域展现出巨大的潜力和应用价值。VR 技术能够显著改善 MCI 和 MD 患者的认知功能, 缓解抑郁症状, 并在一定程度上影响其感知压力和日常生活能力。尽管目前仍存在一些技术和研究方面的局限性, 但随着技术的不断发展和完善, 更多高质量研究证据的积累, VR 技术有望成为未来老年认知功能障碍综合治疗方案中不可或缺的重要组成部分, 为广大老年人带来更健康、更有尊严的生活方式。未来需要进一步优化干预方案、深入探究作用机制、扩大研究规模, 努力提高技术的可及性和普及性, 推动 VR 技术在老年医学领域的广泛应用和持续发展。

## 参考文献

- [1] Ito K, Chapman R, Pearson S D, et al. Evaluation of the cost-effectiveness of drug treatment for Alzheimer disease in a simulation model that includes caregiver and societal fac-

- tors[J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(10): e2129392.
- [2] Chen Y X, Liang N, Li X L, et al. Diagnosis and treatment for mild cognitive impairment: a systematic review of clinical practice guidelines and consensus statements [J]. *Front Neurol*, 2021, 12: 719849.
- [3] Coyle H, Traynor V, Solowij N. Computerized and virtual reality cognitive training for individuals at high risk of cognitive decline: systematic review of the literature[J]. *Am J Geriatr Psychiatry*, 2015, 23(4): 335-359.
- [4] Zhu K, Zhang Q, He B, et al. Immersive virtual reality-based cognitive intervention for the improvement of cognitive function, depression, and perceived stress in older adults with mild cognitive impairment and mild dementia: pilot pre-post study[J]. *JMIR Serious Games*, 2022, 10(1): e32117.
- [5] Rabinovici G D, La Joie R. Amyloid-targeting monoclonal antibodies for Alzheimer disease [J]. *JAMA*, 2023, 330(6): 507-509.
- [6] Yondjo J, Siette J. "VR is the future": perspectives of healthcare professionals on virtual reality as a diagnostic tool for dementia status in primary care[J]. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2024, 24(1): 9.
- [7] Liao Y Y, Chen I H, Lin Y J, et al. Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: a randomized control trial [J]. *Front Aging Neurosci*, 2019, 11: 162.
- [8] Siette J, Adam P J, Harris C B. Acceptability of virtual reality to screen for dementia in older adults [J]. *BMC Geriatr*, 2024, 24(1): 493.
- [9] Marín-Medina D S, Arenas-Vargas P A, Arias-Botero J C, et al. New approaches to recovery after stroke [J]. *Neurol Sci*, 2024, 45(1): 55-63.
- [10] Kumar A, Pareek V, Faiq M A, et al. Adult neurogenesis in humans: a review of basic concepts, history, current research, and clinical implications [J]. *Innov Clin Neurosci*, 2019, 16(5/6): 30-37.
- [11] Mekbib D B, Zhao Z, Wang J, et al. Proactive motor functional recovery following immersive virtual reality-based limb mirroring therapy in patients with subacute stroke [J]. *Neurotherapeutics*, 2020, 17(4): 1919-1930.
- [12] Connors M H, Teixeira-Pinto A, Ames D, et al. Apathy and depression in mild cognitive impairment: distinct longitudinal trajectories and clinical outcomes [J]. *Int Psychogeriatr*, 2023, 35(11): 633-642.
- [13] Zygouris S, Giakoumis D, Votis K, et al. Can a virtual reality cognitive training application fulfill a dual role? Using the virtual supermarket cognitive training application as a screening tool for mild cognitive impairment [J]. *J Alzheimers Dis*, 2015, 44(4): 1333-1347.
- [14] 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.
- [15] Buele J, Avilés-Castillo F, Del-Valle-Soto C, et al. Effects of a dual intervention (motor and virtual reality-based cognitive) on cognition in patients with mild cognitive impairment: a single-blind, randomized controlled trial [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2024, 21(1): 130.
- [16] Perra A, Riccardo C L, De Lorenzo V, et al. Fully immersive virtual reality-based cognitive remediation for adults with psychosocial disabilities: a systematic scoping review of methods intervention gaps and meta-analysis of published effectiveness studies [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2023, 20(2): 1527.
- [17] Kang J M, Kim N, Lee S Y, et al. Effect of cognitive training in fully immersive virtual reality on visuospatial function and frontal-occipital functional connectivity in predementia: randomized controlled trial [J]. *J Med Internet Res*, 2021, 23(5): e24526.
- [18] GBD 2016 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016 [J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18(4): 439-458.
- [19] Quinn T J, Richard E, Teuschl Y, et al. European Stroke Organisation and European Academy of Neurology joint guidelines on post-stroke cognitive impairment [J]. *Eur Stroke J*, 2021, 6(3): I - X X X VIII.
- [20] Stolwyk R J, Mihaljcic T, Wong D K, et al. Poststroke cognitive impairment negatively impacts activity and participation outcomes: a systematic review and meta-analysis [J]. *Stroke*, 2021, 52(2): 748-760.
- [21] Liu Y, Liu S, Tang C, et al. Transcranial alternating current stimulation combined with sound stimulation improves cognitive function in patients with Alzheimer's disease: study protocol for a randomized controlled trial [J]. *Front Aging Neurosci*, 2023, 14: 1068175.
- [22] Remsik A, Young B, Vermilyea R, et al. A review of the progression and future implications of brain-computer interface therapies for restoration of distal upper extremity motor function after stroke [J]. *Expert Rev Med Devices*, 2016, 13(5): 445-454.
- [23] Huang X, Naghdy F, Naghdy G, et al. Clinical effectiveness of combined virtual reality and robot assisted fine hand motion rehabilitation in subacute stroke patients [C]//2017 International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR). July 17-20, 2017, London, UK. IEEE, 2017: 511-515.
- [24] Nguemeni C, Hiew S, Kögler S, et al. Split-belt training but not cerebellar anodal tDCS improves stability control and reduces risk of fall in patients with multiple sclerosis [J]. *Brain Sci*, 2021, 12(1): 63.
- [25] Elsner B, Kugler J, Pohl M, et al. Transcranial direct current stimulation (tDCS) for improving activities of daily living, and physical and cognitive functioning, in people after stroke [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2020, 11(11): CD009645.
- [26] 王莎, 郝利霞, 梁宇, 等. 经颅直流电刺激在不同类型老年脑卒中后认知障碍患者康复中的应用及相应

- 参数的筛选[J]. 国际老年医学杂志, 2023, 44(6): 665-668.
- Wang S, Hao L X, Liang Y, et al. Application of transcranial direct current stimulation in rehabilitation of elderly patients with cognitive impairment after stroke of different types and screening of corresponding parameters [J]. *Int J Geriatr*, 2023, 44(6): 665-668.
- [27] Huang Q, Jiang X, Jin Y, et al. Immersive virtual reality-based rehabilitation for subacute stroke: a randomized controlled trial [J]. *J Neurol*, 2024, 271(3): 1256-1266.
- [28] Cho D R, Lee S H. Effects of virtual reality immersive training with computerized cognitive training on cognitive function and activities of daily living performance in patients with acute stage stroke: a preliminary randomized controlled trial[J]. *Medicine*, 2019, 98(11): e14752.
- [29] Laver K E, Lange B, George S, et al. Virtual reality for stroke rehabilitation[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 11(11): CD008349.
- [30] Oliveira J, Gamito P, Lopes B, et al. Computerized cognitive training using virtual reality on everyday life activities for patients recovering from stroke[J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2022, 17(3): 298-303.
- [31] 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.
- [32] Alzheimer's Association. 2016 Alzheimer's disease facts and figures [J]. *Alzheimers Dement*, 2016, 12(4): 459-509.
- [33] Yi Y, Hu Y, Cui M, et al. Effect of virtual reality exercise on interventions for patients with Alzheimer's disease: a systematic review [J]. *Front Psychiatry*, 2022, 13: 1062162.
- [34] Bahar-Fuchs A, Martyr A, Goh A M, et al. Cognitive training for people with mild to moderate dementia [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2019, 3(3): CD013069.
- [35] Johansen T, Matre M, Løvstad M, et al. Virtual reality as a method of cognitive training of processing speed, working memory, and sustained attention in persons with acquired brain injury: a protocol for a randomized controlled trial [J]. *Trials*, 2024, 25(1): 340.
- [36] Maggio M G, De Luca R, Molonia F, et al. Cognitive rehabilitation in patients with traumatic brain injury: a narrative review on the emerging use of virtual reality [J]. *J Clin Neurosci*, 2019, 61: 1-4.
- [37] Calabrò R S, Bonanno M, Torregrossa W, et al. Benefits of telerehabilitation for patients with severe acquired brain injury: promising results from a multicenter randomized controlled trial using nonimmersive virtual reality [J]. *J Med Internet Res*, 2023, 25: e45458.
- [38] Davis D H, Creavin S T, Yip J L, et al. Montreal cognitive assessment for the detection of dementia [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 7(7): CD010775.
- [39] Sabbagh M N, Boada M, Borson S, et al. Early detection of mild cognitive impairment (MCI) in primary care [J]. *J Prev Alzheimers Dis*, 2020, 7(3): 165-170.
- [40] Spooner D M, Pachana N A. Ecological validity in neuropsychological assessment: a case for greater consideration in research with neurologically intact populations [J]. *Arch Clin Neuropsychol*, 2006, 21(4): 327-337.
- [41] Parsons T D. Virtual reality for enhanced ecological validity and experimental control in the clinical, affective and social neurosciences [J]. *Front Hum Neurosci*, 2015, 9: 660.
- [42] Yan M, Yin H, Meng Q, et al. A virtual supermarket program for the screening of mild cognitive impairment in older adults: diagnostic accuracy study [J]. *JMIR Serious Games*, 2021, 9(4): e30919.
- [43] Xu Y, Zhang C, Pan B, et al. A portable and efficient dementia screening tool using eye tracking machine learning and virtual reality [J]. *NPJ Digit Med*, 2024, 7(1): 219.
- [44] Cornacchia E, Bonvino A, Scaramuzzi G F, et al. Digital screening for early identification of cognitive impairment: a narrative review [J]. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci*, 2025, 16(4): e70009.
- [45] Butler P M, Yang J, Brown R, et al. Smartwatch- and smartphone-based remote assessment of brain health and detection of mild cognitive impairment [J]. *Nat Med*, 2025, 31(3): 829-839.
- [46] Aramaki A L, Sampaio R F, Reis A C S, et al. Virtual reality in the rehabilitation of patients with stroke: an integrative review [J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2019, 77(4): 268-278.
- [47] Doniger G M, Beeri M S, 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.
- [48] Aminov A, Rogers J M, 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.
- [49] Liu Q, Wang Y, Tang Q, et al. Do you feel the same as I do? Differences in virtual reality technology experience and acceptance between elderly adults and college students [J]. *Front Psychol*, 2020, 11: 573673.
- [50] Martirosov S, Bureš M, Zítka T. Cyber sickness in low-immersive, semi-immersive, and fully immersive virtual reality [J]. *Virtual Real*, 2022, 26(1): 15-32.
- [51] Kim O, Pang Y, Kim J H. The effectiveness of virtual reality for people with mild cognitive impairment or dementia: a meta-analysis [J]. *BMC Psychiatry*, 2019, 19(1): 219.
- [52] Torrisi M, Maresca G, De Cola M C, et al. Using telerehabilitation to improve cognitive function in post-stroke survivors: is this the time for the continuity of care? [J]. *Int J Rehabil Res*, 2019, 42(4): 344-351.