

care system:a national linked data study[J]. Health Policy,2023,127:44-50.

[30] Rolfo C, Mack P, Scagliotti G V, et al. Liquid biopsy for advanced NSCLC:a consensus statement from the International Association for the Study of Lung Cancer[J]. J Thorac Oncol,2021,16(10):1647-1662.

[31] Anas R, Bell R, Brown A, et al. A ten-year history:the Cancer Quality Council of Ontario[J]. Healthc Q,2012,15:24-27.

[32] Norton W E, Chambers D A, Kramer B S. Conceptualizing de-implementation in cancer care delivery[J]. J Clin Oncol,2019,37(2):93-96.

[33] 朱乐莹,陈香桦. 终末期患者不予或撤除无效治疗文献综述[J]. 经济研究导刊,2015(21):322-326.

[34] Kranidiotis G, Gerovasili V, Tasoulis A, et al. End-of-life decisions in Greek intensive care units:a multicenter cohort study[J]. Crit Care,2010,14(6):R228.

[35] Schut F T, Varkevisser M. Competition policy for health care provision in the Netherlands [J]. Health Policy, 2017,121(2):126-133.

[36] Rodriguez Santana I, Aragón M J, Rice N, et al. Trends in and drivers of healthcare expenditure in the English NHS:a retrospective analysis [J]. Health Econ Rev, 2020,10(1):20.

[37] 刘伟伟. ICU 重症患者终末期终止治疗现状分析[D]. 济南:山东大学,2018.

[38] 肖旋. 遵义市某三级医院住院死亡患者临床特征分析[D]. 遵义:遵义医科大学,2019.

[39] 徐明皎,焦艳. “生前预嘱”入法需配套严格程序保障实施[J]. 法制与社会,2023(3):28-29.

[40] 高鹏,刘言. 价值医疗的概念及相关研究进展[J]. 中国医疗管理科学,2022,12(1):57-62.

(本文编辑 吴红艳)

虚拟超市用于轻度认知障碍评估与康复训练的研究进展

杨冰清,宋玉磊,殷海燕,戚馨如,徐桂华,柏亚妹

摘要:总结虚拟超市在轻度认知障碍评估与康复训练中的研究进展。轻度认知障碍患者常面临社会功能损害,尤以购物为甚。基于虚拟现实技术设计、构建虚拟超市,让患者模拟购物相关任务,实时反馈采集多元化行为数据,可多维度评估患者认知功能;通过虚拟超市环境下的交互任务训练也可提升患者的记忆、注意、视空间及执行等多领域认知功能。提出未来在评估准确性、场景设计等方面可进一步优化,使虚拟超市发挥更大的作用。

关键词:轻度认知障碍; 阿尔茨海默病; 认知功能; 虚拟超市; 评估; 康复训练; 虚拟现实技术; 综述文献

中图分类号:R473. 74 **DOI:**10. 3870/j. issn. 1001-4152. 2024. 21. 120

A review of virtual supermarket for mild cognitive impairment assessment and rehabilitation training

Yang Bingqing, Song Yulei, Yin Haiyan, Qi Xinru, Xu Guihua, Bai Yamei. School of Nursing, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China

Abstract: This review summarizes the research progress in virtual supermarket for the assessment and rehabilitation training of mild cognitive impairment (MCI). Patients with MCI often have impaired social function, especially in shopping. Virtual supermarket can be designed and constructed using virtual reality technology, allowing patients to simulate shopping-related tasks, and collecting diversified behavioral data with real-time feedback, which can assess the cognitive function of patients in multiple dimensions. Interactive tasks performed using the virtual supermarket can improve cognitive function of patients in multiple domains, such as memory, attention, visuospatial, and executive function. In the future, the assessment accuracy and scene design should be further optimized to make the virtual supermarket play a greater role.

Keywords: mild cognitive impairment; Alzheimer's disease; cognitive function; virtual supermarket; assessment; rehabilitation training; virtual reality technology; literature review

轻度认知障碍(Mild Cognitive Impairment, MCI)的特征是认知功能下降,但智力和日常生活技能相对保留^[1]。MCI作为健康老龄化与阿尔茨海默

病(Alzheimer's disease, AD)之间的临床阶段^[2],其早期识别与及时干预有助于延缓AD进展。基于体液、神经影像学等各种生物标记物的研究为MCI的早期识别提供了重要依据^[3-4],但获取这些数据成本高、具有侵入性,不适合在社区大规模推广。依托虚拟现实技术(Virtual Reality, VR),借助智能手机、平板电脑等数字设备进行MCI早期识别与认知干预,为认知障碍的评估与康复训练提供了新途径。一方面,应用数字设备收集和测量客观、可量化的生理和行为数据,并将其作为数字标志物来评估认知障

作者单位:南京中医药大学护理学院(江苏 南京,210023)
杨冰清:女,硕士在读,学生,ybq19990421@163.com
通信作者:柏亚妹,czbym@njucm.edu.cn
科研项目:国家自然科学基金面上项目(72174095);江苏省社会发展面上项目(BE2022802)
收稿:2024-06-24;修回:2024-08-25

碍^[5],这种方法的有效性已得到广泛验证^[6-8]。另一方面,VR 技术与认知训练结合的认知康复方式,能够提供实时反馈机制并动态调节任务难度,从而提高治疗干预的精确度和适应性^[9-10],使认知训练更具吸引力、激励性,有益于患者认知康复^[11]。目前,VR 认知训练已被证实在 MCI 等认知障碍患者中应用成效优于传统康复方案^[12-13]。虚拟超市是基于 VR 的一种创新性应用。通过显示器、平板电脑、头戴式显示器等呈现虚拟超市场景,并结合鼠标、手持操纵杆等完成虚拟交互任务。任务涉及记忆力、执行功能等多种认知能力,可用于认知障碍的评估与康复。目前,国内虚拟超市应用于 MCI 领域的研究尚处于初步探索阶段,本文就虚拟超市在 MCI 评估与康复训练中的应用现状进行综述,旨在为我国 MCI 患者的早期识别和干预拓展新路径。

1 VR 改善 MCI 患者认知功能的可能机制

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^[14]。VR 认知训练将 VR 技术与认知训练相结合,是一种创新且有效的认知功能康复方法。这一方法能在具备高度生态学效度的可控环境中实施干预,帮助受试者借助多媒体技术将其训练融入日常生活^[15]。神经可塑性是指神经系统通过重新组织其结构、功能和连接来响应内部或外部刺激的能力^[16]。增强神经可塑性可能是改善神经退行性疾病临床表现和认知能力的重要机制^[17]。VR 相关神经可塑性的合理机制包括胆碱能和多巴胺系统的再平衡^[18]、脑血流量增强和神经营养因子的释放^[19]。

在进行认知训练的同时,VR 可以提供听觉、视觉等多种感官刺激,这种技术可以减少额叶等区域的代偿性激活,提高认知效率^[20]。丰富的多感官刺激可有效促进 MCI 患者体内的多巴胺与胆碱能系统神经递质的传导功能,提升患者注意力,从而有助于记忆功能的恢复。同时,多感官刺激可增加患者脑部血流,促进脑部损伤的血管新生,对大脑神经系统具有显著益处^[21]。值得一提的是,VR 认知训练还可以强化学习过程,诱导神经元可塑性的积极变化,进而推动认知功能的恢复^[22]。

2 虚拟超市的应用方法

虚拟超市聚焦三大核心场景:记忆购物清单、选择商品以及模拟收银结账。其运行平台灵活,适配平板电脑与台式电脑;提供坐式或立式操作选择,以满足不同场景下的使用需求。在交互方式上,虚拟超市既支持传统的鼠标键盘操作,也可结合头戴式显示器和操纵手柄,为参与者带来沉浸式购物体验。虚拟超市的测试时长因具体设计而异,通常需要 5~15 min^[23-25]。2003 年, Lee 等^[26]开发虚拟超市,以探索 VR 系统对脑外伤或中风患者日常生活认知能力的

评估与训练潜力。随着 VR 技术与认知评估的融合,虚拟超市在 MCI 领域的应用受到广泛关注。

3 虚拟超市应用于 MCI 评估

3.1 虚拟超市用于 MCI 评估的措施

3.1.1 应用虚拟超市任务绩效数据评估 MCI MCI 阶段的特点是记忆力减退和难以执行复杂的日常任务^[27]。购物时易出现商品遗忘、计算错误等问题。因此,可在虚拟超市中采集正确购买商品数量、任务完成时间、是否正确支付等任务绩效数据评估 MCI 患者。Atkins 等^[28]使用虚拟现实评估工具在评估与购物相关的认知能力时,发现总完成时间、错误数量等任务表现与认知表现之间存在显著关系。Werner 等^[23]对 30 例 MCI 患者和 30 名健康老年人进行虚拟超市测试,发现虚拟超市测试的大多数指标在两组参与者之间存在显著差异,尤其是任务完成时长与错误频次。Zygouris 等^[29]在探究 VR 认知训练远程检测 MCI 的可行性研究中测试了虚拟超市与神经心理学测试结果的相关性,两者呈显著相关。

3.1.2 应用虚拟超市行为轨迹数据评估 MCI 内侧颞叶、额叶和顶叶区域的广泛神经退行性病变,会导致 AD 患者出现空间导航障碍。然而,在 MCI 阶段,患者的空间导航能力就已出现明显受损^[30-31]。在超市货架间移动时,MCI 患者易出现路径重复、停顿等问题,因此,MCI 个体的轨迹会比健康人呈现出更多不必要的重复。若仅使用任务绩效指标评估认知功能,结果会受到局限。在此基础上,Eraslan Boz 等^[32]较既往研究补充描述了参与者在超市购物过程中基于轨迹信息的行为数据,为最终的评估分析提供了更多样的信息,以更加全面客观地评估 MCI 患者表现。研究发现,虚拟超市相关行为特征与语言记忆、视觉记忆、执行功能、注意力、语言和一般认知状态相关的神经心理学测试结果存在显著相关性。

3.2 虚拟超市用于 MCI 评估的优势

3.2.1 虚拟超市评估 MCI 准确率高 2020 年,Zygouris 等^[33]对比了虚拟超市测试、蒙特利尔认知评估量表(Montreal Cognitive Assessment, MoCA)和简易智力状态检查量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)3 种工具在区分有主观记忆问题的健康老年人与 MCI 老年人的正确分类率。结果显示,虚拟超市对 MCI 正确检出率最高,可达 81.91%。2021 年,Yan 等^[34]以 MoCA 为依据,设计开发包括 9 项任务的虚拟超市筛查系统,各项任务满分为 60 分。分析发现,其总分筛查 MCI 的最佳截断值为 46.4,灵敏度和特异度分别为 85.90%、79.00%。朱开彦^[25]研发的虚拟超市认知评估工具,要求参与者完成 4 项任务,并根据任务绩效数据评估认知功能。研究发现,任务完成时间、正确支付、购买非清单商品和正确商品类型是区分正常人和 MCI 患者的最佳组合,正确

判别率为 87.9%，敏感度为 93.33%，特异度为 83.33%。

3.2.2 虚拟超市评估 MCI 生态效度好 生态效度是衡量评估结果能否有效应用于日常生活的一个关键指标^[35]。VR 技术以其模拟现实情境的能力^[36]，为建立兼具生态效度和可控性的实验环境提供了有效途径。围绕购物这一基础性日常活动，构建可用于识别 MCI 人群的虚拟环境，通过模拟执行购物任务，以实现认知评估与认知康复。由于任务贴合老年人日常生活，且测试环境与真实环境高度相似，老年人能够快速适应，轻松掌握。2020 年，Eraslan Boz 等^[32]首次在研究中设计并应用 VR 头戴式显示器，实现了参与者与虚拟环境的多感官、高水平交互。

3.2.3 虚拟超市评估 MCI 体验感更佳 VR 技术凭借其高度真实感和沉浸感可以显著激发参与者的积极性。然而，晕动症等潜在不良反应可能会限制其广泛应用，特别是对适应新技术较慢的认知能力下降的老年人群体而言，影响更为显著^[37]。因此，验证方案的可行性和有效性，对基于 VR 技术开发工具的接受度评估至关重要^[38]。2021 年，Arlati 等^[39]借助虚拟超市，评估患有 MCI 或主观认知能力下降 (Subjective Cognitive Decline, SCD) 的老年人对沉浸式 VR 环境的接受度和可用性，结果显示效果良好。2022 年，Mondellini 等^[38]对 MCI 老年人在虚拟超市的用户体验进行深入探讨。研究发现，虚拟超市对于 MCI 老年人而言，适应性强、接受度高、体验感更为丰富。此外，虚拟超市在优化参与者认知体验的同时，也为评估员提供了可在受控环境中高效评估 MCI 患者多个认知领域的机会。不仅如此，借助 VR 的远程技术优势，虚拟超市可作为 MCI 远程检测工具^[29]，为 MCI 的诊断和治疗创造更加高效和便捷的途径。

4 虚拟超市应用于 MCI 康复训练

4.1 虚拟超市用于 MCI 康复训练的措施

4.1.1 多感官刺激 人体各感官虽相互独立，但也可协同形成统一感知^[40]。虚拟超市认知训练借助电脑显示器、键盘、鼠标或操纵杆、头戴式显示器等设备，模拟现实购物场景，融合图片、语音等视觉和听觉刺激，触摸、动作等其他感官体验，实现参与者与虚拟环境的实时交互，同时加强了认知和运动区域的训练，进而提升认知功能和日常生活技能^[41]。Zygouris 等^[29]于 2017 年使用平板电脑为 MCI 患者进行虚拟超市训练，但平板电脑产生的感官刺激有限。2022 年，Zhu 等^[42]在研究中结合头戴显示器、台式电脑模拟三维超市场景，以丰富视觉刺激；增加超市背景音乐以提供听觉刺激；使用手柄完成互动以实现运动刺激。为期 5 周的虚拟超市认知训练持续刺激大脑兴奋性，引起神经可塑性变化，对 MCI 患者语言功能、注意力、记忆力等各认知领域均产生了有益影响。

2023 年，丁奕文^[43]采用台式电脑、鼠标、键盘等设备进行交互，在训练中增加兑奖、记忆特价商品、看地图、坐公交等任务。通过语音播报、超市背景音乐等听觉刺激以及超市场景、街道场景的视觉刺激，广泛激活相关大脑区域，患者的无意记忆、持续注意、决策能力和导航能力等得到有效锻炼。

4.1.2 多领域认知训练 多领域综合认知训练相较于单领域训练能更全面地锻炼大脑，效果更佳。虚拟超市作为一种多领域认知训练方式，可全面训练参与者的认知功能，干预频率 2~3 次/周，干预时长 20~30 min/次^[25,43-44]，符合老年人需求。Zygouris 等^[29]应用的虚拟超市训练系统，可通过记忆购物清单训练记忆力，超市内导航浏览货架训练导航能力、执行能力，金额结算训练计算力。Kwan 等^[44]在研究设计中结合寻找公交车站、寻找超市、杂货店购物、烹饪等 8 个任务模块，以训练 MCI 患者的视觉空间、计算、记忆、反应时间和注意力。朱开彦^[25]使用沉浸式虚拟超市管理系统，对 MCI 和轻度 AD 老年人进行为期 4 周的前后自身对照试验，通过完成记忆购物清单、延时回忆、选购商品和结账 4 项任务，参与者整体认知功能、记忆力、注意力和执行功能均得到改善。丁奕文^[43]在研究中结合地图导航、贴标签、语音收银提示、付款计算、日期密码等 9 项任务，联合训练 MCI 患者记忆力、语言功能、执行功能、注意力和时间定向力等多领域认知功能。6 周的训练干预后，接受虚拟超市训练的 MCI 老年人认知功能得到显著改善，且抑郁量表得分显著降低，生活质量得分显著提高。

4.2 虚拟超市用于 MCI 康复训练的优势

4.2.1 虚拟超市认知康复有助于恢复患者日常生活 康复训练的主要目标之一是帮助患者成功恢复日常生活^[45]。研究显示，虚拟超市认知训练可显著改善 MCI 患者的生活质量^[42-43]。Park 等^[46]探究虚拟超市训练的转移效应，16 次的训练结果显示，虚拟超市训练有益于增强 MCI 患者的执行功能和工具性日常生活能力。患者在虚拟超市中学习的技能可以在现实世界中得到有效应用，从而有助于患者更好地应对现实生活中的类似场景。

4.2.2 虚拟超市认知康复有利于改善患者情绪体验 老年认知障碍患者易伴发抑郁、焦虑等不良情绪。虚拟现实认知训练，可在改善执行功能、注意力和记忆的同时，改善焦虑和抑郁症状^[47]。虚拟超市认知康复训练对伴有抑郁、焦虑的认知障碍患者提供了一个积极、正面的情绪调控环境。研究显示，虚拟超市可缓解 MCI 患者孤独、焦虑和抑郁情绪，从而改善整体情绪体验^[43]。此外，每次训练后的实时反馈，也有助于增强患者的自信心和行动力，提高认知康复的积极性。

5 小结与展望

虚拟超市高度模拟真实购物情景,允许 MCI 患者在受控环境中收集多元化行为数据,深入分析这些数据可以全面评估患者记忆、注意力、空间定向等认知能力。虚拟超市在评估 MCI 患者时表现出较高的准确率和生态效度,为制订个性化的康复方案提供了有力的依据。此外,通过结合视觉、听觉等多感官刺激,虚拟超市可实现对 MCI 患者多领域认知功能的训练,有助于提升患者生活质量,促进身心健康。但是,虚拟超市也存在局限性,比如,目前的虚拟超市还不能识别 MCI 亚型,部分老人对新技术有抵触心理而不愿意尝试,VR 技术在用户体验上的问题等。

当前,国内虚拟超市应用于 MCI 领域的研究尚处于初步探索阶段。利用虚拟现实技术模拟现实情境的优势,结合智能手机和平板电脑等数字设备,收集可量化的生理和行为数据作为评估认知障碍的数字标记物,有助于设计出高生态效度、高接受度、强参与性、无创且高效的认知测试工具。为提高检测的准确性和可靠性,未来研究可结合其他数字、生物标记物,探索多模式联合的评测方法,以提高评估准确性。虚拟超市在场景设计方面,目前多以执行相关任务为主,缺乏情景互动。未来可不断优化人机交互界面和操作方式,增加语音对话等情景互动版块,锻炼老年人的语言能力。也可借助 VR 技术的远程优势,为 MCI 患者提供延续性护理支持。同时,结合临床实践进行深入研究,以更好地了解虚拟超市在 MCI 老年人中的应用效果和潜在影响。随着技术的不断进步和人们对生活质量要求的提高,虚拟超市有望在未来的养老和医疗护理领域发挥更大的作用。

参考文献:

[1] Petersen R C. Mild cognitive impairment as a diagnostic entity[J]. J Intern Med,2004,256(3):183-194.

[2] Petersen R C, Smith G E, Waring S C, et al. Mild cognitive impairment: clinical characterization and outcome [J]. Arch Neurol,1999,56(3):303-308.

[3] Souchet B, Michail A, Heuillet M, et al. Multionics blood-based biomarkers predict Alzheimer's predementia with high specificity in a multicentric cohort study[J]. J Prev Alzheimers Dis,2024,11(3):567-581.

[4] Jia J, Ning Y, Chen M, et al. Biomarker changes during 20 years preceding Alzheimer's disease[J]. N Engl J Med,2024,390(8):712-722.

[5] Kim S Y, Park J, Choi H, et al. Digital marker for early screening of mild cognitive impairment through hand and eye movement analysis in virtual reality using machine learning: first validation study[J]. J Med Internet Res, 2023,25:e48093.

[6] 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 applica-

tion as a screening tool for mild cognitive impairment [J]. J Alzheimers Dis,2015,44(4):1333-1347.

[7] 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.

[8] Ip E H, Barnard R, Marshall S A, et al. Development of a video-simulation instrument for assessing cognition in older adults[J]. BMC Med Inform Decis Mak,2017,17(1):161.

[9] Lancioni G E, Desideri L, Singh N N, et al. Use of technology to sustain mobility in older people with cognitive impairment and dementia:a scoping review[J]. Disabil Rehabil Assist Technol,2023,18(5):635-649.

[10] Pappadà A, Chattat R, Chirico I, et al. Assistive technologies in dementia care:an updated analysis of the literature[J]. Front Psychol,2021,12:644587.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 罗晓华,胡琳丽,徐静,等. 沉浸式虚拟现实训练对帕金森病轻度认知功能障碍患者认知功能的影响[J]. 中国康复,2022,37(4):219-222.

[14] 徐建光,单春雷,敖丽娟,等. 虚拟现实技术应用于认知功能康复的专家共识[J]. 中国康复医学杂志,2024,39(5):609-617.

[15] 刘海宁,车佳郡,庄芸月,等. 老年轻度认知功能障碍非药物干预研究热点的共词聚类分析[J]. 护理学杂志, 2022,37(20):99-102.

[16] Liu Y, Shen X, Zhang Y, et al. Interactions of glial cells with neuronal synapses, from astrocytes to microglia and oligodendrocyte lineage cells[J]. Glia,2023,71(6): 1383-1401.

[17] Pellicciari M, Miniussi C. Transcranial direct current stimulation in neurodegenerative disorders[J]. J ECT,2018,34(3):193-202.

[18] Kim B R, Chun M H, Kim L S, et al. Effect of virtual reality on cognition in stroke patients[J]. Ann Rehabil Med,2011,35(4):450-459.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 温鸿源,李力强,龙洁珍,等. 3D 虚拟现实技术对脑卒中记忆功能障碍患者疗效及 1H-MRS 的影响[J]. 中国老年学杂志,2017,37(1):100-102.

- [22] Maggio M G, De Cola M C, 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.
- [23] Werner P, Rabinowitz S, Klinger E, et al. Use of the virtual action planning supermarket for the diagnosis of mild cognitive impairment: a preliminary study[J]. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 2009, 27(4):301-309.
- [24] Ouellet É, Boller B, Corriveau-Lecavalier N, et al. The virtual shop: a new immersive virtual reality environment and scenario for the assessment of everyday memory[J]. *J Neurosci Methods*, 2018, 303:126-135.
- [25] 朱开彦. 沉浸式虚拟老年认知管理系统的开发及可行性研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2021.
- [26] Lee J H, Ku J, Cho W, et al. A virtual reality system for the assessment and rehabilitation of the activities of daily living[J]. *Cyberpsychol Behav*, 2003, 6(4):383-388.
- [27] Opwonya J, Doan D N T, Kim S G, et al. Saccadic eye movement in mild cognitive impairment and Alzheimer's disease: a systematic review and meta-analysis[J]. *Neuropsychol Rev*, 2022, 32(2):193-227.
- [28] Atkins A S, Khan A, Ulshen D, et al. Assessment of instrumental activities of daily living in older adults with subjective cognitive decline using the virtual reality functional capacity assessment tool (VRFCAT)[J]. *J Prev Alzheimers Dis*, 2018, 5(4):216-234.
- [29] Zygouris S, Ntovas K, Giakoumis D, et al. A preliminary study on the feasibility of using a virtual reality cognitive training application for remote detection of mild cognitive impairment[J]. *J Alzheimers Dis*, 2017, 56(2):619-627.
- [30] Li W, Zhao H, Qing Z, et al. Disrupted network topology contributed to spatial navigation impairment in patients with mild cognitive impairment[J]. *Front Aging Neurosci*, 2021, 13:630677.
- [31] Howett D, Castegnaro A, Krzywicka K, et al. Differentiation of mild cognitive impairment using an entorhinal cortex-based test of virtual reality navigation[J]. *Brain*, 2019, 142(6):1751-1766.
- [32] Eraslan Boz H, Limoncu H, Zygouris S, et al. A new tool to assess amnesic mild cognitive impairment in Turkish older adults: virtual supermarket (VSM)[J]. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn*, 2020, 27(5):639-653.
- [33] Zygouris S, Iliadou P, Lazarou E, et al. Detection of mild cognitive impairment in an at-risk group of older adults: can a novel self-administered serious game-based screening test improve diagnostic accuracy? [J]. *J Alzheimers Dis*, 2020, 78(1):405-412.
- [34] 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.
- [35] Schmuckler M A. What is ecological validity? A dimensional analysis[J]. *Infancy*, 2001, 2(4):419-436.
- [36] Lee J, Campbell S, Choi M, et al. Authentic learning in healthcare education: a systematic review[J]. *Nurse Educ Today*, 2022, 119:105596.
- [37] Huygelier H, Schraepen B, van Ee R, et al. Acceptance of immersive head-mounted virtual reality in older adults[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1):4519.
- [38] Mondellini M, Arlati S, Gapeyeva H, et al. User experience during an immersive virtual reality-based cognitive task: a comparison between Estonian and Italian older adults with MCI[J]. *Sensors(Basel)*, 2022, 22(21):8249.
- [39] Arlati S, Di Santo S G, Franchini F, et al. Acceptance and usability of immersive virtual reality in older adults with objective and subjective cognitive decline [J]. *J Alzheimers Dis*, 2021, 80(3):1025-1038.
- [40] Lauzon S A, Abraham A E, Curcin K, et al. The relationship between multisensory associative learning and multisensory integration [J]. *Neuropsychologia*, 2022, 174:108336.
- [41] Mujber T S, Szecsi T, Hashmi M S J. Virtual reality applications in manufacturing process simulation[J]. *J Mater Process Tech*, 2004, 155:1834-1838.
- [42] 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, 21, 10(1):e32117.
- [43] 丁奕文. 虚拟超市认知评估与训练系统对轻度认知障碍老年人干预效果研究[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
- [44] Kwan R Y C, Liu J Y W, Fong K N K, et al. Feasibility and effects of virtual reality motor-cognitive training in community-dwelling older people with cognitive frailty: pilot randomized controlled trial [J]. *JMIR Serious Games*, 2021, 9(3):e28400.
- [45] Kim Y S, Park J H, Lee S A. Is a program to improve grocery-shopping skills clinically effective in improving executive function and instrumental activities of daily living of patients with schizophrenia? [J]. *Asian J Psychiatr*, 2020, 48:101896.
- [46] Park J H. Does the virtual shopping training improve executive function and instrumental activities of daily living of patients with mild cognitive impairment? [J]. *Asian J Psychiatr*, 2022, 69:102977.
- [47] 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.