

康复机器人在心脏康复中的应用研究进展

卫艺伟¹, 周文静², 张重阳¹

摘要: 本文从康复机器人的整合技术, 康复机器人在心脏康复中的应用、不足和建议等角度对康复机器人进行概述; 提出康复机器人应用于心脏康复中可提高康复依从性、增强运动功能、改善心功能、增强平衡能力; 未来在心脏康复领域应通过多学科融合推动康复机器人智能化升级, 构建标准化临床应用体系, 结合个性化算法实现精准康复等, 推动康复机器人在心脏康复领域的应用。

关键词: 心脏康复; 康复机器人; 依从性; 运动功能; 心功能; 康复护理; 综述文献

中图分类号: R473.5; R493 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2026.05.016

A review of robotics in cardiac rehabilitation Wei Yiwei, Zhou Wenjing, Zhang Chongyang.

School of Nursing, Shanxi Medical University, Taiyuan 030012, China

Abstract: This article provides an overview of rehabilitation robotics, focusing on its integrated technologies, applications, existing limitations, and recommendations within the field of cardiac rehabilitation. It proposes that the application of rehabilitation robotics in cardiac rehabilitation offers several potential benefits for patients, including enhancing training adherence, motor function, cardiac function, and balance performance. Future efforts in this domain should update the rehabilitation robotics through multidisciplinary integration, establish standardized clinical application frameworks, and achieve precise rehabilitation by incorporating personalized algorithms, thereby further advancing the application of rehabilitation robotics in cardiac rehabilitation.

Keywords: cardiac rehabilitation; rehabilitation robot; compliance; motor function; cardiac function; rehabilitation nursing; review

心血管疾病是全球主要死亡原因之一, 占全球死亡人数的 27% 以上^[1], 其疾病负担与死亡风险持续加剧^[2-3]。心脏康复是多学科参与的干预计划, 能够优化心脏病患者心血管健康^[4]。作为心血管疾病管理的重要组成部分, 心脏康复的临床益处已通过研究得到广泛验证, 如降低全因死亡率和再住院率^[5], 控制心血管危险因素及改善疾病预后等^[6]。尽管已有证据表明心脏康复可带来获益, 但依靠专业人员监督、康复项目单一乏味且需定期前往康复门诊训练的传统心脏康复模式仍面临着许多问题, 如患者依从性差^[7]、运动功能和心功能的改善低于理想预期^[8]、忽视平衡训练能力^[9]等, 这些局限性不仅加剧患者个人负担, 还会加大医疗系统压力。康复机器人通过整合人工智能、传感器技术等先进元素, 能够提供个性化、远程监督等康复训练, 从而弥补传统方法的不足, 并为患者带来更安全、有效的康复体验^[10], 但其在心脏康复领域的应用仍处于新兴阶段。因此本文系统梳理康复机器人在心脏康复领域的应用研究, 旨在为临床医护人员优化心脏康复干预方案提供依据。

1 康复机器人概述

康复机器人是指由执行器驱动的机械结构, 旨在通过物理人机交互实现对人体运动功能的辅助、训练或恢复, 能够在康复过程中操控物体或协助患者完成肢体运动^[11]。它不仅能为患者提供运动支持开展重

复性训练, 帮助残疾、受伤个体恢复运动能力并提升生活质量^[12], 也能通过实时反馈提升患者康复动机^[13]。因此, 临床医疗团队日益聚焦于康复机器人在心脏康复领域的应用, 期望借助该设备提升患者康复进程。

2 康复机器人的整合技术

2.1 智能计算与控制技术 康复机器人结合该技术主要用来进行数据分析和系统优化, 确保康复过程智能化。人工智能和机器学习可以分析患者数据及预测康复进展, 并动态调整训练参数, 实现个性化方案。Tzepkenlis 等^[14]将康复机器人采集的脑卒中患者训练的的运动学数据与其基本信息整合, 在人工智能基础上开发并验证了两个长短期记忆网络预测模型, 并对临床结果和训练参数推荐进行预测, 结果发现与传统随机森林模型相比, 基于人工智能的预测模型在所有预测任务上显著优于传统随机森林模型, 误差更低。然而该模型的预测误差还是超出了临床最小有意义差异阈值, 安全性和临床可信性仍存在不足, 建议将来通过多中心大样本、持续迭代人工智能系统、优化学习目标等加以解决。康复机器人结合控制系统能提高运动控制精度与稳定性。如比例积分微分控制器是一种经典的反馈控制算法, 因其结构简单、响应快速、易于实现, 在需要位置控制、速度控制及力控制的场景中被广泛使用^[15]。Karmani 等^[16]为康复机器人搭建了一个能反映腿部运动的动力学模型并优化控制器参数, 使其能沿着预设的正弦轨迹带动小腿做 0~90° 的往复摆动, 仿真结果显示该系统能有效跟踪期望膝关节角度位置和速度, 确保系统稳定运行。但在意外干扰、复杂轨迹下该系统性能可能下降, 建议

作者单位: 1. 山西医科大学护理学院(山西 太原, 030012); 2. 山西医科大学第二医院 CCU

通信作者: 周文静, hlbzjw@126.com

卫艺伟: 女, 硕士在读, 学生, 2268003180@qq.com

收稿: 2025-10-10; 修回: 2025-12-27

引入高级控制策略,优化参数调整方法,探索人工智能辅助调整优化。

2.2 感知与监测技术 感知与监测技术专注于捕捉生理和运动信号,提供安全监测和生物接口。传感器能够感知环境中的物理或化学变化并将其转化为电子信号或数据,将其与康复机器人结合可以支持患者远程康复训练,通过数据采集和反馈机制来提升干预效果。Guo 等^[17]将传感器应用于机器人及可穿戴设备上,其通过无线通信协议联网,非常方便地同步采集患者实时康复训练数据,并通过通用接口传输到计算机,创造了患者居家康复的条件,研究结果显示,患者运动功能改善幅度显著优于常规临床康复方法。然而该技术依赖无线网络和软件,可能在网络不稳定或数字素养低的患者中面临障碍。脑机接口技术(Brain-Computer Interface, BCI)是一种通过检测和解析大脑活动信号,并将其转化为外部设备的指令的技术,能实现人脑与外部设备之间的直接通信^[18]。Zhao 等^[19]将患者安置在下肢康复机器人上,并在患者头上布置电极片采集脑波频率,同时让患者观看屏幕上不同频率的牛顿环产生视觉刺激,进而激发不同频率的稳态运动视觉诱发电位,不同频率的刺激代表不同的运动任务,BCI 软件在线分析脑电图,识别患者所注视的频率并将结果翻译成对应的机器人指令后立即发送给康复机器人,机器人随之带动患者下肢完成对应运动动作,实现“脑控-机器辅助”闭环训练。该系统能增强神经回路重建,与被动康复相比更能激发大脑的积极响应,然而系统依赖脑电图信号易受肌电干扰影响,准确率可能会波动,建议优化信号处理算法,提高脑机接口准确性并整合更多模态反馈。

2.3 交互技术 患者与康复机器人和虚拟现实(Virtual Reality, VR)之间的交互技术能够增强用户动机和舒适度,增加远程功能。虚拟现实和游戏化元素通过沉浸式环境模拟真实场景来提升患者的兴趣及功能。为了促进脑卒中患者的下肢康复,Chen 等^[13]开发了“ReviVR”步行模拟器系统,患者佩戴 VR 头盔可以观察第一人称视角下的头像在虚拟环境中行走,同时在下肢配备机器人组件,通过顺序充气对脚底施加交替压力并与虚拟环境中头像的步行动作同步,帮助患者在被动模式下模仿步行,以此促进神经可塑性和运动恢复。结果显示,患者下肢运动功能、平衡能力等有所提升。该系统不需要复杂训练,可在患者康复早期使用,加速大脑重塑。

2.4 电刺激技术 电刺激技术能通过电流刺激人体组织来改善患者的活动能力^[20]。康复机器人结合功能性电刺激,通过电脉冲刺激肌肉收缩来提升肌力和协调性。Ambrosini 等^[21]设计了一种上肢外骨骼康复机器人结合功能性电刺激的装置。当患者上肢肌肉的肌电图超过设定的个体化阈值时,该装置就会开始以固定的电刺激参数向目标肌肉发送电流,帮助患者完成康复动作,一旦动作完成,系统就会自动停止

电刺激,不再继续输出电流,结果显示患者的上肢功能和灵活性有所改善。该系统能提供丰富的感官反馈,但功能性电刺激可能会引起患者不适或皮肤问题,建议改进电极设计与材料,使用柔性电极,优化导电凝胶。

3 康复机器人在心脏康复中的应用效果

3.1 提高依从性 心脏康复患者依从性低和动力不足会导致预后不良及病死率升高,因此增强患者依从性和动力至关重要^[22]。Kang 等^[23]为帮助心脏病患者进行呼吸练习而创新设计出社交辅助康复机器人(Socially Assistive Rehabilitation Robots, SARs)。SARs 能通过社会互动如语音、表情等鼓励患者并给予反馈,进而提高参与度与依从性^[24]。随后 Casas 等^[25]在 2018 年将其正式应用于心脏康复,患者对机器人指令响应迅速。但上述研究为短期实验室研究,缺乏真实场景验证。Irfan 等^[26]对 1 例心肌梗死患者进行 18 周的纵向研究,研究表明机器人能提升患者出勤率,对康复依从性有积极影响。而另一项试点研究中,机器人组的依从性未显著优于对照组^[27],这可能与样本量过小(仅 6 例)有关。为了进一步验证长期效果,Céspedes 等^[28]招募 30 例心脏病患者开启长达 2.5 年的研究,结果表明,配备 SARs 患者依从性高,与机器人互动稳定,更有动力进行锻炼。考虑到长期互动可能会导致患者兴趣和积极性显著下降的问题,Irfan 等^[29]在 SARs 基础上加入个性化功能,包括进度追踪与反馈、出勤追踪与提醒等。这些功能可以通过语音与图形界面确认患者身份,每次训练前,机器人会告知本次训练的强度,对比本次与上次表现并给予个性化反馈,记录患者每周出勤情况,若缺席则在下次见面时提醒患者。当前机器人虽在提升依从性方面效果良好,但存在用户识别错误^[30]、故障引发警报频发^[31]的技术问题,因此将来要优化人机交互算法,提升系统稳定性和数据采集准确性,确保康复训练顺利进行。

3.2 增强运动功能 增强运动功能能够改善心脏康复患者心肌灌注和脂质代谢,降低心脏事件复发风险,还能逆转左心室重构,促进患者独立性和整体恢复^[32-33]。与传统心脏康复相比,机器人能够提供部分体质量支撑,并辅助患者完成被动或主动运动,帮助患者在安全的前提下提前进行训练,促进运动功能恢复。Bartík 等^[34]让急性心肌梗死患者在物理治疗基础上接受床旁康复机器人辅助训练 2 周,结果显示,患者日常生活活动能力和运动功能改善非常明显。Schoenrath 等^[35]选取开胸手术心脏病患者作为研究对象,试验组使用步态康复训练机器人进行康复锻炼,对照组使用标准术后治疗,研究表明试验组步行距离高于对照组。然而已有研究样本量小,干预时间短,可能无法全面反映康复机器人在实际应用中的效果,未来需扩大样本量并延长干预时间,进一步验证干预效果。

3.3 改善心功能 对心脏康复患者而言,改善心功能具有重要的临床意义,不仅能够增强心脏泵血功能,同时可提升患者生活质量,并有效降低心血管事件发生风险^[22]。康复机器人能够提供标准化、重复性高的运动模式,可持续进行长时间、节律一致的训练,除了能减少人为误差,还能增强心肌收缩力。有研究将智能下肢康复机器人用于冠心病合并脑卒中患者,数据显示,6周后患者左室射血分数明显增高,表示心功能有所改善^[36]。贺娜等^[37]将穿戴式下肢机器人应用于心衰患者运动训练,1个月后患者左室舒张末期内径、左室收缩末期内径、N末端脑钠肽前体均明显改善,心功能增强。然而康复机器人难以完全适应不同患者的病情差异、运动偏好,这限制了其在临床实践中的广泛应用。未来需融合人工智能与大数据算法,实现机器人参数的个体化动态调整,与患者、医生和工程师协作,建立用户导向的设计框架,确保机器人更具包容性和可及性。

3.4 增强平衡能力 老年心血管疾病患者常伴有运动能力下降和身体功能减退问题^[38],心血管疾病与老年人跌倒风险高度相关^[39],通过针对性平衡康复训练可以提高老年人平衡能力,减少跌倒风险^[40],然而传统的心脏康复计划并不能改善参与者平衡功能^[41],平衡训练辅助机器人则可以改变这个现状。Hashimoto等^[42]对老年心血管疾病患者使用平衡训练辅助机器人 BEAR 进行左右移动、干扰应对和前后移动训练,患者步态速度、下肢功能评分和起身行走测试能力增强,平衡能力有所改善。Hirashiki等^[43]的研究也证实了这一结果。但上述研究未充分评估患者生活质量、满意度和长期预后,建议未来丰富评估指标并延长随访时间。

4 康复机器人在应用中的不足和建议

4.1 促进康复机器人技术的稳定性与可靠性 在研究过程中,机器人存在着一些技术问题,如社交辅助机器人进行用户识别时出现错误^[30],在某些情况下会出现故障导致警报次数过多^[31],不仅会干扰康复训练顺利进行,也会降低患者对机器人信任度和满意度^[44]。建议优化人机交互算法,多开展真实环境下的压力测试,提升系统稳定性和数据采集准确性。

4.2 制订康复机器人心脏康复的特定方案 心脏病患者往往伴随心功能不全、运动耐力低下及并发症风险高等特点,需要开发针对性的训练模式来优化心脏泵血功能、提升生活质量并降低再入院率。未来应通过多中心随机对照试验开发标准化方案,整合生理监测、人工智能算法调整及患者反馈机制,构建精准化、个性化的机器人心脏康复路径。

4.3 加强康复机器人在心脏康复中的经济效益评估 康复机器人在心脏康复管理中的经济效益评估已成为临床研究焦点,因其潜在的长期健康效益可显著降低医疗支出。然而,康复机器人开发和维护成本高,这限制其在医疗机构的使用。未来需开展大规模

研究,以验证其在医疗背景下的可持续效益。

4.4 完善康复机器人的法律框架 目前,许多国家缺乏针对康复机器人的特定法规,导致监管真空,潜在风险较高。康复机器人往往结合人工智能算法、自主决策和人机混合控制,这种人机协作模式,在医疗事故或伤害发生时的责任归属难以界定^[45]。此外医疗健康领域的海量数据兼具科研与商业价值,其中部分涉及患者隐私,而康复机器人应用的数据存在隐私泄露隐患^[46]。建议加快制定康复机器人相关法律法规,将生产商、算法设计者、医疗机构、医疗人员等纳入责任主体,明确责任链条,同时建立严格的医疗数据管理制度,完善患者知情同意流程,建立数据监管与问责机制来应对这些挑战。

5 小结

本研究总结康复机器人在心脏康复应用中的效果,并提出目前的不足及相关建议。未来在心脏康复领域应通过多学科融合推动康复机器人智能化升级,构建标准化临床应用体系,结合个性化算法实现精准康复,注重成本效益,推动康复机器人在心脏康复领域的应用。

参考文献:

- [1] Chen W, Shi S, Tu J, et al. Nutrition-related diseases and cardiovascular mortality in American society: national health and nutrition examination study, 1999 – 2006[J]. BMC Public Health, 2022, 22(1):1849.
- [2] Mensah G A, Fuster V, Murray C J L, et al. Global burden of cardiovascular diseases and risks, 1990-2022 [J]. J Am Coll Cardiol, 2023, 82(25):2350-2473.
- [3] Naghavi M, Ong K L, Aali A, et al. Global burden of 288 causes of death and life expectancy decomposition in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021 [J]. Lancet, 2024, 403(10440):2100-2132.
- [4] Balady G J, Williams M A, Ades P A, et al. Core components of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee, the Council on Clinical Cardiology; the Councils on Cardiovascular Nursing, Epidemiology and Prevention, and Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation[J]. Circulation, 2007, 115(20):2675-2682.
- [5] Dibben G O, Faulkner J, Oldridge N, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for coronary heart disease: a meta-analysis[J]. Eur Heart J, 2023, 44(6):452-469.
- [6] 中国心血管疾病患者居家康复专家共识编写组,冯雪. 中国心血管疾病患者居家康复专家共识[J]. 中国循环杂志, 2022, 37(2):108-121.
- [7] Keteyian S J, Jackson S L, Chang A, et al. Tracking cardiac rehabilitation utilization in medicare beneficiaries: 2017 UPDATE [J]. J Cardiopulm Rehabil Prev,

- 2022,42(4):235-245.
- [8] Guo Y, Xiao C, Zhao K, et al. Physical exercise modalities for the management of heart failure with preserved ejection fraction; a systematic review and meta-analysis [J]. *J Cardiovasc Pharmacol*, 2022, 79(5):698-710.
- [9] Naser M, Schilling P, Szalai H, et al. Incidence and patterns of falls in cardiac rehabilitation [J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2023, 43(1):75-77.
- [10] Aburub A, Darabseh M Z, Badran R, et al. The application of robotics in cardiac rehabilitation: a systematic review [J]. *Medicina*, 2024, 60(7):1161.
- [11] Tejima N. Rehabilitation robotics: a review [J]. *Adv Robot*, 2001, 14(7):551-564.
- [12] Suppiah R, Kim N, Abidi K, et al. A comprehensive review of motor movement challenges and rehabilitative robotics [J]. *Smart Health*, 2023, 29:100402.
- [13] Chen L, Zhu H, Wang J, et al. Virtual reality-based robotic training for lower limb rehabilitation in stroke patients with hemiplegia: a pilot study [J]. *Aging Health Res*, 2025, 5(2):100233.
- [14] Tzepkenlis A, Camardella C, Germanotta M, et al. Systematic data management for effective AI-driven decision support systems in robotic rehabilitation [J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1):27835.
- [15] Valério D, Da Costa J S. Tuning of fractional PID controllers with Ziegler-Nichols-type rules [J]. *Signal Processing*, 2006, 86(10):2771-2784.
- [16] Karmani N, Saidi I, Mbarek H. PID control of a lower limb rehabilitation exoskeleton [J]. *Przegląd Elektrotechniczny*, 2024, 100(6):290-293.
- [17] Guo L, Wang J, Wu Q, et al. Clinical study of a wearable remote rehabilitation training system for patients with stroke: randomized controlled pilot trial [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2023, 11:e40416.
- [18] Wolpaw J R, Birbaumer N, McFarland D J, et al. Brain-computer interfaces for communication and control [J]. *Clin Neurophysiol*, 2002, 113(6):767-791.
- [19] Zhao C, Ju F, Sun W, et al. Effects of training with a brain-computer interface-controlled robot on rehabilitation outcome in patients with subacute stroke: a randomized controlled trial [J]. *Neurol Ther*, 2022, 11(2):679-695.
- [20] Howlett O A, Lannin N A, Ada L, et al. Functional electrical stimulation improves activity after stroke: a systematic review with meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2015, 96(5):934-943.
- [21] Ambrosini E, Gasperini G, Zajc J, et al. A robotic system with EMG-triggered functional electrical stimulation for restoring arm functions in stroke survivors [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2021, 35(4):334-345.
- [22] Taylor R S, Dalal H M, McDonagh S T J. The role of cardiac rehabilitation in improving cardiovascular outcomes [J]. *Na Rev Cardiol*, 2022, 19(3):180-194.
- [23] Kang K I, Freedman S, Mataric M J, et al. A hands-off physical therapy assistance robot for cardiac patients [C]. Piscataway: 9th International Conference on Rehabilitation Robotics, 2005.
- [24] Papadopoulos I, Koulouglioti C, Lazzarino R, et al. Enablers and barriers to the implementation of socially assistive humanoid robots in health and social care: a systematic review [J]. *BMJ Open*, 2020, 10(1):e033096.
- [25] Casas J, Irfan B, Senft E, et al. Social assistive robot for cardiac rehabilitation: a pilot study with patients with angioplasty [M]. Chicago: Association for Computing Machinery, 2018:79-80.
- [26] Irfan B, Gomez N C, Casas J, et al. Using a personalised socially assistive robot for cardiac rehabilitation: a long-term case study [C]. Naples: 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), 2020.
- [27] Casas J, Senft E, Gutiérrez L F, et al. Social assistive robots: assessing the impact of a training assistant robot in cardiac rehabilitation [J]. *Int J Soc Robot*, 2021, 13(6):1189-1203.
- [28] Céspedes N, Irfan B, Senft E, et al. A socially assistive robot for long-term cardiac rehabilitation in the real world [J]. *Front Neurobot*, 2021, 15:633248.
- [29] Irfan B, Céspedes N, Casas J, et al. Personalised socially assistive robot for cardiac rehabilitation: critical reflections on long-term interactions in the real world [J]. *User Model User-adapt Interact*, 2023, 33(2):497-544.
- [30] Honig S, Oron-Gilad T. Understanding and resolving failures in human-robot interaction: literature review and model development [J]. *Front Psychol*, 2018, 9:861.
- [31] Palmier C, Rigaud A, Ogawa T, et al. Identification of ethical issues and practice recommendations regarding the use of robotic coaching solutions for older adults: narrative review [J]. *J Med Internet Res*, 2024, 26:e48126.
- [32] Xing Y, Yang S, Wang M, et al. The beneficial role of exercise training for myocardial infarction treatment in elderly [J]. *Front Physiol*, 2020, 11:270.
- [33] Bletsas E, Oikonomou E, Dimitriadis K, et al. Exercise effects on left ventricular remodeling in patients with cardiometabolic risk factors [J]. *Life (Basel)*, 2023, 13(8):1742.
- [34] Bartík P, Vostrý M, Hudáková Z, et al. The effect of early applied robot-assisted physiotherapy on functional independence measure score in post-myocardial infarction patients [J]. *Healthcare (Basel)*, 2022, 10(5):937.
- [35] Schoenrath F, Markendorf S, Brauchlin A E, et al. Robot-assisted training early after cardiac surgery [J]. *J Card Surg*, 2015, 30(7):574-580.
- [36] 杨燕, 梁爱萍, 姜美玲, 等. 下肢机器人对脑卒中并冠心病患者心肺康复的临床研究 [J]. *当代介入医学*, 2021, 1(5):15-17.
- [37] 贺丹娜, 李惟, 甘甜, 等. 穿戴式下肢康复机器人对改善慢性稳定型心力衰竭患者心功能的临床疗效观察 [J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2023, 15(1):71-75.
- [38] Silveira H, Lima J, Plácido J, et al. Dual-task perfor-

mance, balance and aerobic capacity as predictors of falls in older adults with cardiovascular disease: a comparative study[J]. *Behav Sci (Basel)*, 2023, 13(6):488.

[39] Liao Y, Zhou H, Liu M, et al. A comprehensive assessment of the Chinese Version of the Duke Activity Status Index in patients with cardiovascular diseases[J]. *Rev Cardiovasc Med*, 2024, 25(2):45.

[40] Jeon W, Ramadan A, Whittall J, et al. Age-related differences in lower limb muscle activation patterns and balance control strategies while walking over a compliant surface[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):16555.

[41] Segev D, Hellerstein D, Carasso R, et al. The effect of a stability and coordination training programme on balance in older adults with cardiovascular disease: a randomised exploratory study[J]. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2019, 18(8):736-743.

[42] Hashimoto K, Hirashiki A, Ozaki K, et al. Benefits of a balance exercise assist robot in the cardiac rehabilitation of older adults with cardiovascular disease: a preliminary study[J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2022, 9(6):191.

[43] Hirashiki A, Shimizu A, Kamihara T, et al. Randomized controlled trial of cardiac rehabilitation using the balance exercise assist robot in older adults with cardiovascular disease[J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2024, 11(5):133.

[44] Jauniaux B, Anand A, Abbas R, et al. From expectations to experiences: a systematic review of patient and public perspectives on robotic surgery[J]. *J Robot Surg*, 2025, 19(1):484.

[45] 徐伟琨,沈春悦. AI 医疗机器人临床应用法律风险及其应对策略[J]. *中国医院*, 2024, 28(10):53-59.

[46] 王硕,文佩骁,刘天语,等. 医疗机器人的伦理风险与治理探析:基于“医-患-机”分析框架[J]. *医学与哲学*, 2023, 44(23):16-21.

(本文编辑 吴红艳)

严肃游戏在轻度认知障碍患者中的研究进展

王姝然¹, 赵肖利², 李川², 郑朱婷³, 王婧婷²

摘要: 严肃游戏通过多感官整合、认知-运动双重任务、自适应设计及沉浸式场景模拟等策略,结合虚拟现实/增强现实、人工智能与多模态交互技术,能改善轻度认知障碍患者认知、运动、心理与社会功能,并提升康复依从性。本文围绕严肃游戏对轻度认知障碍患者的设计策略、技术应用以及应用效果进行综述,提出未来应加强神经心理学基础与用户中心设计,推进低成本技术融合与长期临床研究,并促进其与运动、心理等多维干预策略整合。

关键词: 轻度认知障碍; 严肃游戏; 虚拟现实; 增强现实; 人工智能; 多模态交互技术; 康复护理; 综述文献

中图分类号: R473.5 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2026.05.020

Research progress of serious games for mild cognitive impairment Wang Shuran, Zhao Xiaoli, Li Chuan, Zheng Zhuting, Wang Jingting. School of Basic Medical Sciences, Naval Medical University, Shanghai 200433, China

Abstract: Serious games, through strategies such as multi-sensory integration, cognitive-motor dual-task, adaptive design, and immersive scenario simulation—combined with technologies like virtual reality/augmented reality, artificial intelligence, and multi-modal interaction—can improve mild cognitive impairment patients’ cognitive, motor, psychological, and social functions, while enhancing rehabilitation compliance. This article reviews the design strategies, technological applications, and effectiveness of serious games for patients with mild cognitive impairment. It proposes that future efforts should strengthen neuropsychological foundations and user-centered design, promote the blending of low-cost technologies and long-term clinical research, and facilitate the combination of serious games with multidimensional intervention strategies such as exercise and psychological therapies.

Keywords: mild cognitive impairment; serious game; virtual reality; augmented reality; artificial intelligence; multimodal interaction technology; rehabilitation nursing; literature review

随着全球老龄化进程的加速,老年认知功能障碍已成为日益突出的公共卫生问题。据统计,全球15%~20%的老年人存在轻度认知障碍(Mild Cognitive Impairment, MCI),其中约1/3的人会在5年内进展为阿尔茨海默症^[1-2]。在MCI的干预中,药物治疗和常规认知训练等传统干预手段虽有一定效果,但仍存在患者依从性较低、训练过程单调等问题^[3]。严肃游戏是将科学信息以易接受的方式呈现的电子游戏,通过愉悦感激发玩家的主动性,促进行为改变^[4-5]。目前,严肃游戏已广泛应用于军事、工业、教育等领域,并在医学教育、慢性病治疗与康复及患者健康教育中得到越来越多的应用^[5]。近年来,严肃游戏凭借目标导向的设计与游戏机制的有机结合,为MCI患者提供了兼具趣味性与有效性的新型干预工

随着全球老龄化进程的加速,老年认知功能障碍已成为日益突出的公共卫生问题。据统计,全球15%~20%的老年人存在轻度认知障碍(Mild Cognitive Impairment, MCI),其中约1/3的人会在5年内进展为阿尔茨海默症^[1-2]。在MCI的干预中,药物治疗和常规认知训练等传统干预手段虽有一定效果,但仍存在患者依从性较低、训练过程单调等问题^[3]。严肃游戏是将科学信息以易接受的方式呈现的电子游戏,通过愉悦感激发玩家的主动性,促进行为改变^[4-5]。目前,严肃游戏已广泛应用于军事、工业、教育等领域,并在医学教育、慢性病治疗与康复及患者健康教育中得到越来越多的应用^[5]。近年来,严肃游戏凭借目标导向的设计与游戏机制的有机结合,为MCI患者提供了兼具趣味性与有效性的新型干预工

作者单位:1. 海军军医大学基础医学院(上海,200433);2. 海军军医大学护理系;3. 复旦大学护理学院

通信作者:王婧婷, jtwang730@hotmail.com

王姝然:女,本科在读,学生, 15381194623@163.com

科研项目:国家自然科学基金面上项目(72374204);上海市2025年度高水平机构建设运行计划“软科学研究”项目(25692108400)

收稿:2025-10-24;修回:2025-12-21

随着全球老龄化进程的加速,老年认知功能障碍已成为日益突出的公共卫生问题。据统计,全球15%~20%的老年人存在轻度认知障碍(Mild Cognitive Impairment, MCI),其中约1/3的人会在5年内进展为阿尔茨海默症^[1-2]。在MCI的干预中,药物治疗和常规认知训练等传统干预手段虽有一定效果,但仍存在患者依从性较低、训练过程单调等问题^[3]。严肃游戏是将科学信息以易接受的方式呈现的电子游戏,通过愉悦感激发玩家的主动性,促进行为改变^[4-5]。目前,严肃游戏已广泛应用于军事、工业、教育等领域,并在医学教育、慢性病治疗与康复及患者健康教育中得到越来越多的应用^[5]。近年来,严肃游戏凭借目标导向的设计与游戏机制的有机结合,为MCI患者提供了兼具趣味性与有效性的新型干预工