

辅助机器人应用于失能老人社区康复的研究进展

金孔军,陈三妹,孙一勤,徐水琴

(绍兴文理学院 医学院,浙江 绍兴 312000)

随着全球老龄化发展加速,老年群体失能问题逐渐突出^[1]。有研究^[2]预测,2050年全球60岁以上人口占比将超过22%,其中患有慢性疾病、认知障碍或行动能力受限的失能老人比例将显著增加。多数失能老人由家庭成员照顾,家庭成员在经济、时间和情感上承受着巨大压力。在全球信息化背景下,辅助机器人技术日益成熟,极大地改变着人们的生活方式。为了加快推进机器人应用拓展,2023年2月国家工业和信息化部、教育部等17个部门联合印发了《“机器人+”应用行动实施方案》^[3],该方案明确提出了加快研制残障辅助、康复训练、情感陪护、安防监控等助老助残机器人产品,研发科技助老新技术的要求。辅助机器人技术作为人工智能与医疗健康融合的前沿领域产品,为失能老人照护资源短缺难题提供创新性解决方案。本研究通过论述辅助类机器人在失能老年群体社区康复中的应用情况,叙述其应用优势与挑战,为其进一步推广实践提供参考。

1 失能老年辅助机器人应用场景分类

1.1 康复训练类别机器人

1.1.1 下肢步态重建辅助类型 下肢步态重建辅助类型机器人是将仿生设计和物理传感技术结合的康复设备,适用于卒中后步态异常患者的下肢运动康复^[4]。通过下肢髋关节外骨骼机器人的辅助,可以提高使用者的行走速度,使其步态更加对称,从而提升步态障碍患者的运动效率^[5]。在卒中患者的行走能力重建方面,该技术可以根据患者的实际情况调整外骨骼助力参数,可针对不同步态障碍特点为患者提供个性化的治疗方案^[5],因而该技术更加适合于临床应用。如三星 Bot Fit 机器人将髋关节辅助模块和语音提示模块相结合,降低了老年受试者步长离散度,但该技术多模态数据的采集与融合部分还需进一步完善^[6]。

1.1.2 上肢运动功能恢复类型 上肢运动功能恢复类机器人是为患者提供上肢渐进式康复训练并促进患者运动与认知功能的协同恢复的机器人^[7]。在卒

中后患者应用上肢运动机器人进行康复训练的研究^[8]中显示,通过30 min的适应难度调整训练,患者能够显著提升上肢Fugl-Meyer评分(Fugl-Meyer assessment, FMA),且此类机器人辅助训练可刺激患者运动皮层及前额叶区域,适用于亚急性期卒中患者的神经功能重塑。此外,针对患者肩肘屈曲和外展功能设计的三维末端效应器机器人,能够支持患者双侧或单侧上肢训练,其对卒中患者上肢运动功能恢复及神经肌肉控制改善效果优于常规康复技术,常适用于需高强度重复训练的患者^[9]。

1.1.3 语言康复类型 语言康复型机器人可以通过人机交互技术辅助存在语言障碍的老人进行康复训练^[10]。该类机器人可整合虚拟现实、人工智能、表面肌电图传感等技术,为患者提供结构化、可重复的训练任务,旨在改善其语音清晰度、语言理解与表达以及社交沟通能力。在社交辅助方面,RASA机器人^[11]可以通过表情识别与表达、口型同步模拟、语音交互提升患者参与动机;而机器人中的VR系统可记录患者的语法准确率、平均话语长度等,并动态调整难度,量化训练与精准反馈^[12],该设备常用卒中后失语症、老年退行性语言障碍等成人言语交流训练。

1.2 日常生活辅助类型机器人

1.2.1 进食辅助类型 进食辅助类机器人是依靠多模态传感的机械臂进行食物抓取、送食入口等动作的机器人^[13]。例如,进食辅助机器人通过控制器实现勺子的位置控制,以确保盛放食物的勺面保持稳定姿态^[14],该类型尤其适用于帕金森手部震颤患者。此外,针对手指功能障碍人群,自喂食机器人可以完成“下压”与“抬起”等关键动作,从而实现老人的自我喂养^[15],多用失能老人上肢精细运动受限的群体。

1.2.2 安全转移辅助类型 转移辅助机器人多采用机械臂完成患者稳定、精准的转移操作^[16]。该类机器人整合了传感器和算法,以监控转移对象的姿态和负载,从而确保其平衡和安全。例如,转移辅助机器人 Hug 常用于完成患者轮椅-床-远程位置的转移。该设备后能减少护士同步呼吸和生理压力,显著降低其身体负担,从而有效预防工作相关劳损^[16]。这类机器人尤其适合于阿尔茨海默病或肢体功能障碍患者。

1.2.3 助行辅助支持类型 手杖机器人是集合机器

【收稿日期】 2025-06-09 【修回日期】 2026-01-14

【基金项目】 浙江省高等教育“十四五”本科教学改革项目(JGBA2024492);2025浙江省医药卫生计划课题(2025KY390)

【作者简介】 金孔军,硕士,助教,电话:0575-88345555

辅助和智能传感的新形势机器人辅助工具,可以识别跌倒和步态异常^[17]。Naeem等^[18]研发的手杖机器人在老人有发生跌倒趋势时,其阻抗控制器可以在0.5 s内快速触发,使老人稳定在适当区域,可以有效预防跌倒。此外,如Fri Walk可以辅助老人步行、站立等,但其存在体积较大、移动笨重等缺点^[19]。

1.3 情感支持与认知干预类型机器人

1.3.1 情感陪伴类型 远程陪伴机器人通过自然语言处理与情境感知技术,可以为患者提供个性化认知训练与情感支持^[20]。失能老人在养老机构等环境中,缺少家属陪伴,存在孤独抑郁情感^[21]。该类机器人可通过视频通话与自主导航实现家属远程互动,从而减少老年用户孤独感,并延缓其认知衰退速度。例如,Paro类机器人通过触觉反馈与拟人化行为设计,在显著降低患者焦虑水平的同时也可减轻护理人员对患者的情感支持负担^[22]。但该类机器人存在高成本、替代或干扰真实的人际关系等缺点。

1.3.2 认知障碍干预类型 认知障碍干预类型机器人常通过识别分析患者面部微表情、提取语音韵律特征及传递体态传感技术,实现对患者焦虑/抑郁状态的实时检测,并提供个性化的干预方案^[22],主要针对阿尔茨海默症及相关痴呆患者进行多模态情绪识别及干预。在认知功能评估与监测方面,Pepper机器人能够自主完成标准化神经心理学测试测试,检测老年患者的心理生理和情绪状态^[23];在认知训练与神经康复干预方面,CARs机器人设计认知任务,通过患者的重复性活动强化其认知域功能^[24]。

1.4 生命健康监测类型 生命健康监测类别机器人可以通过环境传感器(如红外成像、压力垫)和血氧饱和度、皮肤温度等实时追踪失能老人的日常活动,建立行为基线模型,分析可能存在的异常模式(如长时间静止或跌倒),从而触发警报^[25]。例如,日本养老院部署的人形机器人结合空间传感器,可分析患者活动能力变化,为康复计划提供数据支持^[26]。生理参数监测机器人集成生命体征传感器,可以通过非接触式技术(如毫米波雷达)持续采集患者数据,将异常值自动推送至医护平台,实现患者异常风险预测模型的建立,为患者的危险行为提供风险预警。

2 失能老人机器人照护应用的优势

2.1 提高照护精准度与效率 机器人凭借精准的程序设定和稳定的运行过程,能够按照既定标准为失能老人提供准确且高效的照护服务。在患者转移场景中,机器人预先承担患者60%的体质量负荷,再由护理人员辅助完成剩余动作。该流程化作业可以降低护理人员操作风险与患者的疼痛水平^[27],有效提升操作精准度,提高护理效率并降低事故发生率。

2.2 减轻照护人员负担 机器人承担部分照护任务后,可以释放照护人员精力,缓解照护资源紧张的压力。研究^[28]表明,辅助机器人的使用可以降低照护者的体力负荷,缓解照顾者肌肉过度使用引发的疼痛。在失智症护理中,社交辅助机器人能改善患者情绪,约89%的照护者报告机器人使用可以降低照护者焦虑水平^[29]。此外,不同应用场景机器人减轻负担的侧重点不同,在照护机构中机器人主要替代护理人员进行重复性体力劳动^[27];而在居家护理中,机器人的认知支持和情感陪伴则更受重视^[30]。

2.3 保障服务的持续性 在老年护理场景中,机器人能够实现对失能老人的持续照护。例如在突发公共卫生事件期间,辅助机器人的应用在减少医护人员的感染及暴露风险的同时,也降低了患者的抑郁评分^[31]。除了基础照护外,远程机器人还能通过视频通话、虚拟陪伴等功能,维持老人的社会联结。此外,Buddy、ASTRO机器人能通过情感识别技术捕捉老人的情绪状态,进行个性化交流^[32]。

3 护理辅助机器人技术瓶颈与伦理

3.1 技术局限:柔性驱动器力量延迟与多模态数据融合误差 即便老年护理辅助机器人已逐步应用推广,其实际运行中仍存在技术短板。其中,柔性驱动器受自身材料特性的限制,常出现力量输出滞后的情况。例如,在步态辅助场景中,机器人出现力量输出延迟现象,反而可能打破用户原本的平衡状态,造成摔倒的风险增加^[33]。当髋关节外骨骼在辅助行走时,若驱动信号与人体肌肉的激活时机不同步,便会干扰自然的步态模式,降低康复训练效果^[34]。此外,当前护理机器人需要同时整合视觉、触觉与生理信号,才能实现与老人的精准交互;但实际操作中,受传感器自身噪声干扰、不同算法之间兼容性缺陷等影响,系统容易做出偏离实际需求的误判。

3.2 伦理困境:隐私泄露风险、情感替代争议 在居家护理机器人的普及中,隐私数据归属问题日益受到重视,且目前行业内对数据共享的边界尚未形成明确规范,隐私安全风险较大。此外,尽管社交机器人能分担护理者的照护压力,但长期将其作为“人工陪伴”,却可能让老年人的情感需求回应被算法替代,家庭成员的真实互动会逐渐弱化。并且,若机器人介入日常决策过度,比如在健康管理中优先执行算法建议,便可能在无形中剥夺老年人的自主选择权。

3.3 社会接受度悖论:护理人员的技术排斥现象 目前,在康复机构使用机器人存在护理人员对其排斥现象。如,一项在澳大利亚某养老机构的长期观察^[35]显示,34名护理人员中仅少数主动使用服务机器人,多数因操作复杂性、维护成本高而持保留态度。原因

在于对机器可靠性的质疑,也涉及护士职业价值感的降低。有研究^[36]指出,护理团队更倾向于将机器人定位为“工具”而非“合作者”,尤其在涉及如厕辅助隐私敏感操作时,伦理信任缺失加剧了技术排斥。

4 展望

4.1 技术融合趋势:数字孪生驱动的个性化康复体系构建 数字孪生技术作为实现物理实体与虚拟空间双向映射的高保真数字模型,能完成对患者疾病状况的动态感知与预测分析^[37]。在失能老人的个性化康复场景中,它可以整合患者的生理参数与康复模拟轨迹,搭建精准预测与干预模型,构建“患者-机器人-环境”的多维交互体系。有研究^[35]证实,该技术方案能有效提升患者参与康复训练的依从性,加速其运动功能恢复进程。如,相较于传统算法,Uhlenberg等^[38]设计的全面协同数字孪生框架对异常步态的识别检测效率提升65%,实现了对患者异常步态的早期预警。

4.2 人机协作新模式:护理员-机器人-家属三元协同框架 护理员-机器人-家属三元协同框架,正逐渐成为面向失能老年群体的新型护理服务体系,其核心优势在于能够将资源的优化配置与人文关怀深度融合。该框架的价值集中体现在对三方角色分工的清晰界定中,即护理人员作为服务的核心主体,可借助机器人技术降低体力劳动的负担,将专业精力集中于个性化护理方案的制订与老人的心理支持;机器人以智能辅助终端的身份,完成生命体征监测、用药定时提醒等基础护理操作,提升服务响应效率;家属通过配套智能终端深度参与老人护理计划制订与健康状态跟踪,增进对护理流程信任度。依靠该协同体系能提升护理服务精准度,增强失能老人的照护体验。

4.3 法规政策保护:建立机器人护理分级认证制度与应用指导 构建老年护理辅助机器人分级认证体系是规范辅助机器人应用的必要举措。在应用方面,可以将辅助机器人依据功能维度划分不同等级,如基础监护型、功能增强型及智能辅助型等,并建立功能-场景映射关系^[38]。在此基础上,还需要通过权威机构的分级认证程序,为医护人员与家庭提供明确的设备选型指南,进而确保设备安全性与使用效能^[39];在制度指导方面,2023年发布的《下肢康复机器人临床应用专家共识》^[40]中,对下肢康复机器人作用原理、设备选型、操作流程、安全管理、临床应用推荐进行阐述,为患者更好地应用下肢康复机器人提供了临床指导意见。

5 小结

本文总结辅助机器人在失能老人中的肢体功能、

语言康复辅助、认知障碍干预技术、生活场景支持、生命健康监测等4大领域的应用,分析其提高照护精准度、减轻照护人员负担、保障照护持续性等优势,但应用仍有技术局限与伦理困境,期望能通过技术融合创新、人机协作模式转变、政策法规完善来推进其临床应用。

【关键词】 机器人;失能老人;社区

DOI:10.3969/j.issn.2097-1826.2026.02.007

【中图分类号】 R47 **【文献标识码】** A

【文章编号】 2097-1826(2026)02-0028-04

【参考文献】

- [1] FONG H F, FENG J. Comparing the loss of functional independence of older adults in the US and China[J]. Arch Gerontol Geriatr, 2018, 74: 123-127.
- [2] ZUSCHNEGG J, HÄUSSL A, LODRON G, et al. Psychosocial effects of a humanoid robot on informal caregivers of people with dementia: a randomised controlled trial with nested interviews [J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020748924002803?via%3Dihub>. DOI:10.1016/j.ijnurstu.2024.104967.
- [3] 工业和信息化部. 工信部等十七部门联合印发《“机器人+”应用行动实施方案》[EB/OL]. [2025-03-24]. https://www.miit.gov.cn/zwgk/zcwj/wjfb/tz/art/2023/art_c2a9bacca5114e42b5e16ed5277923a8.html.
- [4] 李明, 李慧, 喻洪流. 下肢外骨骼康复机器人的分类及其应用现状[J]. 生物医学工程学杂志, 2024, 41(4): 833-839.
- [5] LIVOLSI C, CONTI R, CIAPETTI T, et al. Bilateral hip exoskeleton assistance enables faster walking in individuals with chronic stroke-related gait impairments [J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-86343-x>. DOI:10.1038/s41598-025-86343-x.
- [6] SHIN J H, BYEON N, YU H, et al. Effect of wearable robot Bot Fit's hip joint-centered assist torque and voice coach on walking [J/OL]. [2025-05-20]. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12891-024-08181-8>. DOI:10.1186/s12891-024-08181-8.
- [7] SU T, WANG M, CHEN Z, et al. Effect of upper robot-assisted training on upper limb motor, daily life activities, and muscular tone in patients with stroke: a systematic review and Meta-analysis [J/OL]. [2025-05-20]. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/brb3.70117>. DOI:10.1002/brb3.70117.
- [8] ZHOU Y, XIE H, LI X, et al. Predicting upper limb motor recovery in subacute stroke patients via fNIRS-measured cerebral functional responses induced by robotic training [J/OL]. [2025-05-20]. <https://link.springer.com/article/10.1186/s12984-024-01523-6>. DOI:10.1186/s12984-024-01523-6.
- [9] YUAN R, QIAO X, TANG C, et al. Effects of uni- vs. bilateral upper limb robot-assisted rehabilitation on motor function, activities of daily living, and electromyography in hemiplegic stroke: a single-blinded three-arm randomized controlled trial [J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.mdpi.com/2077-0883/12/8/2950>. DOI:10.3390/jcm12082950.
- [10] VAN MINKELN P, KRAHMER E, VOGT P. Exploring how people with expressive aphasia interact with and perceive a social robot [J]. Int J Soc Robot, 2022, 14(8): 1821-1840.
- [11] ESFANDBOD A, ROKHI Z, MEGHDARI A F, et al. Utilizing an emotional robot capable of lip-syncing in robot-assisted speech therapy sessions for children with language disorders [J]. Int J Soc Robot, 2023, 15(2): 165-183.

- [12] WANG J, YANG S, XU Z. Talk like me: exploring the feedback speech rate regulation strategy of the voice user interface for elderly people[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2023.1119355/full>. DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1119355.
- [13] HANSEN T C, TULLY T N, MATHEWS V J, et al. A multimodal assistive-robotic-arm control system to increase independence after tetraplegia[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2024, 32: 2124-2133.
- [14] TAŞAR B, TATAR A B, TANYILDIZI A K, et al. FIMEC tremor stabilization spoon: design and active stabilization control of two DoF robotic eating devices for hand tremor patients[J]. *Med Biol Eng Comput*, 2023, 61(10): 2757-2768.
- [15] TANIZAKI Y, TORTÓS-VINOCOUR P E, MATSUNAGA F, et al. Analyzing and assisting finger motions for spoon scooping[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.mdpi.com/2313-7673/10/2/116>. DOI: 10.3390/biomimetics10020116.
- [16] KIM Y S, SHIN H R, YOON H J, et al. Usability study of a smart transfer-assistive robot with dual arms for care workers[J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2024, 19(5): 1864-1870.
- [17] NEVES G, SEQUEIRA J S, SANTOS C P. Lightweight and compact smart walking cane[J/OL]. [2025-05-20]. <https://peerj.com/articles/cs-1563/>. DOI: 10.7717/peerj-cs.1563.
- [18] NAEEM M A, ASSAL S F. Development of a 4-DOF cane robot to enhance walking activity of elderly[J]. *J Mech Eng Sci*, 2022, 236(2): 1169-1187.
- [19] PÉREZ-RODRÍGUEZ R, MORENO-SÁNCHEZ P A, VALDÉS-ARAGONÉS M, et al. FriWalk robotic walker: usability, acceptance and UX evaluation after a pilot study in a real environment[J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2020, 15(6): 718-727.
- [20] VILLAVERDE NAVEIRA A, DE MASI A, WAC K, et al. Designing a social robot companion to support homecare: usability results[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2022, 295: 261-264.
- [21] 曹效亲, 杨天奇, 史艳茹, 等. 社区失能老人孤独抑郁焦虑的网络分析[J]. *军事护理*, 2024, 41(2): 21-24.
- [22] FIGLIANO G, MIRAGLIA L, MANZI F, et al. "Tom and Pepper Lab", robotics for cognitive stimulation and social skills: a preliminary study[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876201825000188?via%3Dihub>. DOI: 10.1016/j.ajp.2025.104375.
- [23] RUSSO S, LORUSSO L, D'ONOFRIO G, et al. Assessing feasibility of cognitive impairment testing using social robotic technology augmented with affective computing and emotional state detection systems[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.mdpi.com/2313-7673/8/6/475>. DOI: 10.3390/biomimetics8060475.
- [24] KUBOTA A, CRUZ-SANDOVAL D, KIM S, et al. Cognitively assistive robots at home: translating clinical interventions to robots[J/OL]. [2025-05-20]. <https://alz-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/alz.062600>. DOI: 10.1002/alz.062600.
- [25] KHAN A A. Humanoid robots coming to aid in dementia care provision: 16 humanoid robots working to augment care in 8 nursing homes across Minnesota[J/OL]. [2025-05-20]. <https://alz-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/alz.061143>. DOI: 10.1002/alz.061143.
- [26] YASUHARA Y. Current state of healthcare robots for older adults in care facilities in Japan and the related ethical issues for nurses[J]. *J Med Invest*, 2025, 72(1.2): 8-13.
- [27] JUNG J I, JEONG Y S, KWON D R. The effectiveness of care robots in alleviating physical burden and pain for caregivers: non-randomized prospective interventional study-preliminary study[J/OL]. [2025-05-20]. https://journals.lww.com/md-journal/fulltext/2024/12130/the_effectiveness_of_care_robots_in_alleviating.83.aspx. DOI: 10.1097/MD.00000000000040877.
- [28] KATO K, HASHIMOTO Y, AIMOTO K, et al. Electrocardiogram and respiration recordings show a reduction in the physical burden on professional caregivers when performing care tasks with a transfer support robot[J]. *Assist Technol*, 2025, 37(3): 185-193.
- [29] SHI W, ZHOU W, WANG R, et al. Exploring the perceptions and experiences of caregivers with the application of socially assistive robots in dementia care: a systematic review of qualitative studies[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020748925000938?via%3Dihub>. DOI: 10.1016/j.ijnurstu.2025.105084.
- [30] KIM J W, CHOI Y L, JEONG S H, et al. A care robot with ethical sensing system for older adults at home[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/19/7515>. DOI: 10.3390/s22197515.
- [31] ARANGO J A R, MARCO-DETCHEART C, INGLADA V J J. Personalized cognitive support via social robots[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/3/888>. DOI: 10.3390/s25030888.
- [32] ISABET B, PINO M, LEWIS M, et al. Social telepresence robots: a narrative review of experiments involving older adults before and during the COVID-19 pandemic[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/7/3597>. DOI: 10.3390/ijerph18073597.
- [33] VANUS J, HERCIK R, BILIK P. Using interoperability between mobile robot and KNX technology for occupancy monitoring in smart home care[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/21/8953>. DOI: 10.3390/s23218953.
- [34] HAJISSA E, CELIAN C, THIELBAR K O, et al. Stroke rehabilitation with distorted vision perceived as forces[J/OL]. [2025-05-20]. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8779410>. DOI: 10.1109/ICORR.2019.8779410.
- [35] MACALUPU V, MILLER E, MARTIN L, et al. Human-robot interactions and experiences of staff and service robots in aged care[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.nature.com/articles/s41598-025-86255-w>. DOI: 10.1038/s41598-025-86255-w.
- [36] NAKAGAWA Y, PARK K, UEDA H, et al. Being watched over by a conversation robot may enhance safety in simulated driving[J]. *J Safety Res*, 2019, 71: 207-218.
- [37] FIGLIANO G, MANZI F, TACCI A L, et al. Ageing society and the challenge for social robotics: a systematic review of socially assistive robotics for MCI patients[J/OL]. [2025-05-20]. <https://journals.plos.org/plosone/article?doi=10.1371/journal.pone.0293324>. DOI: 10.1371/journal.pone.0293324.
- [38] UHLENBERG L, DERUNGS A, AMFT O. Co-simulation of human digital twins and wearable inertial sensors to analyse gait event estimation[J/OL]. [2025-05-20]. <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2023.1104000/full>. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1104000.
- [39] LIM M J, SONG W K, KWEON H, et al. Care robot research and development plan for disability and aged care in Korea: a mixed-methods user participation study[J]. *Assist Technol*, 2023, 35(4): 292-301.
- [40] 张立新, 白定群, 白玉龙, 等. 下肢康复机器人临床应用专家共识[J]. *康复学报*, 2023, 33(5): 383-396.