

辅助机器人用于老年人跌倒预防的研究进展

范文琪,周航,刘晓夏,葛莉娜

摘要: 老年人跌倒是一项重要的公共卫生问题,随着老龄化加剧,老年人跌倒的疾病负担将持续增加。辅助机器人可以帮助老年人进行肌肉锻炼、平衡练习及步态训练,以降低跌倒风险。此文总结辅助机器人在老年人跌倒预防中的应用类型、应用效果、老年人和医疗保健专业人员对辅助机器人的接受度和影响因素,分析其优势与不足,为辅助机器人的研发设计提供参考,支持老年人群及医疗保健专业人员进行跌倒预防管理。

关键词: 老年人; 老龄化; 跌倒; 辅助机器人; 跌倒预防; 老年护理; 综述文献

中图分类号: R47; R212.7 **DOI:** 10.3870/j.issn.1001-4152.2025.03.025

Application progress of assistive robots in falls prevention of the older adults Fan

Wenqi, Zhou Hang, Liu Xiaoxia, Ge Lina. The First Gynecological Ward, Shengjing Hospital Affiliated to China Medical University, Shenyang 110004, China

Abstract: Falls in older adults are an important public health problem, and the disease burden of falls will continue to increase as the population aging intensifies. Assistive robots can help older adults do muscle exercise, balance exercises, and gait training to reduce the risk of falls. This article summarizes the types of assistive robots used in falls prevention for older adults, the application effects, acceptance of assistive robots by older adults and healthcare professionals, and influencing factors, and analyzes the strengths and weaknesses, so as to provide references for developing and designing assistive robots, and supporting falls prevention management for older adults and healthcare professionals.

Keywords: older adults; aging; falls; assistive robot; falls prevention; aged care; literature review

老年人由于与年龄相关的生理机能衰退,如肌肉力量、骨密度、关节灵活度和视力下降,以及糖尿病、高血压等慢性疾病的高发病率,存在较高的跌倒风险^[1-2]。据统计,我国老年人群跌倒发生率处于较高水平,60岁以上老年人跌倒发生率为19.3%^[3]。老年人跌倒会导致一系列不良后果,包括身体损伤、功能衰退、医疗服务使用增加、社交活动减少,甚至死亡^[4]。随着老龄化的加剧,跌倒的疾病负担将持续增加,预计2050年全球70岁以上老年人跌倒病死率为2.18%,跌倒是老年人意外伤害致死的最主要原因^[5]。2022年《世界老年人跌倒预防和管理指南》^[6]指出,应重视老年人群的跌倒问题,针对社区、医院、护理院老年人和特定临床老年人群进行跌倒预防干预。常用的老年人跌倒预防措施包括运动、环境、药物、心理和辅助技术干预^[7],其中,预防老年人跌倒的辅助技术是一个新兴领域。辅助技术是指为使人们维持或改善功能活动、促进良好状态而开发的辅助产品和相关系统及服务^[8]。老年人跌倒预防辅助技术主要包括可穿戴设备^[9]、虚拟现实^[10]、移动健康^[11]及机器人^[12]辅助技术等。近年来随着智能传感器和算法的进化,辅助机器人的配置和性能不断优化发展,人机交互更加自然^[13-14]。机器人可提供辅助扭矩和

阻力扭矩,支撑身体重量,辅助老年人进行肌肉锻炼、平衡练习及步态训练,以改善肌肉功能、平衡控制和步态,降低跌倒风险^[15]。本文对辅助机器人在老年人跌倒预防中的应用现状进行综述,分析其优势与不足,为辅助机器人的研发设计提供参考,支持老年人群及医疗保健专业人员进行跌倒预防管理。

1 辅助机器人的应用类型

1.1 手杖机器人 手杖机器人是指集成了机器人技术和智能传感器的手杖,除具有传统手杖的支撑功能外,还具备跌倒检测、异常步态识别等功能,具有体积小、重量轻、灵活度高的特点。Naeem等^[16]开发了一种简单而有效的手杖机器人,由一根轻质铝棒和全向移动平台组成,两者通过旋转接头相连,其预防跌倒的策略基于零力矩点(Zero Moment Point, ZMP)理论^[17],当使用者在正面或侧面有跌倒趋势时,阻抗控制器在0.5 s内将手杖机器人移动到一个理想的位置,使ZMP保持在由使用者的足和手杖机器人形成的三角形支撑多边形内,确保手杖机器人的稳定性,实时预防老年人跌倒。老年人失去平衡时常因为惊慌出现手部肌肉过度紧张或不协调,难以及时准确抓住手杖。与传统手杖相比,手杖机器人的优势在于能主动并快速移动到适当位置,帮助老年人保持平衡,避免发生跌倒。

1.2 助行机器人 助行机器人主要由可移动车体、起坐机构、手操盒等组成,协助使用者坐立和平面移动^[18]。如助行机器人SafeWalker,可按选定比例支撑身体两侧的重量,其安全的全包裹设计可在患者无

作者单位:中国医科大学附属盛京医院第一妇科病房(辽宁 沈阳,110004)

通信作者:葛莉娜, geln@sj-hospital.org

范文琪:女,硕士在读,学生, fan17855990905@163.com

收稿:2024-09-09;修回:2024-11-10

法保持安全直立姿势时解决姿势不稳定问题^[19]。助行机器人 FriWalk 支持老年患者在住院期间进行 5 种运动锻炼,包括步行、单腿站立、踮足站立、等长运动和从椅子上站立,以增强下肢肌肉力量并锻炼平衡能力,进而避免住院期间发生跌倒,配备的平板电脑支持临床专业人员进行远程评估和个性化指导^[20]。目前多数助行机器人存在体积较大、笨重、机动性不足、对周围环境要求较高等不足,仍有较大改进空间。Zhao 等^[21]提出一种老年人方便易用的室内助行机器人,最大宽度在 70 cm 内,支持语音、步态和触觉等多种交互模式,可语音召唤助行机器人向声源方向移动,嵌入触觉传感器的手柄支持使用者自行控制助行器的速度,通过收集压力数据推断出使用者当前状态,及时调整位置并提供支撑。

1.3 可穿戴机器人 可穿戴机器人可为老年人下肢关节提供辅助扭矩和/或阻力扭矩,主要包括外骨骼机器人和软机器人。外骨骼指为生物提供保护和支撑的坚硬的外部结构,外骨骼机器人可理解为结合了人的智能和机器人机械能量的人机结合可穿戴装备^[22]。Shin 等^[23]开发了一种佩戴在髌关节上的外骨骼机器人,重约 3.9 kg,基于延迟输出反馈控制算法计算扭矩值,由电机、角位置传感器和控制器组成的致动器产生扭矩,在髌关节的伸展阶段提供辅助扭矩以帮助伸展、减轻关节和肌肉的负荷,在屈曲阶段提供阻力扭矩以进行肌肉训练、增强肌肉力量,辅助老年人进行间歇步行运动,促进正确的姿势和运动锻炼,从而预防跌倒。软机器人采用柔性材料作为基体,是一种柔软、可变形的机器人,具有较强的顺应性和舒适性^[24]。Hu 等^[25]的研究显示,将可穿戴软机器人佩戴于老年人足踝,足踝周围气动驱动的致动器为踝关节外展提供缓慢调节的辅助扭矩,抵消背屈肌力量下降的影响,从而减少老年人步态变异性,降低跌倒风险。外骨骼机器人和软机器人在预防老年人跌倒中存在一些区别,主要包括刚性/柔性材料、电/气动驱动致动器和精确/渐进扭矩支持,选择可穿戴机器人时应考虑使用需求和两者的特点。

1.4 社交机器人 社交机器人是一种通过遵循其角色所附带的社交行为与规则,与特定人群进行密切有效的互动或传递信息来满足心理或生理多维需求的人工智能系统^[26]。社交机器人通过语言、手势和动作模仿人类互动,提供陪伴和情感支持。有研究表明,社交机器人提供演示练习,并通过摄像机监测提供实时纠正和正反馈,有助于提高老年人参与锻炼的积极性^[27]。Otago 运动包含了热身运动、平衡训练、肌力训练和行走 4 个部分,是较为成熟的针对老年人预防跌倒的训练方式,跌倒预防效果已经过验证^[28]。Wilson 等^[29]使用 NAO 机器人执行 Otago 锻炼计划,NAO 机器人的演示和口头指导内容由物理治疗师预先编程,以期最大程度上与物理治疗师对老年人

的互动类似,包括社交对话、教育和实际练习 3 个部分共约 30 min,锻炼计划可根据老年人个人情况量身定制。但由于技术限制,社交机器人进行动作演示的范围有限,难以演示较为复杂的动作。

2 辅助机器人预防老年人跌倒的效果

2.1 提高老年人平衡能力 随着年龄的增加,老年人前庭系统、视觉系统和本体感觉系统衰退,平衡能力下降。静态平衡是指在静止时保持稳定姿势的能力,动态平衡是指在运动中或动作转换时保持稳定的能力。研究表明,老年人平衡不良与跌倒及跌倒相关伤害显著相关^[30],包含动态和静态练习的运动锻炼有助于改善老年人的静态和动态平衡,降低跌倒的可能性^[31]。Castelli 等^[32-33]使用辅助机器人 Hunova 对脑卒中及关节置换术后老年患者进行平衡治疗(每次 45 min,每周 3 次,共 3 周),辅助老年患者采用双脚站立姿势进行站立练习,并逐渐过渡到单足支撑练习,应用不同的扰动模式(弹性模式、流体模式)进行训练。研究结果显示,接受辅助机器人干预的老年患者在静态平衡方面,朗伯格指数和压力中心摇摆幅度显著优于传统康复老年患者(均 $P < 0.05$);在动态平衡方面,躯干运动、躯干中外侧方向摇摆和压力中心前后方向摇摆的平均速度等指标显著优于传统康复老年患者(均 $P < 0.05$)。Takano 等^[34]研究表明,对于腕部骨折老年患者,使用辅助机器人进行 2 周的练习(每周 6 次、每次 180 min)比单独实施传统康复计划能更好地改善平衡功能,结局指标包括 Berg 平衡量表(Berg Balance Scale, BBS)得分、功能性前伸测试(Function Reach Test, FRT)距离和计时起立步行(Timed Up and Go, TUG)测试时间。因此,基于辅助机器人的运动锻炼有助于改善老年人的静态和动态平衡能力,降低跌倒风险。

2.2 改善老年人的步态质量 步态障碍是指个体在行走时表现出的步态不正常或不协调的状态,表现为步伐不稳、行走速度缓慢、步幅减小、姿势异常等。与年龄有关的认知功能下降,尤其是执行控制和注意力下降,与步态障碍风险增加有关^[35]。步态特征如行走速度、步幅、步频、强度、变异性、平稳性、对称性和复杂性等,可以预测老年人跌倒的可能性^[36]。Adeniyi 等^[37]应用助行机器人对独立生活的健康老年人进行步态矫正,助行机器人的骨盆带固定于老年人髂嵴水平,限制骨盆的过度倾斜或旋转,以增强步态协调性,通过骨盆带施加外力实现随机扰动,激活周围肌肉以保持步态稳定,结果显示老年人的步幅、步频较干预前增加。Shin 等^[23]使用可穿戴髌关节辅助机器人对年龄 ≥ 70 岁的 21 名老年人实施为期 4 周(每次 50 min,每周 3 d)的锻炼计划,应用可穿戴式运动传感器收集步态数据,研究数据表明步长较干预前增加。Hu 等^[25]的研究纳入 12 名跌倒风险较低的老年人和

12 名跌倒风险中等偏上的老年人,要求参与者在无软机器人干预、非主动软机器人干预(佩戴但不启动)和主动软机器人干预(佩戴并启动)条件下在跑步机上行走,干预条件顺序随机,使用节拍器控制参与者的实际步频,并将其设置为 48 步/min、60 步/min 和 72 步/min 3 个水平。结果表明,无干预与非主动干预对步态变异性没有影响,在 48 步/min 和 72 步/min 的步速水平上,主动干预能显著降低中高跌倒风险老年人的步长变异性,因此软机器人干预可能是预防老年人跌倒的有效解决方案。

2.3 改善老年人跌倒相关心理问题 跌倒相关心理问题包含跌倒恐惧、跌倒效能、平衡信心及结果预期,其中结果预期在当前研究中应用有限,未得到广泛关注。老年人普遍存在跌倒相关心理问题,跌倒相关心理问题是老年人跌倒的重要危险因素^[38-39]。Piau 等^[19]的研究对 70 岁以上在康复病房住院的老年人进行基于助行机器人的康复治疗,研究结果显示在康复治疗中使用机器人作为行走辅助工具以降低跌倒恐惧是可行的。Wilson 等^[29]招募了 5 名老年人接受为期 4 周的社交机器人指导的锻炼计划,使用特异性活动平衡信心量表评估平衡信心,干预前平衡信心得分为 82.8 分,干预后提高到 88.0 分。说明辅助机器人干预有助于降低老年人跌倒恐惧,增强对保持平衡的主观信心,进而促进老年人正确应对跌倒风险,减少跌倒的发生。

3 老年人及医疗保健专业人员对辅助机器人的接受度及影响因素

3.1 老年人对辅助机器人的接受度及影响因素 机器人的视觉形象、拟人化、动作特征等外部特征,易用性、有用性、表达性等内在能力,对机器人温暖与能力的知觉等人机交互因素均影响人类对机器人的接受度^[40]。辅助机器人帮助老年人进行跌倒管理,降低跌倒风险,了解老年人对辅助机器人的接受度对相关辅助机器人技术开发、功能设置及干预系统完善等至关重要^[41]。Pérez-Rodríguez 等^[20]在老年患者出院时开展质性访谈,了解老年人住院期间使用 ACANTO 助行机器人的体验,评估其对助行机器人的接受度。老年人反馈了助行机器人尺寸、重量、充电模式的不足,但表示尽管存在一些性能问题,仍然喜欢助行机器人,使用感受大多是积极的。另一项研究表明,社区老年人普遍认为与社交机器人一起锻炼能增加锻炼的机会,并且愿意在家中使用辅助机器人^[29]。Chu 等^[42]运用社会情感选择性理论(Socioemotional Selectivity Theory, SST)和补偿选择性优化模型(Selection, Optimization, and Compensation Model, SOC)两种老龄化理论来理解老年人对不同辅助机器人的接受度和偏好,问卷结果显示老年人在态度、感知适应性和感知实用性方面对服务型机器人的接受

度高于陪伴型机器人。一项老年人对社交辅助机器人的技术接受度及影响因素的 Meta 分析结果显示,接受度的平均值为 3.68 分(满分 5 分),表明总体态度积极,感知有用性、感知易用性和技术态度对老年人接受社交辅助机器人有积极影响^[43]。目前,老年人对于辅助机器人的接受度较好,相对倾向于重视辅助机器人的实用价值,偏好功能性强、拟人化、易操作的辅助机器人。在未来的研究中应针对老年人群设计并完善辅助机器人的外观及功能,在保证实用性的基础上尽量减少老年人理解和完成有关操作的难度。

3.2 医疗保健专业人员对辅助机器人的接受度及影响因素 医疗保健专业人员在技术背景和经验、使用目的和需求、培训和学习能力等方面不同于老年人,两者对于机器人技术的接受度和偏好可能存在差异。Pérez-Rodríguez 等^[20]基于技术接受度模型(Technology Acceptance Model, TAM)设计问卷,用于评估用户对各种技术系统的接受程度,5 名医疗保健专业人员对助行机器人的技术接受度评分为 46.6 分(满分 60 分),表明在实验阶段使用该系统的医疗保健专业人员对助行机器人的接受度较高。另一项研究表明,医疗保健专业人员总体上对辅助机器人的使用持积极态度,但他们认为应注重数据保护和数据安全问题^[44]。Papadopoulos 等^[45]研究结果显示,护士对辅助机器人的益处持肯定态度,但部分护士对辅助机器人的故障率、隐私权保护、缺乏同理心产生的道德困境等感到担忧。目前,医疗保健专业人员对于辅助机器人的接受较高,对辅助机器人的安全性、伦理问题、道德困境等方面的考量影响其接受程度。未来应在临床应用中探究辅助机器人管理数据并保证数据安全性的有效方法,在人机交互方面增强辅助机器人的共情能力。

4 小结

辅助机器人在老年人跌倒预防中的应用通常有 4 种类型,分别为手杖机器人、助行机器人、可穿戴机器人和社交机器人。实施基于辅助机器人的跌倒预防干预有助于提高老年人的平衡能力,改善步态质量和跌倒相关心理问题。目前,老年人和医疗保健专业人员对辅助机器人的接受度较高,两者关于接受度的影响因素存在一定差异,老年人更关注于辅助机器人的功能性、拟人化和易用性等要素,医疗保健专业人员则考虑数据安全性和道德困境等有关问题。目前,基于辅助机器人的老年人跌倒预防干预周期较短,4 周居多,且研究对象主要涉及脑卒中、关节置换术后、住院患者、社区和健康老年人群,未来应在更长的干预周期和其他不同疾病等特征的老年人群中进一步验证干预效果。建议在构建干预方案时充分考虑老年人和医疗保健专业人员的接受度,针对性地调整辅

助机器人系统和干预流程,以最大程度符合利益相关者的需求,并在家庭、社区、医院和护理机构推广应用辅助机器人以预防老年人跌倒。

参考文献:

- [1] Xu Q, Ou X, Li J. The risk of falls among the aging population: a systematic review and meta-analysis[J]. *Front Public Health*, 2022, 10(4): 902599.
- [2] Deandrea S, Lucenteforte E, Bravi F, et al. Risk factors for falls in community-dwelling older people: a systematic review and meta-analysis[J]. *Epidemiology*, 2010, 21(5): 658-668.
- [3] 康宁,于海军,陆晓敏,等. 中国老年人跌倒发生率的 Meta 分析[J]. *中国循证医学杂志*, 2022, 22(10): 1142-1148.
- [4] Stel V S, Smit J H, Pluijm S M F, et al. Consequences of falling in older men and women and risk factors for health service use and functional decline[J]. *Age Ageing*, 2004, 33(1): 58-65.
- [5] James S L, Lucchesi L R, Bisignano C, et al. The global burden of falls: global, regional and national estimates of morbidity and mortality from the Global Burden of Disease Study 2017[J]. *Inj Prev*, 2020, 26(Suppl 1): i3-i11.
- [6] 章晓君,贾戈,苏丹,等. 2022 年《世界老年人跌倒预防和管理指南》要点解读[J]. *中华老年医学杂志*, 2023, 42(11): 1368-1372.
- [7] Hopewell S, Adedire O, Copsey B J, et al. Multifactorial and multiple component interventions for preventing falls in older people living in the community[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 7(7): CD12221.
- [8] 朱图陵,董理权,谢甘霖. 辅助技术对健康的作用和应用[J]. *中国康复医学杂志*, 2021, 36(7): 890-895.
- [9] 王文花,陆皓,汉瑞娟. 独居老人使用穿戴式防跌倒设备体验的质性研究[J]. *护理学杂志*, 2019, 34(2): 73-74.
- [10] 俞晴,徐东娥,马硕,等. 虚拟现实技术预防老年人跌倒有效性的 Meta 分析[J]. *中国护理管理*, 2021, 21(4): 532-539.
- [11] Hsieh K L, Chen L, Sosnoff J J. Mobile technology for falls prevention in older adults[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2023, 78(5): 861-868.
- [12] Mu X Q, Zhang X D, Fu S N, et al. Control method of elderly-assistant robot for preventing elderly fall[J]. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 2023, 237(23): 5663-5673.
- [13] Hsieh Y Z, Lin S S. Robotic arm assistance system based on simple stereo matching and Q-Learning optimization[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2020, 20(18): 10945-10954.
- [14] Grosu V, Grosu S, Vanderborgh B, et al. Multi-axis force sensor for human-robot interaction sensing in a rehabilitation robotic device[J]. *Sensors (Basel)*, 2017, 17(6): 1294-1306.
- [15] 陈殿生,申振阳,尹虎. 防跌倒步态平衡训练机器人发展现状[J]. *包装工程*, 2022, 43(12): 75-86.
- [16] Naeem M A, Assal S F M. Development of a 4-DOF cane robot to enhance walking activity of elderly[J]. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 2022, 236(2): 1169-1187.
- [17] Hong Y. Capture point-based controller using real-time zero moment point manipulation for stable bipedal walking in human environment[J]. *Sensors (Basel)*, 2019, 19(15): 3407-3424.
- [18] 白大鹏,张立勋. 助行机器人起坐机构运动分析及实验[J]. *机器人*, 2013, 35(6): 757-761.
- [19] Piau A, Krams T, Voisin T, et al. Use of a robotic walking aid in rehabilitation to reduce fear of falling is feasible and acceptable from the end user's perspective: a randomised comparative study[J]. *Maturitas*, 2019, 120(2): 40-46.
- [20] Pérez-Rodríguez R, Moreno-Sánchez P A, Valdés-Aragónés 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.
- [21] Zhao X, Zhu Z, Liu M, et al. A smart robotic walker with intelligent close-proximity interaction capabilities for elderly mobility safety[J]. *Front Neurobot*, 2020, 14: 575889.
- [22] 单新颖,张腾宇,张晓玉. 可穿戴技术在康复辅具领域的应用研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31(10): 1149-1151.
- [23] Shin J H, Byeon N, Yu H, et al. Clinical effects of walking exercise program for older adults applied with an exercise assist robot (Bot Fit): a randomized controlled trial[J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2024, 40: 493-499.
- [24] 王政杰,葛正浩,赵梦凡,等. 可穿戴电子设备及软机器人制造工艺的研究现状[J]. *微纳电子技术*, 2017, 54(12): 864-870.
- [25] Hu X, Zeng X, Xu Y, et al. A soft robotic intervention for gait enhancement in older adults[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2021, 29: 1838-1847.
- [26] 孙晓宁,景雨田,赵宇翔,等. 社交机器人的适老化设计: 动因、实践与未来展望[J]. *情报理论与实践*, 2024, 47(6): 91-102.
- [27] Avioz-Sarig O, Olatunji S, Sarne-Fleischmann V, et al. Robotic system for physical training of older adults[J]. *Int J Soc Robot*, 2021, 13(5): 1109-1124.
- [28] 杜砚馨,李春玉,苏金垚,等. Otago 运动对老年人平衡功能和跌倒效能干预效果的 Meta 分析[J]. *循证护理*, 2022, 8(10): 1321-1327.
- [29] Wilson C M, Boright L, Louie W G, et al. Effect of robotic delivery of physical activity and fall prevention exercise in older adults: a pilot cohort study[J]. *Cureus*, 2023, 15(8): e44264.
- [30] Muir S W, Berg K, Chesworth B, et al. Quantifying the magnitude of risk for balance impairment on falls in community-dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Epidemiol*, 2010, 63(4): 389-406.
- [31] Chiu H, Yeh T, Lo Y, et al. The effects of the Otago

- Exercise Programme on actual and perceived balance in older adults: a meta-analysis [J]. *PLoS One*, 2021, 16(8):e255780.
- [32] Castelli L, Iacovelli C, Loreti C, et al. Robotic-assisted rehabilitation for balance in stroke patients (ROAR-S): effects of cognitive, motor and functional outcomes[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2023, 27(17):8198-8211.
- [33] Castelli L, Iacovelli C, Ciccone S, et al. Robotic-assisted rehabilitation of lower limbs for orthopedic patients (ROAR-O): a randomized controlled trial[J]. *Appl Sci*, 2023, 13(24):13208-13219.
- [34] Takano E, Ozaki K, Satoh K, et al. Effects of a balance exercise assist robot on older patients with hip fracture: a preliminary study[J]. *J Med Biol Eng*, 2020, 40(5):783-789.
- [35] Fernandez N B, Hars M, Trombetti A, et al. Age-related changes in attention control and their relationship with gait performance in older adults with high risk of falls[J]. *Neuroimage*, 2019, 189(8):551-559.
- [36] van Schooten K S, Pijnappels M, Rispens S M, et al. Daily-life gait quality as predictor of falls in older people: a 1-year prospective cohort study[J]. *PLoS One*, 2016, 11(7):e158623.
- [37] Adeniyi A, Stramel D M, Rahman D, et al. Utilizing mobile robotics for pelvic perturbations to improve balance and cognitive performance in older adults: a randomized controlled trial[J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1):19381.
- [38] 张华果, 宋咪, 徐月, 等. 老年人跌倒相关心理问题的研究进展[J]. *中华护理杂志*, 2021, 56(3):458-463.
- [39] 曹杏玲, 吴金球, 孙丽萍, 等. 老年跌倒骨折患者跌倒恐惧体验的纵向质性研究[J]. *护理学杂志*, 2022, 37(15):80-83.
- [40] 许丽颖, 喻丰. 机器人接受度的影响因素[J]. *科学通报*, 2020, 65(6):496-510.
- [41] 聂亚东, 尹虎, 马佩勋, 等. 跌倒防护机器人的用户接受度模型[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(18):7716-7724.
- [42] Chu L, Chen H, Cheng P, et al. Identifying features that enhance older adults' acceptance of robots: a mixed methods study[J]. *Gerontology*, 2019, 65(4):441-450.
- [43] Luo C, Yuan R, Mao B, et al. Technology acceptance of socially assistive robots among older adults and the factors influencing it: a meta-analysis[J]. *J Appl Gerontol*, 2024, 43(2):115-128.
- [44] Radic M, Vosen A. Ethical, legal and social requirements for assistive robots in healthcare: viewpoint of management personnel in hospitals and nursing homes[J]. *Z Gerontol Geriatr*, 2020, 53(7):630-636.
- [45] Papadopoulos I, Wright S, Koulouglioti C, et al. Socially assistive robots in health and social care: acceptance and cultural factors. Results from an exploratory international online survey[J]. *Jpn J Nurs Sci*, 2023, 20(2):e12523.

(本文编辑 李春华)

(上接第 15 页)

- [9] 曹提, 陈辉, 秦金雪, 等. 老年维持性血液透析患者久坐行为现状及影响因素分析[J]. *护理学杂志*, 2023, 38(9):35-39.
- [10] 杨凡, 吴蓓蕾, 王富百慧. 体育锻炼对中国老年人抑郁程度的影响研究[J]. *中国体育科技*, 2023, 59(1):38-43.
- [11] Gerge E K, Reddy P H. Can healthy diets, regular exercise, and better lifestyle delay the progression of dementia in elderly individuals? [J]. *J Alzheimers Dis*, 2019, 72(s1):S37-S58.
- [12] 中国老年护理联盟, 中南大学湘雅护理学院(中南大学湘雅泛海健康管理研究院), 中南大学湘雅医院(国家老年疾病临床医学研究中心), 等. 认知衰退老年人非药物干预临床实践指南: 身体活动[J]. *中国全科医学*, 2023, 26(16):1927-1937, 1971.
- [13] 崔梦影, 王颖, 蔡悦, 等. 生活化功能锻炼预防老年人跌倒研究进展[J]. *护理学杂志*, 2024, 39(15):117-120.
- [14] 冯鑫. 健康老龄化背景下老年人体育行为的促进策略研究: 以商洛市丹江健身长廊老年人体育行为为例[D]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2021.
- [15] 常铂, 陈元香. 老年人体育锻炼风险的特征分析及预防对策研究[J]. *当代体育科技*, 2023, 13(25):191-194.
- [16] 中共中央国务院. “健康中国 2030”规划纲要[EB/OL]. (2016-10-25)[2024-06-10]. https://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm.
- [17] 夏帅兵, 刘树军. 同伴效应及其在体育研究中的识别与应用[J]. *湖北体育科技*, 2022, 41(8):684-689, 700.
- [18] 蔡维维. 基于 COM-B 模型的有氧运动方案对老年慢性病患者体力活动不足的干预效果研究[D]. 蚌埠: 蚌埠医学院, 2022.
- [19] 黄冕. 社区老年人快乐感及其与社会支持的关系研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2011.
- [20] 崔德刚, 邱芬, 邱服冰, 等. 老年人参与身体活动对改善健康、生活质量和福祉效果的系统综述[J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27(10):1176-1189.
- [21] 魏焯. 参与群体性音乐舞蹈活动女性老年人心理效益、快乐程度及身体活动能力[J]. *中国老年学杂志*, 2020, 40(3):641-644.

(本文编辑 李春华)