· 综述 ·

# 智能辅助设备在老年人防跌倒训练中应用的研究进展

罗玥欣[1],苏清清[2],皮红英[3]*

(中国人民解放军总医院:[1]研究生院,[2]第一医学中心护理部,[3]卫勤训练中心教研室,北京 100853)

【摘 要】 跌倒已成为我国老年人伤害致死的首要因素,对老年人而言,跌倒风险的降低不仅关乎生命安全,还直接影响生活质量。传统防跌倒训练大多缺乏趣味性,导致老年人训练依从性不高,训练效果不佳。近年来,随着人工智能技术的发展,越来越多的智能辅助设备被应用于老年人防跌倒训练中。智能辅助设备是指融合传感器技术、物联网、人工智能、人机交互等现代信息技术的一类设备。该类设备整合新兴技术,内置趣味游戏,可有效提升老年人训练依从性。本文总结智能辅助设备的类型及其在老年人防跌倒训练中的应用效果,分析其优势与不足,为今后防跌倒训练设备优化及训练方案制订提供参考。

【关键词】 老年人;老龄化;智能设备;预防跌倒;老年护理

【中图分类号】 R592 【文献标志码】 A 【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2026.02.033

# Research progress on intelligent assistive devices in fall prevention training for the elderly

Luo Yuexin[1], Su Qingqing[2], Pi Hongying[3]*

([1]Graduate School, [2]Department of Nursing, [2]First Medical Center, [3]Medical Service Training Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China)

【Abstract】 Falls have become the leading cause of injury-related deaths among the elderly. For the elderly, reducing the risk of falls not only concerns their life safety but also directly affects their quality of life. Traditional fall-prevention training often lacks engagement, resulting in low adherence among older adults and suboptimal training outcomes. In recent years, with the rapid development of artificial intelligence technologies, more and more intelligent assistive devices have been applied in fall-prevention training for older adults. Intelligent assistive devices are a class of devices that integrate modern information technologies such as sensor technology, Internet of Things, artificial intelligence, and human-computer interaction. By incorporating emerging technologies and embedding interactive and game-based elements, these devices can effectively enhance training adherence in older adults. In this article, we summarized the application types and intervention effects of intelligent assistive devices in fall-prevention training for older adults, and analyzed their advantages and limitations, aiming to provide references for the optimization of future fall-prevention training devices and the development of training programs.

【Key words】 aged; aging; intelligent assistive devices; fall prevention; elderly care

*This work was supported by the National Key Research and Development Program* (2023YFC3603905).

*Corresponding author: Pi Hongying, E-mail: pihongying@301hospital.com.cn*

随着人口老龄化和老年人身体机能的下降,跌倒成为一个日益严重的公共卫生问题,不仅损害老年人的身体运动功能,还对社会医疗资源造成巨大的消耗。研究表明,老年人跌倒的发生率为 30%~50%,跌倒性损伤的发生率为 10.2%[1],跌倒已成为 65 岁及以上老年人致死的首要原因[2,3]。尽管跌倒发生率高且会产生严重的后果,但它是一个可以预防和干预的健康问题[4]。近年来,智能设备辅助下的老年人防跌倒训练在国内外逐渐开展,且表现出良好的发展前景。本文对智能辅助设备在老年人防跌倒训练中的技术分类、应用效果及现存不足进行综述,为今后防跌倒训练设备的优化及训练方案的制订提供参考。

## 1 智能辅助设备概述及分类

智能辅助设备是指运用先进的传感器技术、信息技术、人工智能算法以及机械工程等技术的一系列高科技装置,在预防跌倒发生及辅助跌倒康复训练领域,具有简化训练任务、增加训练趣味、适配多元场景等优势[5,6]。国内外智能辅助设备按方式和原理主要分为两大类。

### 1.1 基于惯性感测技术的设备

惯性感测设备通过重力传感器感测等采集使用者肢体动作的物理参数,再经算法分析解算,还原出

收稿日期:2025-05-20;接受日期:2025-06-27

基金项目:国家重点研发计划(2023YFC3603905)

通信作者:皮红英,E-mail:pihongying@301hospital.com.cn

使用者在空间中的各类动作。该类设备可精准监测重心稳定性、摆动幅度等参数,能较好地适配老年人平衡训练,但存在移动不便的缺点。

### 1.2 基于光学感测技术的设备

光学感测技术是指一种利用光与物质相互作用的原理,对目标对象的物理、化学特性或状态进行检测和测量的技术。该类设备支持老年人大范围移动,适合老年人开展步态训练,但其存在测量结果反馈不准确的问题,且需要较大的训练空间。

## 2 智能辅助设备在老年人防跌倒训练中的应用效果

### 2.1 提高老年人的平衡能力

平衡能力下降是老年人跌倒的独立危险因素[7],相关研究显示,中国60岁及以上老年人中,约40%存在不同程度的平衡功能障碍,这类人群发生跌倒的风险是平衡功能正常者的2~3倍[8]。相较于传统平衡训练,基于智能设备辅助的平衡训练具有趣味性,能够提升老年人的训练依从性。如Lee等[9]对40名社区老年人进行平衡训练,试验组使用Balpro110设备进行信息技术(information technology, IT)融合锻炼,对照组进行传统锻炼,两组训练时间均为每周3次,每次30 min,干预周期为8周。结果显示,IT融合游戏化锻炼设备(Balpro110)具有与传统锻炼相似的锻炼效果,并且具有可及性、趣味性和记录数据的优势,可以作为老年人锻炼的替代方案。

### 2.2 提升老年人的认知功能

认知功能涵盖了记忆存储、注意力调控、感知觉整合以及思维语言等多维心理过程,随着年龄增加,老年人认知功能逐渐下降,这对其身心健康和生活质量产生很大影响[10]。智能设备辅助下的防跌倒训练可有效提升老年人的认知功能,从而降低老年人跌倒发生率。如Mirelman等[11]使用虚拟现实(virtual reality, VR)辅助的跑步机设备对282名老年人开展了认知功能训练,试验组使用该设备进行训练,每周3次,45 min/次,并根据参与者的表现调整训练强度;对照组使用普通跑步机进行同样的训练,两组干预时长均为6周。研究结果显示,训练结束6个月后,试验组跌倒发生率明显降低,且显著低于对照组。此外,该设备花费较少,因此值得推广。

### 2.3 改善老年人的步态稳定性

步态不稳是老年人跌倒的危险因素之一[12]。智能设备辅助下的防跌倒训练可以更有效改善老年人步态不稳的问题,且相较于传统步态训练,智能设备辅助下的步态训练更安全。Ghous等[13]开展了一项针对老年人的步态训练,试验组采用非沉浸式VR步态干预设备,对照组采用任务导向的电路训练,研究结果显示,非沉浸式VR干预和任务导向回路训练都有利于改善老年人的平衡、步态、生活质量、记忆力、注意力持续时间、执行功能等认知领域,但非沉浸式虚拟现实训练更有效、可行和安全,可以用于老年人预防跌倒训练。

### 2.4 提高老年人的肌肉力量

肌力下降是导致老年人跌倒的重要危险因素,增强肌力对于降低跌倒风险,预防跌倒有重要意义[14]。智能辅助设备下的防跌倒训练可显著促进老年人肌肉力量的提升。Shin等[15]开发了一款可穿戴髋部外骨骼机器人设备,当使用者穿戴可穿戴髋部外骨骼机器人走路,弯曲或伸展髋关节时,位于髋关节上的两个传感器会检测到这种运动,随后设备会对使用者的髋关节施加阻力,从而提升老年人肌肉力量。开发者对22例老年人开展肌力训练,试验组使用Bot Fit设备进行间歇步行锻炼,对照组进行常规训练,两组干预周期均为6周。结果显示,训练后试验组肌力显著优于对照组,表明Bot Fit增加了间歇步行锻炼的效率,能够促进老年人肌肉力量的提升,从而预防跌倒,是一种有价值的训练工具,但该设备成本较高,且很难完全适应每个使用者的个性化需求。

## 3 智能辅助设备在老年人防跌倒训练中的不足之处

虽然智能设备辅助下的防跌倒训练在老年人中表现出较好的潜力及可行性,但仍然存在以下问题。

### 3.1 设备方面

(1)空间局限性:设备的安装、拆卸、移动和存放不够便捷[16]。(2)参数反馈不准确:可穿戴设备可能在活动过程中发生移位或无法捕捉某些精细动作[17]。(3)难以满足个性化需求:现有设备多采用通用设计,无法针对个体差异精准适配。

### 3.2 训练方案方面

(1)智能设备辅助下的跌倒预防训练方案缺乏长期随访,无法评价其长期效益[15]。从本文所纳入的研究来看[9,11,18],平衡干预时长为3~8周,肌力干预时长为6~8周,认知能力干预时长则为4~6周,缺少对智能设备辅助下的防跌倒训练的长期效益探究。(2)自主感知能力不足:从本研究纳入的文献来看,大部分训练方案的制订依赖于智能设备的参数反馈,而忽略了老年人在训练过程中的主观感受(如训练过程中的腿部疲劳度等)[19],导致训练方案超出老年人的耐受范围。(3)缺乏社交互动:大部分训练方案都聚焦于老年人自我训练,并未进行集体训练或提供训练后沟通交流的机会[9,13,18]。

## 4 展望

(1)针对当前设备移动不便[16]和参数反馈不准确[20]问题,未来可联合人机交互学、材料工程学专家,开发可嵌入衣物的惯性传感器[21],并采用毫米波雷达与视觉传感器的融合方案,实现步态轨迹精准捕捉[13]。(2)在老年人防跌倒训练方案的构建中,可加入“集体训练”的元素,设计支持多人协同的 VR 训练游戏(虚拟广场舞、障碍赛),通过实时排行榜、团队挑战任务增强老年人的社交互动[22],并利用智能设备压力传感器采集到的足底压力分布情况,计算足底压力分布熵值[23,24]及加速度计捕捉的躯干摆动幅度标准差[25,26],量化评估老年人的平衡能力及步态稳定性。(3)在设备参数反馈基础上,可引入语音交互或触屏反馈,实时记录训练疲劳度、眩晕感等主观指标,避免训练超负荷[19]。

在未来的研究中,还应当开展至少 1 年的纵向研究,通过基于物联网的居家活动日志分析(如 1 年内的跌倒预警次数)等验证训练方案的长期效益。

**【参考文献】**


[1] Moreland B, Kakara R, Henry A. Trends in nonfatal falls and fall-related injuries among adults aged ≥65 years — United States, 2012-2018[J]. MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 2020, 69(27): 875-881. DOI: 10.15585/mmwr.mm6927a5.

[2] 刘庭, 皮红英, 苏清清, 等. 北京市门诊老年人跌倒风险与躯体功能的相关性[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2023, 22(1): 1-5. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2023.01.001.

[3] 刘思琪, 高远, 苏清清, 等. 社区老年人不同跌倒恐惧水平的影响因素[J]. 中华老年多器官疾病杂志, 2025,24(5): 331-335. DOI: 10.11915/j.issn.1671-5403.2025.05.069.

[4] Ye PP. Are falls the health concern only for the older population? [J]. Lancet Reg Health West Pac, 2021, (12): 100186. DOI: 10.1016/j.lanwpc.2021.100186.

[5] Heo M, Kang SR, Yu M, *et al*. The development of split-treadmill with a fall prevention training function[J]. Technol Health Care, 2023, 31(4): 1189-1201. DOI: 10.3233/thc-220392.

[6] Grewal GS, Sayeed R, Schwenk M, *et al*. Balance rehabilitation: promoting the role of virtual reality in patients with diabetic peripheral neuropathy[J]. J Am Podiatr Med Assoc, 2013, 103(6): 498-507. DOI: 10.7547/1030498.

[7] Lin XZ, Meng RL, Peng DD, *et al*. Cross-sectional study on prevalence and risk factors for falls among the elderly in communities of Guangdong province, China[J]. BMJ Open, 2022, 12(11): e062257. DOI: 10.1136/bmjopen-2022-062257.

[8] 马微波, 刘悦文, 郭琪, 等. 老年人平衡功能障碍的多成因跌倒分析[J]. 中国康复, 2020, 35(10): 547-551. DOI: 10.3870/zgkf.2020.10.010.

[9] Lee EL, Ko MH, Shin MJ, *et al*. The effect of convergence gamification training in community-dwelling older people: a multicenter, randomized controlled trial[J]. J Am Med Dir Assoc, 2022, 23(3): 373-378.e3. DOI: 10.1016/j.jamda.2021.05.041.

[10] 艾亚婷, 胡慧, 王凌, 等. 社区老年人认知功能与抑郁水平的相关性研究[J]. 护理学杂志, 2019, 34(16): 95-98. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2019.16.095.

[11] Mirelman A, Rochester L, Maidan I, *et al*. Addition of a non-immersive virtual reality component to treadmill training to reduce fall risk in older adults (V-TIME): a randomised controlled trial[J]. Lancet, 2016, 388(10050): 1170-1182. DOI: 10.1016/s0140-6736(16)31325-3.

[12] 张慧鑫, 张瑞丽, 李玉芝, 等. 双重任务训练对养老院老年人步态与平衡功能的影响[J]. 护理学杂志, 2020, 35(2): 94-98. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2020.02.094.

[13] Ghous M, Masood Q, Nawaz Malik A, *et al*. Comparison of non-immersive virtual reality and task-oriented circuit training on gait, balance, and cognition among elderly population: a single-blind randomized control trial[J]. Games Health J, 2024, 13(3): 164-171. DOI: 10.1089/g4h.2022.0205.

[14] 程文昌, 霍少川, 刘付懿斐, 等. 等速肌力训练对老年人膝关节肌力和跌倒风险的影响[J]. 中国医药导报, 2022, 19(19): 107-110. DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2022.19.021.

[15] Shin JH, 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. DOI: 10.1016/j.jbmt.2024.04.056.

[16] Sturnieqs DL, Hicks C, Smith N, *et al*. Exergame and cognitive training for preventing falls in community-dwelling older people: a randomized controlled trial[J]. Nat Med, 2024, 30(1): 98-105. DOI: 10.1038/s41591-023-02739-0.

[17] Zahedian-nasab N, Jaberi A, Shirazi F, *et al*. Effect of virtual reality exercises on balance and fall in elderly people with fall risk: a randomized controlled trial[J]. BMC Geriatr, 2021, 21(1): 509. DOI: 10.1186/s12877-021-02462-w.

[18] 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. DOI: 10.26355/eurrev_202309_33580.

[19] Lima Rebêlo F, de Souza Silva LF, Donú F, *et al*. Immersive virtual reality is effective in the rehabilitation of older adults with balance disorders: a randomized clinical trial[J]. Exp Gerontol, 2021, 149: 111308. DOI: 10.1016/j.exger.2021.111308.

[20] Abd El-kafy EM, Alayat MS, Subahi MS, *et al*. C-mill virtual reality/augmented reality treadmill training for reducing risk of fall in the elderly: a randomized controlled trial[J]. Games Health J, 2024, 13(4): 258-267. DOI: 10.1089/g4h.2023.0162.

[21] Abou Ghaida H, Poffo L, Le Page R, *et al*. Effect of sensor size, number and position under the foot to measure the center of pressure (CoP) displacement and total center of pressure (CoPT) using an anatomical foot model[J]. Sensors (Basel), 2023, 23(10): 4848. DOI: 10.3390/s23104848.

[22] De Luca V, Qbilat M, Cuomo A, *et al*. Virtual reality solution to promote adapted physical activity in older adults: outcomes from VR2Care project exploratory study[J]. Front Public Health, 2025, 13: 1584406. DOI: 10.3389/fpubh.2025.1584406.

[23] Silva PMM, Silva LWM, Vieira ER, *et al*. Go across immersive technology: a preliminary study of the design and development of a system for gait training using virtual reality[J]. Games Health J, 2023, 12(6): 472-479. DOI: 10.1089/g4h.2023.0101.

[24] Hu Z, Li M, Wei J, *et al*. Assessing the impact of gait speed on gait stability using multi-scale entropy fused with plantar pressure signals[J]. Front Bioeng Biotechnol, 2024, 12: 1328996. DOI: 10.3389/fbioe.2024.1328996.

[25] Castiglia SF, Trabassi D, Conte C, *et al*. Multiscale entropy algorithms to analyze complexity and variability of trunk accelerations time series in subjects with Parkinson's disease[J]. Sensors (Basel), 2023, 23(10): 4983. DOI: 10.3390/s23104983.

[26] Skiba MB, Harker G, Guidarelli C, *et al*. Using wearable inertial sensors to assess mobility of patients with hematologic cancer and associations with chemotherapy-related symptoms before autologous hematopoietic stem cell transplant: cross-sectional study[J]. JMIR Cancer, 2022, 8(4): e39271. DOI: 10.2196/39271.


(编辑: 郑真真)