

人工智能应用于老年人跌倒的文献计量学分析

杨珊,吴艺新,何雨欣,信博,史盼盼,蒋文慧
(西安交通大学 护理学系,陕西 西安 710061)

【摘要】 目的 分析人工智能(artificial intelligence,AI)应用于老年人跌倒的研究热点和趋势,以期为我国老年跌倒研究提供思路。**方法** 在 Web of Science 与中国知网中检索 AI 应用于老年人跌倒的相关文献,使用 Excel 分析发文趋势、CiteSpace 对关键词进行可视化分析。**结果** 最终获得 515 篇英文文献、96 篇中文文献。年发文量总体呈上升趋势。研究热点显示 AI 在老年人跌倒预测、检测及预防方面备受关注。**结论** 近年来 AI 应用于老年人跌倒的研究热度持续增加,我国在该领域的发展滞后于国外。未来可在把握国际热点基础上,深化护理与 AI 领域合作,探索适宜我国国情的老年人精准跌倒预防与管理策略。

【关键词】 老年人;跌倒;人工智能;可视化;文献计量分析

doi:10.3969/j.issn.2097-1826.2024.04.015

【中图分类号】 R473.59 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 2097-1826(2024)04-0061-05

Bibliometric Analysis of Artificial Intelligence Applied to Studies in Falls in the Elderly YANG Shan, WU Yixin, HE Yuxin, XIN Bo, SHI Panpan, JIANG Wenhui (Department of Nursing, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, Shaanxi Province, China)

Corresponding author: JIANG Wenhui, TEL: 029-82657015

【Abstract】 Objective To analyze the research hotspots and trends in the field of artificial intelligence(AI) applied to elderly falls, and to provide ideas for studies in this field. **Methods** The literature related to AI applied to studies in falls in the elderly were searched in Web of Science and CNKI. Excel was used to analyze the trend of publications, and CiteSpace to visualize the keywords. **Results** A total of 515 English publications and 96 Chinese publications were obtained. The annual number of publications showed an accelerating growth. The research hotspots showed that AI has drawn much attention in fall prediction, detection and prevention in the elderly. **Conclusions** In recent years, the research on AI applied to studies in falls in the elderly has continued to increase, and the development of AI in this field in China lags behind that abroad. In the future, the cooperation between nursing and AI can be deepened on the basis of grasping the international hot spots, and the precise fall prevention and management strategies for the elderly can be explored according to China's conditions.

【Key words】 the elderly; fall; artificial intelligence; visualization; bibliometric analysis

[Mil Nurs, 2024, 41(04): 61-65]

随着老龄化进程加快,跌倒成为老年群体面临的主要危险因素之一^[1]。研究^[2]表明,65岁以上老年人中,每年约有30%的人经历过一次跌倒;跌倒引起的骨折、头部受伤、活动受限及跌倒恐惧等负面后果给个人、家庭及社会造成了沉重负担^[3]。因此,早期的跌倒风险预测、检测及治疗,有助于为高风险老年人制定精准干预计划并及时救援,对预防跌倒及其不良后果尤为重要。近年来,人工智能(artificial intelligence,AI)技术日趋成熟,应用领域不断

拓展,已广泛应用于疾病筛查、诊断、新药开发、决策支持等方面并取得良好成效^[4-5],AI在数据处理上高效、准确的优势为老年人精准跌倒预防与管理提供了契机。鉴于此,为深入剖析AI在老年人跌倒领域的应用,本研究基于CiteSpace 6.1.R4软件,拟收集Web of Science和中国知网数据库中AI在老年人跌倒领域的中英文文献,分析其研究热点及发展趋势,为促进我国AI应用于老年人跌倒预防、管理实践提供参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源与检索策略 以Web of Science核心合集数据库和中国知网为主要数据来源,检索时间段为建库至2023年10月8日。英文检索策略:

【收稿日期】 2023-12-14 **【修回日期】** 2024-03-08
【基金项目】 国家社会科学基金项目(22BGL253);中国科协研究生科普能力提升项目(KXYJS2022077)
【作者简介】 杨珊,硕士在读,电话:029-82657015
【通信作者】 蒋文慧,电话:029-82657015

TS=(“artificial intelligence” OR “machine learning” OR “deep learning”)AND(“elder * ”OR “old” OR “aged” OR “senior * ”)AND(“fall * ”),中文检索策略:主题=(人工智能+机器学习+深度学习)AND(老年+老年人)AND(跌倒+摔倒)。纳入与研究主题相关的研究类及综述类文献,排除重复文献、非英文及非中文文献。

1.2 研究方法 使用 Excel 进行发文趋势分析, CiteSpace 6.1.R 4 软件完成对 AI 应用于老年人跌倒领域的中英文文献记录的可视化分析。分别导入数据,时间跨度分别为 2013—2023、2005—2023 年,时间切片设置为 1,“TOP N”设定为 50,修剪方式为 pathfinder、pruning sliced networks。选择关键词为节点类型进行可视化分析,并探索突现关键词。

2 结果

2.1 发文量分析 初步检索英文文献 1088 篇,中文文献 103 篇,排除与主题不相关、文献类型不符、重复、非中英文文献后,共纳入英文文献 515 篇,中文文献 96 篇。国外自 2005 年开始 AI 在老年人跌倒领域的研究,2017 年后发文量剧增,2017—2023 年发文量占总发文量的 93%。我国起步较晚,于 2013 年

开始相关研究,2017 年后发文量也逐渐增长,但总体仍远低于国外,见图 1。

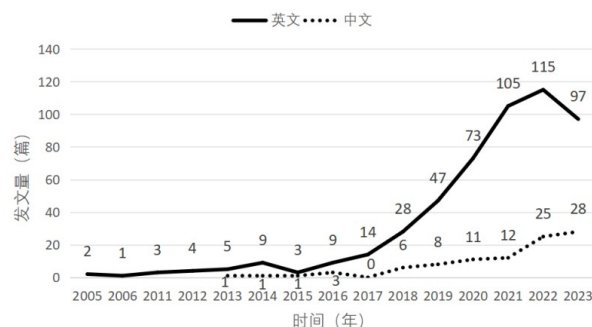


图 1 AI 应用于老年人跌倒研究发文量趋势图

2.2 关键词分析

2.2.1 关键词共现分析 CiteSpace 得到的英文文献共现分析网络节点数为 337,连线数为 1971,密度为 0.0348;中文文献共现分析网络节点数为 119,连线数为 209,密度为 0.0298。国内外出现频次排名前 10 的关键词见表 1,分析结果可知,国外目前 AI 在老年人跌倒领域的应用研究主要围绕跌倒检测、跌倒预测展开,而国内主要聚焦于跌倒检测。

表 1 国内外 AI 应用于老年人跌倒研究的高频关键词

排序	英文关键词	频数	中心性	中文关键词	频数	中心性
1	fall detection(跌倒检测)	173	0.25	跌倒检测	41	0.73
2	machine learning(机器学习)	169	0.07	深度学习	18	0.32
3	deep learning(深度学习)	106	0.13	机器学习	18	0.38
4	older adult(老年人)	75	0.06	摔倒检测	12	0.29
5	system(系统)	53	0.09	老年人	8	0.25
6	classification(分类)	48	0.19	行为识别	6	0.11
7	wearable sensor(可穿戴设备)	46	0.05	特征提取	6	0.02
8	artificial intelligence(人工智能)	44	0.15	跌倒	5	0.15
9	detection system(检测系统)	37	0.07	目标检测	5	0.06
10	risk factors(风险因素)	35	0.02	智能手机	4	0.07

2.2.2 关键词聚类分析 聚类图谱模块值 $Q > 0.3$ 表示聚类结构显著,平均轮廓值 $S > 0.5$ 表示聚类结果合理, $S > 0.7$ 表示聚类结果非常显著^[6]。英文图谱(图略) $Q = 0.5262$, $S = 0.7797$,中文图谱(图略) $Q = 0.7074$, $S = 0.9445$,表明聚类结构显著且结果可信。聚类序号越小包含关键词越多、规模越大^[7]。英文文献共形成 8 个聚类:fall detection(跌倒检测)、wearable sensors(可穿戴设备)、deep learning(深度学习)、fall prevention(跌倒预防)、ambient assisted living(环境辅助生活)、machine learning(机器学习)、artificial intelligence(人工智能)和 assisted living(辅助生活)。中文文献共形成 7 个聚类:

跌倒检测、行为识别、老年人、跌倒、深度学习、人工智能、包容性。

2.2.3 关键词突现分析 关键词突现用于挖掘研究领域前沿和发展趋势^[8]。国内外研究中突现强度最大的关键词分别是摔倒检测和 senior citizen(老年人);突现时间最长的关键词分别是传感器和 support vector machines(支持向量机)。国外研究中,internet of things(物联网)和 transfer learning(迁移学习)从 2021 年开始突现持续至今,未来会继续侧重与这 2 个突现词相关的研究。国内自 2020 年开始关注摔倒检测,未来可能会继续进行该方面研究。具体见图 2、3。

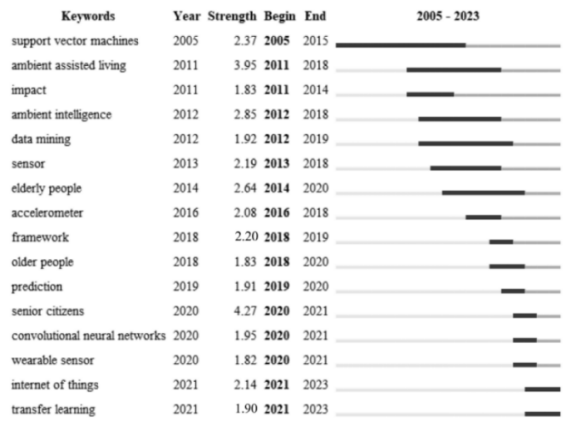


图2 国外 AI 应用于老年人跌倒研究关键词突现图谱

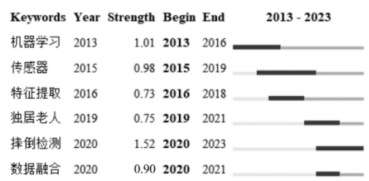


图3 国内 AI 应用于老年人跌倒研究关键词突现图谱

3 讨论

3.1 发文量分析 发文量趋势图显示,国内外 AI 应用于老年人跌倒领域发文量总体均呈上升态势,2017 年后增速明显加快,2017—2023 年发文量分别占总发文量的 93.75%、93.00%。一方面,2017 年我国发布“新一代人工智能发展规划”^[9],首次将 AI 制定为国家发展战略;另一方面,这一趋势与计算资源可用性增加及 AI 在医学领域的日益普及相吻合。我国总体发文量明显滞后于国外、进展缓慢,表明我国在该领域仍有较大的探索空间,可能与我国起步晚,发达国家在技术、教育、经济等方面的优势有关,提示我国应加强与发达国家的交流合作,共同提高该领域生产力及研究质量。

3.2 AI 在老年人跌倒领域的研究热点

3.2.1 老年人跌倒预测 AI 在老年人跌倒预测方面的研究集中于通过构建和验证预测模型,识别高危老年人群并分类,以此制定个性化干预措施。现有模型数据主要来源于两方面:一是富含海量信息的电子健康记录与大型公共数据库;二是可穿戴设备测量的步态数据。海量的信息为跌倒预防提供契机,但传统的统计学方法在处理数据上存在缺陷,AI 可以更全面、准确的识别跌倒风险因素。Dormosh 等^[10]基于初级保健电子健康记录结合 Bolasso 算法构建社区老年人跌倒预测模型,最终预测模型包括年龄、性别、跌倒史、2 种药物和 5 种疾病。此外,我国学者选择 5 种机器学习方法利用 CHARLS 数据

库构建了社区老年人跌倒风险预测模型,提示跌倒预防计划应重点关注跌倒史、身体机能、心理因素和家庭环境^[11]。另一方面,有学者引入可穿戴设备利用加速计和陀螺仪等传感器测量各种步态特征,用一种或多种 AI 算法比较实现跌倒风险预测^[12]。目前实验地点逐渐由实验室环境向生活环境转换,并且在帕金森病患者^[13]、脑卒中患者^[14]及社区老年人^[15]中取得成效。然而,我国基于可穿戴设备进行跌倒预测的研究较少。相较于已有电子健康记录或公共数据库,可穿戴设备结合 AI 算法可以长期动态监测步态,且便携、实用、成本低,为老年人在临床及社区环境的跌倒风险评估提供了准确有效的替代方法,对护理人员筛选高危人群分级管理、制定多因素跌倒预防计划,提高干预精准性至关重要。因此,我国应借鉴发达国家经验,加速探索可穿戴设备在跌倒预测中的应用;考虑提升 AI 算法性能、扩大样本量、增加可能提高预测性能的变量,以此优化预测模型分类质量;大多数模型未进行外部验证,可考虑对模型进行外部验证以测试其在我国临床护理实践中的适用性。

3.2.2 老年人跌倒检测 跌倒检测的目的是在老年人发生跌倒时准确识别,落地前激活保护装置,减少跌倒损伤或快速预警,缩短救援时间^[16]。因实现方法不同分为可穿戴式及非可穿戴式系统。诸多研究证明,可穿戴设备结合随机森林^[17]、决策树^[18]和深度学习^[19]等检测老年跌倒的有效性,准确率由 92.0%至 99.9%不等。因佩戴传统设备易引起视觉或身体不适且应用时长有限,国外已有学者应用薄膜制造皮肤可穿戴设备,检测老年人跌倒的准确率为 98.5%^[20]。另一方面,非可穿戴式系统通过环境传感器或计算机视觉检测跌倒发生。如 Clemente 等^[21]将地板振动作为识别源,以地板振动的数据结合支持向量机实现跌倒检测,准确率达到 95.14%。但此类传感器受限于固定场所,价格昂贵,易受噪声干扰产生误报。基于视觉设备的方法因免佩戴、不受限于固定场所,具有高特异性和灵敏度的特点,成为跌倒检测中应用最广泛的方法^[22],但会受背景光线、人群遮挡。由于不同方法均存在一定缺陷,国外学者尝试探索多模式跌倒检测系统^[23]。我国研究方向与国外类似,研究内容不止局限于一种方法,也有学者尝试将可穿戴式与非可穿戴式系统结合^[24],以弥补单一方法的缺陷。在人口老龄化、慢性病高发、家庭功能弱化的背景下,借助 AI 技术实现对医院、社区、养老机构不同身体状况老人的跌倒检测,可提高其居住环境安全性,最大限度减轻跌倒引起的不良后果。因此,我国学者应充分探索跌倒风险检测

技术,今后不仅要关注如何提高可穿戴设备的舒适性及粘性,同时应聚焦于传统机器学习与深度学习结合,使多模式跌倒检测系统适应于现实复杂场景。另外,可在护理高等教育中开设相关课程,积极培育 AI 与护理专业跨学科人才,使护理人员参与系统开发过程,以确保技术开发成果更贴合临床护理实践。

3.2.3 老年人跌倒预防 目前,全球有关机器人辅助干预在老年人跌倒中的报道并不多。机器人辅助干预以提供步态训练、避开障碍物、保持平衡^[25]来防止老年人跌倒。有研究^[26]表明,步态训练可诱导大脑可塑性、增加突触强度和增强功能回路,改善帕金森患者的行为。Bevilacqua 等研究^[27]将 195 名老年帕金森患者分为 3 组,一组仅接受传统康复治疗,另外两组先接受 30 min 传统康复治疗,再分别接受 20 min 不同系统提供的机器人辅助治疗,旨在评估机器人辅助康复治疗效果,从而改善步态、降低跌倒风险。另一项在多发性硬化症患者中进行的随机对照试验^[28]证明,机器人辅助步态训练结合物理疗法优于传统步态训练。防摔机器人会激活机器人加以刹车来保持老年人的平衡,机器人停止运动的同时老年人也停止运动^[29]。现阶段,我国已有关于步态训练机器人的研制研究^[30],但尚未发现将其应用于辅助干预。机器人辅助干预可降低跌倒发生率、死亡率,减少财务支出,缓解护理人员短缺,提示我国学者应借鉴国外经验,针对早中晚期帕金森病、卒中后、髌部骨折等高危老年人群特点改善机器人性能、提升用户体验,加速成果转化。另外,护理人员应积极开展本土化高质量随机对照研究以验证机器人辅助干预防止跌倒的有效性。

3.3 AI 在老年人跌倒领域的发展过程及研究趋势

关键词突现图谱显示 AI 在老年人跌倒领域的发展过程可分为两个阶段。2017 年之前为初始阶段,国外倾向于使用传统支持向量机结合传感器构建环境辅助生活系统来检测老年人跌倒,我国与之大致相同。2017 年至今是高速发展阶段,国外焦点转向优化的卷积神经网络,且开始向跌倒预测领域探索,同期我国比较关注独居老人的跌倒检测研究。国外自 2021 年以来一直以物联网和迁移学习为研究核心。物联网与 AI 构建的智能环境,不仅可以全面、客观、连续地监控独居、衰弱及帕金森病等高跌倒风险老年人群,并可以有效缓解护理人员短缺^[31]。此外,迁移学习^[32]将已有领域的知识转移到新领域的特点,可克服老年人活动数据稀缺、收集成本高^[33]的困难,但目前在本领域的报道并不多。突现图谱显示,我国未来仍趋向于跌倒检测研究。现阶段在人

口老龄化严重、独居、慢病老人激增、护理人员短缺的背景下,我国学者应把握国际热点,深化护理与 AI 领域的合作,积极探究基于物联网技术与迁移学习等优化 AI 算法的智能环境,有助于在住院、居家、养老机构环境中为老年人提供精准跌倒预防与管理策略,从而有效降低跌倒发生率及不良后果,改善老年人生活质量,促进健康老龄化。

4 小结

本研究运用 CiteSpace 软件分析了 Web of Science 核心数据库与中国知网中老年人跌倒领域 AI 应用研究的相关文献,清晰、直观地展现了近年的研究热点和趋势,为我国深入挖掘 AI 在该领域的应用及确定未来研究方向提供借鉴。今后研究不仅要聚焦于跌倒预测、检测的准确性及高效性,而且在开发过程中应充分考虑护理人员及老年人意见,使其更贴合临床实践,同时开展现实研究评价 AI 应用于老年人的实际效果;也可进一步探索 AI 辅助干预在老年人中的应用及效果评价,为其跌倒预防与管理提供智能解决方案。

【参考文献】

- [1] COLLABORATORS G D A I. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017 [J]. *Lancet*, 2018, 392(10159): 1789–1858.
- [2] ZHU H, HU K, LIU S, et al. Systematic causality mapping of factors leading to accidental falls of older adults [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9461379/>. DOI: 10.1016/j.puhip.2020.100045.
- [3] MEKKODATHIL A, EL-MENYAR A, KANBAR A, et al. Epidemiological and clinical characteristics of fall-related injuries: a retrospective study [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7388431/>. DOI: 10.1186/s12889-020-09268-2.
- [4] CHEW H S J, ACHANANUPARP P. Perceptions and needs of artificial intelligence in health care to increase adoption: scoping review [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8800095/>. DOI: 10.2196/32939.
- [5] RANKA S, REDDY M, NOHERIA A. Artificial intelligence in cardiovascular medicine [J]. *Curr Opin Cardiol*, 2021, 36(1): 26–35.
- [6] 郝嘉树. 基于关键词聚类的领域本体层次关系半自动构建研究 [J]. *情报科学*, 2016, 34(4): 59–61.
- [7] 曾庆威, 王菲菲, 罗梦娜, 等. 脑卒中照顾者研究的文献计量学及可视化分析 [J]. *解放军护理杂志*, 2022, 39(6): 64–67.
- [8] 曾庆玲, 王庆梅, 杨雨卉, 等. 基于 CiteSpace 体外膜肺氧合护理研究热点及发展趋势的可视化分析 [J]. *军事护理*, 2023, 40(9): 26–30.
- [9] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知 [S/OL]. [2023-12-01]. <https://www.gov.cn/>

- zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm.
- [10] DORMOSH N, SCHUT M C, HEYMANS M W, et al. Development and internal validation of a risk prediction model for falls among older people using primary care electronic health records [J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2022, 77(7): 1438-1445.
- [11] CHEN X, HE L, SHI K, et al. Interpretable machine learning for fall prediction among older adults in China [J]. *Am J Prev Med*, 2023, 65(4): 579-586.
- [12] LU L, ZHANG J, XIE Y, et al. Wearable health devices in health care: narrative systematic review [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7683248/>. DOI: 10.2196/18907.
- [13] ULLRICH M, ROTH N, KUDERLE A, et al. Fall risk prediction in Parkinson's disease using real-world inertial sensor gait data [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2023, 27(1): 319-328.
- [14] GANGWANI R, DUSANE S, WANG S, et al. Slip-fall predictors in community-dwelling, ambulatory stroke survivors: a cross-sectional study [J]. *J Neurol Phys Ther*, 2020, 44(4): 248-255.
- [15] LOCKHART T E, SOANGRA R, YOON H, et al. Prediction of fall risk among community-dwelling older adults using a wearable system [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8545936/>. DOI: 10.1038/s41598-021-00458-5.
- [16] HUSSAIN F, HUSSAIN F, EHATISHAM-UL-HAQ M, et al. Activity-aware fall detection and recognition based on wearable sensors [J]. *IEEE Sens J*, 2019, 19(12): 4528-4536.
- [17] MSAAD S, CORMIER G, CARRAULT G. Detecting falls and estimation of daily habits with depth images using machine learning algorithms [J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2020(2020): 2163-2166.
- [18] BEYRAMI S M G, GHADERYAN P. A robust, cost-effective and non-invasive computer-aided method for diagnosis three types of neurodegenerative diseases with gait signal analysis Pubmed [J/OL]. [2023-12-01]. DOI: 10.1016/j.measurement.2020.107579. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224120301160>.
- [19] TUNCA C, SALUR G, ERSOY C. Deep learning for fall risk assessment with inertial sensors: utilizing domain knowledge in spatio-temporal gait parameters [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2020, 24(7): 1994-2005.
- [20] LEE Y, POKHAREL S, MUSLIM A A, et al. Experimental study: deep learning-based fall monitoring among older adults with skin-wearable electronics [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10140987/>. DOI: 10.3390/s23083983.
- [21] CLEMENTE J, LI F, VALERO M, et al. Smart seismic sensing for indoor fall detection, location, and notification [J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2020, 24(2): 524-532.
- [22] ESPINOSA R, PONCE H, GUTIÉRREZ S, et al. A vision-based approach for fall detection using multiple cameras and convolutional neural networks: a case study using the UP-Fall detection dataset [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482519303816>. DOI: 10.1016/j.compbiomed.2019.103520.
- [23] USMANI S, SABOOR A, HARIS M, et al. Latest research trends in fall detection and prevention using machine learning: a systematic review [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8347190/>. DOI: 10.3390/s21155134.
- [24] 钱庆庆. 基于混合方式的室内老人跌倒检测系统的方法实现 [D]. 南京: 南京邮电大学, 2023.
- [25] WERNER C, ULLRICH P, GERAVAND M, et al. A systematic review of study results reported for the evaluation of robotic rollators from the perspective of users [J]. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 2018, 13(1): 31-39.
- [26] ZIKEREYA T, SHI K, CHEN W. Goal-directed and habitual control: from circuits and functions to exercise-induced neuroplasticity targets for the treatment of Parkinson's disease [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10597699/>. DOI: 10.3389/fneur.2023.1254447.
- [27] BEVILACQUA R, MARANESI E, DI ROSA M, et al. Rehabilitation of older people with Parkinson's disease: an innovative protocol for RCT study to evaluate the potential of robotic-based technologies [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7222584/>. DOI: 10.1186/s12883-020-01759-4.
- [28] CONZA C, NEGRINI F, DI MATTEO B, et al. Robot-assisted gait training in patients with multiple sclerosis: a randomized controlled crossover trial [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8306232/>. DOI: 10.3390/medicina57070713.
- [29] SAM R Y, LAU Y F P, LAU Y, et al. Types, functions and mechanisms of robot-assisted intervention for fall prevention: a systematic scoping review [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167494323001954?via%3Dihub>. DOI: 10.1016/j.archger.2023.105117.
- [30] 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.
- [31] ALFAYEZ F, BHATIA KHAN S. IoT-blockchain empowered Trinet: optimized fall detection system for elderly safety [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10552752/>. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1257676.
- [32] LI W, HACID H, ALMAZROUEI E, et al. A comprehensive review and a taxonomy of edge machine learning: requirements, paradigms, and techniques [J]. *AI*, 2023, 4(3): 729-786.
- [33] MARAY N, NGU A H, NI J, et al. Transfer learning on small datasets for improved fall detection [J/OL]. [2023-12-01]. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9919743/>. DOI: 10.3390/s23031105.

(本文编辑:王园园)