

· 科研综述 ·

可穿戴传感器在老年人功能状态评估中的应用及研究进展

梁 燕¹, 梁 鸿^{2*}

(1. 复旦大学护理学院, 上海 200032; 2. 复旦大学社会发展与公共政策学院)

Application and research progress of wearable sensors in functional status assessment of older adults

LIANG Yan, LIANG Hong

(School of Nursing, Fudan University, Shanghai 200032 China)

摘要: 分析老年人功能状态评估的现状和存在的问题, 归纳总结可穿戴传感器在老年人功能状态评估中的具体应用和研究进展, 旨在为老年人临床护理评估的实践和科学研究提供参考。

关键词: 可穿戴传感器; 老年人; 功能状态; 评估; 综述

Keywords wearable sensor; older adults; functional status; assessment; literature review

中图分类号: R473.59 文献标识码: A doi:10.12102/j.issn.1009-6493.2020.06.027

随着人口结构变化, 老年人口增多, 健康老龄化成为重要的社会目标之一。老龄化带来的功能下降会导致老年人身体和精神功能丧失, 而早期识别老年人功能状态改变有利于护理人员采取有效干预手段, 降低老年人跌倒风险, 帮助老年人维持生活自理能力。在“在地老化(aging in place)”理念日益盛行的背景下, 如何精准、高效地对社区居家老年人功能状态进行评估, 成为亟待解决的问题。传统依靠人力进行的功能状态评估的方法耗费时间较长, 人力资源需求较大且客观性不足, 随着信息技术发展, 国外老年人功能状态评估开始借助技术以达到扩展评估维度, 增加评估频次, 实现长期、持续监测的目的。本研究围绕可穿戴传感器在老年人功能状态评估中的应用及研究进行综述, 以为临床护理实践和科学研究提供参考和借鉴。

1 老年人功能状态评估的现状和问题

老年人功能状态评估是一个广义概念, 包括老年评估、老年人日常生活活动能力和工具性日常生活活动能力评估等。其中, 老年评估(geriatric assessment)

指利用设计良好的工具, 明确与功能和认知下降相关的早期改变。其按照评估内容通常包括对老年人能力、身体健康状况、认知和心理健康、社会环境的评估^[1-2]; 按照评估目的通常包括老年综合评估^[3]和老年人失能等级评估^[4], 前者旨在确定老年人在医学、精神心理、社会行为、环境及其功能状态方面所具有的能力和存在的问题, 进而为老年人制定一个综合协调的、短期或长期的诊疗、康复和照护计划, 后者更注重给出评定等级。

1.1 老年综合评估 多数老年综合评估发生在医院等医疗专业场所。但理想状态下, 评估应该发生在老年人家里甚至在日常生活中进行。这是由于医护人员采取评估行动能力的标准化医学测试时(如计时起立行走、30 s 椅子站立测试、4 阶段平衡测试等), 评估对象可能在医护人员面前加倍努力, 从而显示出人为的夸张表现; 也可能因测试焦虑或其他因素显示出不如平时的表现^[5]。其原理可依据海森堡不确定原则(the Heisenberg uncertainty principle)予以解释, 该理论认为系统的测量在不影响系统本身的情况下是无法做到的, 用其来解释老年人行动能力评估, 则提示在实验室或临床环境下做出的测试无法完全反应日常现实。

1.2 老年人失能等级评估 老年人失能等级评估正成为国内学者关注的热点。2016年6月, 国家人力资源和社会保障部下发《关于开展长期护理保险制度试点的指导意见》, 探索建立社会保障五险之外的“第六

基金项目 上海市医疗保险协会课题, 编号: YBXH-KT201906

作者简介 梁燕, 讲师, 博士

***通讯作者** 梁鸿, E-mail: lianghong@fudan.edu.cn

引用信息 梁燕, 梁鸿. 可穿戴传感器在老年人功能状态评估中的应用及研究进展[J]. 护理研究, 2020, 34(6): 1042-1045.

大独立险种”——长期护理保险。长期护理失能等级评估工具作为该制度设计的第一步^[6-8],不仅关系到长期护理保险受益人群的认定^[9],也关系到护理服务内容制定、基金财务规模及制度的长远运行^[10]。但就目前而言,对失能老年人的精准评估还是制约我国制度发展的重要瓶颈^[4,7],长期护理保险评估或失能老年人评估均包括了对老年人日常生活活动能力(ADL)的评估,尤其在国内外长期护理保险试点城市,广泛采用日常生活活动能力评估量表或巴氏量表(Barthel Index, BI)来评定失能老年人功能状态^[8]。这些量表虽然简易成熟,但在操作过程中主观性较强^[7-8],且受道德风险、社会文化因素和系统偏差影响,评估中一些基于询问或提问的条目,如日常生活活动力量表和巴氏量表中“您能否自己吃饭?能否自己穿衣?”等条目可能因为评估对象期望享受长期护理险待遇而产生道德风险。此外,受社会文化因素影响,一些老年人不愿意承认自己做不到,尤其在面临“您大小便能否自己控制?”等问题时不能如实回答,也可能影响评估结果的客观性,无法满足老年人失能等级评估的质量要求。

2 可穿戴传感器在老年人功能状态评估中的具体应用

可穿戴设备为实现老年人居家及日常环境中的身体活动持续监测提供了可能,监测数据为老年精准评估提供了辅助信息。

2.1 评估身体衰弱情况 Zhong等^[11]选取50名50岁以上社区老年人,事先经过评估将其分为未衰弱组和衰弱前组,通过为其佩戴智能手环,研究者分析了两组老年人步态参数差异。Lee等^[12]借助手环对医院卧床病人进行20 s肘快速伸展测试,提出自动鉴别病人衰弱亚型的算法。Zhou等^[13]借助计算机任务追踪平台,让不同衰弱类型的受试者踝关节佩戴传感器后在电脑屏幕前站立,并通过旋转踝关节完成电脑上的虚拟任务,其在进一步分析监测数据后实现了衰弱亚型的自动辨别。

2.2 评估行动/移动情况 老年人的生活质量与其行动/移动(mobility)密切相关。在行动能力方面,评估者常采用计时起立行走(time up and go, TUG)和简身体能状况表现量表(Short Physical Performance Battery, SPPB)进行评估,这2个测试涉及的内容与跌倒风险、未来的失能、护理院入院、认知症以及其他重要的健康结局相关。但研究对象的受试表现也会受到主观因素影响,因此无法完全反映真实的日常生活活动能力。而借助传感器监测,可以提高老年人行动状态

评估的准确性,并能与传统评估量表之间建立联系,方便在不同场景下选择不同工具,并对结果进行比较。如Iluz等^[14]持续3 d监测3类人群(年轻人、普通老年人以及有跌倒史的老年人)在日常生活中“坐一走”“走一坐”转换情况,对实时数据特征进行分析,并利用机器学习算法评估、区分3类人群后,发现准确率高于传统实验室评估。Reiter等^[15]报道了借助传感器和录像对医院重症监护室卧床病人活动分析的结果,建立了传感器数据和ICU活动量表之间的联系。Zhang等^[16]报道了通过传感器数据分析椅子上上升运动(chair rise)峰值功率和临床测试结果之间的相关性。Regterschot等^[17]调查基于传感器的“坐到站(sit-to-stand, STS)”数据,分析了其与老年人临床功能状态测试结果之间的相关性。这些探索性研究为后续自动监测和评估,节约人力、提升效率带来可能。

2.3 评估跌倒风险和跌倒行为 Aicha等^[18]利用老年人传感器监测数据库信息,比较了3种深度学习模型[卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)、长短期记忆(long short-term memory, LSTM)以及这两种混合模型(ConvLSTM)]同基准模型的差异,结果发现:深度学习模型,尤其是多任务学习,能有效地基于传感器信息评估跌倒风险。Lee等^[19]对传感器监测数据进行多维度信息熵分析(the multiscale entropy, MSE),对身体平衡状态进行定量评价,并将评价结果同现有临床评价方法进行比较,为利用监测数据自动判定跌倒行为提供了参考。Greene等^[20]将传感器监测数据和临床测试结果相结合,使跌倒风险分类准确率由单独依靠传感器监测数据或临床测试时的73.6%和68.8%上升为76.0%。Sun等^[21]利用传感器技术对老年人跌倒风险评估,结果显示:传感器技术可以提供准确、价格低廉、易操作的跌倒风险评估。但由于测量参数、评估工具、传感器位置、移动任务以及模型技术的差异,在预测未来跌倒能力方面还需进一步研究。

2.4 评估日常生活活动情况 老年人日常生活活动测量的常用方法是利用老年身体活动量表(Physical Activity Scale for the Elderly, PASE)、国际身体活动问卷(the International Physical Activity Questionnaire, IPAQ)^[22]进行自我报告,这种方法常因回忆偏差或社会期望而出现偏差。为此,有研究者使用项链式的传感器监测衰弱和非衰弱老年人的日常身体活动情况,通过让被试者执行标准化动作方案以及自由活动,比较了基于腿部活动时间(time-on-legs, TOL)和基于状态分类时间(包括躺、坐、站、走)2种算法在判断衰弱

和非衰弱老年人时的敏感度、具体性和一致率^[23],结果显示:项链传感器和基于腿部活动时间的算法,在判断衰弱和非衰弱老年人的居家身体活动时是可接受的、有效的评估工具;而基于状态分类对步态和姿势的评估需要进一步研究。Ayachi等^[24]开发了基于传感器信息和具体时间点事件的算法,针对日常生活活动相关任务进行自动分段,为进一步判断老年人行动类型亚型奠定了基础。

2.5 评估具体疾病中的行动情况 Ma等^[25]借助传感器信息建立分类算法后发现:可穿戴传感器对青光眼病人步态特征的分辨准确率高于10 m步行测试。Ojeda等^[26]将传感器放置在脊髓损伤病人上肢、手腕和轮椅底部不同位置,评估使用轮椅的人群上肢移动情况后认为,借助传感器监测病人上肢对轮椅的推力,可以为监测轮椅使用者上肢疼痛和预防受伤提供参考。

3 传感器监测、判断老年人运动状态的信效度

传感器监测数据可以用来判断老年人身体姿势(如躺、坐或站)、姿势转换(例如从坐到站)以及其他有目的的活动(如移动或步行)状态。为检验应用传感器监测、判断不同活动状态的效度,研究者通常将基于传感器监测的数据与观察^[27-28]、录像^[29]、其他传感器数据^[30]或研究对象的自我报告^[17]进行比较,也有研究通过重复测量重症病人的记步数来检验传感器监测数据的信度^[31]。

3.1 身体姿势或姿势转换 研究显示:在老年人或脑卒中病人大腿部位放置传感器,基于传感器数据判断佩戴者静坐(躺或坐)或站立的时间,同录像中得出的结果一致^[32]。当放置组合传感器时,可以区别躺和坐^[32],其准确率分别为98.3%(区间为90.81%~100.00%)和96.9%(区间为95.28%~98.61%)^[33]。而在大腿和胸骨部位同时放置传感器,可以区分从躺到坐、从坐到站的姿势转换^[33]。

3.2 活动强度 有研究者采用手环监测数据评价3种活动强度测量模式[过零检测模式(zero crossing mode, ZCM)、时间阈值模式(time above threshold mode, TATM)、数字积分模式(proportional integrated mode, PIM)]之间是否存在差异,结果显示:3种模式在评价有认知症的老年人的活动强度方面没有差异;ZCM和TATM模式在评价腹部大手术后病人的活动强度时,跟病人自我报告结果的一致性为80%(标准差为12%);PIM、ZCM或TATM模式在监测重症监护室病人的活动频率和持续时间时,与观察得到的结果的一致性分别为76%(区间为40%~100%)和66%

(区间为40%~80%)^[34]。有研究者认为:基于单一传感器监测到的活动强度数据判断重症监护室病人是否发生某项具体活动(如起床)存在困难,其主要原因是重症监护室病人活动受限,被动的肢体运动和翻身较多,导致数据收集受限^[35]。

3.3 计步 有研究者将商用传感器,如Actigraph GT3X+, StepWatch 3.0和AMP 331佩戴在老年住院病人的踝关节处,通过与观察得到的数据进行比较,发现传感器在计步方面有很好的效果^[28]。

4 小结

信息技术的发展为老年人功能状态评估提供了新方法和手段。具体应用包括借助可穿戴传感器评估身体衰弱情况、评估行动/移动情况、评估跌倒风险和跌倒行为、评估日常生活活动情况、评估具体疾病中的行动情况等;且其在身体姿势或姿势转换、活动强度、计步等方面的监测、判断信效度较好。而如何针对不同老年群体特点,在具体场景中开展可靠、有效的评估,形成评估算法体系以及如何将老年人功能状态评估与后续护理服务相结合,是以后研究需要重点突破的地方。

参考文献:

- [1] BASSEM E, HIGGINS K. The geriatric assessment[J]. Am Fam Phys, 2011, 83(1):48-56.
- [2] CLEGG A, YOUNG J, ILIFFE S, et al. Frailty in elderly people[J]. Lancet, 2013, 381(9868):752-762.
- [3] 王位琼, 孟庆勇. 老年综合评估的应用及研究现状[J]. 护理研究, 2018, 32(15):2343-2346.
- [4] 彭希哲, 宋靛珺, 茅泽希. 中国失能老人问题探究——兼论失能评估工具在中国长期照护服务中的发展方向[J]. 新疆师范大学学报:哲学社会科学版, 2018, 39(5):110-126.
- [5] MADHUSHRI P, DZHAGARYAN A, JOVANOV E, et al. An mHealth tool suite for mobility assessment[J]. Information, 2016, 7(47):1-19.
- [6] 高春兰, 果硕. 老年长期护理保险给付对象的等级评定体系研究——以日本和韩国经验为例[J]. 社会建设, 2016, 3(4):25-33.
- [7] 袁泉, 罗燕雪, 李广平, 等. 长期照护失能等级评估量表研究[J]. 重庆医学, 2017, 46(35):4955-4957.
- [8] 张连增, 国畅. 国际经验对我国长期护理保险评估体系建设的启示——以德国、荷兰、日本、韩国为例[J]. 未来与发展, 2018, 42(4):81-86.
- [9] 孙洁. 长期护理保险受益资格评估机制探讨[J]. 中国医疗保险, 2018(9):13-17.
- [10] 张晖, 许琳. 需求评估在长期护理保险中的作用及实施[J]. 西北大学学报:哲学社会科学版, 2016, 46(5):124-131.
- [11] ZHONG R, RAU P-L P, YAN X. Application of smart bracelet to monitor frailty-related gait parameters of older Chinese adults: a preliminary study[J]. Geriatr Gerontol Int, 2018, 18(9):1366-1371.
- [12] LEE H, JOSEPH B, ENRIQUEZ A, et al. Toward using a smart watch to monitor frailty in a hospital setting: using a single wrist-

- wearable sensor to assess frailty in bedbound inpatients[J]. *Gerontology*, 2018, 64(4):389-400.
- [13] ZHOU H, RAZJOUYAN J, HALDER D, *et al.* Instrumented trail-making task: application of wearable sensor to determine physical frailty phenotypes[J]. *Gerontology*, 2018, 65(2):186-197.
- [14] ILUZ T, WEISS A, GAZIT E, *et al.* Can a body-fixed sensor reduce Heisenberg's uncertainty when it comes to the evaluation of mobility? Effects of aging and fall risk on transitions in daily living [J]. *J Gerontol A: Biol Sci Med Sci*, 2016, 71(11):1459-1465.
- [15] REITER A, MA A, RAWAT N, *et al.* Process monitoring in the intensive care unit: assessing patient mobility through activity analysis with a non-invasive mobility sensor[J]. *Med Image Comput Comput Assist Interv*, 2016, 9900(10):482-490.
- [16] ZHANG W, REGTERSCHOT G R H, GERAEDTS H. Chair rise peak power in daily life measured with a pendant sensor associates with mobility, limitation in activities, and frailty in old people[J]. *Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2017, 21(1):211-217.
- [17] REGTERSCHOT G R H, ZHANG W, BALDUS H, *et al.* Sensor-based monitoring of sit-to-stand performance is indicative of objective and self-reported aspects of functional status in older adults[J]. *Gait & Posture*, 2015, 41(4):935-940.
- [18] AICHA A N, ENGLEBIENNE G, SCHOOTEN K S, *et al.* Deep learning to predict falls in older adults based on daily-life trunk accelerometry[J]. *Sensors*, 2018, 18(5):1654-1667.
- [19] LEE C H, SUN T L, JIANG B C, *et al.* Using wearable accelerometers in a community service context to categorize falling behavior[J]. *Entropy*, 2016, 18(7):257.
- [20] GREENE B R, REDMOND S J, CAULFIELD B. Fall risk assessment through automatic combination of clinical fall risk factors and body-worn sensor data[J]. *Journal of Biomedical and Health Informatics*, 2017, 21(3):725-731.
- [21] SUN R, SOSNOFF J J. Novel sensing technology in fall risk assessment in older adults: a systematic review[J]. *BMC Geriatrics*, 2018, 18(14):14-24.
- [22] BLIKMAN T, STEVENS M, BULSTRA S K, *et al.* Reliability and validity of the dutch version of the international physical activity questionnaire in patients after total hip arthroplasty or total knee arthroplasty[J]. *J Orthop Sport Phys*, 2013, 43(9):650-659.
- [23] GERAEDTS H, ZIJLSTRA W, KEEKEN H G V, *et al.* Validation and user evaluation of a sensor-based method for detecting mobility-related activities in older adults[J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): 1-11.
- [24] AYACHI F S, NGUYEN H P, LAVIGNE-PELLETIER C, *et al.* Wavelet-based algorithm for auto-detection of daily living activities of older adults captured by multiple inertial measurement units (IMUs)[J]. *Physiological Measurement*, 2016, 37(3):442-461.
- [25] MA Y, FALLAHZADEH R, GHASEMZADEH H. Glaucoma-specific gait pattern assessment using body-worn sensors[J]. *Sensors*, 2016, 16(16):6406-6415.
- [26] OJEDA M, DING D. Temporal parameters estimation for wheelchair propulsion using wearable sensors[J]. *Biomed Research International*, 2014, 6:1-10.
- [27] KRAMER S F, CUMMING T, CHURILLOV L, *et al.* Measuring activity levels at an acute stroke ward: comparing observations to a device[J]. *Biomed Res Int*, 2013, 1:460-482.
- [28] WEBBER S C, ST JOHN P D. Comparison of actigraph GT3X+ and stepwatch step count accuracy in geriatric rehabilitation patients [J]. *J Aging Phys Act*, 2016, 24(3):451-458.
- [29] RAYMOND M, WINTER A, HOLLAND A E. Validation of an activity monitor in older inpatients undergoing slow stream rehabilitation [J]. *J Phys Act Health*, 2015, 12(9):1298-1303.
- [30] ROWLANDS A V, OLDS T S, HILLSDON M, *et al.* Assessing sedentary behavior with the GENEActiv: introducing the sedentary sphere[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2014, 46(6):1235-1247.
- [31] EDBROOKE L, LYTHGO N, GOLDSWORTHY U, *et al.* Can an accelerometer-based monitor be used to accurately assess physical activity in a population of survivors of critical illness? [J]. *Glob J Health Sci*, 2012, 4(3):98-107.
- [32] TARALDSEN K, ASKIM T, SLETVOLD O, *et al.* Evaluation of a body-worn sensor system to measure physical activity in older people with impaired function[J]. *Phys Ther*, 2011, 91(2):277-285.
- [33] PEDERSEN M M, BODILSEN A C, PETERSEN J, *et al.* Twenty four-hour mobility during acute hospitalization in older medical patients[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2013, 68(3):331-337.
- [34] NAGELS G, ENGELBORGH S, VLOEBERGH S, *et al.* Correlation between actigraphy and nurses' observation of activity in dementia[J]. *Int J Geriatr Psychiatry*, 2007, 22(1):84-86.
- [35] ANDERSON J L, GREEN A J, YOWARD L S, *et al.* Validity and reliability of accelerometry in identification of lying, sitting, standing or purposeful activity in adult hospital inpatients recovering from acute or critical illness: a systematic review[J]. *Clinical Rehabilitation*, 2018, 32(2):233-242.

(收稿日期:2019-10-18;修回日期:2020-03-03)

(本文编辑 陈琼)