

·综述·

## 可穿戴设备在脑卒中患者康复评定中的应用进展

何龙龙<sup>1</sup> 黄国志<sup>2,3</sup>

可穿戴设备即可以穿戴或佩戴在人身上的设备的总称。随着传感技术和无线人体区域网技术的不断发展,逐渐移动化、便捷化、高效化的可穿戴设备,被越来越广泛地应用于康复的早期诊断、功能康复、康复评定及远程监测中<sup>[1-2]</sup>。

在卒中后的康复治疗中,康复评定是重要的组成部分,目前在临床上的开展方式多是以观察法或量表法来评定功能障碍,带有一定的主观性,评定结果会随着评定者对康复评定的掌握程度及临床经验的不同而改变,难以准确评定患者的功能状态,评定耗时且数据也不易保存。因此,临床需要更多能够实现客观定量评定的新工具、新方法。而将可穿戴设备应用于卒中后康复评定能够满足这一临床需求,且具有以下优势:①便捷的评定流程与操作;②客观、量化的评定结果;③数据化的评定数据;④患者可自主评定,适用于社区、家庭康复;⑤减轻康复医师和治疗师的工作强度;⑥降低医疗成本。

本文将介绍可穿戴设备在脑卒中患者康复评定方面的应用及临床意义,分析阐述可穿戴设备在评定应用中存在的一些问题以及未来可能的发展方向。

### 1 可穿戴设备在脑卒中患者康复评定中应用

目前可穿戴设备在康复评定中的应用,主要是通过运动型传感器(主要包括陀螺仪、加速度计、压力和磁力等传感器)来识别人体活动、分析相关的数据,并提取出特征值以评定患者的功能障碍,主要的临床应用如下:

#### 1.1 肢体运动功能评定

对于肢体的运动功能评定,目前临床上主要通过信度、效度检验的量表法评定为主。可穿戴设备则是通过设定相应的动作,提取患者的动作速度、质量等特征值来间接反映患者的运动功能状态,或是直接利用可穿戴设备开展运动功能量表的评定。

**1.1.1 上肢运动功能评定:**Salazar等<sup>[3]</sup>通过惯性传感器监测上肢在够物-按压-收回活动中的加速度数据,来量化活动的质量,用于协助治疗师进行临床康复实践。也有研究者<sup>[4]</sup>通过惯性可穿戴设备来测量坐位下的肩前屈动作,通过提取运

动角度、协调性和速度这三个特征值来反映患者的康复情况,与Wolf运动功能评定量表具有较强的相关性,能准确反映患者的功能恢复状况。另有研究者在运动角度、协调性和速度三者的基础上增加了对躯干平衡及肢体滞空能力的特征值提取,并证明了评定结果与Fugl-Meyer运动功能评定量表高度相关性,可用于卒中患者运动功能评定<sup>[5]</sup>。

**1.1.2 手部运动功能评定:**在手运动功能评定方面,李玉等<sup>[6]</sup>设计了E手套康复评定与训练系统,通过手套上的压力传感器与单摄像头对抓、握、捏和粗大运动测试时手部压力与活动视频进行采集,用于评定卒中后患者手功能,与医生的手臂动作调查测试评分相比平均误差为4%;Lin等<sup>[7]</sup>则用了集成六轴传感器的手套,来评定患者在抓握、拇指活动、翻转卡片等任务的完成时间、质量与速度,用于临床协助评定手部Brunnstrom分期,准确率达70.22%。

**1.1.3 下肢运动功能评定:**在下肢运动功能的临床康复评定中,多以步态评估为主。通过可穿戴设备进行卒中步态评定,具有结构简单、体积小、便于人体穿戴、不受空间范围的限制、测试更接近人体真实的运动状态等优点,是理想的步态测试方式之一。临床上可穿戴设备主要通过下肢姿势或足底压力监测来评定步态。研究人员将惯性传感器放置于足背上方<sup>[8]</sup>或小腿外侧<sup>[9]</sup>来分别评定患者步行距离及卒中患者的步行速度、步态的对称性;中国科学院大学的龙舟<sup>[10]</sup>通过多传感器的融合,来测量单步时间、脚拖地、步幅等数据,并在惯性传感器基础上增加了麦克风用于辅助区分步行周期,具有较强的临床实用性。Moore等<sup>[11]</sup>则尝试利用单一的三轴加速度传感器放置于第五腰椎的位置用于测量卒中患者的步长、步数、站立相和摆动相时长,具有较强的可信度。

此外,临床上也有利用可穿戴压力鞋垫来监测站立姿态、平衡状态、步行周期、意外摔倒情况<sup>[12]</sup>、步态的策略的准确性、有效性和对称性<sup>[13-14]</sup>,或是用于识别患者的足下垂步态<sup>[15]</sup>;在此基础上还有研究者通过整合扭矩传感器、陀螺仪、加速度传感器等硬件,通过测量步态时相,重心移动范围、站立相与摆动相比值及足底压力分布情况来评定下肢的康复与步态训练的有效性<sup>[16]</sup>。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.02.022

1 南方医科大学,广州市,510515; 2 南方医科大学珠江医院康复医学科; 3 通讯作者  
第一作者简介:何龙龙,男,硕士研究生,初级康复治疗师; 收稿日期:2018-03-07

**1.1.4 关节活动度评定:**对于关节活动度的评定,研究人员主要通过惯性传感器放置于不同位置,提取惯性传感器所测得的三维数据,进行人体活动的识别分析,来分别测量肩、肘部<sup>[17]</sup>、腕部<sup>[18]</sup>及躯干<sup>[19]</sup>的关节活动度,具有良好的可行性,适用于临床应用;此外,Nicola Carbonaro等<sup>[20]</sup>则采用针织面料压阻式传感器放置于手套的拇指、食指、中指背侧用于测量日常生活中三者的掌指关节活动度,与光学跟踪系统相比该手套测量误差为 $\pm 3^\circ$ 。

**1.1.5 运动功能评估量表:**在运动功能量表量化应用方面,主要以Fugl-Meyer运动功能评定量表为基础,设定相应的动作,通过传感器来评定动作的质量,完成评定。Li等<sup>[21]</sup>将表面肌电传感器结合惯性传感单元传感器,用于评定所设定的11个肩、肘、腕动作的质量,实验证明该评分与Fugl-Meyer运动功能评定量表具有很高的一致性;同样也有研究者<sup>[22-23]</sup>证实了利用Kinect、惯性、力敏电阻等传感器进行Fugl-Meyer运动功能评定量表评定的可行性。

## 1.2 平衡功能评定

平衡功能是卒中后常见的功能障碍,极大影响着患者回归家庭、社会,目前临床上常用的评定以量表为主<sup>[24]</sup>,缺少量化的指标,可穿戴设备主要通过测量人体重心轨迹或是参数化平衡实验来反映患者的平衡功能。大连理工大学的张天雷<sup>[25]</sup>将两个三轴加速度传感器对称放置于腰带两侧用于评定患者的人重心轨迹以及平衡能力;van Meulen等<sup>[26]</sup>研发了Xsens ForceShoes,它由惯性传感器、三维力矩传感器及超声换能器等硬件设备构成,来测量患者步行过程中的重心位置、双脚支撑面大小以及双侧步长、步态周期的不对称性,用于评定患者的步行平衡,指导治疗。

有研究者通过可穿戴设备来进行平衡实验的参数化。Perez-Cruzado等<sup>[27]</sup>通过在腰椎(L5—S1)或躯干区(T7—T8)放置惯性传感器测量身体在三维空间上的位移与加速度来参数化卒中患者的单腿站立实验,具有较强的可信度;Merchan-Baeza JA等则将惯性传感器<sup>[28]</sup>或手机<sup>[29]</sup>放置于腰部和躯干,测量功能性前伸测试过程中腰骶段/胸段最大角位移,腰骶段/胸段角位移最长时间,返回初始位置时间和总时间,并证明其具有良好的信度与效度。

## 1.3 日常活动识别与评定

廖梦佳等<sup>[30]</sup>设计了一款可穿戴式上肢动作识别系统,利用加速度计、微型处理器可准确识别卒中患者上肢动作,在上肢动作康复评定中具有良好的应用价值;Lemmens Ryanne JM等<sup>[31]</sup>通过将九轴传感器放置于患者的胸骨、上臂、腕和手等位置,来识别患者上肢的日常生活活动、活动的数量以及质量,可用于卒中患者手臂运动表现的评定;也有大量研究人员<sup>[32-36]</sup>利用惯性测量单元(IMUs)来评定患者上肢的活动性,为康复医生对卒中患者的康复介入提供依据。

## 1.4 跌倒风险评定中的应用

卒中患者经常存在运动、感觉功能障碍,这增加了他们跌倒风险,通过可穿戴进行评定和检测,提前对患者进行防跌倒教育,将有助于预防跌倒的伤害。Taylor-Piliae RE等<sup>[37]</sup>研发了集成三轴加速度传感器的PAMSys可穿戴设备,放置于患者的胸骨处,用于监测跌倒风险指标(姿势类型、姿势转换时间、秒数和失败次数)和步态(步数,速度,持续时间),报告表明PAMSys具有高可接受性,有助于监测卒中幸存者的跌倒风险和步态;Bergamini Elena等<sup>[38]</sup>利用多个惯性传感器来监测步行过程中患者上半身的加速度、角速度与双侧的对称性来反映步态稳定性,识别高跌倒风险的患者;Isho Takuya等<sup>[39]</sup>直接利用手机中的惯性传感器,记录行走时的躯干加速度,实验表明它能提供详细客观的步态变化,了解患者摔倒风险。

## 1.5 远程康复评定中的应用

随着远程康复的发展应用,患者在家庭中也能够享受到更好的康复治疗,但在没有医疗人员的情况下,训练的安全性及康复的有效性成了问题。东南大学的冯超<sup>[40]</sup>设计了面向康复训练的移动式健康信息监控系统,利用智能手机及包含压电脉搏传感器、指尖光电传感器的健康信息监测终端,对患者训练时的血压、血氧饱和度和脉搏进行监测,以确保训练过程中患者的安全;Yu等<sup>[41]</sup>搭建了新型的远程定量Fugl-Meyer评定框架,通过2个加速度计和7个柔性传感器监测所设定的7种上肢训练动作,以预测Fugl-Meyer运动功能评定量表分数,判定系数可达0.917,医师可远程查看评分及训练情况,进行方案的更改;同样郁磊等<sup>[42]</sup>通过建立多传感器信息与临床Fugl-Meyer评定量表间的映射模型,通过多传感器收集信息,来预测脑卒中患者的Fugl-Meyer得分,决定系数R2可达0.918,可以在远程环境下对脑卒中患者的肢体运动功能进行实时监测、智能评定和个性化康复指导。

## 2 存在的问题与展望

### 2.1 存在的问题

**2.1.1 评定数据种类少且不稳定:**可穿戴设备所能够监测评定的数据种类仍然有限,临床上通过对这些数据不同的算法处理或多种数据的融合应用于不同的康复评定领域;而且数据质量容易受多种因素的影响,如人体的状态、自然环境、活动转移等因素都会造成数据质量的波动,难以满足医疗数据的要求,这些都需要技术的进一步的研究发展。

**2.1.2 评定数据过于专业化:**所提供的评定数据大多为专业的数值,需要专业治疗师对数据进行分析,选择相应的治疗训练,患者无法独立完成评定与训练。需要研发者将这些专业的数据与易懂的评定诊断结合起来,并智能推荐相应的评定训练,满足患者的需求。

**2.1.3 临床高质量研究少:**目前关于可穿戴设备在临床康复评定中应用及针对评定结果信度效度研究的高质量研究仍然较少,大多数研究仍然局限于实验室内,通过小规模研究来确定设备的可行性,需要研究人员进行更多的高质量临床研究,来保证可穿戴设备用于康复评定理论与临床应用上的可行性。

## 2.2 展望

**2.2.1 评定数据的多样化与精确化:**目前临床上可穿戴设备收集的评定数据种类相对较少,数据收集易受到多种环境因素的干扰,研发新的技术以监测更多种类的数据、集成多种传感器进行更丰富精确的监测,以及保证不同环境中监测信号的可靠性、稳定性会是未来发展方向之一。

**2.2.2 评定数据的大众化:**目前临床上的设备得出的评定数据大多过于专业化,且未来的可穿戴设备除了功能会更加完善之外,其界面、操作方式将会更加便捷化、人性化,评定结果也会更易于理解,实现设备的大众化。

**2.2.3 大数据与评定:**随着大数据挖掘技术的不断进展,通过对卒中患者诊疗信息的不断挖掘、分析,结合可穿戴设备的客观、量化的评定数据,可以在智能化分析评定数据的基础上,得出更为精确的评定结果,甚至智能化推荐相应的训练方案。

**2.2.4 构建家庭、社区康复网络:**通过发挥可穿戴设备能够以低成本进行大范围、高频率、个性化的康复评定的优势,将可穿戴设备嵌入家庭、社区的康复服务网络中,使得患者能够通过可穿戴设备与治疗师进行远程康复评定,甚至使用智能可穿戴设备进行自主的康复评定,将会在一定程度上减少医疗成本、缓解医疗压力。

## 3 小结

在康复医疗中,可穿戴设备用于康复评定已经逐渐从实验室研究走向了临床应用,相信随着康复与可穿戴的不断发展交融,可穿戴设备的功能和性能会更加的完善,临床应用也会更加广泛、深入;而通过与互联网、大数据分析相结合,在智能化评定的基础上,将可穿戴评定设备应用于康复服务网络中,将会为康复增添新的动力,促进康复的蓬勃发展。

## 参考文献

[1] 匡绍龙,房银芳,周瑞,等. 可穿戴技术应用于术后监控和康复的现状分析[J]. 科技导报,2017,(2):55—59.  
[2] 张文豪,李建军,高峰,等. 可穿戴技术在康复医学领域中的研究进展[J]. 中国康复理论与实践,2017,(7):792—795.  
[3] Salazar AJ, Silva AS, Silva C, et al. Low-cost wearable data acquisition for stroke rehabilitation: a proof-of-concept study on accelerometry for functional task assessment[J]. Topics in Stroke Rehabilitation,2014,21(1):12—22.

[4] Li H, Huang J, Pan C, et al. Inertial sensing based assessment methods to quantify the effectiveness of post-stroke rehabilitation[J]. Sensors,2015,15(7):16196—16209.  
[5] Li J, Pan B, Jin T, et al. A single task assessment system of upper-limb motor function after stroke[J]. Technology and Health Care,2016,24(s2): S707—S715.  
[6] 李玉,赵翠莲,费森杰,等. 基于ARAT与视触融合的E手套康复评估与训练系统[J]. 中国医疗器械杂志,2017,(4):244—247.  
[7] Lin B, Hsiao P, Yang S, et al. Data glove system embedded with inertial measurement units for hand function evaluation in stroke patients[J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 2017, 25(11): 2204—2213.  
[8] 张剑锋,周泽波. 穿戴式导航传感器在步行康复训练监控中的应用[J]. 导航定位学报,2015,(3):126—131.  
[9] Yang S, Zhang J, Novak AC, et al. Estimation of spatio-temporal parameters for post-stroke hemiparetic gait using inertial sensors[J]. Gait & Posture,2013,37(3):354—358.  
[10] 龙舟. 基于多模态可穿戴传感器的脑卒中步态分析[C]. 中国科学院大学,2016.  
[11] Moore SA, Hickey A, Lord S, et al. Comprehensive measurement of stroke gait characteristics with a single accelerometer in the laboratory and community: a feasibility, validity and reliability study[J]. Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation,2017,14(1):130.  
[12] 李宏恩,鲍申杰,高晓航. 压电式步态分析系统在足底压力监测中的应用[J]. 医用生物力学,2017,(3):288—292.  
[13] Munoz-Organero M, Parker J, Powell L, et al. Assessing walking strategies using insole pressure sensors for stroke survivors[J]. Sensors,2016,16(10):1631.  
[14] Afzal MR, Oh M, Lee C, et al. A portable gait asymmetry rehabilitation system for individuals with stroke using a vibrotactile feedback[J]. BioMed Research International, 2015,2015:1—16.  
[15] Abtahi M, Barlow S, Constant M, et al. MagicSox: An E-Textile IoT system to quantify gait abnormalities[J]. Smart Health,2017,5—6:4—14.  
[16] Weijun TAJZ. A wearable sensor system for lower-limb rehabilitation evaluation using the GRF and CoP distributions [J]. Measurement Science and Technology, 2016, 27(2): 25701.  
[17] Ertzgaard P, öhberg F, Gerdle B, et al. A new way of assessing arm function in activity using kinematic Exposure Variation Analysis and portable inertial sensors: A validity study[J]. Manual Therapy, 2016, 21:241—249.  
[18] Rowe JB, Friedman N, Bachman M, et al. The manumeter: a non-obtrusive wearable device for monitoring sponta-

- neous use of the wrist and fingers[J]. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*,2013,2013:6650397.
- [19] Grimpampi E, Bonnet V, Taviani A, et al. Estimate of lower trunk angles in pathological gaits using gyroscope data [J]. *Gait & Posture*,2013,38(3):523—527.
- [20] Carbonaro N, Mura GD, Lorussi F, et al. Exploiting wearable goniometer technology for motion sensing gloves[J]. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*,2014,18(6):1788—1795.
- [21] Li Y, Zhang X, Gong Y, et al. Motor function evaluation of hemiplegic upper-extremities using data fusion from wearable inertial and surface EMG sensors[J]. *Sensors*,2017,17(3):582.
- [22] Otten P, Kim J, Son S. A framework to automate assessment of upper-limb motor function impairment: A feasibility study[J]. *Sensors*,2015,15(8):20097—20114.
- [23] Lee S, Lee Y S, Kim J. Automated evaluation of upper-limb motor function impairment using Fugl-Meyer assessment[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*,2018,26(1):125—134.
- [24] 向伟华,江钟立. 脑卒中平衡功能的评估和训练进展[J]. *实用老年医学*,2015,(6):448—451.
- [25] 张天雷. 一种居家式智能腰带的重心量测及评估策略[D]. 大连理工大学,2014.
- [26] van Meulen FB, Weenk D, Buurke JH, et al. Ambulatory assessment of walking balance after stroke using instrumented shoes[J]. *Journal of Neuro Engineering and Rehabilitation*,2016,13(1):48.
- [27] Perez-Cruzado D, Gonzalez-Sanchez M, Cuesta-Vargas AI. Parameterization and reliability of single-leg balance test assessed with inertial sensors in stroke survivors: a cross-sectional study[J]. *Biomed Eng Online*,2014,13:127.
- [28] Merchán-Baeza JA, González-Sánchez M, Cuesta-Vargas AI. Reliability in the parameterization of the functional reach test in elderly stroke patients: A pilot study[J]. *BioMed Research International*,2014,2014:1—8.
- [29] Merchan-Baeza JA, Gonzalez-Sanchez M, Cuesta-Vargas A. Mobile functional reach test in people who suffer stroke: a pilot study[J]. *JMIR Rehabil Assist Technol*,2015,2(1):e6.
- [30] 廖梦佳,秦亚杰,汪源源,等. 基于多传感器融合的用于脑卒中患者的可穿戴式上肢动作识别系统[J]. *中国康复医学杂志*,2015,(5): 443—446.
- [31] Lemmens RJM, Janssen-Potten YJM, Timmermans AAA, et al. Recognizing complex upper extremity activities using body worn sensors[J]. *PLOS ONE*, 2015,10(3): e118642.
- [32] Zhang Z, Fang Q, Gu X. Objective assessment of upper limb mobility for post-stroke rehabilitation[J]. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*,2015:1.
- [33] Leuenberger K, Gonzenbach R, Wachter S, et al. A method to qualitatively assess arm use in stroke survivors in the home environment[J]. *Medical & Biological Engineering & Computing*,2017,55(1):141—150.
- [34] Biswas D, Cranny A, Gupta N, et al. Recognizing upper limb movements with wrist worn inertial sensors using k-means clustering classification[J]. *Human Movement Science*,2015,40:59—76.
- [35] Lang CE, Waddell KJ, Klaesner JW, et al. A method for quantifying upper limb performance in daily life using accelerometers[J]. *J Vis Exp*,2017,(122): e55673.
- [36] Ploderer B, Fong J, Klaic M, et al. How therapists use visualizations of upper limb movement information from stroke patients: a qualitative study with simulated information[J]. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 2016,3(2):e9.
- [37] Taylor-Piliae RE, Mohler MJ, Najafi B, et al. Objective fall risk detection in stroke survivors using wearable sensor technology: a feasibility study[J]. *Top Stroke Rehabil*,2016,23(6):393—399.
- [38] Bergamini E, Iosa M, Belluscio V, et al. Multi-sensor assessment of dynamic balance during gait in patients with subacute stroke[J]. *Journal of Biomechanics*,2017,61:208—215.
- [39] Isho T, Tashiro H, Usuda S. Accelerometry-based gait characteristics evaluated using a smartphone and their association with fall risk in people with chronic stroke[J]. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 2015, 24(6): 1305—1311.
- [40] 冯超. 面向康复训练的移动式健康信息监控技术研究[D]. 东南大学,2015.
- [41] Yu L, Xiong D, Guo L, et al. A remote quantitative Fugl-Meyer assessment framework for stroke patients based on wearable sensor networks[J]. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*,2016,128:100—110.
- [42] 郁磊. 基于多传感器融合的脑卒中患者肢体运动功能量化评定研究[D]. 中国科学院大学,2016.