

可穿戴步态辅助技术在康复养老领域中的应用

陶帅¹, 吕泽平^{2*}, 谢海群^{3*}

1. 大连大学大连市智慧医疗与健康重点实验室, 大连 116622

2. 国家康复辅具研究中心附属康复医院, 北京市老年功能障碍康复辅助技术重点实验室, 民政部人体运动分析与康复技术重点实验室, 北京 100176

3. 佛山市第一人民医院神经内科, 佛山 528000

摘要 步态作为一种个体的特异性生物学信息, 应用于医疗健康、运动表现和生物识别等领域。本文综述了当前的步态检测与分析技术的研究进展, 及其在康复养老领域的应用。未来伴随不同疾病队列研究的步态数据累积与疾病预测模型的建立, 步态检测评估将在康复养老领域具有更重要的应用价值和广泛的应用前景。

关键词 步态; 可穿戴设备; 康复; 养老; 智慧医疗

中国人口老龄化增速, 由此带来老年疾病与康复医疗、健康与养老服务等压力问题。积极应对康复养老领域压力, 是实现健康老龄化, 减轻社会经济负担的关键。伴随物联网和互联网的高速发展, 智慧医疗、智能可穿戴设备、健康/疾病大数据等产业兴起, 为解决康复养老难题提供了新思路。通过

物联网内的可穿戴与环境感知设备对个体的生命体征和行为活动等生物信息进行采集, 将采集的数据上传并与个体和群体数据进行比对分析, 通过数据积累、队列研究与模型建立, 最终实现利用可穿戴设备采集的生物信息数据掌握个体的全面健康情况, 并做出疾病风险提示与早期预判。

收稿日期: 2019-01-10; 修回日期: 2019-07-25

基金项目: 国家重点研发计划项目(SQ2018YFC200112-02)

作者简介: 陶帅, 副教授, 研究方向为智慧医疗与健康, 电子信箱: taoshuai@dlu.edu.cn; 吕泽平(通信作者), 主任医师, 研究方向为老年神经病学与神经康复, 电子信箱: lvzeping@163.com; 谢海群(共同通信作者), 副主任医师, 研究方向为认知障碍评估与神经调控, 电子信箱: haiqunx@foxmail.com

引用格式: 陶帅, 吕泽平, 谢海群. 可穿戴步态辅助技术在康复养老领域中的应用[J]. 科技导报, 2019, 37(22): 19-25; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.22.003

1 步态概念

步态是指人行走时的姿态与特征,在广义层面上,步态可以定义为一切下肢活动的信息与特征,包括行走、跑动和其他一切涉及下肢活动的运动等^[1]。行走等活动的实施与完成是多个系统和器官协同的结果,因此相关系统与器官的病变可以通过步态异常反映^[2]。越来越多的正常与病态步态研究显示步态不仅可以作为康复训练的客观评价指标,在一些累及认知功能域的老年退行性病变中,步态异常在病程早期即可发生^[3]。

步态参数具有时空二象性,其动力学特征可以通过重心加速度等直观反映,步态参数主要包括时间参数(跨步时间、支撑相、摆动相、步速、步频),距离参数(步长、步幅、步宽、抬脚高度),角度参数(足夹角、俯仰角、翻转角),动力参数(地反力、重心加速度)^[4]。正常步态参数在不同年龄分层、性别、身高等背景下,有较大的取值范围^[5-6],因此,个体周期内步态参数的变化在步态康复与健康应用领域更具有实际意义。此外,步态参数间的组合,如时间与距离参数的组合,通常可以反映步态在单位时间的变化率情况。研究表明,这些间接参数在双任务等条件下,对一些认知退行性疾病的评判具有较好敏感性。整个步态周期可以通过量化的步态参数得以反映和重现,步态参数的准确性、灵敏性和重现性使得步态逐渐成为一种生物标志物。

异常步态的发生源于涉及行走规划、控制与实施的各个系统与器官,具有复杂的病理背景,根据功能障碍可以大致分为畸形、肌肉无力、感觉丧失、疼痛和运动控制受损,这些功能障碍可引起不同的异常步态表现^[7]。临床病态步态的检测逐渐受到重视,步态检测能够量化异常步态参数的异常程度,随着不同临床病症的病态步态累积,通过建立模型和机器学习等方法,能够实现快速异常步态识别与辅助诊断等功能。

2 步态检测与分析技术

根据检测设备的原理,步态检测技术大致可以

分为基于影像和基于传感器的两大类。基于影像的步态采集设备应用最广泛的是立体视觉技术^[8],该技术主要区别于单目视觉采集系统,利用摄像头组获得目标的不同角度上的影像信息,通过视觉图像处理得到深度等信息(图1(a))。利用该技术的三维步态采集系统成本高昂,通常需要较大的空间,同时要求精准的拍摄角度和靶标位置,环境中的任何遮挡和干扰光点都会影响采集结果,临床实际操作过程较为复杂,要求患者配合度高,同时涉及多个产生误差的环节。其他基于影像的步态采集技术还包括飞行时间的红外相机^[9]和红外热成像法^[10]等。



(a) 设置于步态实验室内各角度的影像捕捉设备 (b) 受试者行走压力垫表面的影像捕捉设备

图1 三维步态实验室

Fig. 1 3D gait laboratory

基于传感器的步态检测技术,根据步态采集的特点,一类是以行走界面传感器为结构基础的压力垫(图1(b)),通过步态周期的足底地反力的时间和变化分布情况得出相关步态信息^[11],此类方法操作比影像技术简单,缺点是无法采集行走过程中的关节角度数据,而且供受试者行走的长度受限使通过压力垫范围内采集的数据有限,而在一些病态步态采集过程中由于受试者无法按照要求的范围行走则无法完成测定;另一类就是可穿戴步态采集系统(图2),这类系统得益于近年来传感器不断小型化以及传输系统的进步,使具有高采样频率的无线传输传感器模块开发成为可能。可穿戴步态采集

设备常以鞋或鞋垫的形式,嵌入整合了压力传感器、曲度传感器、加速度计、陀螺仪和惯性传感器等电子元器件的模块来实时高精度地采集受试者步态信息,包括步态的时空与动力学特征^[12]。配合穿戴于肢体和躯干的整合角度计模块,与足部信息结合可以得出下肢与躯干的运动动态角度信息,可以提供全面的个体步态信息。可穿戴步态采集系统与其他系统相比,除具有实时性与高精度外,在应用方面具有成本低廉、操作简单、患者配合度和采集环境要求低等优势,并使日常步态的采集与检测成为可能,具有广阔的医疗康复与养老监护领域应用前景。



图2 可穿戴步态采集设备与步态分析系统

Fig. 2 Wearable gait device and analysis system

可穿戴步态检测设备除具有以上应用优势外,后续的数据流处理在更深层次的步态数据分析挖掘与临床队列研究方面具有较好的科研和转化利用价值。由于原始采集数据是来自各种传感器的直接测量值,步态信息全面充实,但传感器的高精度也带来了底层数据采集时的高噪声背景,因此首先需要对原始传感器数据进行滤波去噪处理,去噪后的步态数据经步态算法处理得出全面的步态信息^[13]。对于临床步态研究,根据研究的临床队列设计,随着受试者步态数据的累积,经过深度学习,利用临床指征建模,最终可实现步态参数应用于相关疾病的早筛早诊,以及康复疗效与药效评估和康复方案制定;对于日常步态采集,可以跟踪随访个体的步态变化情况,实现老年人异常步态监测和跌倒风险提示等预警作用。

3 可穿戴步态辅助技术的应用

3.1 可穿戴步态辅助技术在康复领域中的应用

步态是康复效果评价的指标,步态检测与评估在康复领域广泛应用。可穿戴步态辅助技术在康复领域的应用,一方面是步态检测与评估,另一方面是其他设备所不具备的康复训练过程中的表现提升与保护作用。同时,可穿戴步态辅助技术使医生可以远程监测管理患者的康复情况并给予远程指导和随访,康复者也可以实现自我康复管理与康复效果的跟踪,这些应用是高效、主动、智能康复实现的基础。

可穿戴步态辅助技术已逐渐广泛应用于神经系统疾病与不良事件的康复。

在神经内科患者中开展的可穿戴步态检测的探索性研究中,对年龄在40~89岁之间的384名患者,采用脚踝和下肢的可穿戴设备评估步态和平衡缺陷,其中,39%没有步态和平衡缺陷,21%有步态异常,11%有平衡缺陷,29%兼有步态和平衡缺陷。初步研究结果显示,步态和平衡的缺陷在神经系统相关住院患者中常见,在临床环境中使用可穿戴设备来评估步态和平衡特征具有可行性,而且新型可穿戴步态评估可成为病情评估,疾病进展和治疗反映的客观指标^[14]。

针对帕金森患者日常步态的研究,利用躯干部位加速度传感器绘制受试者步态节律图从而定量评定帕金森病患者日常生活中的步态障碍情况,结合帕金森评定量表与冻结步态问卷,评估用药组与对照组的步态变化情况。结果表明,采用司来吉兰干预24 h后,帕金森患者的步态波动情况得到改善,与帕金森评定量表相比,步态的评估方法更加敏感可靠,提示可穿戴步态辅助技术对于药物干预后的药效评价具有良好的应用前景^[15]。另外,一些日常生活环境中帕金森病患者的步态训练和康复系统整合了基于听觉提示和生物刺激反馈,结果显示这种整合了互动刺激的步态康复训练可以取得较好的康复效果^[16]。

卒中引发的偏瘫等病症直接导致步态特征改变。主要体现在速度降低、步态变化率提高、行走

期间左右不对称性增加和支撑相延长等步态参数的改变,此外偏瘫还可引起身体平衡与姿势障碍等问题,进一步限制患者的活动性^[17]。卒中康复的核心目标即改善患者的活动障碍情况,而步态异常的改善情况是评价康复效果的客观有效指标。利用可穿戴步态检测设备对卒中患者的起立行走计时研究发现,惯性传感器对于卒中患者的步态异常检测具有敏感性和特异性^[18]。此外,康复者在家中的计划运动康复训练也很重要。因此可穿戴步态辅助技术可以实现远程康复的实时监测和期间效果评估。在远程康复计划中,监测康复者每日的活动与步态信息,对于病情较重的康复者通过步态评估给予进一步的康复计划调整和跌倒损伤等危险预警并提示护理层级,实现医疗机构远程监护下的居家自主康复。

认知功能是神经系统功能康复评定重要标准,目前对于认知功能的评定主要依靠患者主诉、量表评价和医生综合判断,具有较强的主观性。步态与认知之间的关系已有较多的临床和科研证据^[19]。步态检测设备应用于双任务、起立-行走计时等认知功能域检测中,通过步态异常的程度能够反映认知功能。目前比较敏感的步态指标是跨步时间变化率和步速,即相应认知功能的情况能够通过执行特殊任务下的步态参数反映。而可穿戴步态检测设备使这一过程简便快捷并更能准确反映受试者的日常行走情况。一些可穿戴设备的分析平台上还整合了电子量表评定和平衡功能分析等其他相关检测,从而可进行综合评定来判断认知功能的康复情况。

在骨关节疾病与运动损伤康复过程中,步态评估早已作为康复评价的金标准之一。在这些运动器质性损伤的康复过程中,关键是伴随康复过程的恢复性训练,强度不够达不到康复的预期,而超强度则可以带来更加危害的二次损伤。因此,利用可穿戴步态辅助技术可以设定足底压力强度、下肢弯曲角度等限值,当康复者在训练过程中超出预设值时发出警报,经过反复训练康复者逐渐掌握某个康复阶段的强度,快速提升康复效果^[20]。在一些运动员外伤康复的过程中,可穿戴步态采集设备还可以

根据康复情况,针对特殊的运动表现要求给出康复计划调整方案,使运动员在康复的过程中提升自我的运动表现能力^[21]。

3.2 可穿戴步态辅助技术在养老领域中的应用

人口老龄化和慢性病发病率的提高,使中国养老和医疗服务负担沉重。健康老龄化背景下的养老目标已经不局限于生命周期的延长,而更加注重全周期的健康因素干预,以提高生命质量,即预防疾病的发生,保证肌体的功能。步态异常随年龄增长发生率显著提高^[22],一方面是源于机体老化,另一方面则是神经系统等认知功能病变引起的步态改变^[3]。在养老领域中,步态评估与管理与远程步态健康管理尚属起步尝试阶段。

在老年人生活环境中,步态异常监测与防跌倒预警具有重要的意义。研究表明某些步态参数与老年人跌倒风险密切相关,如时空步态参数和地反力的变化率^[23]。一项跟踪一年的队列研究选取了319名老年人,一周连续使用固定于躯干的可穿戴加速度计来评估老年人日常生活步态情况(稳定性、可变性和对称性),同时通过问卷调查受试者的跌倒风险并对跌倒发病率随访6~12月。研究者发现,步速、步幅、步频、强度、变异性 and 对称性等步态特征与问卷调查结果预测跌倒风险呈中度到高度相关,交叉验证的预测模型具有较高的准确度,可穿戴加速度计获得的日常生活步态质量可预测跌倒^[24]。基于可穿戴步态辅助技术的老年日常步态采集监测设备可以长期记录老年人的步态参数并产生步态变化趋势,对于步态参数的评估可以得到跌倒的风险概率,当达到一定风险后可以提高看护等级并限制出行范围,避免高风险的跌倒事件发生,结合定位功能等模块可以实现危急情况下的老年人定位追踪,提供紧急情况下的营救窗口期并降低社会资源消耗。

延长老年人自理生活期,为老年人在家中独立生活提供支持是降低养老负担的重要途径。认知功能对维持老年人自理和保持社会参与度具有至关重要的作用。在养老过程中,要对老年人的认知能力重视并强化,达到延缓认知功能衰退的目的,需要对老年人认知功能监测和定期评估,而认知功

能可以通过可穿戴步态辅助技术采集的步态信息间接反映,同时可结合运动能力和心肺功能等其他关键生物指标共同综合评定老年人的健康状况。以可穿戴步态辅助技术结合基于云的数据处理与监控平台为依托的远程老年人监护系统可以为老年人提供友好而有安全保障的社区与居家养老环境,结合老年人其他的生理指标可实现综合的远程

健康管理及监护系统,当步态和生理指标异常时可提示老年人主动就医,展开及时的干预措施(图3)。另外,针对神经系统退行性病变的老人,可以在社区与居家养老环境中实施个性化的反馈训练,通过养老看护人员与远程医疗机构人员配合完成日常生活的康复训练计划和定期的上门随访评估。

可穿戴步态辅助技术在养老领域的另一大应

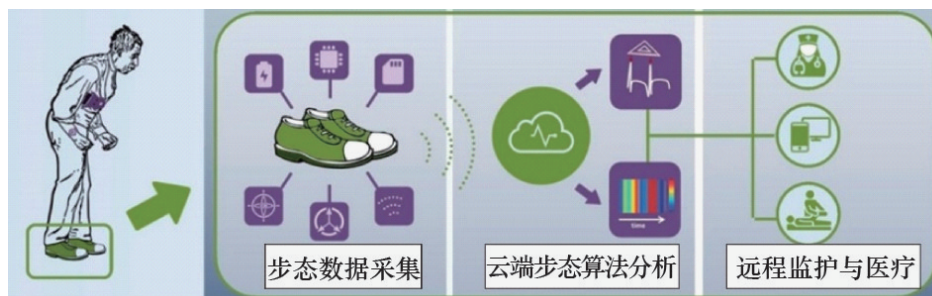


图3 基于可穿戴设备的远程监护与医疗^[25]

Fig. 3 Wearable devices based remote monitoring and medical service

用在于步态辅助机器人与装置的研发与应用。例如,一种可穿戴式髋关节辅助机器人通过步态辅助算法来改善老年人的步态功能、肌肉力量和心肺代谢效率,与对照组个体相比,实验组的步态功能明显改善,在辅助机器人的协助下可减少肌肉用力、降低力产生的功。同时能够在老年人行走时改善躯干的稳定性,降低跌倒风险^[26]。

4 结论

在通信物联层面,5G通信、传感器小型化、新型材料传感器和集成芯片的研发一方面将进一步优化可穿戴步态采集设备,使可穿戴步态采集系统向无线化和精准化发展;另一方面通过智能步态分析系统,累积临床队列研究对象和泛人口背景下的步态信息并形成数据库,通过数据模型与人工智能等手段对步态这一生物学信息的意义进行深度挖掘和转化应用。

在社会经济与民生层面,借鉴发达国家社区与机构康复养老体系下可穿戴与环境感知传感器的

成熟技术与应用案例,结合中国康复养老的特殊背景,自主研发符合中国国情的智能康复养老环境体系是缓解养老压力、提高社会经济效益、实现未来中国健康老龄化的重要途径。

参考文献 (References)

- [1] Minetti A E. The biomechanics of skipping gaits: A third locomotion paradigm[J]. Proceedings: Biological Sciences, 1998, 265(1402): 1227-1235.
- [2] Takakusaki K. Functional neuroanatomy for posture and gait control[J]. Journal of Movement Disorders, 2017, 10 (1): 1-17.
- [3] Verghese J, Ambrose A F, Lipton R B, et al. Neurological gait abnormalities and risk of falls in older adults[J]. Journal of Neurology, 2010, 257(3): 392-398.
- [4] Levine D, Richards J, Whittle M. Whittle's gait analysis [M]. 5th ed. New York: Churchill Livingstone/Elsevier, 2012.
- [5] Oberg T, Karsznia A, Oberg K. Joint angle parameters in gait: Reference data for normal subjects, 10-79 years of age[J]. Journal of Rehabilitation Research and Develop-

- ment, 1994, 31(3): 199–213.
- [6] Oberg T, Karsznia A, Oberg K. Basic gait parameters: reference data for normal subjects, 10–79 years of age [J]. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 1993, 30(2): 210–223.
- [7] 杰奎琳 P, 朱迪丝 M. 步态分析: 正常和病理功能[M]. 姜淑云, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 2017.
- [8] Auvinet E, Multon F, Meunier J. Gait analysis with multiple depth cameras[C]. *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, Piscataway NJ: IEEE, 2011: 6265–6268.
- [9] Jensen R R, Paulsen R R, Larsen R. Analysis of gait using a treadmill and a time-of-flight camera[C]/*Workshop on Dynamic 3D Imaging*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009: 154–166.
- [10] Han J, Bhanu B. Human activity recognition in thermal infrared imagery[C]/*2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)–Workshops*. Piscataway NJ: IEEE, 2005: 17.
- [11] Webster K E, Wittwer J E, Feller J A. Validity of the GAITRite® walkway system for the measurement of averaged and individual step parameters of gait[J]. *Gait and Posture*, 2005, 22(4): 317–321.
- [12] 陶帅, 吕泽平, 田秋娇, 等. 步态检测设备联合量表评估认知功能和跌倒风险的应用初探[J]. *中国老年保健医学*, 2017, 5(15): 26–28.
- [13] Tao S, Zhang X, Cai H, et al. Gait based biometric personal authentication by using MEMS inertial sensors[J]. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2018, doi: 10.1007/s12652-018-0880-6.
- [14] Bernhard F P, Sartor J, Bettecken K, et al. Wearables for gait and balance assessment in the neurological ward– study design and first results of a prospective cross-sectional feasibility study with 384 inpatients[J]. *BMC Neurology*, 2018, 18(1): 114.
- [15] Iijima M, Mitoma H, Uchiyama S, et al. Long-term monitoring gait analysis using a wearable device in daily lives of patients with parkinson's disease: The efficacy of selegiline hydrochloride for gait disturbance[J]. *Frontiers in Neurology*, 2017, 8: 542.
- [16] Carpinella I, Cattaneo D, Bonora G, et al. Wearable sensor-based biofeedback training for balance and gait in parkinson disease: A pilot randomized controlled trial[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2017, 98(4): 622–630.
- [17] Balaban B, Tok F. Gait disturbances in patients with stroke[J]. *PMR*, 2014, 6(7): 635–642.
- [18] Wuest S, Masse F, Aminian K, et al. Reliability and validity of the inertial sensor-based timed "up and go" test in individuals affected by stroke[J]. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 2016, 53(5): 599–610.
- [19] 陶帅, 韩芳, 吕泽平, 等. 步态在老年认知功能障碍中的研究与应用进展[J]. *中国老年保健医学*, 2017, 5(15): 15–18.
- [20] Schliessmann D, Nisser M, Schuld C, et al. Trainer in a pocket – proof-of-concept of mobile, real-time, foot kinematics feedback for gait pattern normalization in individuals after stroke, incomplete spinal cord injury and elderly patients[J]. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2018, 15(1): 44.
- [21] Willy R W, Buchenic L, Rogacki K, et al. In-field gait retraining and mobile monitoring to address running biomechanics associated with tibial stress fracture[J]. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 2016, 26(2): 197–205.
- [22] Mahlknecht P, Kiechl S, Bloem B R, et al. Prevalence and burden of gait disorders in elderly men and women aged 60–97 years: A population-based study[J]. *PLoS One*, 2013, 8(7): e69627.
- [23] Kwon M S, Kwon Y P, Park Y S, et al. Comparison of gait patterns in elderly fallers and non-fallers[J]. *Technology and Health Care*, 2018, 26(Suppl 1): 427–436.
- [24] 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): e0158623.
- [25] Eskofier B, Lee S, Baron M, et al. An overview of smart shoes in the internet of health things: Gait and mobility assessment in health promotion and disease monitoring [J]. *Applied Sciences*, 2017, 7(10): 986.
- [26] Lee H J, Lee S, Chang W H, et al. A wearable hip assist robot can improve gait function and cardiopulmonary metabolic efficiency in elderly adults[J]. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 2017, 25(9): 1549–1557.

Application of wearable gait-assist technology in the fields of rehabilitation and elderly care

TAO Shuai¹, LÜ Zeping^{2*}, XIE Haiqun^{3*}

1. Dalian Key Laboratory of Smart Medical and Health, Dalian University, Dalian 116622, China
2. China Rehabilitation Hospital, National Research Center for Rehabilitation Technical Aids; Beijing Key Laboratory of Rehabilitation Technical Aids for Old-Age Disability; Key Laboratory of Human Motion Analysis and Rehabilitation Technology of the Ministry of Civil Affairs, Beijing 100176, China
3. Department of Neurology, Foshan Hospital Affiliated to Sun Yat-sen University, Foshan 528000, China

Abstract The gait is one part of an individual's specific biological information, in the fields of medical health, athletic performance and biometrics. The wearable gait detecting system is a comprehensive system integrating hardware, software, data processing analysis and gait algorithm, and is easy to operate and to acquire the gait information of the subject in real-time and with high precision. It can be effectively used in the evaluation of the rehabilitation, the abnormal gait monitoring and the early warning of the elderly in line with the needs of the rehabilitation and pension field in the context of our aging society. With the accumulation of the gait data and the establishment of disease prediction models in different disease cohort studies, the gait detection and evaluation will find more important applications with broad application prospects in the field of the rehabilitation and the elderly care service.

Keywords gait; wearable devices; rehabilitation; elderly care; intelligent health ●



(责任编辑 刘志远)