

文章编号: 1004-7220(2022)05-0787-02

康复领域步态研究的进展与展望

姚杰, 任韦燕, 蒲放

(北京航空航天大学 生物与医学工程学院, 北京 100083)

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.05.003

步态是指人或动物通过肢体一系列运动,使身体沿着一定方向移动时的姿态和行为特征。正常步态通常具有稳定性、周期性、节律性、方向性、协调性等特征,也具有个体差异性和周期间变异性等特征。步态影响因素很多,既包括神经、运动等多系统的耦合协同作用,也与行为习惯以及外部环境相关。

步态研究的历史非常悠久。早在亚里士多德时代就有对步态的观测记录,中国古代也用“龙行虎步”“大步流星”“举前曳踵”“微波凌步”“款款玉步”等成语简练生动地描述不同步态。19世纪以后,步态研究开始逐渐专业化,包括步态周期基本要素的定义、利用摄影记录奔跑动作的次序、人体行走动作的三维分析等。20世纪以来,随着科技的快速发展,步态测量和分析技术都取得了长足的进步,逐渐形成了相应的系统,并开始在临床诊断、康复治疗等方面发挥越来越重要的作用^[1]。目前,在康复领域中,步态测量和分析已经成为功能评价的必要组成部分。

步态研究包括主观定性观测方法和客观定量测量方法。主观定性方法主要通常用一系列量表对步态进行观察评测,典型的量表如医师评定量表、威斯康辛步态量表、索尔福德步态量表、爱丁堡视觉步态量表、Tinetti平衡与步态评定量表等^[2]。尽管定性方法在准确性和可重复性方面有一些争议,但由于操作便利、成本低廉,仍在临床中广泛应用。

步态定量测量与分析技术目前已经形成了比较成熟的方案和系统。一个典型的步态实验系统一般包括运动学、动力学、肌电以及能耗等组成部分。在测量方面,通常采用光学、惯性传感、高速摄

像、深度相机、柔性关节角度传感运动捕获技术获取人体在三维空间内的运动轨迹变化,采用测力台、足底压力测量系统测量着地过程中的地面反作用力、压力分布,采用肌电系统采集运动过程中的肌肉激活,采用心肺功能仪评估运动过程中的能耗;在分析方面,通常把1个步态周期细分为不同时相,并用步速、步频、步长、步幅、步宽、步向角等参数描述时空特征,用解剖学上关键点位移、速度和加速度,以及关节角度、角速度和角加速度描述运动学特征,用多刚体逆向动力学计算运动过程中的肌肉力、关节力矩以描述动力学特征。

近年来,康复领域中的步态研究,除了把传统的步态分析方法和系统应用于脑卒中、脑瘫、帕金森、阿尔茨海默病、肌骨损伤等具体病症的功能诊断评价、治疗策略优化、康复训练反馈外,研究的热点可以初步总结为4个方面:

(1) 基于虚拟现实技术的特定场景和任务模拟逐渐被整合进步态测试和训练中。例如:跌倒刺激诱发、双任务/多任务设计、地形/路况模拟等,使得测试环境更接近真实环境,同时也有助于实验室训练成效向真实世界的迁移。

(2) 基于快速发展的可穿戴技术和柔性传感器,实现在日常活动/特定任务中对步态进行连续监测或对步态康复训练进行实时反馈,有助于进一步提高评测的实用性和训练的有效性^[3]。

(3) 康复机器人(特别是外骨骼机器人)与人体耦合的步态研究。这是因为基于治疗、辅助不同目标,以及基于主动、被动、主动辅助、主动阻力不同模式,必须考虑机器人与人体相互作用对步态的影响,

收稿日期:2022-09-04; 修回日期:2022-09-15

基金项目:国家自然科学基金项目(12072019,11902089)

通信作者:蒲放,教授,博士生导师,E-mail: pufangbme@buaa.edu.cn

才能实现机器人的精准控制,达到预期的训练或辅助效果。这方面的研究还包括基于脑机接口的运动意图识别,以及助行器与人体耦合的步态研究等。

(4) 人工智能和深度学习技术在步态分析中的应用,尤其是在基于视觉的步态识别方面取得了一些重要进展,构建了 GaitSet、PoseGait、GaitPart、HMRGait、3DCNNgait 等一些算法,同时深度增强学习的一些算法也开始应用于人体运动的控制模型中^[4]。深度学习技术的引入,将有助于提高步态分析时数据处理能力,以及主观评价指标和客观评价指标的融合。

基于目前研究的现状,以及相关技术的发展趋势和应用需求,康复领域中步态研究未来可以在 4 个方面开展更深入的研究。

(1) 步态参数的规范与整合。目前,基于主、客观步态评价方法,所提出的步态参数已经超过 100 个,而且根据研究和临床应用需求还在不断增长。尽管其中一些参数已经在临床应用中获得认可,但仍有很多参数的信度、效度并没有得到很好的验证^[2];而且一些参数的提出原本有特定的背景和场景,但一些研究在应用时并没有考虑这些因素的影响。这也是一些研究在同样实验范式下得出结论不一致的重要原因之一。因此,有必要进一步规范步态参数的使用。这包括两个方面工作:① 在不同的应用场景下,对已有参数信度、效度的验证;② 通过传感器层次或者算法层次的多源数据融合,改善数据质量和处理效果。其中,变异性、协调性等相关参数,以及基于深度学习等算法的数据处理方法值得特别关注。

(2) 可穿戴步态监测和反馈系统的进一步优化和应用。尽管近年来可穿戴技术和系统的发展非常快,也出现了许多应用场景的原理样机,但在临床上的真正作用还需要进一步验证,一些技术还需要进一步突破。例如,在可穿戴方面应用最多的惯性传感系统和足底压力系统,前者在复杂场景和长时间应用时的漂移问题,后者在传感器耐疲劳性、数目与布局(目前至少有 10 多种方案),以及对地面反作用力和局部剪切估计等方面,都有根据实际需求进一步优化的必要。

(3) 步态仿真方法和运动控制模型构建方面还

需要进一步提升。对于步态仿真,一方面,从多刚体模型向刚柔耦合模型发展,以及多刚体模型与有限元模型的结合是一个重要趋势;另一方面,由于现有仿真软件中所采用的模型多是基于正常人的特征和数据,需要根据临床真实应用场景进行进一步的改进,开发出适合特定病种的专用模型。对于运动控制模型,尽管现有模型已经可以在一定程度上模拟和解释行走、跑步和爬楼梯等基本运动行为,但对于处理运动策略规划、应对复杂环境等更高层的控制方面,还需要构建更适宜的模型,特别是与生物力学优化和运动意图识别的结合值得进一步深入研究。研究结果可以为康复机器人、康复辅具控制策略以及异常步态的识别,提供有力的理论支撑。

(4) 步态数据集的建立。深度学习算法在步态研究中的应用是必然趋势,而数据集对深度学习算法训练和验证必不可少。但与其他领域研究相比,步态数据集的数据量和数据类型都明显不足,且大部分是基于视觉的正常人数据。建立面向不同功能障碍特征和康复评价/训练需求,基于不同传感器的步态数据集,对于提升深度学习算法在步态研究领域中的应用具有重要的推动作用。

综上所述,步态研究是康复领域的重要主题之一,未来将为康复领域的功能评价诊断、治疗策略优化、康复训练反馈提供更重要的支撑。

参考文献:

- [1] SETHI D, BHARTI S, PRAKASH C. A comprehensive survey on gait analysis: History, parameters, approaches, pose estimation, and future work [J]. *Artif Intell Med*, 2022, 129: 102314.
- [2] GONÇALVES SB, LAMA CSB, DA SILVA MT. Three decades of gait index development: A comparative review of clinical and research gait indices [J]. *Clin Biomech*, 2022, 96: 105682.
- [3] CHEN JL, DAI YN, GRIMALDI NS, *et al*. Plantar pressure-based insole gait monitoring techniques for diseases monitoring and analysis: A review [J]. *Adv Mater Technol*, 2022, 7(1): 2100566.
- [4] SONG S, KIDZINSKI Ł, PENG XB, *et al*. Deep reinforcement learning for modeling human locomotion control in neuromechanical simulation [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 126.