

综述

DOI: 10.3969/j.issn.0253-9802.2022.03.002

步态分析在神经病学中的临床应用进展

黄祎晨 卞跃峰 刘明媛 韩燕

【摘要】 步态分析在神经病学领域有着迫切的应用现实需求，也面临着推广应用的巨大挑战与机遇。近年来随着步态分析系统硬件和软件技术的进步，技术节点上的难关被一一突破，神经病学定量步态分析系统也随之建立，有助于明确步态分析潜在机制与疾病进展之间的联系，以提高步态测量方法在临床及试验中的实用性和精确性。为进一步成功实现步态分析技术的临床转化，为其在神经病学领域的应用打下基础，该文对步态分析在神经病学中的临床研究新进展进行综述。

【关键词】 步态分析；神经病学；临床应用；定量分析

Research progress on clinical application of gait analysis in neurology Huang Yichen[△], Bian Yuefeng, Liu Mingyuan, Han Yan.

[△]Institute of Science, Technology and Humanities, Shanghai University of Traditional Chinese Medicine, Shanghai 201203, China

Corresponding author, Han Yan, E-mail: hanyan.2006@aliyun.com

【Abstract】 Gait analysis has urgent practical needs in neurology, and it is also faced with great challenges and opportunities for popularization and application. In recent years, technical difficulties have been properly resolved with the progress of hardware and software technologies of gait analysis system. The establishment of quantitative gait analysis system for neurology contributes to elucidating the relationship between its underlying mechanism and disease progression, thereby enhancing the practicability and accuracy of gait measurement in clinical practice and trials. It lays a foundation for further successful clinical transformation of gait analysis and its application in the field of neurology. In this article, the research progress on clinical studies related to gait analysis in neurology was reviewed.

【Key words】 Gait analysis; Neurology; Clinical application; Quantitative analysis

步态评价是神经病学临床实践的重要方面。目前临床对患者的诊断和处理常规依赖于专科医师对患者步态临床表征的判断，缺乏更敏感的、能作出客观评价的、能对诊断和治疗预后评级的指标。但由于步态潜在机制与疾病进展之间的研究尚待完善，个体差异较大等因素，目前神经病学临床定量步态测量方法的研究面临很多困境，这是亟需突破的难点与重点。本文就步态分析在神经病学中的临床应用进展做一综述。

一、步态分析的基本概念及分析方法

步态是人在行走时姿态的统称，能从侧面反应出机体的健康程度及躯体某部位存在的问题。步态分析是通过运用力学原理、人体解剖学及生理学等知识对人类行走状态进行对比分析的一种

研究方法。一个步态周期由支撑相和摆动相组成，其中支撑相包括最初的双支撑相、单支撑相及结束时的双支撑相。步态可以反映骨骼肌肉系统、神经系统等的功能状况。

三维步态分析（3DGA）系统通过三维空间能定量分析患者的步行规律：关节活动度、中心转移、速度、位移等；然后对行走时躯体关键部位的肌肉所承受的生物力学（力和力矩）以及涉及步行时每块肌肉的活动进行高精度、定量客观的测量和分析比较^[1]。步态相关的基础参数有：步长、步速、步频、步行周期、支撑相力矩及下肢关节活动度等。步长为行走时一侧足跟落地到对侧足跟落地所行进的距离。步速、腿长、肌力、髌关节活动度等因素均会影响步长。步速可作为评价患者行走能力的客观指标^[2]。步态的对称被认

基金项目：国家重点研发计划（2019YFC1711603）；上海申康医院发展中心重大临床研究项目（SHDC2020CR2046B）

作者单位：201203 上海，上海中医药大学科技人文研究院（黄祎晨）；200437 上海，上海中医药大学附属岳阳中西医结合医院神经内科（卞跃峰，刘明媛，韩燕）

通信作者，韩燕，E-mail: hanyan.2006@aliyun.com

为是一种理想的状态，临床上常用与正常值对比的方式来进行步态分析。但目前步态常以笼统的方式描述，无法量化其变化与疾病进展的关联。

二、步态分析在神经病学中的临床应用

1. 脑血管病

卒中中偏瘫步态主要表现为患侧足下垂、内翻、膝反张，呈现拖曳步态或划圈步态，平衡稳定性下降^[34]。Merkel等^[5]建议使用3DGA来指导脑损伤后足下垂患者动力义肢的选择。可穿戴技术（可穿戴设备）数据处理平台的开发便于临床量化步态的时空特征^[6]。Moore等^[7]证实了低成本的可穿戴设备Axivity AX3可同时捕获步态的时空参数和身体活动，有望作为可靠的工具来量化卒中后步态。Microsoft Kinect是一种虚拟现实系统，可帮助医师了解人体姿势和受试者运动功能之间的联系，在计算机辅助医疗领域被广泛应用。Tupa等^[8]的研究显示用Microsoft Kinect统一化步幅长度和步态速度识别脑卒中的精确度高达97.2%。Cao等^[9]认为该系统有可能成为一种低成本的家用户具用于识别脑卒中和帕金森病患者，还可帮助社区医师进行初步诊断。脑小血管病变是引起步态紊乱的重要血管原因之一，Li等^[10]通过在社区居住人群中应用临床评定量表和定量步态分析发现脑小血管病总负荷与3 m步行延长、步幅缩短、“起立-行走”测试表现较差相关，并且不同的脑小血管病变可能通过不同的途径引起步态紊乱。

2. 神经系统变性疾病

肌萎缩侧索硬化（ALS）是一种持续进行性神经退行性疾病，目前尚无有效的治疗方法。早期ALS可有跌倒、姿势反射减弱、后冲、运动迟缓和手臂摆动减少等步态障碍，另外认知缺陷会增加跌倒和骨折的风险。目前步态节奏变化和步幅波动在ALS患者中已被描述，评估预期姿势调整的方法开始被应用^[11-12]。Feron等^[13]使用多模式方法评估ALS步态障碍，包括标准化的临床评估、步态启动的运动学记录和脑成像，对无步态障碍的ALS患者和具有姿势不稳的ALS患者作出区分，呼吁重视ALS的锥体外系特征，在诊断和随访中加入运动障碍评估。

3. 中枢神经系统脱髓鞘疾病

多发性硬化（MS）患者最普遍的症状之一即行走障碍和频繁跌倒^[14]。研究显示MS患者步态障碍可能是由于肌肉无力、感觉丧失、平衡功能障

碍、踝关节的背屈运动范围不足等引起的^[15]。步速被用于评估MS患者的临床能力。Yang等^[16]评估了6个可能减慢MS患者步速的因素，包括：膝关节力量、功能活动性、身体平衡性、踝关节背屈运动范围、双侧足部皮肤感觉水平以及对跌倒的恐惧心理。其发现膝关节力量可能是决定轻度至中度MS患者步速的最主要因素，可以为改善MS患者步态提供临床指导。

4. 运动障碍性疾病

帕金森病是神经系统常见的进行性疾病之一，可引起步态冻结、转向困难、姿势转换障碍、姿势不稳和本体感觉障碍。帕金森病患者步态最明显的特征为短步幅，伴有步速的下降^[17]。国内外研究者对步态时空参数、动力学参数、运动学参数以及下肢表面肌电信号等进行分析，为帕金森病患者的康复评估提供了量化支撑。Prateek等^[18]开发了使用惯性传感器实时自动检测帕金森病患者步态冻结的开始和持续时间的新方法，比仅使用加速度计的数据准确率更高。此举为临床提供可靠、动态的步态冻结识别打下基础。Marxreiter等^[19]发现基于传感器的移动式步态分析有助于在帕金森病横断面研究中客观地测量步态参数。Pham等^[20]设计了张量分解模型，这是帕金森病多传感器时间序列建模和分析的一种有用方法，可以作为帕金森病潜在的生理指标，以提供疾病进展的早期预测。

5. 正常压力脑积水（NPH）和特发性正常压力脑积水（iNPH）

iNPH是脑积水的一种可逆形式，表现为失禁、步态共济失调和认知缺陷。近几年对其症状的认识扩展到平衡和上肢功能障碍。Gallagher等^[21]发现步态评估量表Tinetti量表、Berg平衡量表和起立行走试验可以识别iNPH患者接受脑脊液腰椎穿刺放液试验前后的步态变化和平衡症状，可量化评估患者治疗前后的变化。NPH可采用脑室腹膜分流手术治疗。Chen等^[22]在观察NPH患者术后步态分析发现其有更慢的节奏、更少的双肢支撑、更长的步长和更大的单肢支撑，表明其行走平衡更加稳定。

三、现实需求和挑战

为了获得临床应用，明确特定步态障碍潜在机制与疾病进展之间的清晰联系，提高定量步态测量方法在未来疾病改良临床试验中的可接受性

和实用性十分关键, 中枢神经系统损伤后的异常步态常与肌肉异常的肌力输出有关, 周围神经损伤患者则常出现肌无力步态。脑卒中步态的研究集中在测量身体活动或步态的时空参数方面, 而非将两者结合。ALS 疾病早期患者体征不明显, 其与 MS、帕金森病患者均存在跌倒和行走障碍。这些特异性的步态损害特征可为临床上药物或非药物干预手段的选择提供参考。Morris 等^[23]使用降维工具离子分析, 通过将步态参数分组为与参与者的人口统计学和临床特征相关的域来总结步态参数。初步对步态相关参数进行分组的尝试有可能完善步态评估的临床解释, 增强对潜在机制的理解。

另外, 可穿戴技术有望降低量化步态的成本, 并且可以减少人工记录的偏差^[24]。尽管可穿戴技术应用前景广阔, 但仍需要考虑许多潜在问题, 例如惯性测量单元的电池寿命太短; 可穿戴设备太多会加重研究人员和参与者负担; 用工程术语描述步态措施降低了临床应用率; 挑战精确算法的开发。

缺乏足够的运动分析技术以及评估步态特征的专业知识使步态受损和功能降低之间的评估受限。要实现定量步态分析在神经病学领域的有效转化, 需要加强各个相关疾病领域研究者之间的交流与合作, 特别是临床、基础与技术设备研发企业之间的沟通与交流。

四、小 结

通过步态分析技术对患者异常步态进行全面分析, 并且结合表面肌电图技术, 量化神经肌肉的状态, 客观、动态评估患者的病理性步态特点, 可为神经病学临床诊断、康复治疗提供相应的策略支撑。一些定量参数的早期改变可能只引起亚临床变化, 而定量步态分析的使用可以帮助检测这些细小差异。尽管步态分析的研究和应用面临诸多困难与挑战, 但只要选对方向, 协力建立完善的异常步态特点数据库, 紧跟基础前沿研究步伐定会有所突破。

参 考 文 献

[1] 王茂斌, 高谦. 脑卒中的康复医疗. 北京: 中国科技出版社, 2006: 64.
[2] Sung Y H, Kim C J, Yu B K, et al. A hippotherapy simulator is

effective to shift weight bearing toward the affected side during gait in patients with stroke. *NeuroRehabilitation*, 2013, 33 (3): 407-412.

- [3] 张志强. 脑卒中康复治疗. *中国实用内科杂志*, 2012, 32 (9): 660-662.
[4] 李文立, 何小英. 社区康复中运用渐进式核心肌群训练对脑卒中患者步行稳定性的影响. *新医学*, 2014, 45 (4): 262-265.
[5] Merkel C, Hausmann J, Hopf J, et al. Active prosthesis dependent functional cortical reorganization following stroke. *Sci Rep*, 2017, 7 (1): 8680.
[6] Byun S, Han J W, Kim T H, et al. Test-retest reliability and concurrent validity of a single tri-axial accelerometer-based gait analysis in older adults with normal cognition. *PLoS One*, 2016, 11 (7): e0158956.
[7] Moore S A, 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 Neuroeng Rehabil*, 2017, 14 (1): 130.
[8] Ťupa O, Procházka A, Vyšata O, et al. Motion tracking and gait feature estimation for recognising Parkinson's disease using MS Kinect. *Biomed Eng Online*, 2015, 14: 97.
[9] Cao Y, Li B Z, Li Q N, et al. Kinect-based gait analyses of patients with Parkinson's disease, patients with stroke with hemiplegia, and healthy adults. *CNS Neurosci Ther*, 2017, 23 (5): 447-449.
[10] Li P, Wang Y, Jiang Y, et al. Cerebral small vessel disease is associated with gait disturbance among community-dwelling elderly individuals: the Taizhou imaging study. *Aging (Albany NY)*, 2020, 12 (3): 2814-2824.
[11] Majmudar S, Wu J, Paganoni S. Rehabilitation in amyotrophic lateral sclerosis: why it matters. *Muscle Nerve*, 2014, 50 (1): 4-13.
[12] Anand M, Seipel J, Rietdyk S. A modelling approach to the dynamics of gait initiation. *J R Soc Interface*, 2017, 14 (128): 20170043.
[13] Feron M, Couillandre A, Mseddi E, et al. Extrapyramidal deficits in ALS: a combined biomechanical and neuroimaging study. *J Neurol*, 2018, 265 (9): 2125-2136.
[14] Zwibel H L. Contribution of impaired mobility and general symptoms to the burden of multiple sclerosis. *Adv Ther*, 2009, 26 (12): 1043-1057.
[15] Fjeldstad C, Suarez G, Klingler M, et al. Dalfampridine effects beyond walking speed in multiple sclerosis. *Int J MS Care*, 2015, 17 (6): 275-283.
[16] Yang F, Qiao M, Su X, et al. Relative importance of physical and psychological factors to slowness in people with mild to moderate multiple sclerosis. *Mult Scler Relat Disord*, 2019, 27: 81-90.
[17] Wu Z, Jiang X, Zhong M, et al. Wearable sensors measure ankle joint changes of patients with Parkinson's disease before and after acute levodopa challenge. *Parkinsons Dis*, 2020,

- 2020 : 2976535.
- [18] Prateek G V, Skog I, McNeely M E, et al. Modeling, detecting, and tracking freezing of gait in Parkinson disease using inertial sensors. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2018, 65 (10): 2152-2161.
- [19] Marxreiter F, Gaßner H, Borozdina O, et al. Sensor-based gait analysis of individualized improvement during apomorphine titration in Parkinson's disease. *J Neurol*, 2018, 265 (11): 2656-2665.
- [20] Pham T D, Yan H. Tensor decomposition of gait dynamics in Parkinson's disease. *EEE Trans Biomed Eng*, 2018, 65 (8): 1820-1827.
- [21] Gallagher R, Marquez J, Osmotherly P. Gait and balance measures can identify change from a cerebrospinal fluid tap test in idiopathic normal pressure hydrocephalus. *Arch Phys Med Rehabil*, 2018, 99 (11): 2244-2250.
- [22] Chen C P C, Huang Y C, Chang C N, et al. Changes of cerebrospinal fluid protein concentrations and gait patterns in geriatric normal pressure hydrocephalus patients after ventriculoperitoneal shunting surgery. *Exp Gerontol*, 2018, 106 : 109-115.
- [23] Morris R, Hickey A, Del D S, et al. A model of free-living gait: a factor analysis in Parkinson's disease. *Gait Posture*, 2017, 52 : 68-71.
- [24] Godfrey A, Lara J, Del D S, et al. iCap: instrumented assessment of physical capability. *Maturitas*, 2015, 82 (1): 116-122.

(收稿日期: 2021-05-27)

(本文编辑: 洪悦民)

