

· 综 述 ·

步态分析在膝骨关节炎诊治中的应用进展

万贤杰, 侯卫坤, 许珂, 杨明义, 马宇杰, 许鹏

(西安交通大学附属红会医院, 陕西 西安 710054)

摘 要 膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)主要表现为膝关节疼痛、肿胀、活动受限,严重者可出现膝关节内翻或外翻畸形,影响患者生活质量。步态分析可采集、分析 KOA 患者行走过程中的步态参数,有助于 KOA 的临床诊断、疗效评价和康复方法选择。本文简要介绍了步态分析系统,并从诊断、疗效评价、康复指导 3 个方面对步态分析在 KOA 诊治中的应用进行了综述,以期 KOA 的诊治提供新的思路。

关键词 骨关节炎,膝;步态分析;综述

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是一种严重影响中老年人生活质量的慢性退行性疾病,其典型表现为膝关节疼痛、肿胀、活动受限,严重者可出现膝关节内翻或外翻畸形^[1-2],影响患者生活质量^[3]。步态是指人体行走过程中的姿态^[4]。步态分析是运用生物力学方法及运动学知识,采集、分析行走过程中人体步态参数,从而客观、定量评价受试者步行状态的专门技术^[5]。KOA 的发病由多种因素复合而成,具体机制尚不明确,但在其发生发展过程中,下肢的生物力学改变扮演着不可忽略的角色^[6]。步态分析对 KOA 的诊断、疗效评价及康复指导具有重要的意义。本文简要介绍了步态分析系统,并从诊断、疗效评价、康复指导 3 个方面对步态分析在 KOA 诊治中的应用进行了综述,旨在为 KOA 的诊治提供新的思路。

1 步态分析系统

步态分析系统主要由步态采集系统、肌电测试仪、足底压力测力台或足底压力鞋垫、分析软件 4 个部分构成。步态采集系统主要有 2 种采集模式,一种是在人体各关节处粘贴反光标记点,通过放置于不同位置、不同角度的高速红外线摄像机,记录并测量受试者时空位移变化;另一种是通过固定于人体的便携式步态记录仪,对受试者步态进行记录。肌电测试仪主要用于记录肌肉静态和收缩时表面肌电电位变化。足底压力测力台或足底压力鞋垫,用来记录受试者行

走时足底的压力变化。分析软件是对采集的数据进行计算、分析。步态分析的基本参数包括:步幅、步速、步频、步宽、步长、足角、周期等时空参数,髌、膝、踝空间内角度周期性变化等关节角度参数,地面反力、关节负荷应力、力矩等运动学参数,以及肌电活动、能量消耗等的参数。已有的步态分析技术除进行步态参数分析外,还可通过原始步态测量数据建立模型,加入心理学等因素,分析出与步态相关的生命活动信息,即进行生物力学综合定量评价^[7]。

2 步态分析在 KOA 诊治中的应用

2.1 诊断 李向毅等^[8]在研究中发现,老年 KOA 患者步速及步频变慢,步态周期延长,步态周期中支撑相时间与摆动相时间占比也与正常人有所差异,双支撑相时间延长。KOA 患者行走时还可能通过增加步角以维持身体平衡和步态稳定^[9-10]。Mündermann 等^[11]发现,KOA 患者足跟着地期伸膝角度、支撑期最大屈膝角度及支撑期最大伸膝角度均会减小。这些步态参数的改变,说明 KOA 患者在行走时,机体为减小膝关节压力、减轻疼痛,做出了一系列的代偿。

相较于健康女性,老年女性 KOA 患者膝关节内收力矩明显增大^[12]。黄萍等^[13]研究发现 KOA 患者膝关节伸展力矩峰值降低。李永杰等^[14]研究发现 KOA 患者膝关节屈曲力矩峰值较正常人低。KOA 患者髌关节内收、外展和内旋力矩,以及膝关节屈曲、内收和内旋力矩都会发生不同程度的改变^[15]。随着病情进展,KOA 患者会出现下肢肌力减退、耐力降低。KOA 患者的股四头肌及臀部肌力较健康成人弱^[16]。Callaghan 等^[17]发现 KOA 患者股直肌、外侧腓绳肌及内侧腓肠肌的肌力会发生变化。在步态周期中,足底

基金项目:陕西省重点研发计划项目(2020GXLH-Y-007, 2022SF-352)

通讯作者:许鹏 E-mail:sousou369@163.com

各部分与地面接触的时间及在地面产生的压力是有一定规律的,这些规律的变化可以反映人体步态的变化。当足底压力相关区域的压力分布及峰值发生改变,可说明足底重心产生偏移,膝关节内侧或外侧负荷变大。KOA 患者足底压力会出现明显改变^[18-19]。

目前诊断 KOA 的辅助检查方法主要有 X 线、MRI 及高频超声等影像检查方法。X 线片主要显示骨性结构的改变,而对于 KOA 患者,关节周围非骨性结构病变的出现远早于骨性结构的改变。MRI 和高频超声检查作为对非骨性结构分辨率较高的影像检查方法,能清晰地显示关节周围非骨性结构的病变。但此类检查患者受检时处于静止状态,难以有效表现出膝关节症状与周围组织的对应关系。

步态分析是在患者行走过程中测量、采集数据,可通过分析膝关节力矩评估行走时膝关节力线及应力变化,通过肌电测试评估行走时膝关节周围肌肉的协调性,通过足底压力相关区域峰值变化来评估行走时下肢整体运动的协调性。早期 KOA 患者,可能通过步态分析已发现其膝关节内收力矩增加、下肢肌力减弱及足底压力分布改变,而膝关节影像检查并未发现明显异常。分析步速、步长、步频及膝关节屈伸角度也可为早期 KOA 的诊断提供参考,但这几项指标可能受到疼痛等混杂因素的影响。相对来说,膝关节内收力矩、下肢肌力及足底压力等指标用于早期 KOA 的诊断更客观。

与临床常用的症状评分量表相比,步态分析的评价更为客观。KOA 患者的主要临床症状是膝关节疼痛,临床症状评分多受患者心理因素、感知能力等主观因素的影响。而步态分析在患者的运动状态下实时进行数据采集,可以更客观、全面地反映 KOA 患者下肢的力学及肌电等变化。

2.2 疗效评价 临床上治疗 KOA 的方法有很多,通过步态分析可对这些治疗方法的疗效进行评价。徐欣等^[20]采用针刀松解粘连、挛缩的软组织治疗 KOA,治疗后患者步长和步幅增大,步速和步频增快,膝关节屈伸角度增大。Da Silva^[21]通过患者步态变化评估内侧开放楔形高位胫骨截骨术治疗 KOA 的疗效,结果发现术后患者膝关节摆动期的屈曲角峰值、内收和屈曲力矩与健康对照组相近。Zeyu Huang 等^[22]对行腓骨截骨术的 KOA 患者进行步态分析以评价手术效果,发现术后手术侧膝关节内收力矩峰值下降、髌膝

踝角增加、股二头肌肌力增强,术后 6 个月时,以上步态参数与健康对照组相当。高宇等^[23]通过步态分析发现,双侧 KOA 患者行双侧全膝关节置换后随着下肢力线恢复,轻侧肢不需要过度负重,足底压力降低,重侧肢负重区向后、向内移,双足底压力分布趋向生理分布;行一侧全膝关节置换术联合对侧腓骨近端截骨术同样可改善患肢力线和跛行状态,并可取得与双侧全膝关节置换相当的效果。Kim 等^[24]研究发现,膝关节单髁置换术后,KOA 患者步态参数仍较健康人群差,认为此方法并不能完全恢复 KOA 患者的步态。周欣等^[25]将美国特种外科医院膝关节评分与步态分析相结合,对高屈曲度固定平台和高屈曲度旋转平台膝关节假体置换后 KOA 患者的早期步态进行了比较,发现两种不同设计假体植入后的早期疗效无明显差异,并认为步态分析能够详尽、准确地反映膝关节置换患者术后的步态变化,为临床医生对膝关节置换后疗效的评估提供了一种新方法。

2.3 康复指导 因为膝关节疼痛和失稳,KOA 患者会出现步态改变,长期的异常步态又会反过来加重膝关节的疼痛和失稳,从而进一步改变膝关节内应力分布,加速膝关节软骨及软骨下骨的损伤。一项随访 5~11 年的研究^[26]发现,长期异常步态可导致 KOA 病情加重。通过康复锻炼可以增强膝关节周围肌肉的肌力和协调能力,从而达到改善膝关节稳定性的目的。因此,康复锻炼是减缓 KOA 疾病进程、改善膝关节功能的重要方法。加强股四头肌肌力锻炼和髌关节阻力锻炼,可以有效改善 KOA 患者的膝关节功能、缓解疼痛^[27-28]。Liang 等^[29]发现减重步行结合提起式深蹲锻炼,可增加 KOA 患者的膝关节屈伸活动范围,改善患者的步态。权宏磊等^[30]通过步态分析发现,KOA 患者行全膝关节置换术后,早期进行髌外展肌强化锻炼可提高行走时的身体稳定性,增强患者的平衡能力和行走能力。采用步态分析对 KOA 患者进行康复指导,能为患者康复计划的制定提供客观的依据。

3 小 结

步态分析可通过采集、分析 KOA 患者行走时的步态参数,为 KOA 的诊断、疗效评价及康复指导提供客观依据。但目前步态分析在 KOA 诊治中的应用还没有统一的标准,各项参数的判定标准还需要大量的研究进行测算、验证。

参考文献

- [1] 中国中医药研究促进会骨伤科分会. 膝关节炎中医诊疗指南(2020 年版)[J]. 中医正骨, 2020, 32(10): 1-14.
- [2] ABRAMOFF B, CALDERA F E. osteoarthritis: pathology, diagnosis, and treatment options[J]. Med Clin North Am, 2020, 104(2): 293-311.
- [3] SHARMA L. Osteoarthritis of the knee[J]. N Engl J Med, 2021, 384(1): 51-59.
- [4] 张峻霞, 高昆, 谢兵. 步态分析研究综述[J]. 包装工程, 2022, 43(10): 41-53.
- [5] 顾琳燕. 基于步态分析的运动康复评价方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2016.
- [6] ENGLUND M. The role of biomechanics in the initiation and progression of OA of the knee[J]. Best Pract Res Clin Rheumatol, 2010, 24(1): 39-46.
- [7] 王常海, 李峰, 张蓉, 等. 步态分析技术在膝骨性关节炎康复中的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2007, 13(7): 686-687.
- [8] 李向毅, 张鹏, 王子江, 等. 老年膝骨关节炎患者与不同年龄段健康人步态分析对比研究[J]. 现代医药卫生, 2023, 39(1): 58-61.
- [9] 钱竞光, 宋雅伟, 叶强, 等. 步行动作的生物力学原理及其步态分析[J]. 南京体育学院学报(自然科学版), 2006, 5(4): 1-7.
- [10] DELUZIO K J, ASTEPHEN J L. Biomechanical features of gait waveform data associated with knee osteoarthritis: an application of principal component analysis[J]. Gait Posture, 2007, 25(1): 86-93.
- [11] MÜNDERMANN A, DYRBY C O, ANDRIACCHI T P. Secondary gait changes in patients with medial compartment knee osteoarthritis: increased load at the ankle, knee, and hip during walking[J]. Arthritis Rheum, 2005, 52(9): 2835-2844.
- [12] 殷可意. 老年女性膝骨关节炎患者步态适应性运动特征研究[D]. 上海: 上海体育学院, 2021.
- [13] 黄萍, 王怡, 陈博, 等. 膝骨关节炎患者的三维运动解析[J]. 中国全科医学, 2020, 23(17): 2169-2176.
- [14] 李永杰, 付申宇, 夏渊, 等. 膝骨关节炎女性伸膝肌力、步态时空参数与峰值膝关节屈曲/内收力矩关系[J/OL]. 中国组织工程研究: 1-5 [2023-03-26]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1581.r.20230307.1803.003.html>.
- [15] MILLS K, HUNT M A, FERBER R. Biomechanical deviations during level walking associated with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis[J]. Arthritis Care Res(Hoboken), 2013, 65(10): 1643-1665.
- [16] VÅRBAKKEN K, LORÅS H, NILSSON K G, et al. Relative difference in muscle strength between patients with knee osteoarthritis and healthy controls when tested bilaterally and joint-inclusive: an exploratory cross-sectional study[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2019, 20(1): 593.
- [17] CALLAGHAN M J, MCCARTHY C J, OLDFHAM J A. The reliability of surface electromyography to assess quadriceps fatigue during multi joint tasks in healthy and painful knees[J]. J Electromyogr Kinesiol, 2009, 19(1): 172-180.
- [18] 王欣, 罗文, 黄文泽, 等. 单侧膝骨关节炎临床分期与双足足底压力的相关性[J]. 中国组织工程研究, 2021, 25(27): 4312-4317.
- [19] 王子坚, 闫松华, 李伟, 等. 单侧膝内翻型膝骨关节炎患者足底压力分布特征研究[J]. 北京生物医学工程, 2019, 38(2): 151-158.
- [20] 徐欣, 吴明霞. 针刀松解治疗膝关节骨性关节炎的步态分析[J]. 福建中医药, 2014, 45(5): 41-42.
- [21] DA SILVA H G P V, ZORZI A R, DA SILVA H P V, et al. Gait analysis in short-term follow-up of medial opening wedge high tibial osteotomy[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2018, 28(5): 939-946.
- [22] ZEYU HUANG Y N, XU B, SHEN B, et al. Evidence and mechanism by which upper partial fibulectomy improves knee biomechanics and decreases knee pain of osteoarthritis[J]. J Orthop Res, 2018, 9: 10.
- [23] 高宇, 肖强, 赵丽莉, 等. 不同手术方式治疗双膝关节骨性关节炎效果及对足底压力的影响[J]. 解放军医药杂志, 2018, 30(2): 62-65.
- [24] KIM M K, YOON J R, YANG S H, et al. Unicompartmental knee arthroplasty fails to completely restore normal gait patterns during level walking[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2018, 26(11): 3280-3289.
- [25] 周欣, 韦民, 王伟. 高屈曲度固定平台和高屈曲度旋转平台膝关节假体置换后的早期步态比较[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(43): 8023-8026.
- [26] HUNT M A, BIRMINGHAM T B, BRYANT D, et al. Lateral trunk lean explains variation in dynamic knee joint load in patients with medial compartment knee osteoarthritis[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2008, 16(5): 591-599.
- [27] HISLOP A C, COLLINS N J, TUCKER K, et al. Does adding hip exercises to quadriceps exercises result in superior outcomes in pain, function and quality of life for people with knee osteoarthritis? A systematic review and meta-analysis[J]. Br J Sports Med, 2020, 54(5): 263-271.

(下转第 58 页)

- [19] 朱以明,姜春岩,王满宜. 肩关节相关物生力学介绍[J]. 中华创伤骨科杂志,2005,7(9):869-872.
- [20] 赵明宇,杨超凡,赵启,等. “筋滞骨错”理论指导下手法治疗黏连期肩凝症[J]. 中医正骨,2016,28(4):57-58.

(上接第 52 页)

延缓骨骼肌萎缩的作用。本研究发现,不同时间的揉法均不能提高腰肌劳损患者两侧竖脊肌的表面肌电信号频率,但是 10 min 的揉法操作可以提高腰肌劳损患者两侧腰方肌的表面肌电信号频率。我们推测,当揉法时长超过 10 min,揉法对骨骼肌细胞的促进增殖作用减弱或起相反作用,揉法对蛋白质降解的抑制作用减弱或起相反作用,然而这有待进一步研究证实。

本研究结果表明,在前摆垂向力为 50~70 N、回摆垂向力为 20~40 N、频率为 138 次·min⁻¹ 的条件下,揉法改善腰肌劳损患者局部肌肉疲劳的最佳时长为 10 min。

参考文献

- [1] 孙力盟,李长勤,姚健. 腰肌劳损磁共振影像学研究现状及进展[J]. 泰山医学院学报,2016,37(1):116-120.
- [2] 陈贤彪,林晓芳,王春富,等. 中医外治法治疗慢性腰肌劳损研究进展[J]. 新中医,2018,50(11):32-35.
- [3] 宋丰军,胡建锋,张红,等. 推拿治疗慢性腰肌劳损的临床研究进展[J]. 中医正骨,2014,26(12):59-63.
- [4] 国家中医药管理局. 中医病证诊断疗效标准[M]. 南京:南京大学出版社,1994:213.
- [5] 房敏,王金贵. 推拿学[M]. 北京:中国中医药出版社,2021:208.
- [6] 郭锐伟. 不同作用时间肘按法对慢性腰肌劳损疼痛改善的对比研究[D]. 广州:广州中医药大学,2018.
- [7] 沈夏虹. 不同时长振腹法对寒湿凝滞型 PD 疗效及血清 PGF2 α 的影响[D]. 广州:广州中医药大学,2019.
- [8] 边雷. 脾土穴推拿不同时长对脾虚腹泻患儿脑功能磁共振成像研究[D]. 天津:天津中医药大学,2020.
- [9] 杨森,武文杰,杜诗宇,等. 慢性非特异性下腰痛患者腰背肌力量和耐力与生活质量的相关性[J]. 广西医学,2020,42(5):529-532.

(上接第 55 页)

- [28] XIE Y, ZHANG C, JIANG W, et al. Quadriceps combined with hip abductor strengthening versus quadriceps strengthening in treating knee osteoarthritis: a study protocol for a randomized controlled trial[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2018,19(1):147.
- [29] LIANG J, LANG S, ZHENG Y, et al. The effect of anti-grav-

- [21] 廉杰,赵明宇,吴丹. 应用平乐正骨“筋滞骨错”理论治疗骶髂关节紊乱症的临床疗效研究[J]. 中医药临床杂志,2015,27(6):820-822.

(收稿日期:2022-10-21 本文编辑:时红磊)

- [10] 陈丽媛. 推拿结合八段锦治疗慢性腰肌劳损的临床疗效观察[D]. 福州:福建中医药大学,2022.
- [11] 陈丽媛,沈重庆,李长辉. 基于肌肉力学性能探讨推拿治疗慢性腰肌劳损作用机制[J]. 智慧健康,2022,8(2):33-35.
- [12] 井凤玲,常晓涛. 推拿手法治疗慢性腰肌劳损的疗效研究[J]. 医学信息,2018,31(9):145-146.
- [13] 张作军. 手法治疗腰肌劳损疗效观察[J]. 实用中医药杂志,2018,34(12):1519-1520.
- [14] 刘明军. 通经调脏推拿手法治疗慢性腰肌劳损[J]. 长春中医药大学学报,2018,34(5):934-936.
- [15] 郑铭鹏. 通元推拿法治疗慢性腰肌劳损的临床研究[D]. 广州:广州中医药大学,2020.
- [16] 吴邦宪,刘启华,唐宏亮,等. 四步推拿法治疗慢性腰肌劳损 36 例的临床观察[J]. 右江民族医学院学报,2021,43(6):782-784.
- [17] 梁健,施静,袁昕,等. 核心稳定训练治疗非特异性腰痛的研究进展[J]. 中医正骨,2021,33(4):58-61.
- [18] 刘婷婷,廖晓琴,曹铁炜,等. 慢性腰痛病人疼痛灾难化研究进展[J]. 护理研究,2021,35(11):1954-1958.
- [19] 朱承科,潘兰兰,郝增明,等. 核心稳定性训练治疗地面机务人员下腰痛的研究[J]. 解放军医药杂志,2018,30(4):111-114.
- [20] 王悦. 细胞的应力松弛特性研究[D]. 郑州:郑州大学,2020.
- [21] GUAN H, ZHAO L, LIU H, et al. Effects of intermittent pressure imitating rolling manipulation in traditional Chinese medicine on ultrastructure and metabolism in injured human skeletal muscle cells[J]. Am J Transl Res, 2020,12(1):248-260.
- [22] 万小凤,唐成林,赵丹丹,等. 推拿对失神经骨骼肌萎缩大鼠的治疗作用及其机制[J]. 中国应用生理学杂志,2019,35(3):223-227.

(收稿日期:2022-10-28 本文编辑:郭毅曼)

ity treadmill training for knee osteoarthritis rehabilitation on joint pain, gait, and EMG: case report[J]. Medicine (Baltimore), 2019,98(18):e15386.

- [30] 权宏磊,郑洁皎,丰有燕,等. 全膝关节置换后早期髁外展肌强化训练改善平衡及步行能力[J]. 中国组织工程研究,2022,26(33):5311-5316.

(收稿日期:2023-03-27 本文编辑:杨雅)