

• 临床研究 •

膝骨性关节炎功能评价步态指标研究
——足底压力各阶段时间分布及地面垂直反力李峰¹, 王常海², 张蓉¹, 施延昭³, 宋月晗¹, 关静¹, 李珩¹, 刘清国¹, 秦谊¹

[摘要] 目的 探讨膝骨性关节炎患者足底压力各阶段时间分布及地面垂直反力。方法 选取 40 例膝骨性关节炎(KOA)患者, 10 位正常老年人和 10 位正常年轻人, 运用足底压力测量系统测试单足支撑期足底压力各阶段时间分布及地面垂直反力。结果 在时间分布上, 单侧 OA 组健、患侧触地初期和前脚掌蹬离期差异无显著性意义($P > 0.05$), 健、患侧之间前脚掌触地及全足支撑期差异有非常高度显著性意义($P < 0.001$); 单侧 KOA 组健侧与正常老年组相应侧比较, 各阶段差异均有显著性意义($P < 0.05$)。双侧 OA 组左右侧相比差异无显著性意义($P > 0.05$), 与单侧 KOA 组健、患侧比较, 各阶段差异均有显著性意义($P < 0.05$)。单侧 KOA 组健、患侧缓冲时间 T_0 和缓冲力系数 K 值差异有非常显著性意义($P < 0.01$), 健侧与正常老年人比较差异有显著性意义($P < 0.025$, $P < 0.001$); 双侧 KOA 组自身比较差异无显著性意义($P > 0.05$), 但小于正常老年组及单侧 KOA 组健侧($P < 0.05$)。结论 KOA 患者单足承重期时间减少, 缓冲时间缩短, 缓冲力系数降低, 这些指标可以作为 KOA 患者功能评价步态指标和疗效客观依据。

[关键词] 膝骨性关节炎; 步态分析; 足底压力; 地面反力

Study of Knee Osteoarthritis Gait Index on Function Evaluation Time Distribution at the Sole and the Vertical Rebound Force at Stand Phase LI Feng, WANG Chang-hai, ZHANG Rong, et al. Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 100029, China

Abstract: **Objective** To investigate time distribution of pressure of footplate in each stage and vertical anti-force from ground of patients with knee osteoarthritis (KOA). **Methods** 40 KOA patients, 10 aged people, and 10 common saplings were selected to test time distribution of pressure of footplate in each stage and vertical anti-force from ground in period of monopodia support. **Results** To unilateral KOA patient, there was not obvious difference to be observed in initial contact phase and forefoot push off phase ($P > 0.05$), but there was a significant difference in forefoot contact phase and foot flat phase between health side and sick side ($P < 0.001$), and there was obvious difference decreased buffer time and buffer force coefficient between them ($P < 0.01$). **Conclusion** To KOA patients, the time decreases in weight-bearing phase and absorption shocks, and a amortization coefficient also decreases. These indexes can be used as the walking index of functional assessment and the objective evidence of curative effect.

Key words: knee osteoarthritis; gait analysis; pressure of footplate; anti-force from ground

[中图分类号] R684.3 [文献标识码] A [文章编号] 1006-9771(2007)12-1165-03

[本文著录格式] 李峰, 王常海, 张蓉, 等. 膝骨性关节炎功能评价步态指标研究 - 足底压力各阶段时间分布及地面垂直反力 [J]. 中国康复理论与实践, 2007, 13(12): 1165-1167.

在各种类型的膝关节炎中, 骨性关节炎 (osteoarthritis, OA) 是与生物力学因素关系最密切的一种。力和力矩、冲量等力学参数的高低, 影响着膝骨性关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 的疾病进程, 在患者的功能评定和康复疗效评价中测定这些参数有重要意义。将步态分析技术运用于 KOA 患者的康复评价, 成为现代康复学的一个研究热点。

在步态周期中, 处于闭链运动的支撑相支持着整个体重, 其运动的协调与否远比开链运动的摆动相重要。正常的地面垂直反力具有一定规律, 其改变情况可以反映膝关节肌力和运动协调性的变化。为观察 KOA 患者有无上述变化, 为 KOA 的诊断、治疗及康复评价提供客观依据, 本研究运用 Rsscan 公司的 Footscan 7 型足底压力测量系统, 对 KOA 患者足底压力各阶段时间分布及地面垂直反力进行研究。

基金项目: 1. 国家科技部“973”络病学说与针刀治疗机理研究子项目“针刀松解法基础研究”(No. 2005CB523307); 2. 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划(教育部, 0100108)

作者单位: 1. 北京中医药大学, 北京市 100029; 2. 河南中医学院, 河南郑州市 450008; 3. RSscan 中国实验室, 北京市 100084。作者简介: 李峰(1966-), 男, 山东邹平县人, 教授, 博士, 博士研究生导师, 中华中医药学会体质分会副主任委员, 中华中医药学会中医内科分会全国委员, 中国残疾人康复协会常务理事兼中医康复专业委员会主任委员, 主要研究方向: 病证相关性的规律、中医证候的病理生理基础。

1 对象与方法

1.1 研究对象 KOA 患者 40 例, 来自北京中医药大学附属东直门医院、东方医院针灸科、按摩科和老年科门诊, 均符合 1995 年美国风湿病诊断及治疗标准委员会的膝关节骨性关节炎诊断标准^[1], 并排除骨结核、骨肿瘤、明显的踝足部疼痛性疾患、严重心脑血管疾病及精神病患者。40 例患者中, 男性 10 例、女性 30 例; 年龄 44~70 岁, 平均 (59.7 ± 8.6) 岁; 病程 6 个月~15 年, 平均 (5.26 ± 1.87) 年; 双侧患病 21 例、单侧患病 19 例; 胫股关节内侧室 OA 34 例、外侧室 OA 6 例; 按照 Kellgren & Lawrence 的 X 线分级标准, I 级 10 例、II 级 15 例、III 级 13 例、IV 级 2 例。正常老年对照组 10 人, 来自上述各科患有其他系统疾病的门诊患者, 无膝关节疼痛, 并且未患有能够影响下肢功能(如腰、髋、踝等)的疾病以及严重心脑血管疾患等, 平均年龄 (57.6 ± 9.3) 岁。正常青年对照组 10 人, 为北京中医药大学学生, 平均年龄 (23.6 ± 3.3) 岁。

1.2 方法 将 KOA 患者、正常老年对照组、正常青年对照组随机编号, 由测试人员指导每人先进行熟悉练习, 之后赤足自然常速走过 Footscan 7 型足底压力测量平板, 每人左右足各走 3 次, 最后交由专业分析人员, 将 3 次的测量平均, 给出分析结果。整个过程, 研究者、测试人员和受试者以及分析人员之间做到互盲。

1.3 研究设备 采用 Rsscan 公司的 Footscan 7 型足底压力测量系统, 包括 0.5 m 平板及相应跑道、USB 接口、分析软件以及

笔记本电脑。测力平板为 $40 \times 50 \text{ cm}$, 每 cm^2 有 4 个 $0.5 \text{ cm} \times 0.7 \text{ cm}$ 的压电晶体力传感器, 平板共内置 4096 个传感器。平板由 USB 数据线与计算机的 USB 口直接相连。采样频率为 300 Hz。

1.4 指标选取

1.4.1 各阶段时间分布 插页 2 图 3.1 为正常步态周期时相图, 观察一个步态周期中一足(如右足)支撑期全过程, 共包括足跟着地、前脚掌触地、整足支撑、足跟离地、足尖离地 5 个时刻^[2]。Footscan 7 型足底压力测量系统依此 5 个时刻将单足支撑期划分为 4 个阶段: 触地初期阶段(initial contact phase, ICP)、前脚掌触地阶段(forefoot contact phase, FFCP)、全足支撑阶段(foot flat phase)和前脚掌蹬离阶段(forefoot push off phase), 见插页 2 图 3.2。

1.4.2 地面垂直反力 正常人步态支撑阶段垂直力呈对称性双峰曲线, 前蹬着地时出现第一峰值, 中间支撑时地面反作用力小于体重, 呈现一波谷, 后蹬阶段又出现第二峰值^[3](见插页 2 图 3.3)。F₁、F₂、F₃ 为力的峰值与谷值, T₁、T₂、T₃ 分别为出现的时间。其中 F₁ ~ F₃ 为体重的百分数, T₁ ~ T₃ 为时间的百分比。

具体参数为: ①峰-谷差值(F): 为第一峰值 F₁ 与谷值 F₂ 之差; ②半峰-谷差值出现时间(T): 为上述 F 值出现 50 % 的时间, 也用时间的百分比表示(见插页 2 图 3.3 中红线所示); ③缓冲时间(T₀): T₀ = T₂ - T₁; ④缓冲力系数(K): K = F/F₁。T₀ 和 K

为研究关注的指标。

1.5 统计学处理 各阶段时间分布、地面垂直反力各值均采用 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 采用 SAS 8.0 统计软件进行 *t* 检验。

2 结果

2.1 单足支撑期各阶段时间分布 正常青年组、正常老年组单足支撑期左右侧对应阶段所占百分比差异均无显著性意义($P > 0.05$); 组间对应侧对应阶段差异亦无显著性意义($P > 0.05$), 见表 1。单侧 OA 组健、患侧触地初期和前脚掌蹬离期差异无显著性意义($P > 0.05$), 前脚掌触地及全足支撑期差异有非常高度显著性意义($P < 0.001$); 单侧 OA 组健侧与正常老年组相应侧比较, 各阶段差异有显著性意义($P < 0.05$)。双侧 OA 组左右侧比较差异无显著性意义($P > 0.05$), 与单侧 OA 组健、患侧比较, 各阶段差异均有显著性意义($P < 0.05$), 见表 2。

表 1 正常青年组、正常老年组各阶段时间表 ($\bar{x} \pm s$)

支撑阶段	正常青年组		正常老年组	
	左侧	右侧	左侧	右侧
触地初期	1.98 ± 0.85	2.02 ± 0.97	2.94 ± 1.72	3.56 ± 1.63
前脚掌触地	6.65 ± 1.53	6.24 ± 1.44	7.16 ± 2.33	9.29 ± 2.51
全足支撑	50.74 ± 2.33	49.16 ± 4.51	46.93 ± 6.24	45.37 ± 4.86
前脚掌蹬离	40.63 ± 4.08	42.58 ± 3.69	42.97 ± 3.79	41.78 ± 4.05

注: 组内和组间比较, 均为 $P > 0.05$ 。

表 2 正常老年组、单侧 OA 组、双侧 OA 组各阶段时间表 ($\bar{x} \pm s$)

支撑阶段	正常老年组		单侧 OA 组		双侧 OA 组	
	左侧	右侧	健侧	患侧	左侧	右侧
触地初期	2.94 ± 1.72	3.56 ± 1.63	6.09 ± 4.63	9.76 ± 6.12	9.11 ± 6.14	7.93 ± 7.64
前脚掌触地	7.16 ± 2.33	9.29 ± 2.51	10.52 ± 4.70	32.75 ± 11.42 ^a	14.56 ± 13.87	14.72 ± 10.89
全足支撑	46.93 ± 6.24	45.37 ± 4.86	33.65 ± 7.15	12.79 ± 5.46 ^a	40.09 ± 18.33	40.81 ± 20.07
前脚掌蹬离	42.97 ± 3.79	41.78 ± 4.05	49.74 ± 6.75	44.71 ± 12.12	36.62 ± 8.27	36.80 ± 10.32

注: a. 与健侧比较, $P < 0.05$ 。

2.2 地面垂直反力 T₀ 和 K 值比较时, 正常青年组、正常老年组自身比较差异均无显著性意义($P > 0.05$), 但左右侧分别比较差异有非常显著性意义($P < 0.01$), 见表 3; 单侧 OA 组健、患侧差异有非常显著性意义($P < 0.01$), 健侧与正常老年人比较差异有显著性意义($P < 0.025$, $P < 0.001$); 双侧 OA 组自身比较差异无显著性意义($P > 0.05$), 但小于正常老年组及单侧 OA 组健侧($P < 0.05$), 见表 4。

表 3 正常青年组、正常老年组缓冲时间 T₀ 和缓冲力系数 K 值 ($\bar{x} \pm s$)

指标	正常青年组		正常老年组	
	左侧	右侧	左侧	右侧
缓冲时间 T ₀	14.230 ± 0.87	15.110 ± 1.16	11.270 ± 1.05	11.040 ± 1.22
缓冲力系数 K	0.349 ± 0.018	0.353 ± 0.022	0.278 ± 0.037	0.281 ± 0.029

注: 自身比较, $P > 0.05$; 两组左右侧分别比较, $P < 0.01$ 。

表 4 正常老年组、单侧 OA 组、双侧 OA 组缓冲时间 T₀ 和缓冲力系数 K 值 ($\bar{x} \pm s$)

指标	正常老年组		单侧 OA 组 ^a		双侧 OA 组 ^b	
	左侧	右侧	健侧	患侧	左侧	右侧
缓冲时间 T ₀	11.270 ± 1.05	11.040 ± 1.22	9.930 ± 1.74 ^c	7.290 ± 4.11	8.020 ± 2.94	7.940 ± 3.02
缓冲力系数 K	0.278 ± 0.037	0.281 ± 0.029	0.249 ± 0.050 ^d	0.180 ± 0.071	0.174 ± 0.082	0.197 ± 0.083

注: a. 单侧 OA 组健、患侧比较, $P < 0.01$; b. 双侧 OA 组自身比较, $P > 0.05$; c. 与正常老年组左侧比较, $P < 0.05$; d. 与正常老年组左侧比较, $P < 0.001$ 。

3 讨论

人在正常行走过程中, 一足跟着地, 另一侧进入摆动期, 身体重心落在支撑腿膝后方, 接着足掌接触地面, 身体重心前移通过膝关节, 之后足跟离地, 身体重心进一步前移, 在足尖离地的过程中, 另一侧足跟着地, 完成支撑的转移。在这个过程中, 身

体重心经历“在膝后方—通过膝关节—在膝前方”的过程, 时间分布具有一定的规律性。

膝关节的伸曲活动也有一定的规律性。足跟着地, 膝关节接近伸直(在整个步态周期, 膝关节始终没有完全伸直), 接着屈曲, 在支撑中后期又接近伸直, 摆动期屈曲最大。整个行走过程

中,膝关节活动范围约为 60° ,其中支撑期约为 15° 。虽然这个伸曲范围不大,但对于身体的缓冲具有重要意义。

正常步态周期中,膝关节的肌肉协调运动维持着膝关节的动态平衡,其中支撑期闭链运动的平衡至关重要。

在应用足-地接触力进行分析时,主要观察力-时间曲线的特征,即谷峰值、谷值的出现时间和幅度的变化。行走时,足-地接触力在垂直方向上的分力最大,在每个步态周期转折点出现极值,足跟着地时有一极大值,支撑中期力值最小,至足跟离地、足尖蹬地时出现另一极大值。即在整个步态周期中,垂直方向受力曲线具有典型的对称双峰性质,力的峰谷特性是肌肉运动的结果。人体要向前行走,必须有外力作用,才能改变人体位置,这里的外力主要是重力和地面摩擦力。足跟着地后蹬,地面摩擦力向前推动人体行走,摩擦力主要由肌肉后蹬力产生。病理状态下,后蹬肌肉无力,患者会不自觉用身体前倾补偿,这时重力起到很大作用。足尖离地时的力学分析是同样的。所以,地面垂直反力对称双峰性质是肌肉协调作用的结果。

膝关节的病变带来肌肉运动的不协调,同样,任何不协调的动作在步态上都会有反映。本研究观察到以下变化:

第一,OA 患者膝关节疼痛、肌力减退或运动不协调导致阶段时间分配异常。研究显示,与正常年轻人相比,老年人自由步行速度、步长、步频均有下降^[4],表明老年人的运动灵活性和范围有所下降。但在支撑期各阶段时间分布上,本研究结果显示,正常老年人与年轻人相比差异无显著性意义,表明正常老年人在适宜的运动范围内肌肉运动分配基本协调。而 OA 患者则存在较大问题,单侧 OA 患者患侧前脚掌触地及全足支撑期与健侧的差异有非常高度显著性意义,因为在这两个阶段,人体体重主要由支撑腿支撑。OA 病变早期,由于疼痛,患侧尽量减少单独支撑体重的时间,随着病变的进展,由于肌肉使用不足甚至废用,肌力减退,协调性降低,加之患者不自觉的补偿行为,时间越久,肌肉的协调性越差,造成有的肌群强于正常,有的肌群弱化,结缔组织变性,正常的运动分配被打破。因而,或者由于疼痛,或者由于组织变性,表现在时间分配上,都是患者尽量快速越过患侧单独支撑体重期。

第二,OA 患者地面垂直反力与正常比较,差异有非常高度显著性意义。足跟着地蹬地时,地面反力产生第一个峰值,正常情况下大于体重,之后地面反力出现波谷,这是缓冲阶段,谷值小于体重。我们借鉴了工程学中常用的半功率点的思路,采用缓冲力系数 K 这个参数表示缓冲能力的强弱,因为力保持在一个较高水平上,即使在下降,没有达到一定范围,不能认为是有效缓冲。正如前面所述,缓冲能力是由于肌肉活动的结果。插图 2 图 3.4 ~ 图 3.7 是测量的截图。老年人由于肌力减退,平衡协调能力差,缓冲能力有所下降,表现为峰值降低,谷值升高,差值缩小(见插图 2 图 3.4)。这是正常老化的结果,但缓冲时间与正常青年人的差异无显著性意义。而 OA 患者的缓冲时间和缓冲能力大大降低(见插图 2 图 3.5、图 3.6),第一峰和波谷间几乎是一条直线,甚至看不到波谷,表明肌肉的协调运动能力很差。

第三,患者一侧的病痛可影响另一侧。无论是各阶段时间分布,还是缓冲时间和缓冲能力,单侧 OA 患者健侧与正常老年人的差异均有显著性意义。由于患者的代偿行为,健侧功能也受到影响,因此临床上常见 OA 一侧先发病,几年后另一侧发病。

第四,各阶段时间分布和地面垂直反力应综合研究。由于 OA 患者症状不一、情况各异,有的在时间分布上差异明显,有的在地面垂直反力上反应显著,将两者结合起来研究,能较全面观察患者的功能情况。

足底压力各阶段时间分布及地面垂直反力的测定对 OA 患者的康复评定有以下意义。

第一,对疼痛的评价。疼痛是 OA 患者的主要症状,但疼痛是一种主观感受,受许多因素尤其是心理因素的影响很大,临床上经常可以遇到主诉与病情大相径庭的情况,使得以疼痛记分为主要方法的调查表多有难令人信服之处,对疼痛治疗的疗效也是基于患者自己的叙述。步态指标可以提供一种客观参考。疼痛时,足跟不敢着地,后蹬无力,中间垂直支撑阶段不能很好缓冲,不但不减少垂直力反而出现峰值,出现典型的单峰曲线,甚至三峰曲线(见插图 2 图 3.7)。这样,患者当时的活动是否疼痛、程度如何,便可大致评估。治疗后,垂直力曲线出现明显的峰谷,表明疼痛减轻,治疗有效果。

第二,间接评估关节软骨的损害进展,预测疾病的转归。OA 是发生在关节软骨的病变,关节软骨没有血管和神经,其营养主要来自于滑液。在关节运动中,关节软骨不断受到挤压和减压的作用力。当受到挤压时,软骨内的代谢产物被挤出;当压力解除时,关节液内的营养物质被吸入软骨内,如此在运动中不断交换营养和代谢产物,关节活动起着泵和唧筒的作用。因此,关节活动对维持关节软骨的生理功能起着决定性作用。若关节缺乏运动甚至长期固定,可导致关节软骨退变,石膏固定可制备 OA 模型就是基于该原理。良性循环应力的刺激对于关节软骨性能的保持意义重大。在临床研究中,KOA 患者膝关节受力过大的问题得到广泛关注,但关节软骨缺乏良性应力刺激则常被忽视。事实上,KOA 患者运动减少,软骨缺乏良性应力刺激更应予以关注。软骨的代谢产物不能较完全排出,营养不能得到交换,使得软骨进一步退化。本研究未观察步态周期膝关节角度变化情况,但承重期缩短,缓冲力系数降低,说明软骨没有得到较充分的形变。反之,上述指标的改善,说明软骨恢复了部分的良性应力刺激,将对疾病的预后有利。关节腔内注射透明质酸虽然几天就代谢完全,但效果却可以持续到半年,是不是因为由于步态的改善,软骨恢复了一些良性应力刺激,使性能改善,是个值得研究的问题。

总之,本研究将运动学、动力学与解剖学相结合,研究 KOA 患者单足支撑期各阶段时间分布和地面垂直反力,借鉴工程学中半功率点的思路,提出缓冲力系数的概念。本研究结果显示,KOA 患者单足承重期时间减少,缓冲时间缩短,缓冲力系数降低,这些指标可以做为 KOA 患者功能评价步态指标和疗效客观依据。步态分析技术作为一门新兴的技术,在 KOA 的康复中必将有更多的应用。

[参考文献]

- [1]徐卫东,吴岳嵩,张春才. 骨关节炎的诊断与治疗[M]. 上海:第二军医大学出版社,2004:3.
- [2]卓大宏. 中国康复医学[M]. 北京:华夏出版社,2003:163.
- [3]体育学院通用教材编写组. 运动生物力学[M]. 北京:人民体育出版社,2005:254-255.
- [4]丸山仁司主编,霍明,陈立嘉,赵洪涛译. 临床运动学[M]. 北京:中国中医药出版社,2002:194.

(收稿日期:2007-03-15 修回日期:2007-07-31)

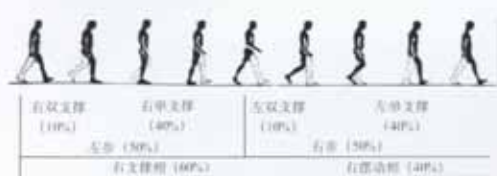


图3.1 正常步态周期时相图

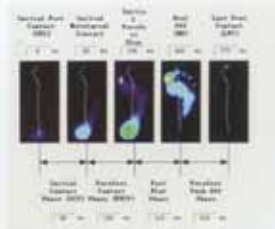


图3.2 Footscan 7 足底压力测量系统中支撑足阶段划分

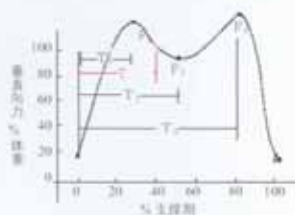


图3.3 支撑期足—地垂直作用力

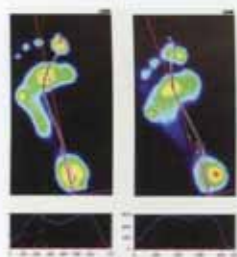


图3.4 正常青年人(左侧)和正常老年人(右侧)地面垂直反力曲线截图

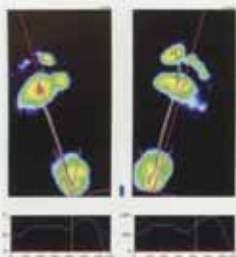


图3.5 左OA患者(1)力曲线图(左为左侧,右为右侧)

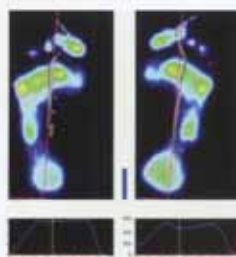


图3.6 左OA患者(2)力曲线图(左为左侧,右为右侧)

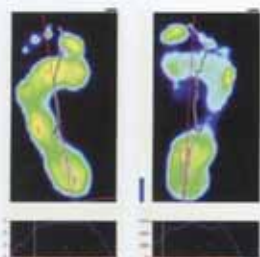


图3.7 两种疼痛步伐(左为单峰曲线形式,右为三峰曲线形式)

图1.1~1.6 正文见P1127~1129; 图2.1~2.4 正文见P1132~1133; 图3.1~3.7 正文见P1165~1167。