

·短篇论著·

双侧膝骨关节炎患者足底压力分布及平衡特征研究*

颜雯婷¹ 杨倩倩¹ 任 凤¹ 胡文清^{1,2} 董钊钊¹

膝骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)是指发生于膝关节的关节软骨变性、破坏,以相邻软骨下骨板骨质增生、关节边缘骨赘形成为特性的慢性、进展性关节疾病。我国55岁以上人群KOA的患病率为13.2%,且女性患者多于男性^[1]。KOA的临床表现主要为膝关节疼痛、僵硬、畸形、活动受限,严重影响患者的活动能力和生活质量^[2]。

膝关节负荷异常是KOA进展的重要因素。膝关节内侧面通常比外侧间室受影响更大,因为在步行期间,内侧胫股间室通常承担整个膝关节60%—80%的载荷^[3]。正常行走过程中,下肢各个关节协调运动,膝关节的负荷异常会影响足部受力^[4]。此外,KOA引起的慢性疼痛、股四头肌无力、膝关节本体感觉和神经肌肉控制能力损害,会造成平衡障碍^[5]。

足底压力技术量化了足底表面地面反作用力的大小和位置,能定量评估下肢生物力学负荷特性及平衡特征,在康复医学和运动医学领域日益受到关注^[4]。国内外已有一些学者报道了KOA患者的足底压力特征性改变,及其与疼痛、身体功能和临床分期等指标的相关性。Zhang等^[6]研究发现KOA患者行走时第一跖趾关节区域的压力峰值小于健康人。Rosland等^[7]报道KOA患者步行期间前足内侧最大作用力与西安大略和麦克马斯特大学关节炎指数和简明疼痛量表评分呈负相关,即前足内侧的最大作用力越低,疼痛、僵硬和身体功能受损程度越高。王利春等^[8]研究表明KOA患者步行时足底各区域受力时间百分比高于健康人群。但目前将足底压力指标应用于KOA的诊断或疗效评估时缺乏统一的标准,且对支撑期参数、受力时间和平衡相关参数的研究报道较少。因此,本研究旨在比较双侧KOA患者和健康人群动态足底压力分布和平衡指标,为KOA的诊断、功能评定、治疗和疗效评估提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

2021年4月—2021年12月,选取于河北医科大学第三医院就诊的双侧KOA患者32例作为KOA组,另招募无膝关节疼痛的健康中老年人30例作为对照组。纳入标准:①符

合中华医学会骨科学分会制定的《骨关节炎诊疗指南(2018年版)》中的KOA诊断标准;②年龄40—70岁;③病史超过3个月;④能自主行走,可配合完成检查;⑤患者签署知情同意书。排除标准:①风湿/类风湿性关节炎、膝关节肿瘤、膝关节结核、化脓性膝关节炎等其他膝关节疾病;②伴有脊柱、髋部、足踝疾病的患者;③伴有严重内科疾病、神经系统疾病的患者;④有膝关节手术史者;⑤不愿参加本试验或不签署知情同意书者。

1.2 实验设备

测试选用Medtrack-Gait足底压力步态分析系统(芯康生物医学科技有限公司)进行数据采样,此系统包含足底压力采集平板、电脑系统和采集分析软件系统。足底压力采集平板尺寸为140cm×100cm,有效采集面积为7680cm²,传感器有13728个,传感器密度为4个/cm²,采集频率为400Hz。足底压力采集平板通过数据线与电脑连接,通过电脑端的软件系统收集所得数据。

1.3 检测方法

1.3.1 动态足底压力测试:压力板前后两端分别放置两块与力板相同高度的步道。测试前,要求受试者赤足在力板上进行适应性步行。熟悉测试程序后,受试者以自然步态、正常步速通过力板,在步道的尽头返回再次通过力板回到起点,行走3个来回。收集3组左、右脚完整动态足印数据,各项指标取3次测量数据的平均值。软件自动将足底划分为拇趾(T1)、第2—5趾(T2—5)、第1、2、3、4、5跖骨(M1、M2、M3、M4、M5)、足中部(MF)、足跟内侧(MH)及足跟外侧(LH)10个区域。仪器将步态周期的支撑期划分为4个阶段:开始着地阶段(initial contact phase, ICP)、前足接触阶段(forefoot contact phase, FFCP)、整足接触阶段(foot flat phase, FFP)、前足离地阶段(forefoot push off phase, FFPOP)。

1.3.2 平衡测试:受试者赤足站立于力板上中央标示位置,双脚平放,双手自然垂于身体两侧,双眼平视前方,放松肌肉,保持重心稳定。待受试者自然站稳后,测试者按下采集键,系统自动记录10s内的数据,测试3次,取其平均值。

1.4 主要观察指标

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.05.021

*基金项目:河北省教育厅重点项目(ZH2011229)

1 河北医科大学第三医院康复医学科,河北省石家庄市,050051

第一作者简介:颜雯婷,女,硕士研究生;收稿日期:2022-03-26

动态足底压力分布:双足足底各区域压力峰值、支撑期各阶段时长百分比、足底各区域受力时间百分比。平衡参数:压力中心包络椭圆面积、压力中心位移路径长度(total track length of the pressure center, L)、压力中心在X轴上的位移长度(length of the pressure center on X-axis, L_x)、压力中心在Y轴上的位移长度(length of the pressure center on Y-axis, L_y)。

1.5 统计学分析

采用SPSS 22.0进行统计学分析,计数资料以例及构成比表示,组间比较采用 χ^2 检验;计量资料符合正态分布用均数 $\pm$ 标准差表示,组间比较采用两独立样本 t 检验,偏态分布者用中位数M(P25, P75)表示,组间比较采用Mann-Whitney U 秩和检验。 $P<0.05$ 表示差异有显著性意义。

2 结果

2.1 两组间一般资料比较

见表1,两组间年龄、体重、身高、性别比较差异均无显著性意义($P>0.05$)。根据Kellgren-Lawrence放射学标准,患者的OA分级分布为18.75%1级($n=6$)、50%2级($n=16$)、25%3级($n=8$)和6.25%4级($n=2$)。所有患者均为双侧KOA,双膝关节疼痛,但10例(31.3%)主诉左膝疼痛较重,15例(46.9%)主诉右膝疼痛较重。

表1 两组间一般资料比较 ($\bar{x}\pm s$)					
组别	例数	女性	年龄(岁)	体重(kg)	身高(cm)
对照组	30	15(50)	54.1 $\pm$ 8.8	72.0 $\pm$ 11.8	166.1 $\pm$ 8.4
KOA组	32	19(59)	55.2 $\pm$ 6.0	72.8 $\pm$ 10.7	164.7 $\pm$ 6.7
t 值/ χ^2 值		0.550	0.582	0.275	-0.738
P 值		0.459	0.563	0.785	0.464

2.2 两组间动态足底压力分布比较

2.2.1 足底各区域压力峰值:双侧KOA组左足及右足足底T2—5区压力峰值小于健康对照组($P<0.05$),而足底其他区域压力峰值两组相比较无显著性差异($P>0.05$)。见表2。

2.2.2 支撑相各阶段时长百分比:双侧KOA组左足及右足的ICP时长百分比高于健康对照组($P<0.05$),FFPOP时长百分比低于健康对照组($P<0.05$);双侧KOA组左足及右足的FFP时长百分比高于健康对照组,但差异无显著性意义($P>0.05$)。见表3。

2.2.3 足底各区域受力时间占支撑相时间百分比:双侧KOA组左足及右足足底MH、LH区受力时间百分比高于健康对照组($P<0.05$),左足足底M4区受力时间百分比低于健康对照组($P<0.05$)。见表4。

2.3 两组间平衡参数比较

双侧KOA组足底压力中心包络椭圆面积、L和 L_x 大于

健康对照组($P<0.05$), L_y 也大于健康对照组,但差异无显著性意义($P>0.05$)。见表5。

3 讨论

3.1 足底各区域压力峰值

本研究发现,双侧KOA患者左足和右足T2—5区域压

表2 两组间足底各区域压力峰值比较 [$\bar{x}\pm s$, M(P25, P75)]

足底区域及损伤侧	对照组(n=30)	KOA组(n=32)	t 值/ z 值	P 值
T1(N)				
左	61.32(37.22, 88.27)	53.17(35.04, 66.09)	-1.225 ^②	0.220
右	60.73(42.02, 95.22)	63.68(43.68, 85.99)	-0.420 ^②	0.966
T2—5(N)				
左	7.47(2.93, 15.12)	4.17(2.45, 6.90) ^①	-2.064 ^②	0.039
右	11.37(5.54, 21.38)	5.22(1.76, 10.36) ^①	-2.507 ^②	0.012
M1(N)				
左	84.18(50.05, 94.73)	79.67(51.81, 104.41)	-0.451 ^②	0.652
右	51.06(38.83, 90.12)	52.69(34.91, 89.65)	-0.465 ^②	0.642
M2(N)				
左	148.61 $\pm$ 37.59	142.66 $\pm$ 29.78	-0.694	0.490
右	159.49 $\pm$ 33.56	150.71 $\pm$ 36.79	-0.980	0.331
M3(N)				
左	131.16 $\pm$ 28.70	123.83 $\pm$ 28.39	-1.010	0.317
右	133.43 $\pm$ 32.14	134.82 $\pm$ 29.10	0.179	0.859
M4(N)				
左	92.02 $\pm$ 30.84	77.18 $\pm$ 30.33	-1.911	0.061
右	85.90(69.90, 106.65)	88.74(75.22, 101.06)	-0.028 ^②	0.978
M5(N)				
左	20.83(14.41, 30.01)	17.37(11.71, 28.45)	-1.155 ^②	0.248
右	27.17(19.98, 38.07)	29.71(22.12, 35.92)	-0.063 ^②	0.949
MF(N)				
左	37.58(8.13, 103.68)	45.33(14.01, 81.19)	-0.380 ^②	0.704
右	74.97(10.93, 110.25)	52.28(24.40, 121.29)	-0.127 ^②	0.899
MH(N)				
左	163.59 $\pm$ 45.40	158.00 $\pm$ 41.80	-0.505	0.616
右	158.45 $\pm$ 44.51	161.03 $\pm$ 43.98	0.229	0.819
LH(N)				
左	174.96 $\pm$ 43.36	176.89 $\pm$ 53.76	0.155	0.877
右	200.15 $\pm$ 45.09	196.53 $\pm$ 46.55	-0.311	0.757

注:①与对照组相比, $P<0.05$;②采用秩和检验,其余均为 t 检验。

表3 两组间支撑相各阶段时长百分比的比较

[$\bar{x}\pm s$, M(P25, P75)]

支撑相参数及损伤侧	对照组(n=30)	KOA组(n=32)	t 值/ z 值	P 值
ICP(%)				
左	7.65 $\pm$ 2.88	9.52 $\pm$ 2.73 ^①	2.626	0.011
右	7.94 $\pm$ 3.23	9.92 $\pm$ 3.67 ^①	2.260	0.027
FFCP(%)				
左	23.37 $\pm$ 13.51	25.44 $\pm$ 14.57	0.577	0.566
右	21.42(12.00, 37.20)	17.76(11.79, 38.72)	-0.113 ^②	0.910
FFP(%)				
左	34.23 $\pm$ 16.04	35.27 $\pm$ 15.57	0.258	0.797
右	31.37(21.85, 48.03)	40.85(20.58, 48.42)	-0.789 ^②	0.430
FFPOP(%)				
左	34.75 $\pm$ 8.54	29.78 $\pm$ 7.40 ^①	-2.453	0.017
右	34.42 $\pm$ 7.68	29.98 $\pm$ 5.27 ^①	-2.634	0.011

注:①与对照组相比, $P<0.05$;②采用秩和检验,其余均为 t 检验。

表4 两组间受力时间百分比的比较 [$\bar{x}\pm s, M(P25, P75)$]

足底区域及损伤侧	对照组 (n=30)	KOA组 (n=32)	t值/z值	P值
T1(%)				
左	68.84±13.69	65.69±14.73	-0.869	0.388
右	71.38(51.63, 79.55)	70.40(54.40, 79.76)	-0.254 ^②	0.800
T2—5(%)				
左	48.80±18.54	50.23±20.66	0.286	0.776
右	53.30±14.75	49.14±20.41	-0.925	0.359
M1(%)				
左	78.01(72.21, 82.71)	80.02(70.75, 82.69)	-0.225 ^②	0.822
右	78.44(70.81, 83.58)	77.12(67.80, 81.51)	-0.507 ^②	0.612
M2(%)				
左	85.66(82.51, 87.44)	85.99(82.81, 87.47)	-0.211 ^②	0.833
右	85.60±4.76	84.65±5.49	-0.724	0.472
M3(%)				
左	87.57±4.24	87.22±2.88	-0.384	0.703
右	87.10±4.48	85.60±4.58	-1.305	0.197
M4(%)				
左	86.28±3.41	84.34±3.48 ^①	-2.212	0.031
右	85.10±5.17	84.07±4.81	-0.812	0.420
M5(%)				
左	76.92(73.63, 80.11)	75.12(71.07, 78.60)	-1.775 ^②	0.076
右	77.32(74.80, 80.17)	76.33(70.26, 80.28)	-0.662 ^②	0.508
MF(%)				
左	69.13(58.55, 76.02)	65.00(53.40, 72.81)	-1.254 ^②	0.210
右	68.59(55.83, 75.45)	66.16(55.16, 71.27)	-0.507 ^②	0.612
MH(%)				
左	63.84±9.24	68.82±7.98 ^①	2.274	0.027
右	63.78±7.78	68.56±5.83 ^①	2.723	0.009
LH(%)				
左	64.64±8.62	69.54±7.57 ^①	2.377	0.021
右	65.02±7.77	69.24±6.00 ^①	2.382	0.021

注:①与对照组相比, $P<0.05$;②采用秩和检验,其余均为 t 检验。表5 两组间平衡参数的比较 [$\bar{x}\pm s, M(P25, P75)$]

平衡参数	对照组 (n=30)	KOA组 (n=32)	t值/z值	P值
椭圆面积 (cm ²)	0.448(0.289, 1.049)	1.310(0.625, 1.948) ^①	-3.451 ^②	0.001
L(cm)	21.136±3.218	23.783±4.587 ^①	2.614	0.011
L _x (cm)	16.075±2.212	18.112±4.434 ^①	2.310	0.025
L _y (cm)	11.065±1.861	11.960±1.900	1.871	0.066

注:①与对照组相比, $P<0.05$;②采用秩和检验,其余均为 t 检验。

力峰值较健康人减小,提示KOA患者行走过程中前足负荷降低。王欣等^[9]也发现在单侧KOA患者中,随着KOA病程发展,患侧T1、T2—5区压力占比降低,其中T2—5区压力可作为KOA临床分期的影响因素。本文推测,前足负荷降低的机制可能如下:关节疼痛和活动受限导致的废用性萎缩以及肌肉保护性抑制反应,均可引起股四头肌肌力下降^[10]。下肢力线畸形或股四头肌无力,使得KOA患者在蹬离期前膝关节由屈曲到伸直的过程延长,甚至不能完全伸直膝关节,造成蹬离期获得的动力不足,从而使前足压力减小。Saito等^[11]发现晚期KOA患者在全膝关节置换术后1年,步行时

T1、T2—5区的压力平均值占体重的百分比术前显著增高。全膝关节置换术能够缓解疼痛,矫正关节畸形,改善关节和肌肉功能^[12],使患者能在蹬离期获得足够的动力,恢复到正常的前足负荷。

3.2 支撑相各阶段时长百分比

本研究结果显示,双侧KOA患者左右足的开始着地阶段时长百分比高于健康对照组,与张昊华等^[13]发现左侧KOA患者的左足开始着地阶段时长高于右足的结果一致。足和膝存在偶联机制:胫骨内旋引起跟骨外翻、前足旋前,胫骨外旋引起跟骨内翻、前足旋后;而前足旋前或旋后也引起相应的胫骨内旋或外旋。开始着地阶段和前足接触阶段发生前足旋前、胫骨内旋,而整足接触阶段和前足离地阶段发生前足旋后、胫骨外旋^[14]。膝关节的稳定性由骨、关节软骨、半月板、关节囊、韧带及附着于关节周围的肌腱和肌肉组织共同维持。KOA伴随的关节疼痛、活动受限,使膝周肌腱、韧带等组织的强度降低,引起关节稳定性下降^[10]。膝关节不稳,患膝承重能力变差,会导致重心从足跟部转移至前足减慢,着地阶段时长升高。着地阶段延长会增加足旋前的时间,造成步行时胫骨和股骨内旋增加,这会使髌股关节接触面积减小,外侧髌股关节应力增加,促进KOA的发生和发展,形成恶性循环^[15]。

国内有两项研究表明,KOA患者与正常青年人相比,整足接触阶段时长百分比升高,前足离地阶段时长百分比降低^[16-17]。本研究显示相同的结果,其中前足离地阶段时长百分比与健康组相比差异有显著性意义,整足接触阶段较健康组差异不明显可能是因为本研究的健康对照组选取的是与KOA患者相同年龄段的中老年人。KOA患者出现股四头肌无力、本体感觉下降现象,可导致蹬伸力量不足,膝关节不稳,在身体重心前移的过程中需要更长的时间来维持关节的稳定和调整重心,因此整足接触阶段延长。前足离地阶段的缩短是为了缓解足蹬离时膝关节的疼痛而快速切换支撑腿。

3.3 足底各区域受力时间百分比

本研究发现,双侧KOA患者左足和右足的MH、LH区受力时间百分比高于健康人,左足M4区受力时间百分比低于健康人。付海燕等^[17]研究发现KOA患者足底各区域受力时间百分比均高于正常青年组,MH、LH区数值的差异尤为显著。本文和以往研究均提示KOA患者行走时足跟区域受力时间增加,这说明重心由足跟过渡至前足这一过程延长,进一步验证了开始着地阶段和整足接触阶段延长的现象,反映了KOA患者在步行期间的膝关节不稳和蹬伸不充分。本文还发现第4跖骨区的受力时间缩短,这可能是为了减轻足蹬离时膝关节的疼痛,而减少前足与地面的接触时间,快速换另一侧腿支撑,这与前足离地阶段缩短的结论相对应。学者们对于KOA患者足底各区域受力时间变化的研究结果存在

较大的差异,可能与纳入患者的年龄、性别、病变的严重程度不同及样本量有关,有待进一步研究探讨。

3.4 平衡参数

压力中心在左右、前后对称轴上的位移和其形成的包络椭圆面积及压力中心位移的最大值等参数可以反映人体的稳定能力^[18]。本研究发现KOA患者双足站立10s的椭圆面积、压力中心位移路径长度、压力中心在X轴上的位移长度大于对照组,表明KOA患者静态平衡变差,且姿势摆动主要表现在左右向。Kul-Panza等^[19]研究也表明KOA患者在测力平台上双足站立30s的左右向压力中心摆动宽度高于健康对照组。正常的平衡控制主要依赖于视觉、前庭器官、本体感受系统的信息输入和神经中枢对其信息的整合与对运动效应器的控制^[20]。KOA引起的肌肉、肌腱、韧带和关节囊内的损伤会引起肌肉随意激活不良、本体感觉缺陷和神经肌肉控制能力降低,这些因素导致了KOA患者姿势稳定性和平衡能力下降,加大了跌倒的风险^[5]。而姿势摆动主要表现在左右向可能与髌关节外展肌无力有关。Carvalho等^[21]使用等速测试系统,发现与健康人比,KOA患者的髌关节外展肌的离心峰值矩值(30°/s)较低。髌外展肌力量缺陷会降低对骨盆的控制能力,身体的侧向摆动增加^[22]。因此,KOA的康复治疗不仅要加强膝周肌群力量,还需进行髌周肌群的力量训练和本体感觉训练,以提升平衡能力。

4 结论

双侧KOA患者行走时前足负荷降低,支撑相中的开始接地阶段延长而前足离地阶段缩短,足跟区域受力时间延长。此外,双侧KOA患者的静态平衡能力下降。

参考文献

- [1] Chen H, Wu J, Wang Z, et al. Trends and patterns of knee osteoarthritis in China: A longitudinal study of 17.7 million adults from 2008 to 2017[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(16): 8864.
- [2] Bouchouras G, Sofianidis G, Patsika G, et al. Women with knee osteoarthritis increase knee muscle co-contraction to perform stand to sit[J]. *Aging Clinical and Experimental Research*, 2020, 32(4): 655—662.
- [3] Khan SJ, Khan SS, Usman J, et al. Combined effects of knee brace, laterally wedged insoles, and toe-out gait on knee adduction moment and fall risk in moderate medial knee osteoarthritis patients[J]. *Prosthetics & Orthotics International*, 2019, 43(2): 148—157.
- [4] 李世浩,李奇,李震,等. 前交叉韧带损伤与重建术后患者的足底压力及步态分析[J]. *中国组织工程研究*, 2022, 27(4): 626—631.
- [5] Sazo-Rodriguez S, Mendez-Rebolledo G, Guzman-Munoz E, et al. The effects of progressive neuromuscular training on postural balance and functionality in elderly patients with knee osteoarthritis: a pilot study[J]. *J Phys Ther Sci*, 2017, 29(7): 1229—1235.
- [6] Zhang Z, Wang L, Hu K, et al. Characteristics of plantar loads during walking in patients with knee osteoarthritis[J]. *Medical Science Monitor*, 2017, 23: 5714—5719.
- [7] Rosland T, Gregersen LS, Eskehave TN, et al. Pain sensitization and degenerative changes are associated with aberrant plantar loading in patients with painful knee osteoarthritis[J]. *Scand J Rheumatol*, 2015, 44(1): 61—69.
- [8] 王利春,陈华,张洪丽,等. 双侧膝骨性关节炎动态足底受力时间分布规律研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2020, 35(8): 944—948.
- [9] 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.
- [10] 乐意,金荣疆,阳杨,等. 从下肢生物力学来解析膝骨关节炎[J]. *中国康复理论与实践*, 2013, 19(6): 505—509.
- [11] Saito I, Okada K, Wakasa M, et al. Foot pressure pattern, hindfoot deformities, and their associations with foot pain in individuals with advanced medial knee osteoarthritis[J]. *Gait & Posture*, 2018, 59: 83—88.
- [12] 黄萍,钱念东,齐进,等. 膝骨关节炎患者膝关节置换术后足底压力研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2018, 37(3): 197—201.
- [13] 张昊华,闫松华,刘志成. Footscan®SCSI高频平板测试不同膝骨关节炎患者自然行走步态的生物力学比较[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(43): 8019—8023.
- [14] 黄红拾,敖英芳,郭秦炜,等. 前交叉韧带重建术影响步行时足底压力时相特征初步研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2014, 33(3): 189—192.
- [15] Willson JD, Ellis ED, Kernozek TW. Plantar loading characteristics during walking in females with and without patellofemoral pain[J]. *J Am Podiatr Med Assoc*, 2015, 105(1): 1—7.
- [16] 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.
- [17] 付海燕,杨海韵. 膝骨性关节炎患者与正常青年人步态的对照[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2011, 15(22): 4115—4118.
- [18] 谢财忠,高润,唐军凯. 早期康复对缺血性脑卒中患者足底压力分布的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(7): 644—648.
- [19] Kul-Panza E, Berker N. Pedobarographic findings in patients with knee osteoarthritis[J]. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2006, 85(3): 228—233.
- [20] 游永豪,温爱玲. 人体平衡能力测评方法[J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(11): 1099—1104.
- [21] Carvalho C, Serrao FV, Mancini L, et al. Impaired muscle capacity of the hip and knee in individuals with isolated patellofemoral osteoarthritis: a cross-sectional study[J]. *Ther Adv Chronic Dis*, 2021, 12: 364077340.
- [22] Selistre LFA, Gonçalves GH, Nakagawa TH, et al. The role of hip abductor strength on the frontal plane of gait in subjects with medial knee osteoarthritis[J]. *Physiotherapy Research International*, 2019, 24(4): e1779.