

文章编号:1004-7220(2017)06-0524-05

不同硬度楔形鞋垫对膝关节内翻力矩的影响

李 鸣¹, 刘安民², 汪 方¹, JONES Richard², 王 丹¹

(1. 上海交通大学附属第一人民医院 创伤骨科, 上海 201600; 2. School of Health Sciences, College of Health and Social Care, University of Salford, Salford M5 4WT, UK)

摘要: **目的** 研究不同硬度楔形鞋垫在步行状态下对膝关节内翻力矩的影响。**方法** 15名健康成年男性受试者穿着不同硬度楔形鞋垫进行步态测试,通过光学运动捕捉系统和地面测力板收集运动学和动力学数据,经 Visual 3D 软件计算出膝关节内翻力矩,分析在3种不同步行状况下(仅穿鞋、鞋中放入软、硬楔形鞋垫)膝关节内翻力矩峰值的差异。**结果** 与较软的楔形鞋垫相比,较硬的楔形鞋垫可使膝关节内翻力矩的第1个峰值降低9.3%,第2个峰值降低9.7%,差异具有统计学意义。**结论** 楔形鞋垫增加一定的硬度能更多降低膝关节内侧间室的压力,减轻关节面的磨损,从而可能缓解膝关节炎症症状。

关键词: 骨关节炎; 膝关节内翻力矩; 硬度; 楔形鞋垫; 步态分析

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2017.06.007

The effect of lateral wedge insoles with different stiffness on knee adduction moment

LI Ming¹, LIU An-min², WANG Fang¹, JONES Richard², WANG Dan¹ (1. Department of Orthopedics Trauma, Shanghai General Hospital, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 201600, China; 2. School of Health Sciences, College of Health and Social Care, University of Salford, Salford M5 4WT, UK)

Abstract: **Objective** To study the effect of lateral wedge insoles with different stiffness on the knee adduction moment (KAM) under walking condition. **Methods** The gait of 15 healthy males wearing lateral wedge insoles with different stiffness was tested. The kinetics and kinematics data were collected by optical motion capture system and ground reaction force platform. The KAM and its peak values were calculated by Visual 3D software. The differences in peak KAM under 3 walking conditions (shoes only, shoes with softer or harder lateral wedge insoles) were analyzed. **Results** Compared with walking with the softer lateral wedge insoles, walking with the harder lateral wedge insoles could reduce the 1st and 2nd peak KAM by 9.3% and 9.7%, respectively, with significant statistic differences. **Conclusions** Increasing some stiffness of lateral wedge insoles can further reduce the pressure and wear on medial compartment of the knee joint, which may relieve the symptom of knee osteoarthritis.

Key words: Osteoarthritis; Knee adduction moment (KAM); Stiffness; Lateral wedge insole; Gait analysis

膝关节是人体的承重关节,在长时间的机械载荷下容易磨损而导致关节炎。国内外的初步调查显示,膝关节的总体发病率约为15%^[1]。膝关节60%~80%负荷是经内侧传导^[2],而直接测量关节

面上的负荷较难实现,故很多研究采用膝关节内翻力矩(knee adduction moment, KAM)来描述其内侧的负荷,而且KAM在步行过程中的峰值与膝关节炎严重程度^[3]、疾病进展^[4]都有很强的相关性。

收稿日期:2017-02-14; 修回日期:2017-03-22

基金项目:国家自然科学基金项目(81000795)。

通信作者:汪方,副主任医师, E-mail: loktar@sjtu.edu.cn。

通过佩戴膝关节矫正支具^[5]或手术方式^[6]可以降低膝关节内侧的负荷,但支具佩戴繁琐且容易引起皮肤过敏,手术又会导致创伤;相比之下,楔形鞋垫不仅易穿戴,适应性好,而且也能够降低膝关节内侧的负荷。研究发现,在平底的对照鞋中加入楔形鞋垫进行步态测试, KAM 峰值可降低 4% ~ 14%^[7]。

随着对楔形鞋垫的深入研究,一项纳入了 156 名膝关节炎患者的长达 2 年的临床试验,其最终结论却是楔形鞋垫未能改善膝关节炎患者的症状^[8]。楔形鞋垫的确能够降低膝关节内侧的负荷,但部分长期临床试验的结果却并不理想,一个可能的原因是楔形鞋垫的不同设计会影响其生物力学效果。鞋垫上楔形的位置^[9]以及倾斜角度^[10]变化、加入足弓支撑^[11]等因素都会对其产生不同的影响。目前针对楔形鞋垫硬度的研究鲜有报道,为了进一步完善楔形鞋垫的设计要点,尽可能提高其作用效果,本文通过比较不同硬度楔形鞋垫在步态测试中 KAM 峰值的大小,初步探究楔形鞋垫硬度对自身生物力学效果的影响。

1 材料与方法

1.1 研究对象

招募 15 名健康成年男性志愿者,年龄:(31.5 ± 9.4)岁;身高:(175.4 ± 8.9) cm,体重:(77.7 ± 14.4) kg;BMI:(25.3 ± 4.2) kg/m²。志愿者在过去 6 个月里未出现过下肢疼痛、创伤或者进行过手术,过去从未穿带过楔形鞋垫。本实验经英国 Salford 大学伦理委员会批准,并与所有受试者签署知情同意书。

1.2 实验设备

包含 16 个摄像头、捕捉频率 0.1 kHz 的 Qualisys 运动捕捉系统(Oqus 30, Qualisys AB, 瑞典)和 4 块捕捉频率为 1 kHz 的 AMTI 测力板(BP400600, Advanced Mechanical Technology, Inc., 美国)共同测量反光标记点的运动轨迹和地面反作用力。

1.3 实验用鞋和鞋垫

柔性鞋(mobility shoes):根据裸足步行特点设计的鞋(见图 1)。鞋底柔软轻薄,在主要发生形变的位置设计了沟槽,以减少足形变时的阻力。为尽量减少鞋底对鞋垫的影响,鞋底没有加入弹性中层,而是以很薄的一层塑发泡材料替代,以减少鞋底受

力时产生的塌陷。鞋面为网状布料,进一步减轻重量。Shakoor 等^[12]研究发现,柔性鞋所产生的 KAM 与裸足非常接近,而明显低于其他对照鞋。

楔形鞋垫:外侧高,内侧低,有一个 5° 的全长倾斜,邵氏硬度均值为 70 HA。硬鞋垫:平面鞋垫,厚度为 2 mm,邵氏硬度均值为 87 HA。鞋垫的硬度是在第 1 和第 5 跖趾关节连线以及足跟部多次测量结果的平均值。鞋和鞋垫均由英国 Salford 大学提供。



图 1 柔性鞋的侧面和底面

Fig.1 Side and bottom view of mobility shoes

1.4 实验过程

1.4.1 反光标记点的粘贴 将标记点粘贴于以下皮肤骨性标志上:两侧髌前上棘、髌后上棘、股骨大转子、内外股骨髁、内外踝、足跟后方、脚背跖跗关节中点及第 1 和第 5 跖趾关节^[13],穿鞋的测试状况则在鞋的外面对应位置牢固粘贴 4 个标记点,踝关节和膝关节的旋转中心为其内外侧标记点连线中点,髌关节旋转中心通过回归模型^[14]计算得出,通过专用绷带将固定有 4 个标记点的塑料板缠绕固定于小腿和大腿中部的内侧,作为运动跟踪标记群(见图 2)。



图 2 反光标记点分布

Fig.2 Marker configuration

1.4.2 静态捕捉和步行测试 首先在受试者站立位静态的情况下捕捉一次数据,目的是采集粘贴在皮肤骨性标志上的标记点来建立个体骨骼模型,同时确定塑料板上的运动跟踪标记群和骨骼模型的相对位置。

共设计3种不同的步行测试状况:C1(柔性鞋),仅穿柔性鞋;C2(柔性鞋+楔形),柔性鞋中加入楔形鞋垫;C3(柔性鞋+楔形+硬),柔性鞋中先后加入楔形鞋垫和硬鞋垫。

C3中,在楔形鞋垫上加入硬鞋垫,能明显改变楔形鞋垫的硬度,以此作为较硬的楔形鞋垫与C2状况进行比较。受试者在步行测试前首先对不同的状况进行适应,然后根据节拍器120次/min调整步频,练习在5m长的摄像头汇聚区域内恰好用7步走完,适量练习后再进行正式测试。每种测试状况下至少要成功完成10次数据采集,即两侧足底需与测力板完全接触,并且能测得完整的地面反作用力。

1.5 数据处理与统计分析

将运动捕捉系统和测力板收集到的数据导入Visual 3D软件(C-Motion Inc., 美国)进行运动学和动力学分析。下肢各节段以各自旋转中心和皮肤表面骨性标记点建立三维局部坐标系,各坐标轴旋转的欧拉角代表此节段各方向上的运动角度^[15];膝关节负荷的数据则通过三维逆向动力学计算;最终使用Visual 3D下肢模型分析计算得出在冠状面上的膝关节内翻力矩。

使用SPSS 18.0统计软件进行统计分析,对各测试情况下的计量资料进行统计描述,以均值±标准差表示,各组间进行单因素方差分析,然后采用Bonferroni检验进行两两比较, $P < 0.05$ 表示两组间差异有统计学意义。

2 结果

图3显示了3种测试状况下KAM平均值曲线,可以直观看出在整个步态周期中,柔性鞋+楔形(C2)与柔性鞋(C1)相比会明显降低KAM,而柔性鞋+楔形+硬(C3)与柔性鞋+楔形(C2)相比也会明显降低KAM。与柔性鞋(C1)相比,柔性鞋+楔形(C2)能使KAM第1个峰值(KAM1)降低8.5% ($P < 0.001$),第2个峰值(KAM2)降低11.8% ($P < 0.001$);与柔性鞋+楔形(C2)相比,柔性鞋+楔

形+硬(C3)能使KAM1降低9.3% ($P = 0.002$),KAM2降低9.7% ($P = 0.025$)。由于步行速度在数据采集时给予限制,各种测试状况下的速度差异均没有统计学意义(见表1)。

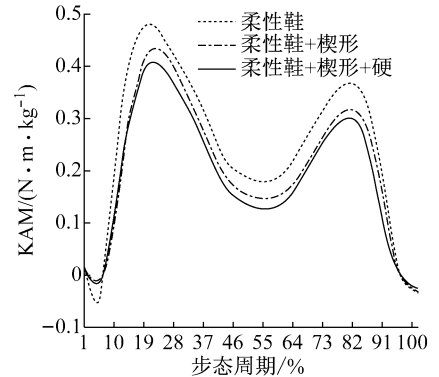


图3 不同测试状况下步态周期和KAM平均值曲线

Fig. 3 Curves of stance phase and average KAM under different conditions

表1 不同测试状况下步行速度、KAM的峰值比较($\bar{x} \pm s$, $n = 15$)

Tab. 1 Comparison of walking speed, peak KAM under different walking conditions

测试状况	速度/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	KAM1/ ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$)	KAM2/ ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{kg}^{-1}$)
C1	1.45 ± 0.15	$0.51 \pm 0.18^*$	$0.38 \pm 0.12^*$
C2	1.44 ± 0.16	$0.47 \pm 0.18^{**}$	$0.34 \pm 0.12^{**}$
C3	1.43 ± 0.18	$0.43 \pm 0.17^{\&}$	$0.31 \pm 0.12^{\&}$

注: KAM1为支撑相早期KAM的峰值, KAM2为支撑相末期KAM的峰值; * C1与C2比较, ** C2与C3比较, & C3与C1比较, $P < 0.05$

3 讨论

Sasaki等^[16]于1987年报道了楔形鞋垫的应用,之后涌现出很多楔形鞋垫相关的研究,验证了楔形鞋垫能较好地降低KAM,与本文实验结果一致。还有一种类似楔形鞋垫的可变硬度的鞋(variable-stiffness shoe)也广受关注,这种鞋为平底鞋,但其特点是外侧的硬度高于内侧,穿着时内侧塌陷,造成倾斜,效果与楔形鞋垫类似。Fisher等^[17]采用3种不同可变硬度的鞋进行步态测试,3种鞋的内侧具有相同硬度,而外侧硬度则逐渐增大,分别为内侧的1倍(与内侧硬度相同)、1.2倍、1.5倍;实验结果显示,鞋外侧的硬度越高,KAM的峰值降低越多,该结论与本文结果类似。

本文重点研究硬度改变对楔形鞋垫效果的影响。结果表明,较硬的楔形鞋垫能更好地降低KAM。Hinman等^[18]使用5°全长倾斜的楔形鞋垫,与未使用时相比,KAM的第1个峰值能够降低12%~14%,比起其他研究报道的降低5%~8%要高出很多,Hinman也指出这可能是其实验中所采用的楔形鞋垫具有更高的密度和硬度所致。本实验中,在楔形鞋垫上放入硬鞋垫,硬鞋垫本身不易形变,足底的重力作用会通过硬鞋垫分散到整个楔形鞋垫上,使楔形鞋垫不易发生形变,更好维持和支撑了楔形的角度。相反,在没有硬鞋垫时,楔形鞋垫容易发生塌陷,足底与鞋垫接触面积增大,使楔形的效果降低。因此,通过鞋垫叠加的方式可使楔形鞋垫的硬度提升,实验结果也显示楔形鞋垫上加入硬鞋垫后KAM1降低9.3%,KAM2降低9.7%。另外,有研究认为,当裸足与地面接触时会激活保护性的神经肌肉反射,有助于降低下肢关节的负荷^[19]。本文推测当足与较硬的鞋垫接触时,也可能产生这种效应。

现今人们多因为舒适度高而选择软底鞋,但是相关研究发现,鞋底硬度较低的鞋(邵氏硬度:51 HA)与硬度较高的鞋(邵氏硬度:69 HA)相比,足弓容易塌陷,步态周期延长,人体步行时下肢肌肉力量更多转化为鞋底的形变而被消耗,长时间穿着更容易引起腓肠肌的疲劳^[20]。不过软底鞋的形变能缓冲一些地面反作用力,起到保护下肢关节的作用。硬底鞋虽然缓冲作用较差,但硬度较高的楔形鞋垫能更好得使压力中心外移,降低膝关节内侧负荷,针对膝关节内侧有更好的保护。

在楔形鞋垫的作用下,膝关节内侧负荷降低,但同时踝关节出现了一定程度的外翻,部分受试者在初次使用楔形鞋垫时会感到不适。因此,楔形鞋垫的临床疗效以及它所带来的踝关节受力异常等副作用,仍要接受长期临床实验的验证,同时还要加入舒适度等因素进行综合考察。本实验的受试者为15名健康男性,而未招募健康女性和膝关节炎患者,旨在控制性别和疾病本身等诸多混杂因素的干扰;在后续实验中,还需招募不同受试者群体,进一步扩大样本量以研究不同性别及膝关节炎状态下楔形鞋垫的作用效果。总之,楔形鞋垫增加一定的硬度能更多降低膝关节内侧间室的压力,减轻关节面的磨损,从而可能缓解膝关节炎症状。

参考文献:

- [1] 李宁华. 中老年人群骨关节炎的流行病学特征[J]. 中国临床康复, 2005, 9(38): 133-135.
- [2] ANDRIACCHI TP, MÜNDERMANN A. The role of ambulatory mechanics in the initiation and progression of knee osteoarthritis [J]. *Curr Opin Rheumatol*, 2006, 18(5): 514-518.
- [3] SHARMA L, HURWITZ DE, EUGENE J, *et al.* Knee adduction moment, serum hyaluronan level, and disease severity in medial tibiofemoral osteoarthritis [J]. *Arthritis Rheum*, 1998, 41(7): 1233-1240.
- [4] MIYAZAKI T, WADA M, KAWAHARA H, *et al.* Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis [J]. *Ann Rheum Dis*, 2002, 61(7): 617-622.
- [5] 刘婷, 甘云, 刘杰民, 等. 具备内外旋自由度的双侧减压辅具对膝关节生物力学的影响[J]. 医用生物力学, 2016, 31(5): 443-448.
LIU T, GAN Y, LIU JM, *et al.* The biomechanical effect on knee joint from bilateral unloading knee brace with internal-external rotation [J]. *J Med Biomech*, 2016, 31(5): 443-448.
- [6] 马青川, 肖丽英, 李志昌, 等. 单侧全系关节置换术后两下肢受力不对称性的影响因素[J]. 医用生物力学, 2015, 30(1): 89-93.
MA QC, XIAO LY, LI ZC, *et al.* Factors affecting asymmetrical lower extremity loading after unilateral total knee arthroplasty [J]. *J Med Biomech*, 2015, 30(1): 89-93.
- [7] REEVES ND, BOWLING FL. Conservative biomechanical strategies for knee osteoarthritis [J]. *Nat Rev Rheumatol*, 2011, 7(2): 113-122.
- [8] MAILLEFERT JF, HUDRY C, BARON G, *et al.* Laterally elevated wedged insoles in the treatment of medial knee osteoarthritis: A prospective randomized controlled study [J]. *Osteoarthr Cartil*, 2001, 9(8): 738-745.
- [9] 黄萌, 张明, 梁锦纶. 利用步态分析研究楔形鞋垫对膝关节载荷的影响[J]. 医用生物力学, 2011, 26(4): 294-298.
HUANG M, ZHANG M, LIANG JL. Effects of wedged insoles on knee joint loading using gait analysis [J]. *J Med Biomech*, 2011, 26(4): 294-298.
- [10] TIPNIS RA, ANLOAGUE PA, LAUBACH LL, *et al.* The dose-response relationship between lateral foot wedging and the reduction of knee adduction moment [J]. *Clin Biomech*, 2014, 29(9): 984-989.
- [11] 张旻, 马峥, 江澜, 等. 不同外侧楔形矫形鞋垫对内侧间室膝骨性关节炎患者步态的影响[J]. 中国康复, 2015, 30

- (1): 61-64.
- [12] SHAKOOR N, LIDTKE RH, SENGUPTA M, *et al.* Effects of specialized footwear on joint loads in osteoarthritis of the knee [J]. *Arthritis Rheum*, 2008, 59(9): 1214-1220.
- [13] CAPPOZZO A, CATANI F, DELLA CROCE U, *et al.* Position and orientation in space of bones during movement: Anatomical frame definition and determination [J]. *Clin biomech*, 1995, 10(4): 171-178.
- [14] BELL AL, BRAND RA, PEDERSEN DR. Prediction of hip joint centre location from external landmarks [J]. *Hum Mov Sci*, 1989, 8(1): 3-16.
- [15] GROOD ES, SUNTAY WJ. A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: Application to the knee [J]. *J Biomech Eng*, 1983, 105(2): 136-144.
- [16] SASAKI T, YASUDA K. Clinical evaluation of the treatment of osteoarthritic knees using a newly designed wedged insole [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1987, 221: 181-187.
- [17] FISHER DS, DYRBY CO, MUNDERMANN A, *et al.* In healthy subjects without knee osteoarthritis, the peak knee adduction moment influences the acute effect of shoe interventions designed to reduce medial compartment knee load [J]. *J Orthop Res*, 2007, 25(4): 540-546.
- [18] HINMAN RS, BOWLES KA, PAYNE C, *et al.* Effect of length on laterally-wedged insoles in knee osteoarthritis [J]. *Arthritis Rheum*, 2008, 59(1): 144-147.
- [19] NURSE MA, NIGG BM. The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity [J]. *Clin Biomech*, 2001, 16(9): 719-727.
- [20] 宋雅伟, 滕津汝, 张曦元. 不同硬度鞋底对下肢步行运动学的影响 [J]. *医用生物力学*, 2013, 28(4): 388-396.
 SONG YW, TENG JR, ZHANG XY. Effects of soles with different hardness on human lower extremity kinematics during walking [J]. *J Med Biomech*, 2013, 28(4): 388-396.

《医用生物力学》杂志自主发行和调整定价启事

《医用生物力学》杂志拟从2018年开始, 邮局征订转为自主发行, 每本杂志的定价调整为25元, 全年定价150元。欢迎广大读者直接向杂志编辑部订阅2018年度《医用生物力学》杂志。

地址: 上海市制造局路639号《医用生物力学》杂志编辑部

电话: (021) 53315397

传真: (021) 63137020

E-mail: shengwulixue@163.com

本刊编辑部
 2017年12月