

文章编号:1004-7220(2011)04-0294-05

· 康复与生物力学专栏 ·

利用步态分析研究楔形鞋垫对膝关节载荷的影响

黄 萌, 张 明, 梁锦纶
(香港理工大学 医疗科技及资讯学系, 香港)

摘要: 目的 研究足底不同位置的楔形鞋垫对膝关节承载及运动特征的影响。方法 利用三维动捕捉系统与测力台对 10 名健康成年女性受试者步态中的关节动力学变化特点进行分析研究。实验状态分为对照组和 6 组楔形鞋垫测试组。利用单因素方差分析评价楔形足底支撑对膝关节动力学参数的影响。结果 相对于对照组, 前内侧楔形鞋垫组显著减小了膝内翻力矩第 1 峰值 ($P < 0.05$); 使用前外侧楔形鞋垫和外侧全长楔形鞋垫的两组显著减小了膝内翻力矩第 2 峰值 ($P < 0.05$, $P < 0.05$)。结论 使用楔形鞋垫可有效地减小站立相的膝关节内翻力矩, 这将有助于设计适合的鞋垫以减轻由骨性关节炎所带来的疼痛。

关键词: 膝内翻力矩; 步态分析; 楔形鞋垫; 载荷; 生物力学

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

Effects of wedged insoles on knee joint loading using gait analysis

HUANG Meng, ZHANG Ming, Aaron K. L. LEUNG (*Department of Health Technology and Informatics, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China*)

Abstract: Objective To study the effects of wedged insoles at different location on loads and motion of the knee joint. **Methods** Ten healthy female subjects participated in this experiment. Their gait patterns were assessed as six different wedged insoles and one controlled flat insole. The gait was monitored to study the kinetic changes in joint by using Motion Analysis System and force platforms. One way repeated measurement ANOVA was used to analyze the influences. **Results** Compared with the control group, the first peak of knee adduction moment was significant reduced by using medial forefoot wedged insole ($P < 0.05$). The second peak of knee adduction moment was significantly reduced by both lateral forefoot wedged insole ($P < 0.05$) and full-length lateral wedged insole ($P < 0.05$). **Conclusions** The wedged insoles can effectively decrease the knee adduction moment in stance phase during walking, which will help to design an appropriate insole to reduce the knee pain due to osteoarthritis.

Key words: Knee adduction moment; Gait analysis; Wedged insole; Loading; Biomechanics

膝关节是人体最易受损伤的关节之一,很多人都受到膝关节问题的困扰。在年龄超过 55 岁的人群中,约有 25% 的人患有各种膝关节疾病。这对人们的运动能力和生活质量造成了严重的影响^[1]。在成年人中,膝关节骨性关节炎是高发的膝关节疾

病之一。在中国年龄超过 65 岁的人群中,超过 50% 的人患有骨性关节炎 (osteoarthritis, OA),而且多为膝关节炎^[2]。女性患病率较男性高出约 40%^[3]。在工作中需要反复地跪和蹲,以及膝关节长期处于屈曲状态下的人群,如矿工、农民、码头搬

收稿日期:2011-07-01; 修回日期:2011-07-20

基金项目:香港教育资助委员会 GRF(PolyU5331/07E, PolyU5352/08E)。

通讯作者:张明,教授,博士研究生导师, E-mail: htmzhang@inet.polyu.edu.hk。

运工等更是膝关节炎的高发人群。预计到2014年,在40~60岁的中年人,膝关节炎的患病率将增加3%^[4]。

膝关节炎的致病因素有很多种,包括家族遗传、糖尿病、骨质疏松、肥胖、外伤以及生活习惯等。生物力学因素也是其中的一种。关节软骨及软骨下骨受到直接或间接的压力和磨擦损伤可能是骨性关节炎发病的主要诱因^[5]。在日常的步行中,关节载荷呈周期性改变。当应力分布不均或局部应力过高,都可使关节软骨磨损剥落,产生面磨损或者疲劳磨损。研究发现,膝关节炎患者的膝内翻力矩与软骨损伤具有相关性。膝关节炎患者的内翻力矩高于正常人,且增大内翻力矩会使病情进一步恶化^[6]。

1987年,Sasaki等^[7]首次将楔形鞋垫引入膝关节炎的治疗当中,其目的在于利用楔形鞋垫改变下肢力线,缓解膝关节内的压力。Kerrigan等^[6]发现楔形鞋垫可以有效地减轻膝关节炎的症状,并改善病人的运动能力。Shimada等^[8]评估了OA患者穿着楔形鞋垫的效果,认为其对轻度患者效果显著,建议早中期患者使用楔形鞋垫进行治疗。研究表明,膝关节内翻力矩与病症以及运动功能有直接关系。减小膝关节外翻力矩可以有效地减轻病痛并改善运动功能^[9]。常用的外侧楔形鞋垫可以减小膝关节内翻力矩,降低膝关节间隙的负荷,使得膝关节炎的病况减轻。但是,这种方法是否适用于病况复杂的病人还是未知,需要更多的临床试验和系统的生物力学研究来确定。本文旨在利用三维步态分析系统对在不同足部楔形鞋垫支撑下的正常人步态站立相膝关节载荷的生物力学参数进行分析。希望通过正常人群的研究,能在治疗前预估楔形鞋垫对膝关节负载影响的结果。

1 材料与方法

10名健康的成年女性受试者参加本实验。平均年龄(26±2.2)岁,体重(50.7±3.1)kg,身高(159.5±3.1)cm。身高、体重和年龄选择差异较小,以降低个体差异的影响。所有受试者均为高等院校研究生,保证其对实验要求有较好的理解能力。所有受试者至少1年内无下肢外伤和神经功能障碍。双侧下肢长度差小于1cm,身高体重比BMI(cm/kg²)在18.5~24.3之间,Q角在15°~20°之间。

测试楔形鞋垫是由邵氏硬度为A65的EVA(Podotech,英国)制成,倾角度为5°,置于测试鞋(Superstar,Adidas Ltd,德国)内。鞋垫分为楔形鞋垫组,包括前内侧(MF)、后内侧(MR)、内侧全长(MW)、前外侧(LF)、后外侧(LR)、外侧全长(LW)和无楔形支撑的对照组(FF),共7组(见图1)。

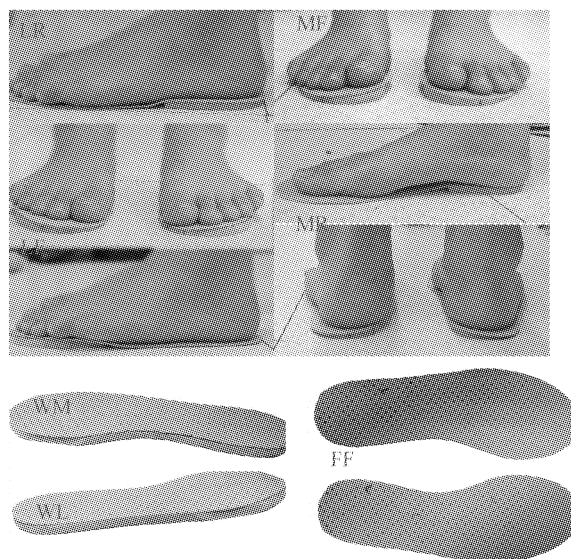


图1 6种楔形鞋垫与无楔形支撑的对照组
Fig.1 Six wedged insoles and control group

44个反光标记点贴于受试者的解剖学标记点上,如图2所示。大转子用于定义髋关节轴(GT)。股骨内外侧髁(KL, KM)用于标记膝关节轴。踝关节内髁(MMA)和外髁(LMA)用于定义踝关节轴。双侧髂前上棘(ASIS)以及髂后上棘(PSIS)定义骨盆。大腿位置由贴于大腿外侧的3点定义,小腿则由贴于胫骨前缘的3点定义。而足则由贴于后跟、跟骨外侧以及第1趾上的标记点定义。运动及动力学模型由实验得到的受试者三维运动轨迹和地面反作用力建立,本研究着重关注膝关节的运动。

利用三维运动捕捉系统(Vicon,英国)对所有受试者的自然步态进行测试,分析其膝关节内翻矩在不同鞋垫作用下的变化。步态测试于10m长的步态实验室中进行,8个红外线摄像头用于捕捉反光标记点的轨迹,采集频率为240Hz。电子节拍器用来控制受试者的步频为120步/min。地面反作用力由固定在实验室步行通道中间的2块力台(AMTI

标记名称	体表解剖标志定位	定义的关节	定义肢体部分
ASIS	髂前上棘		骨盆
PSIS	髂后上棘		
GT	大转子	髋关节	
TUL	股骨外侧	膝关节	大腿
TDL			
TDM			
KL	股骨外侧髁	膝关节	
KM	股骨内侧髁		
SUM	胫骨关节中部		小腿
SDL			
SDM			
LMA	踝关节外髁	踝关节	
MMA	踝关节内髁		
HEL	足跟中心点		足
HL	根骨外侧		
HAL	第1跖骨中心		
MT1	第1跖骨头	跖趾关节	
MT5	第5跖骨头		

图2 标记点名称及位置
Fig.2 Marker set and placement

Inc,美国)测量得出,采集频率为960 Hz。

使用单因素重复性方差分析来判定6组楔形鞋垫组与对照组对膝关节内翻力矩第1(PKAM1)和第2(PKAM2)峰值的影响。统计分析置信区间为95%, $P < 0.05$ 被认为具有显著性差异。统计学分析采用SPSS 13.0数据分析软件。

2 结果

如图3所示,在步行中,膝关节内翻力矩分别在步态站立期的约30%与75%出现峰值,即为PKAM1和PKAM2。相对于对照组,使用前内侧楔形鞋垫显著减小膝内翻力矩第1峰值($P < 0.05$)。膝内翻力矩第2峰值在使用前外侧楔形鞋垫和外侧全长楔形鞋垫可显著减小($P < 0.05$, $P < 0.05$)。MR组与LW组,MR组和MF组在PKAM1均上有显著性差异($P < 0.05$, $P < 0.05$)。对于PKAM2, LW组与所有内侧鞋垫组以及LR组有显著性差异。另外,LF组与MW组和LR组也有显著性差异。

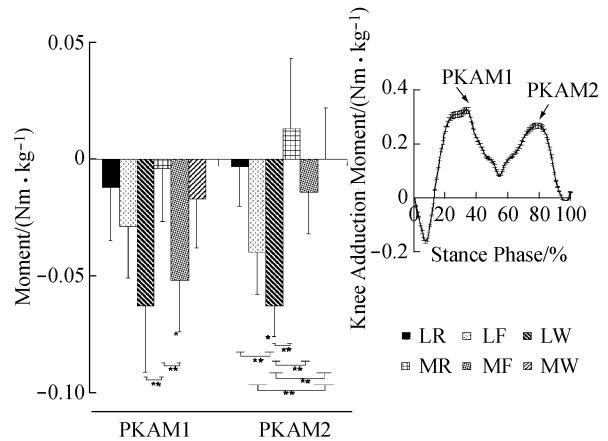


图3 6组楔形鞋垫组与对照组在膝内翻力矩第1和第2峰值上的平均差 ($\bar{x} \pm s$) (* = $P < 0.05$, 6组楔形鞋垫组与对照组相比; ** = $P < 0.05$, 楔形鞋垫组之间比较。柱表示平均差 \pm 标准方差; 曲线表示对照组平均膝内翻力矩在步态周期站立相的形状)
Fig.3 Mean differences in PKAM1 and PKAM2 between the wedged insole groups and the control group ($\bar{x} \pm s$) (* = $P < 0.05$ versus matched control group, ** = $P < 0.05$ versus matched between wedged insole groups, bar shows the mean difference \pm S. The solid curve represents the shape of the average knee adduction moment in control group during stance phase)

3 讨论

本研究发现,使用外侧鞋垫(LR,LF和LW)均可降低PKAM1和PKAM2,且降低幅度成递增趋势。与对照组相比,LW组在PKAM1和PKAM2减小幅度最大,分别为18.6%和25.5%。膝内翻力矩的减少是骨关节炎病状减轻的一个重要指标。与之前的研究比较^[6],本研究结果的减小幅度较大,高出约1倍左右。Kerrigan等^[6]发现,使用5°和10°外侧全长的楔形鞋垫可明显减少膝关节炎患者的膝内翻力矩(5.4%和9.0%),5°的鞋垫的舒适度更优^[6]。且5°全长的外侧鞋垫同样可减少正常人群的膝内翻力矩^[10]。Butler等^[11]发现,使用5°~15°范围内定制的外侧楔形鞋垫PKAM1可平均减少9%。6°全长外侧楔形鞋垫,在站立中期膝关节内翻力矩的平均值减少了6.7%^[12]。Hinman等^[13]也指出,使用完整长度的楔形鞋垫可使得膝内翻力矩的第1峰值减少12%~14%。但仍有一些研究在统计学上并不能证明使用外侧楔形支撑鞋垫可显著地减小膝关节力矩^[10,14]。

第2峰值相比第1峰值要略低,外侧鞋垫对PKAM2和PKAM1的影响相似。但是同对照组相比,LW组和LF组均有显著性差异($P < 0.05$, $P < 0.05$),且PKAM2在LF组减少了17.0%。结果与之前的研究对比,外侧楔形鞋垫对膝内翻力矩第2峰值减小的幅度仍高于对病人的研究。Hinman等^[13]发现,内侧膝关节炎患者使用全长外侧楔形鞋垫可减小PKAM2约7%。且PKAM2的减小与膝关节接触力的减小相关^[15]。

目前,关于内侧鞋垫对膝关节生物力学影响的研究较少。在一些使用内侧楔形鞋垫分析其对膝关节内侧关节炎的影响的研究中,发现内侧鞋垫可以有效地减轻病痛并提高运动功能^[16]。另有研究评估了内侧楔形鞋垫对跑步者运动学和动力学参数的影响,发现内侧楔形鞋垫可以减少足内翻角度和内旋力矩^[17]。本研究发现,MF组与对照组PKAM1在统计学上有显著差异,且减小幅度(15.4%)仅次于减小最多的LW组。其余内侧鞋垫与对照组相比,PKAM1减小幅度较少,约为1%~5%。对于第2峰值,除MF组降低,其他内侧楔形鞋垫都有增大。这可能与在步态站立后期,足底运动中心有向内侧偏

移的趋势有关。因为前内侧鞋垫阻碍了足底运动中心在向内侧偏移,又因人体的自我调节,综合作用反而降低了站立后期膝内翻的力矩。

目前对于楔形鞋垫对膝关节炎影响的研究主要集中在角度相同情况下的分析,很少有人关注到不同位置对膝关节力矩的影响。本研究发现,前内侧楔形鞋垫对于PKAM1有明显减小,而前外侧楔形鞋垫则对PKAM2有明显减小。对PKAM2的分析还发现,全长外侧也对PKAM2有明显减小,而全长外侧包含前外侧的部分。Hinman等^[18]也发现,全长的楔形鞋垫与单后跟的楔形鞋垫比较,对减小膝内翻力矩更有效。所以本文推测,前部支撑在步态运动中起到一个很重要的作用。对减小膝关节内翻力矩,应更关注前足的支撑的作用。

之前的研究证明了膝关节内翻力矩与膝关节炎病症发展的相关性,减小膝关节内翻力矩可有效地减轻病痛。本研究发现,在步态站立相,前足鞋垫可以有效地减小膝关节内翻力矩;在站立中相后期,外侧全长鞋垫可以有效地减小膝关节内翻力矩。这将为鞋和鞋垫的设计提供有效的信息,以期可以预防膝关节骨性关节炎的产生,以及为膝关节炎治疗方案的拟定提供帮助。

参考文献:

- [1] Woo J, Lau E, Lee P, *et al.* Impact of osteoarthritis on quality of life in a Hong Kong Chinese population [J]. *J Rheumatol*, 2004, 31(12): 2433-2438.
- [2] Symmons D, Mathers C, Pflieger B. Global burden of osteoarthritis in the year 2000 [R]. World Health Organization 2003, 2003.
- [3] Woolf AD, Pflieger B. Burden of major musculoskeletal conditions [J]. *Bull WHO*, 2003, 81(9): 646-656.
- [4] Leung YF, Wai YL, Leung YC. Patella alta in southern China. A new method of measurement [J]. *Int Orthop*, 1996, 20(5): 305-310.
- [5] Hayami T, Pickarski M, Zhuo Y, *et al.* Characterization of articular cartilage and subchondral bone changes in the rat anterior cruciate ligament transection and meniscectomized models of osteoarthritis [J]. *Bone*, 2006, 38(2): 234-243.
- [6] Kerrigan D, Lelas JL, Goggins J, *et al.* Effectiveness of a lateral-wedge insole on knee varus torque in patients with knee osteoarthritis [J]. *Arch Phys Med Rehab*, 2002, 83(7): 889-893.

- [7] 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.
- [8] Shimada S, Kobayashi S, Wada M, *et al.* Effects of disease severity on response to lateral wedged shoe insole for medial compartment knee osteoarthritis [J]. Arch Phys Med Rehab, 2006, 87(11): 1436-1441.
- [9] Kim CM, Eng JJ. Magnitude and pattern of 3D kinematic and kinetic gait profiles in persons with stroke: Relationship to walking speed [J]. Gait Posture, 2004, 20(2): 140-146.
- [10] Crenshaw SJ, Pollo FE, Calton EF. Effects of lateral-wedged insoles on kinetics at the knee [J]. Clin Orthop Relat Res, 2000, 375: 185-192.
- [11] Butler RJ, Barrios JA, Royer T, *et al.* Effect of laterally wedged foot orthoses on rearfoot and hip mechanics in patients with medial knee osteoarthritis [J]. Prosthet Orthot Int, 2009, 33(2): 107-116.
- [12] Kakihana W, Torii S, Akai M, *et al.* Effect of a lateral wedge on joint moments during gait in subjects with recurrent ankle sprain [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2005, 84(11): 858-864.
- [13] Hinman RS, Bowles KA, Bennell KL. Laterally wedged insoles in knee osteoarthritis: Do biomechanical effects decline after one month of wear [J]. BMC Musculoskelet Disord, 2009, 10: 146.
- [14] Maly MR, Culham EG, Costigan PA. Static and dynamic biomechanics of foot orthoses in people with medial compartment knee osteoarthritis [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2002, 17(8): 603-610.
- [15] Walter JP, D'Lima DD, Colwell Jr CW, *et al.* Decreased knee adduction moment does not guarantee decreased medial contact force during gait [J]. J Orthop Res, 2010, 28(10): 1348-1354.
- [16] Schmalz T, Blumentritt S, Drewitz, *et al.* The influence of sole wedges on frontal plane knee kinetics, in isolation and in combination with representative rigid and semi-rigid ankle-foot-orthoses [J]. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2006, 21(6): 631-639.
- [17] Mundermann A, Dyrby CO, Andriacchi TP. 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.
- [18] Hinman RS, Payne C, Metcalf BR, *et al.* Lateral wedges in knee osteoarthritis: What are their immediate clinical and biomechanical effects and can these predict a three-month clinical outcome [J]. Arthritis Care Res, 2008, 59(3): 408-415.

• 致读者 •

关于文稿中法定计量单位的书写要求

本刊法定计量单位实行国务院1984年12月颁布的《中华人民共和国法定计量单位》，并以单位符号表示，具体使用参照中华医学会杂志社编写的《法定计量单位在医学上的应用》。注意单位名称与单位符号不可混用。如 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{天}^{-1}$ 应改为 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ；组合单位符号中表示相除的斜线多于1条时，应采用负数幂的形式表示，如 $\text{ng}/\text{kg}/\text{min}$ 应采用 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 的形式；组合单位中斜线和负数幂亦不可混用，如前例不宜采用 $\text{ng}/\text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 的形式。在首次出现不常用的法定计量单位时加注与旧制单位的换算系数，下文再出现时只列法定计量单位。人体及动物体内的压力单位使用 mmHg 或 cmH_2O ，但文中首次出现使用括号加注 ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$)。正文中时间的计量单位表达，凡表示时间的具体数据时，数据后的计量单位应采用 d 、 h 、 min 、 s ，而不用天、小时、分钟、秒。量的符号一律用斜体字，如吸光度（旧称光密度）的符号 A ，“ A ”为斜体。

本刊编辑部

2011-08-25