

高跟鞋致损伤的生物力学与流行病学研究进展

张妍^{1,2}, 顾耀东^{1*}, Gusztáv Fekete²

(1. 宁波大学 大健康研究院, 浙江 宁波 315211; 2. 匈牙利罗兰大学 机械工程系, 松博特海伊 H-9700)

摘要: 以降低高跟鞋损伤风险为出发点, 对高跟鞋步态生物力学特征进行系统综述, 并结合相关流行病学依据对高跟鞋引发的肌肉骨骼系统损伤情况作出总结, 为进一步研究提供思路。对高跟鞋步态中足底压力分布、下肢各关节三维角度变化及关节力矩特征三方面进行了较为全面的总结与分析, 并且明确阐述了高跟鞋对踝关节扭伤、足部疼痛及摔倒的生物力学机制的影响。但到目前为止, 没有足够的流行病学研究证据可以证明高跟鞋会增加膝关节炎的患病风险。随着对高跟鞋步态及其损伤机制更为明确与深入的认识, 高跟鞋设计也将朝着更加人性化与合理化的方向发展。

关键词: 高跟鞋; 步态; 损伤; 生物力学; 流行病学

中图分类号: G804.66

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 03-0081-09

作为现代女性时尚的象征, 高跟鞋能提高女性对男性的吸引力, 同时影响男性对女性的态度举止^[1-2]。同时, 遵守社会准则是影响人们行为举止和对时尚认识的关键因素^[3-4], 其中, 女性穿着高跟鞋就是最明显的表现之一^[5]。在一些特定工作场合或社交活动中, 女性穿着高跟鞋经常被作为强制性要求^[6]。鞋具是引发足部疾病的主要原因^[7], 医学界对高跟鞋对女性健康造成的潜在性影响的关注已超过 50 年^[8]。生物力学相关研究指出^[9], 高跟鞋会引起步态特征的改变, 并会影响从脚趾到脊柱整个肌肉骨骼系统的运动学与动力学特征, 甚至引发拇外翻和关节炎等疾病。事实上, 拇外翻和膝关节炎在女性人群中的患病率的确明显高于男性^[10-11]。目前, 针对高跟鞋步态的生物力学实验研究不在少数, 但可供参考的综述类文献较为缺乏。此外, 单纯的生物力学研究数据只能从理论层面对高跟鞋导致肌肉骨骼系统损伤的机制进行推测, 而不能准确预测及说明损伤的概率, 这就需要相关流行病学研究结果进行补充。

本文旨在对高跟鞋步态生物力学特征的研究进展进行系统综述, 并结合相关流行病学依据对

高跟鞋引发的肌肉骨骼系统损伤情况作一总结, 为进一步研究提供思路, 并帮助高跟鞋设计朝着更加人性化与合理化的方向发展。

1 高跟鞋步态足-踝系统生物力学特征

高跟鞋使足后跟被迫抬高打破了足-踝系统的自然解剖结构, 踝关节处于被动跖屈状态, 此时足弓结构本身所具备的缓冲震动功能大大减弱。通过建立有限元模型模拟高跟鞋步态中足纵弓在步态周期中的应力分布情况, 顾耀东等^[12]指出, 穿高跟鞋行走时, 跖骨、楔骨、距舟关节和腱膜等承受的交变应力远大于正常行走。由于所受应力的增加, 理论上这些部位产生过劳性损伤的概率高于正常步态。大量实验研究结果显示, 高跟鞋被动提踵状态下足底压力向前足内侧转移, 压强和剪切应力在第一跖骨头区域显著增大, 在第五跖骨头区域降低^[13-15]。McBride 等^[16]指出, 穿高跟鞋行走时跖趾关节间相互作用力、跖骨-籽骨间应力以及两者合力是穿平底鞋行走时的 2 倍。有研究推测, 高跟鞋容易导致拇外翻的形成^[17-19]。但到目前为止, 没有研究结果说明高跟鞋造成足部畸形产生的明确

收稿日期: 2016-07-07.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(81301600)。

第一作者: 张妍(1990—), 女, 河北沧州人, 在读博士生, 主要研究方向: 运动生物力学。E-mail: yan.zhang@nyme.hu

*通信作者: 顾耀东(1981—), 男, 浙江宁波人, 副教授, 主要研究方向: 运动生物力学。E-mail: guyaodong@nbu.edu.cn

机制。高跟鞋足底压力分布的相关研究较为充分,且结论基本一致。吴剑等^[20]研究发现,穿10 cm高跟鞋行走时,第1跖趾关节处最大受力值与穿球鞋和6.5 cm高跟鞋行走时相比,分别增大4倍和2倍。Snow等^[15]研究也证明,鞋跟高度增加会增大跖骨头区域压强。Speksnijder等^[21]对高跟鞋足底压力分布进行了量化,指出与低跟鞋相比,穿高跟鞋行走时第2~4跖骨区域峰值压强增大30%,压强时间积分增大48%,第1跖骨区域的2个指标分别增加了34%和47%。此外,当鞋跟从3 cm增加至7 cm时,大脚趾后外侧的峰值剪应力在全掌支撑期显著增加,峰值压强在足跟离地期显著减小^[22]。Soames等^[23]赞成以上结果,并阐明第一、第二跖骨头平均压强最大,外侧3个跖骨头所受压强随着被动提踵高度增加而逐渐下降至0。当步速增加达到慢跑时,足底压力分布变化与正常行走时相似。Gu等^[24]指出,与裸足状态相比,高跟鞋步态周期最大压强时刻足底压力中心(COP)靠近前足内侧;与正常足相比,步态周期最大压强时刻,拇外翻足COP偏向于前足内侧(图1)。Guo等^[25]认为,穿细跟鞋慢跑时前足和足趾区域的压强显著大于穿粗跟鞋。王立平等^[26]发现,随着鞋跟高度增加,COP向足前部移动。Luximon等^[27]结合实验测量与有限元分析得出相似结论,提踵高度从0 cm增加至10.2 cm时,COP从足中部转移到足前部,骨骼内部应力也有所增加。而在疲劳状态下,足后跟和跖骨头处的COP离心率在全掌着地期向外侧发生异常偏移,表明足部内外侧的稳定性降低^[28]。

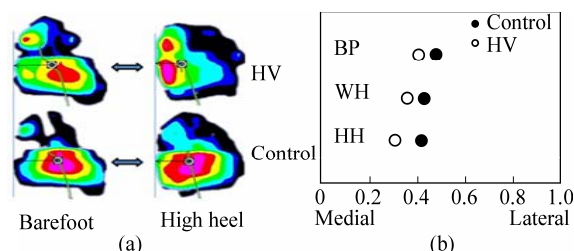


图1 步态周期最大压强时刻, 横向 COP 位置(a)与平均偏移位移(b)的对比^[24]

高跟鞋会限制关节活动度,并导致跖屈力矩的减小^[29-32]。Simonsen等^[31]将跖屈力矩减小解释为穿高跟鞋行走时,小腿三头肌长度和跟腱力臂距离缩短,同时地面反作用力从靠近踝关节中心处穿过,使力矩需求降低。另一种观点则认为与被

动跖屈时肌腱张力减小有关^[33]。在冠状面内,正常步态中明显的内翻力矩会随鞋跟高度的增加逐渐转变为外翻力矩^[32-34]。Barkema等^[34]报道,支撑相后期踝关节外翻力矩峰值随鞋跟高度的增加而增大,这在一定程度上是由于被动跖屈状态下的踝关节中心向外偏移,使关节处于内翻状态,此时需要更大的外翻力矩以维持关节稳定。与此推测相符,较早期文献提出高跟鞋会降低距骨与胫腓骨榫眼活动一致性的观点,并指出踝关节内翻损伤与鞋跟高度增加有关^[35]。Ebbeling等^[36]通过量化步态中鞋跟高度与内翻程度的关系证实,随鞋跟高度的增加,足后跟内翻角峰值呈梯度状增大。Payne等^[37]研究得出相似结论,穿高跟鞋行走时踝关节处于跖屈位,足跟向外侧偏离距下关节轴尤为明显,踝关节内翻损伤风险处于较高水平。此外,高跟鞋造成的踝关节过分跖屈/内翻状态还会限制落地时刻距下关节外翻活动与胫骨旋转活动,导致支撑相早期足部的减震功能下降^[38-39]。

长期穿着高跟鞋还会引起下肢肌肉-肌腱结构产生适应性改变,比如跟腱刚度的增加和腓肠肌内侧束缩短等^[40-41](图2)。这些适应性改变可能引起行走中肌肉-肌腱单元结构分布的变化,使其远离腱性组织靠近肌肉神经束,进而使神经激活模式发生潜在性改变,并会降低肌肉-肌腱功能的有效性^[42-43]。高跟鞋步态中比目鱼肌、胫骨前肌、腓肠肌内侧与腓骨长肌活性升高,表明踝关节周围肌肉群的肌肉共活化作用增强^[30-31,44]。Gefen等^[28]研究证实,长期穿着高跟鞋胫骨长肌与腓肠肌外侧束更易产生疲劳,导致步态稳定性降低,疲劳产生后,腓肠肌两侧头肌放电不平衡。Cronin等^[29]



图2 长期穿着高跟鞋腓肠肌缩短有限元模型^[41]

指出,习惯性穿着者行走中腓肠肌肌束张力是裸足行走时的3倍,这就解释了一些习惯穿着高跟鞋的女性当穿平底鞋行走时会产生一定程度上肌肉不适感的现象。此外,腓肠肌活化时间在穿高跟鞋行走时较正常步态有所延长^[29],且这种效应不受年龄影响^[26]。踝关节周围肌肉活性的提高可以增加关节刚度,并在一定程度上补偿高跟鞋引起的踝关节稳定性降低^[36]。另一方面,活化时间的延长会导致步态中能量消耗的增加^[36],也更容易造成肌肉疲劳。

2 高跟鞋步态膝关节与髌关节生物力学特征

一直以来,膝关节的运动学与动力学变化都是高跟鞋步态研究的关注重点。与平底鞋或裸足状态相比,高跟鞋步态中支撑相与落地时刻增大的膝关节屈曲程度被一致认为与缓冲地面反作用力并补偿被动丢失的踝关节背屈度有关^[31,36,38,45]。相应地,膝关节伸肌力矩值与持续时间均随鞋跟高度增加而增大^[8,29,36,46]。然而,也有研究认为步态中膝关节伸肌力矩峰值不受鞋跟高度的影响^[39,47]。不同的研究结果可能与测试中使用的步速和鞋跟高度不同有关。大部分研究采用的鞋跟高度介于3~10 cm之间,鞋跟越低对关节力学的干扰程度越低。Cronin等^[29]进一步提出,在同一步速下通过改变鞋跟高度,使膝关节伸肌力矩峰值开始增加的阈值是可被测量的。高跟鞋对行走时下肢活动的明显影响还包括支撑相膝关节活动范围增加^[31,36]和摆动相膝关节屈曲度减小^[38-39]。有研究证明,与裸足步态相比,高跟鞋引起的膝关节屈曲度降低使身体重心正弦波振幅减小,这有利于维持身体平衡^[48]。Gu等^[49]指出,慢跑时支撑期膝关节冠状面内的内收-外展活动度随鞋跟高度增加显著增大,膝关节外展峰值也表现出相同的趋势,这是膝关节负荷增加的潜在性因素。根据Hamill等^[48]提出的若支撑相足后跟达最大内翻与膝关节达最大屈曲的时刻不同,则距下关节会与膝关节发生功能性对抗的观点,Ebbling等^[36]认为,相比于平底鞋,高跟鞋步态中膝关节支撑相屈曲到达最大程度较早,而足后跟内翻到达最大程度所需时间更长是导致膝关节损伤的原因之一。另一方面,有关高跟鞋步态中下肢肌肉肌电活动的研究证实,穿高跟

鞋行走时支撑相股四头肌肌电活性增强^[31,44-45]。这些改变会导致髌骨肌腱紧张,髌股关节与胫骨-股骨间压力增大,因此,长期穿着高跟鞋行走很可能造成膝关节痛或关节功能退化^[50]。Ho等^[46]量化了髌骨关节压力与鞋跟高度的关系,结果与以上假设一致,鞋跟高度增加8.26 cm髌股关节压力增大89.5%,髌股关节压力减小1 MPa,可缓和56%髌股痛症状^[51]。正常行走中,身体重量偏向于膝关节内侧,膝关节产生外翻力矩,内侧压力升高外侧拉力增大。高跟鞋步态使身体重量进一步向足内侧转移,导致外翻力矩增加^[30-32,34]。Barkema等^[34]研究结果显示,无论以规定速度或自由步速行走时,膝关节外展力矩均随着鞋跟高度增加而增大,但步速为规定步速时,差异显著性体现在平底鞋与高跟鞋间;自由步速时,差异显著性则体现在中跟鞋与高跟鞋间。Kerrigan等^[52]通过对比分析相同高度的粗跟和细跟高跟鞋对步态中膝关节力学的影响证实,同一高度的粗、细跟鞋造成的膝关节外翻力矩增加值近似,说明鞋跟高度是导致关节力矩增加的主要因素,增大鞋跟支撑面积并不能有效降低膝关节外翻力矩。理论上,高跟鞋步态中外翻力矩的增加会导致膝关节外侧肌肉产生代偿性肌肉力量增大,进而引起胫骨-股骨间压力增加,长期作用引起关节功能异常,患膝关节炎的风险升高^[30-32,34]。尽管高跟鞋容易引起膝关节炎的推测是符合理论逻辑的,但目前并没有研究直接证明高跟鞋引发的外翻力矩增加与关节炎患病风险升高间存在必然因果关系。因此,将来的研究有必要对同一受试群体进行多年反复的测试评估以获得高跟鞋穿着习惯(包括鞋跟高度、穿着时间和频率)与膝关节炎之间关系的详细数据。

总体而言,高跟鞋引起的髌关节生物力学特征变化不如膝关节和踝关节明显。Gu等^[49]对穿高跟鞋慢跑时的研究表明,髌关节三维活动受鞋跟高度影响不大。较早研究结果显示,行走时1~8 cm鞋跟高度对支撑相髌关节屈曲度的影响没有明显差别^[29,36,39]。与此相反,Kerrigan等^[32]指出,随鞋跟高度的增加,支撑相初期髌关节屈曲角度峰值增加明显,屈力矩也稍有增大。Esenyel等^[30]认为,髌关节屈曲角度在支撑相-摆动相过度阶段有所增加。Stefanyshyn等^[44]报道,预摆动相和摆动相阶段为

对抗髌关节伸展力矩的增大, 髌关节屈肌做功增加 23%。冠状面内, 髌关节外展力矩峰值随鞋跟高度增加而增大^[30], 但 Kerrigan 等^[32]研究未发现此种变化规律。Barkema 等^[34]分别测试了最适步速与固定步速下的下肢关节力矩随鞋跟高度增加的变化情况, 结果表明, 以规定步速行走时, 髌关节外展力矩峰值随鞋跟高度增加而显著增大; 但以最适步速行走时, 鞋跟高度对冠状面内髌关节力矩没有显著影响。Esenyel 等^[30]认为支撑阶段髌关节外展肌做功增加 11%, 抑制了高跟鞋行走时的髌关节外翻力矩。另有研究表明, 与裸足行走相比, 高跟鞋步态会激发内侧臀肌额外的活性, 从而阻止骨盆在冠状面内倾斜(或下降)程度的增加^[45]。

3 冲击力引起的损伤

与正常步态的垂直地面反作用力变化趋势不同, 高跟鞋行走时足后跟落地时刻瞬间产生一个冲击力峰值(impact force)^[53], 随后地面反作用力继续以冲击波(shock wave)形式经下肢传向脊柱。尽管有研究推测高跟鞋步态中增大的地面冲击力可能引起下肢及背部疼痛、关节功能减退等症状^[32,54], 但目前还没有直接证据支持这一理论观点。相关研究一致表明, 随鞋跟高度的增加, 纵向、横向、垂直地面反作用力值及地面反作用力负荷加载率均增大^[22,29,44,55], 但冲击力与最大垂直负荷加载率的增加存在一定阈值。Loy 等^[56]研究发现, 当鞋跟高度从 7.6 cm 增加至 8.5 cm 时, 冲击力与最大垂直负荷加载率均呈下降趋势, 这可能与穿着者在鞋跟过高时所采取的维持身体平衡的保护性措施有关。Fu 等^[57]指出, 习惯穿着者快跑时垂直负荷加载率显著大于慢跑和非习惯者慢、快跑时, 暗示跑速和穿着习惯可能是导致肌肉骨骼系统损伤的潜在因素(图 3)。

近年来, 有科研人员提出可以通过使用不同结构的鞋垫以达到缓冲高跟鞋步态中的地面反作用力的效果, Yung 等^[55]指出, 同时使用全掌鞋垫、后跟及足弓支持垫可有效降低 33.2% 的地面冲击力。需要指出的是, 该研究均基于对鞋垫即时效应的评估, 长期效果有待进一步测试。另有研究表明, 随鞋跟高度的增加, 足落地后地面冲击力增大, 这会导致身体重心减速度增加。相反, 蹬地阶段身体

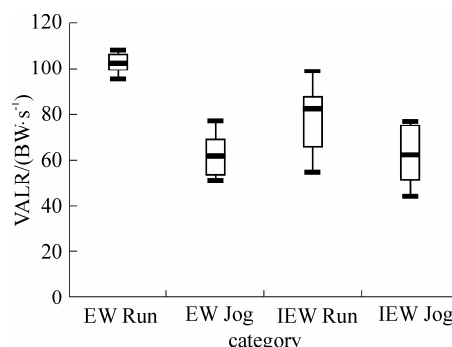


图3 地面垂直负荷加载率
(EW: 习惯者, IEW: 非习惯者)^[57]

重心加速度增加, 垂直方向地面反作用力峰值增大^[44]。因此, 鞋跟高度的增加会使正常行走动作的流畅性降低, 主要表现为落地阶段减速度与蹬地阶段加速度的增大。Blanchette 等^[58]发现鞋跟越高对鞋-地间的摩擦力的要求越高, 提示穿着高跟鞋在摩擦力较低的表面行走时摔倒的风险较高。

4 高跟鞋致肌肉骨骼系统损伤的流行病学研究

生物力学研究通常采用实验测量的方式采集数据, 并将测量结果进行整理分析, 建立它们之间的关系, 或通过建立生物力学模型, 进一步计算一些无法直接测量的参数, 如关节受力、关节肌肉力矩、肌肉功率等。与生物力学研究相比, 流行病学研究不进行实验数据的采集, 而是通过更加直观的临床特征说明预研究因素对研究对象的影响, 且覆盖的样本量更大。然而, 目前并没有足够的流行病学相关文献可供参考, 同时, 相对不足的流行病学证据也已被引用超过 15 年^[6]。现有研究主要涉及高跟鞋与拇外翻、膝关节炎和足部疼痛三方面的关系。

研究指出, 高跟鞋导致拇外翻与高跟鞋穿着时间和穿着频率有关。筛选后引用有关高跟鞋与拇外翻关系的相关文献共 4 篇, 其中 3 篇认为两者间呈显著正相关, 另 1 篇结果与此相反。Menz 等^[18]通过对 120 位 62~96 岁的老年女性进行调查发现, 仅在穿着期间拇外翻患病率与高跟鞋穿着经历显著相关, 非穿着期间的拇外翻患病率与之前的高跟鞋穿着经历间不存在显著相关性。且穿着期间, 穿着高跟鞋与拇外翻发生风险的优势比为 2.48。另一项针对 1 725 位老年女性(44%患有拇外翻)的调

查表明^[59],早期高跟鞋穿着经历导致拇外翻发生风险显著增加了47%。偶尔穿着和经常穿着与发生风险的优势比分别为1.24和1.47。这与Nguyen等^[60]的研究结果一致,他们指出,20~64岁期间经常穿着高跟鞋的女性拇外翻患病风险显著高于不经常穿着者($n=386$)。相反,Dawson等^[61]则认为,拇外翻患病率与高跟鞋穿着经历无关,而与较早开始穿着1英寸后跟的鞋有关。Menz等^[62]同意拇外翻患病率与早期高跟鞋穿着经历无关的观点,并指出鞋头(toe box)过窄是造成拇外翻产生的危险因素。这与普遍认为的高跟鞋容易导致拇外翻产生结论相反的结果可能与该研究选取的样本量较小($n=96$)以及各研究采用的诊断标准不同有关。需要特别注意的是,流行病学研究覆盖的被试年龄范围较广,目前尚未有研究明确指出拇外翻是否为鞋跟高度和年龄综合作用的结果。此外,穿着频率的差异、对穿着频率定义的差异、常穿高跟鞋结构的差异及后跟高度的差异都会对研究的统计学结果产生影响。

大量生物力学研究得出一致结论,穿着高跟鞋会导致膝关节屈曲角度和髌骨关节压力明显增加,这是引发膝关节炎的危险因素。但有关高跟鞋与膝关节炎关系的流行病学研究十分缺乏,且均未发现早期的高跟鞋穿着经历与膝关节炎患病率间存在正相关关系^[63-64]。Dawson等^[63]指出,膝关节炎患病风险的增加与40岁前体重超重有关。不同领域研究结果的差异性可能由以下因素引起:(1)流行病学研究数据基于被调查者对早期穿着经历自我回忆,回忆偏差可能对研究结果造成影响;(2)研究样本量较小($n=29$),研究结果可靠性有待进一步验证;(3)生物力学测量中被试需穿着统一实验用鞋,而流行病学统计结果基于被调查者穿着结构和鞋跟高度不完全相同鞋具的事实。

穿高跟鞋会使足部试图向鞋头滑动,造成鞋面与前足背部(尤其是足趾部分)间的挤压而引起疼痛。美国足部医学协会的一项调查结果称,即便承受足部疼痛,42%的女性为满足审美需求仍选择穿着高跟鞋,且疼痛经常发生的部位主要为足趾、跖骨头、后跟和足弓。由于方法学差异,如回忆偏差、穿着频率差异、结构与后跟高度差异、疼痛评价等级差异等,关于高跟鞋与足部疼痛关系的研

究尚未得出一致结论。本文共引用5篇流行病学相关文献,其中3篇认为早期高跟鞋穿着经历与最近一年内足部疼痛的发生不存在显著相关性^[18,61-62],1篇认为尽管高跟鞋穿着频率保持在每周2次以上,期间足部疼痛与高跟鞋穿着无明显关系^[65],1篇指出工作中穿着高跟鞋的中青年女性(21~40岁)在穿着期间足部疼痛的发生与高跟鞋穿着密切相关(优势比为1.59)^[66]。尽管文献^[65-66]的研究均基于高跟鞋引发足部疼痛的即时效应,由于两组被试年龄存在较大差异,均未明确常穿高跟鞋结构与鞋跟高度,且对穿着频率定义模糊,两项研究得出相反的统计学结果可能与以上因素有关。

5 其他常见损伤

Keegan等^[67]概括了摔倒导致骨折和摔倒但未致骨折两种情况下摔倒时穿着的鞋具发现,穿中跟或高跟鞋摔倒时足部(OR: 2.0)、前臂远端(OR: 1.7)、肱骨近端(OR: 1.5)、骨盆(OR: 1.5)及胫骨/腓骨(OR: 1.7)处骨折风险升高。Sherrington等^[68]的研究表明,被调查者中仅有2%在穿着高跟鞋时摔倒造成了髌关节骨折,并且高跟鞋与滑倒或绊倒没有明显关联。需要指出的是,该研究仅对被试摔倒时所穿鞋具进行了概括,而仅2%被试者表示在摔倒时穿着高跟鞋,因此,样本量过小可能是导致统计学分析未达显著性的原因。Tencer等^[69]认为,老年人中高跟鞋与摔倒风险显著相关。Gabell等^[70]的研究得出相似结果,他们指出高跟鞋是导致老年人摔倒的主要潜在危险因素,尽管被调查者在摔倒时并没有穿着高跟鞋。Gabell等^[70]将这一现象解释为高跟鞋产生的生理学影响,即高跟鞋长期穿着经历会危害人体平衡控制能力。近期一项实验研究表明,当鞋跟高度增加至10 cm时,站立时平衡能力显著下降。穿着高跟鞋行走同样会造成身体稳定性的降低,Chien等^[71]提出主要原因与步态中单支撑相冠状面内COM-COP倾向角的增大及踝关节旋前肌力矩的减小有关。Luximon等^[72]指出,后跟支撑面越小越容易破坏步态稳定性,在足落地后的承重反应期(loading respond)当身体重量转移至支撑腿时尤为明显(图4)。另一项针对24岁以下青年女性的研究表明^[73],74%的损伤发生在穿着高跟或中跟鞋上楼梯后跟踩在楼梯边缘时。



图4 实验用鞋侧面(a)及后跟支撑面积(b)示意图^[71]

Williams 等^[74]通过整理分析澳大利亚维多利亚州 5 年内的急诊病例资料发现, 240 例急诊报告涉及高跟鞋致自身损伤。其中, 踝关节(51%)为最常见的损伤部位, 其次为足部(26%)。20~24 岁(26%)为损伤高发的年龄阶段, 其次为 25~29 岁(19%)。另一项基于同一研究方法的研究表明^[75], 踝关节(39%)和足部(33%)同样为损伤发生频率最高的两个部位。拉伤或扭伤(53%)为最普遍的损伤类型, 其次为骨折(19%)。20~29 岁(33%)和 30~39 岁(20%)为损伤高发年龄阶段。踝关节损伤主要表现为扭伤, 这可能与鞋跟高度增加导致踝关节跖屈与内翻角度增大及踝关节外侧稳定性降低有关^[35-36,44]。另一方面, 由于压强与施加压力的横截面面积呈反比, 研究者应一并关注高跟鞋对穿着者和旁观者造成伤害的可能性。目前, 仅有一项研究考虑了高跟鞋导致他人损伤的情况^[74], 同时指出, 49 例急诊病历资料显示损伤因高跟鞋穿着者踩踏他人所致, 16 例来自穿着者使用高跟鞋对他人进行攻击。

6 结论

充分的科学实验数据已经证明, 高跟鞋会对人体健康造成不利影响。在对高跟鞋步态中足底压力分布、下肢各关节三维角度变化及关节力矩特征有了较为全面的认识, 并全面阐述了对踝关节扭伤、足部疼痛及摔倒的生物力学机制。

然而, 足内部各关节处的受力情况难以通过直接测量得出。有限元分析可用于求解骨结构和软组织的应力场和形变场, 掌握足内部应力、结构位移等的变化状况。因此, 未来研究可从足部有限元模型切入, 通过模拟高跟鞋步态中跖骨区域的应力变化情况, 探究高跟鞋造成跖骨骨折及拇外翻畸形的力学机制。此外, 利用有限元方法分析正常足与拇外翻足在被动提踵状态下跖骨区域应力分布的差别, 对拇外翻畸形的预防与治疗具有重要意义。直到目前, 没有足够的流行病学证据可以

证明高跟鞋会引发膝关节炎这一普遍公认的观点。对经常穿着高跟鞋的青年女性群体进行长期跟踪, 统计膝关节炎患病率亦是今后研究的又一突破口。

参考文献:

- [1] TONCHI S, WEBER C, SMALL L. Killer Heels: The Art of the High-heeled Shoe[M]. Munich: Prestel, 2014:221.
- [2] MORRIS P H, WHITE J, MORRISON E R, et al. High heels as supernormal stimuli: How wearing high heels affects judgements of female attractiveness[J]. *Evolution and Human Behavior*, 2013, 34(3):176-181.
- [3] CIALDINI R B, GOLDSTEIN N J. Social influence: Compliance and conformity[J]. *Annual Review of Psychology*, 2004, 55:591-621.
- [4] CRAIK J. Fashion: The Key Concepts[M]. London: Bloomsbury Academic, 2009:22-35.
- [5] DILLEY N R, HOCKEY J, ROBINSON V, et al. Occasions and non-occasions: Identity, femininity and high-heeled shoes[J]. *European Journal of Women's Studies*, 2015, 22(2):143-158.
- [6] LINDER M. Smart women, stupid shoes, and cynical employers: The unlawfulness and adverse health consequences of sexually discriminatory workplace footwear requirements for female employees[J]. *Journal of Corporation Law*, 1997, 22(2):295-299.
- [7] ROSSI W A. Footwear: The primary cause of foot disorders[J]. *Podiatry Management*, 2001(2):129-138.
- [8] GOLDTHEAIT J E. Essentials of body mechanics in health and disease[J]. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 1952, 35(10):1092.
- [9] CRONIN N J. The effects of high heeled shoes on female gait: A review[J]. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2014, 24(2):258-263.
- [10] NIX S, SMITH M, VICENZINO B. Prevalence of hallux valgus in the general population: A systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2010, 3(1):21.
- [11] KATZ B P, FREUND D A, HECK D A, et al. Demographic variation in the rate of knee replacement: A multi-year analysis[J]. *Health Services Research*, 1996, 31(2):125-140.
- [12] 顾耀东, 李建设, 陆毅琛, 等. 提踵状态下足纵弓应力分布有限元分析[J]. *体育科学*, 2005, 25(11):85-87.
- [13] CONG Y, CHEUNG J T, LEUNG A K, et al. Effect of heel height on in-shoe localized triaxial stresses[J]. *Journal of Biomechanics*, 2011, 44(12):2267-2272.

- [14] NYSKA M, MCCABE C, LINGE K, et al. Plantar foot pressures during treadmill walking with high-heel and low-heel shoes[J]. *Foot & Ankle International*, 1996, 17(11):662-666.
- [15] SNOW R E, WILLIAMS K R, HOLMES G B. The effects of wearing high heeled shoes on pedal pressure in women[J]. *Foot & Ankle International*, 1992, 13(2):85-92.
- [16] MCBRIDE I D, WYSS U P, COOKE T D, et al. First metatarsophalangeal joint reaction forces during high-heel gait[J]. *Foot & Ankle International*, 1991, 11(5):282-288.
- [17] GU Y D, LI F L, LI J S, et al. Plantar pressure distribution character in young female with mild hallux valgus wearing high-heeled shoes[J]. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 2014, 14(1):267-270.
- [18] MENZ H B, MORRIS M E. Footwear characteristics and foot problems in older people[J]. *Gerontology*, 2005, 51(5):346-351.
- [19] YU J, CHEUNG J T, FAN Y, et al. Development of a finite element model of female foot for high-heeled shoe design[J]. *Clinical Biomechanics*, 2008, 23(Sup):31-38.
- [20] 吴剑, 李建设. 青少年女性穿不同鞋行走时足底压力分布研究[J]. *体育科学*, 2006, 26(6):67-70.
- [21] SPEKSNIJDER C M, VDMUNCKHOF R J, MOONEN S A, et al. The higher the heel the higher the forefoot-pressure in ten healthy women[J]. *The Foot*, 2005, 15(1):17-21.
- [22] HONG W H, LEE Y H, CHEN H C, et al. Influence of heel height and shoe insert on comfort perception and biomechanical performance of young female adults during walking[J]. *Foot & Ankle International*, 2005, 26(12):1042-1048.
- [23] SOAMES R, CLARK C. Heel height induced changes in metatarsal loading patterns during gait[J]. *Biomechanics IX-A*, 1985, 446:55-58.
- [24] GU Y D, SUN D, LI J S, et al. Plantar pressure variation during jogging with different heel height[J]. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2013, 10(2/3):89-95.
- [25] GUO L Y, LIN C F, YANG C H, et al. Effect on plantar pressure distribution with wearing different base size of high-heel shoes during walking and slow running[J]. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 2012, 12(1):440-449.
- [26] 王立平, 李建设. 鞋跟高度对人体行走时足底压力中心的影响[C]//第十四届全国运动生物力学学术交流大会论文集. 2010.
- [27] LUXIMON Y, LUXIMON A, YU J, et al. Biomechanical evaluation of heel elevation on load transfer: Experimental measurement and finite element analysis[J]. *Acta Mechanica Sinica*, 2012, 28(1):232-240.
- [28] GEFEN A, RAVID M M, ITZCHAK Y, et al. Analysis of muscular fatigue and foot stability during high-heeled gait[J]. *Gait & Posture*, 2002, 15(1):56-63.
- [29] CRONIN N J, BARRETT R S, CARTY C P. Long-term use of high-heeled shoes alters the neuromechanics of human walking[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2012, 112(6):1054-1058.
- [30] ESENYEL M, WALSH K, WALDEN J G, et al. Kinetics of high-heeled gait[J]. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 2003, 93(1):7-32.
- [31] SIMONSEN E B, SVENDSEN M B, NORRESLET A, et al. Walking on high heels changes muscle activity and the dynamics of human walking significantly[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 2012, 28(1):20-28.
- [32] KERRIGAN D C, TODD M K, RILEY O. Knee osteoarthritis and high-heeled shoes[J]. *The Lancet*, 1998, 351(9113):1399-1401.
- [33] BURNFIELD J M, FEW C D, MOHAMED O S, et al. The influence of walking speed and footwear on plantar pressures in older adults[J]. *Clinical Biomechanics*, 2004, 19(1):78-84.
- [34] BARKEMA D D, DERRICK T R, MARTIN E. Heel height affects lower extremity frontal plane joint moments during walking[J]. *Gait & Posture*, 2012, 35(3):483-488.
- [35] NIETO E, NAHIGIAN S. Severe ankle injuries while wearing elevated "platform" shoes[J]. *Ohio State Medical Journal*, 1975, 71(3):137-141.
- [36] EBBELING C J, HAMILL J, CRUSSEMEYER J A. Lower extremity mechanics and energy cost of walking in high-heeled shoes[J]. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 1994, 19(4):190-196.
- [37] PAYNE C, MUNTEANU S, MILLER K. Position of the subtalar joint axis and resistance of the rearfoot to supination[J]. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 2003, 93(2):131-135.
- [38] OPILA-CORREIA K. Kinematics of high-heeled gait[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 1990, 71(5):304-309.
- [39] SNOW R E, WILLIAMS K R. High heeled shoes: Their effect on center of mass position, posture, three-dimensional kinematics, rearfoot motion, and ground reaction forces[J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 1994, 75(5):568-576.
- [40] CSAPO R, MAGANARIS C N, SEYNNES O R, et al.

- On muscle, tendon and high heels[J]. *Journal of Experimental Biology*, 2010, 213(15):2582-2588.
- [41] ZÖLLNER A M, POK J M, MCWALTER E J, et al. On high heels and short muscles: A multiscale model for sarcomere loss in the gastrocnemius muscle[J]. *Journal of Theoretical Biology*, 2015, 365:301-310.
- [42] CRONIN N J, PELTONEN J, ISHIKAWA M, et al. Effects of contraction intensity on muscle fascicle and stretch reflex behavior in the human triceps surae[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2008, 105(1):226-232.
- [43] LICHTWARK G A, WILSON A M. Is Achilles tendon compliance optimised for maximum muscle efficiency during locomotion?[J]. *Journal of Biomechanics*, 2007, 40(8):1768-1775.
- [44] STEFANYSHYN D J, NIGG B M, FISHER V, et al. The influence of high heeled shoes on kinematics, kinetics, and muscle EMG of normal female gait[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 2000, 16(3):309-319.
- [45] MIKA A, OLEKSY Ł, MIKA P, et al. The influence of heel height on lower extremity kinematics and leg muscle activity during gait in young and middle-aged women[J]. *Gait & Posture*, 2012, 35(4):677-680.
- [46] HO K Y, BLANCHETTE M G, POWERS C M, The influence of heel height on patellofemoral joint kinetics during walking[J]. *Gait & Posture*, 2012, 36(2):271-275.
- [47] KERRIGAN D C, JOHANSSON J L, BRYANT M G, et al. Moderate-heeled shoes and knee joint torques relevant to the development and progression of knee osteoarthritis [J]. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2005, 86(5):871-875.
- [48] HAMILL J, BATES B T, KNUTZEN K M, et al. Relationship between selected static and dynamic lower extremity measures[J]. *Clinical Biomechanics*, 1989, 4(4):217-225.
- [49] GU Y D, ZHANG Y, SHEN W W. Lower extremities kinematics variety of young women jogging with different heel height[J]. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, 2013, 12(3):240-251.
- [50] EDWARDS L, DIXON J, KENT J R, et al. Effect of shoe heel height on vastus medialis and vastus lateralis electromyographic activity during sit to stand[J]. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 2008, 3(1):1-7.
- [51] POWERS C M, WARD S R, CHEN Y J, et al. Effect of bracing on patellofemoral joint stress while ascending and descending stairs[J]. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2004, 14(4):206-214.
- [52] KERRIGAN D C, LELAS J L, KARVOSKY M E. Women's shoes and knee osteoarthritis[J]. *The Lancet*, 2001, 357(9262):1097-1098.
- [53] WHITTLE M W. Generation and attenuation of transient impulsive forces beneath the foot: A review[J]. *Gait & Posture*, 1999, 10(3):264-275.
- [54] VOLOSHIN A, LOY D. Biomechanical evaluation and management of the shock waves resulting from the high-heel gait: I — Temporal domain study[J]. *Gait & Posture*, 1994, 2(2):117-122.
- [55] YUNG H L, WEI H H. Effects of shoe inserts and heel height on foot pressure, impact force, and perceived comfort during walking[J]. *Applied Ergonomics*, 2005, 36(3):355-362.
- [56] LOY D J, VOLOSHIN A S. Biomechanical aspects of high heel gait[J]. *Journal of Biomechanics*, 1987, 20(9):909.
- [57] FU F Q, ZHANG Y, SHU Y, et al. Lower limb mechanics during moderate high-heel jogging and running in different experienced wearers[J]. *Human Movement Science*, 2016, 48:15-27.
- [58] BLANCHETTE M G, BRAULT J R, POWERS C M, The influence of heel height on utilized coefficient of friction during walking[J]. *Gait & Posture*, 2011, 34(1):107-110.
- [59] DUFOUR A B, CASEY V A, GOLIGHTLY Y M, et al. Characteristics associated with hallux valgus in a population-based foot study of older adults[J]. *Arthritis Care & Research*, 2014, 66(12):1880-1886.
- [60] NGUYEN U S D T, HILLSTROM H J, LI W, et al. Factors associated with hallux valgus in a population-based study of older women and men: The MOBILIZE Boston study[J]. *Osteoarthritis and Cartilage*, 2010, 18(1):41-46.
- [61] DAWSON J, THOROGOOD M, MARKS S A, et al. The prevalence of foot problems in older women: A cause for concern[J]. *Journal of Public Health*, 2002, 24(2):77-84.
- [62] MENZ H B, RODDY E, MARSHALL M, et al. Epidemiology of shoe wearing patterns over time in older women: Associations with foot pain and hallux valgus[J]. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 2016, 71(12):1682-1687.
- [63] DAWSON J, JUSZCZAK E, THOROGOOD M, et al. An investigation of risk factors for symptomatic osteoarthritis of the knee in women using a life course approach[J]. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2003, 57(10):823-830.
- [64] MCWILLIAMS D F, MUTHURI S, MUIR K R, et al. Self-reported adult footwear and the risks of lower limb

- osteoarthritis: The goal case control study[J]. BMC Musculoskeletal Disorders, 2014, 15(1):1-7.
- [65] DE CASTRO A, REBELATTO J R, AURICHIO T R. The relationship between foot pain, anthropometric variables and footwear among older people[J]. Applied Ergonomics, 2010, 41(1):93-97.
- [66] CHUA Y P, TAN W J, YAHYA T S, et al. Prevalence of nontraumatic foot pain among urban young working women and its contributing factors[J]. Singapore Medical Journal, 2013, 54(11):630-633.
- [67] KEEGAN T H, KELSEY J L, KING A C, et al. Characteristics of fallers who fracture at the foot, distal forearm, proximal humerus, pelvis, and shaft of the tibia/fibula compared with fallers who do not fracture[J]. American Journal of Epidemiology, 2004, 159(2):192-203.
- [68] SHERRINGTON C, MENZ H B. An evaluation of footwear worn at the time of fall-related hip fracture[J]. Age and Ageing, 2003, 32(3):310-314.
- [69] TENCER A F, KOEPESELL T D, WOLF M E, et al. Biomechanical properties of shoes and risk of falls in older adults[J]. Journal of the American Geriatrics Society, 2004, 52(11):1840-1846.
- [70] GABELL A, SIMONS M, NAYAK U, Falls in the healthy elderly: Predisposing causes[J]. Ergonomics, 1985, 28(7): 965-975.
- [71] CHIEN H L, LU T W, LIU M W. Effects of long-term wearing of high-heeled shoes on the control of the body's center of mass motion in relation to the center of pressure during walking[J]. Gait & Posture, 2014, 39(4):1045-1050.
- [72] LUXIMON Y, CONG Y, LUXIMON A, et al. Effects of heel base size, walking speed, and slope angle on center of pressure trajectory and plantar pressure when wearing high-heeled shoes[J]. Human Movement Science, 2015, 41:307-319.
- [73] NAGATA H. Occupational accidents while walking on stairways[J]. Safety Science, 1991, 14(3):199-211.
- [74] WILLIAMS C M, HAINES T. An exploration of emergency department presentations related to high heel footwear in Victoria, Australia, 2006-2010[J]. Journal of Foot and Ankle Research, 2014, 7(1):4.
- [75] MOORE J X, LAMBERT B, JENKINS G P, et al. Epidemiology of high-heel shoe injuries in US women: 2002 to 2012[J]. The Journal of Foot and Ankle Surgery, 2015, 54(4):615-619.

Review on biomechanical and epidemiological research on injuries from high heels

ZHANG Yan^{1,2}, GU Yao-dong^{1*}, Gusztáv FEKETE²

(1.Research Academy of Grand Health, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Department of Mechanical Engineering, Eotvos Lorand University, Szombathely H-9700, Hungary)

Abstract: To reduce injury risk in connection with high heels, this paper conducts a review on the biomechanical characteristics of high-heeled gait in combination of epidemic evidence. Results suggest that the effects of plantar pressure distribution, lower limb 3D joint angle changes and joint moments are consistent with the conclusions made from the biomechanical mechanism of ankle sprain, foot pain and falls. However, there are few epidemiological evidences to corroborate the notion that high-heeled shoes will increase risk of knee osteoarthritis.

Key words: high-heeled shoes; gait; injury; biomechanics; epidemiology

(责任编辑 章踐立)