

文章编号: 1004-7220(2022)05-0868-06

不同矫形鞋垫对老年人足底的生物力学影响

金哲^{1,2}, 冯通², 王向东^{3,4}, 秦壮利⁵

(1. 横店影视职业学院, 浙江 东阳 332118; 2. 北京体育大学 运动人体科学学院, 北京 100061; 3. 集美大学 体育学院, 福建 厦门 361021; 4. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061; 5. 邦尼生物科技有限公司, 福建 泉州 362200)

摘要:目的 通过3款鞋垫了解老年人步行过程中的足底相关特性,为当前老年人鞋垫设计提供参考,并为厂家生产提供理论依据。**方法** 选取25名身心健康的老年人,穿戴Pedar-x足底压力测试相关设备在跑步机上进行步行测试(4 km/h),以获取足底压力、压强、冲量,并通过问卷调查获得被试者的主观反馈。**结果** 后脚部软硬喜欢程度和后脚部反弹性强度平均分上,鞋垫A、C之间具有非常显著差异($P < 0.01$);最大压力和平均压强指标上,鞋垫C在各足底分区均显著小于鞋垫A、B($P < 0.01$);冲量指标上,鞋垫C在M1(足跟)~M7区(第2~5趾骨)都低于鞋垫A、B,且在M1区具有显著差异($P < 0.05$),M2区(足弓外侧)鞋垫A、C具有显著差异($P < 0.05$),M5区(第2~4跖骨)鞋垫B、C具有非常显著差异($P < 0.01$)。**结论** 通过改变鞋垫设计可以干预老年人步行时足底压力,聚氨酯发泡材料适用于老年人鞋垫,在鞋垫前足与后跟增加类似GEL减震片可以有效降低老年人步行中出现的高压力,但是鞋垫前中后部位物理厚度不一,易造成老年人步行过程中的足部疲劳。

关键词: 老年人; 矫形鞋垫; 步行; 足底压力

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.05.016

Biomechanical Effects of Different Orthopedic Insoles on Foot Soles in Older Adults

JIN Zhe^{1,2}, FENG Tong², WANG Xiangdong^{3,4}, QIN Zhuangli⁵

(1. Hengdian Film and Television Vocational College, Dongyang 322118, Zhejiang, China; 2. School of Sports and Human Science, Beijing Sports University, Beijing 100061, China; 3. School of Physical Education, Jimei University, Xiamen 361021, Fujian, China; 4. China Institute of Sports Science, Beijing 100061, China; 5. Bonny Biotechnology Co., Ltd., Quanzhou 362200, Fujian, China)

Abstract: Objective To understand relevant characteristics of foot soles in older adults during walking through three types of insoles, so as to provide references for current design of the insoles for older adults, as well as theoretical basis for the manufacturers' production. **Methods** A total of 25 physically and mentally healthy older adults were selected. They put on Pedar-x plantar stress test equipment, and performed walking test on a treadmill at the speed of 4 km/h, so as to obtain the plantar force, pressure and pulse. The subjective feedback from the subjects were obtained through questionnaire survey. **Results** There was a very significant difference between insole A and insole C in the average score of soft and hard liking and rebound strength of rear feet ($P < 0.01$). The maximum force and average pressure of insole C in each plantar region were significantly lower than those of insole A and insole B ($P < 0.01$). The impulse of insole C from M1 region (heel) to M7 region (2nd-

收稿日期: 2021-11-30; 修回日期: 2021-12-18

基金项目: 泉州邦尼生物科技有限公司资助项目(B19-18)

通信作者: 王向东, 教授, 博士生导师, E-mail: wangxiangdong@jmu.edu.cn

5th phalanx) was lower than that of insole A and insole B, and there was a significant difference in M1 region (heel) ($P < 0.05$). The impulse of insole A and insole C in M2 region (lateral arch) had a significant difference ($P < 0.05$), and the impulse of insole B and insole C in M5 region (2nd-4th metatarsal) also had a significant difference ($P < 0.01$). **Conclusions** Changing the insole design can effectively interfere with plantar pressure of older adults during walking. Polyurethane foam material is suitable for the insole of older adults. Adding gel shock absorber in front foot and heel of the insole can effectively reduce high pressure of older adults during walking. However, the physical thickness of the front, middle and rear part of the insole is different, which is easy to cause foot fatigue of older adults during walking.

Key words: older adults; orthopedic insoles; walking; plantar pressure

作为世界上老龄化最严重的国家,人口老龄化程度不断加深是我国目前所要面对的重要社会问题^[1-2]。通过测试、分析足底压力,可以获取人体在各种体态和运动下的生理、病理力学参数和机能参数,了解不同人群的足底压力分布与步态特征^[3]。一项针对老年人足底压力、足底各区域面积以及冲量的研究发现,随着年龄增长,老年人身体稳定性下降,足底缓冲能力变弱,尤其是70岁以上老年人,维持身体稳定性的能力显著下降^[4]。

足是人体立根之本,最简单的运动就是从足开始。穿着矫形鞋垫可以改变足底接触面,以适应穿着者的个人足部形状。这种嵌入式的治疗辅具,可以通过改变足与地面的接触面积从而重新分布足底压力,预防和治疗诸如糖尿病足、小儿脑瘫足部畸形、足底筋膜炎等临床病症,且长期使用无危害性^[5-7]。然而,针对老年人穿戴矫形鞋垫是否便捷,是否会给日常生活造成负担,以及矫形鞋垫是否具有有效减压缓冲、抗疲劳等功能,目前研究鲜有涉及。本文招募一定数量的普通老年人,进行3次穿戴不同矫形鞋垫的步行测试,分析受试者穿戴不同鞋垫步行时足底压力相关指标的变化,以期探索出一款适合老年人步行穿戴、减少足底损伤以及有效降低运动损伤的鞋垫。

1 对象和方法

1.1 研究对象

25名老年男性。入组标准:60~65岁,平均年龄(61.8 ± 1.5)岁,身高(173.3 ± 4.3)cm,体重(75.1 ± 9.5)kg,鞋码统一国标42码,无运动禁忌证及相关疾病,无下肢重大手术史和外伤史,无任何足部病变,足弓正常,且1周有两次以上运动经

历。排除标准:有严重身心疾病障碍,近期有药物、咖啡因使用史,患有运动系统、呼吸系统等严重疾病。25名受试者在实验前了解实验具体过程,并签署知情同意书。

1.2 设备与指标

1.2.1 鞋垫 鞋垫A:聚氨酯发泡材料,前掌和后跟厚度均为5mm;鞋垫B:聚氨酯发泡材料,前掌和后跟厚度均为5mm,足跟区加入胶体(gelatin, GEL)材料减震垫片;鞋垫C:聚氨酯发泡材料,前掌厚度5mm,后跟厚度10mm,前掌和后跟均加入GEL减震垫片。

3种鞋垫的设计材料均由某公司提供。聚氨酯发泡材料是一种环保型材料产品,作为鞋垫底材具有减震、防臭、抑菌、吸汗、透气、耐水、防滑等优点^[8]。步行时,足底压力分布不均匀的问题可通过加入减震垫片的方法解决。研究发现,类似GEL的前掌缓冲鞋垫可有效降低人体足掌部和足前掌部足底压力^[9]。



图1 实验鞋垫

Fig. 1 Experimental insole (a) Insole A, (b) Insole B, (c) Insole C

1.2.2 足底压力 测试足底压力的设备为Pedar-x足底压力测试系统(Novel公司,德国),测试指标为最大压力、平均压强和冲量。

1.2.3 主观感受 参与者需完成调查问卷 (SPSS 分析总的内部一致性信度系数为 0.900 2), 问卷包含个人基本信息、鞋垫总体喜欢程度、单项指标喜欢程度、单项指标性能强度 (后脚部软硬程度、后脚部反弹性、后脚部稳定性、后脚跟到脚趾过渡顺畅程度、前脚部弯曲程度、前脚部软硬程度)、意见建议、指标说明。调查问卷采用 1~9 共计 9 个分值来评价指标, 由弱到强分布。

1.3 测试过程

测试前, 选择好相应型号 Pedar 鞋垫放置已穿戴好不同矫形鞋垫受试者的运动鞋内, 连接 Pedar-box 盒, 通过蓝牙设备和笔记本电脑连接。为保证数据的准确性, 所有 Pedar 测试鞋垫在实验开始前, 均通过校准设备校准。受试者热身后, 穿上运动鞋并进行零压力测试, 然后上跑台开始步行测试。受试者两次测试分别穿戴相应的鞋垫。当步行速度达到 4 km/h, 且步态稳定后开始采集数据。约 15 个步态周期后, 受试者停止运动。数据采集完毕后, 依次向受试者发放调查问卷。受试者对穿戴 3 种鞋垫的主观整体感受进行评价, 同时及时反馈给测试人员。

1.4 数据分析处理

用 Pedar 软件对采集获得的原始数据进行裁剪, 从 15 个周期步中选出最标准稳定的 6 步 (15 个周期去除不稳定周期最终选取) 进行分析。如图 2 所示, 将足底分为 8 个区域, 利用 Pedar Multimask 对处理后的数据进行分区, 并对分区进行保存。用 Pedar 软件 Group Mask Evaluation 分析相关指标在 6 个周期中的平均值。本文主要对比分析同一受试者穿不同运动鞋垫时的最大压强、最大压力以及冲量, 鉴于左右脚在行走中的足底压力变化规律趋于一致性, 故本文以右脚数据进行说明, 避免数据重复。



图 2 足底分区

Fig. 2 Plantar division

所有结果以平均值 \pm 标准差表示, 利用 SPSS 20.0 对受试者的测试指标进行重复测量方差分析, 组内对比 3 种矫形鞋垫之间各指标关系。设定统计显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 基本情况

本次测试招募受试者 25 人, 一共发放 25 份调查问卷, 其中有效问卷 25 份, 无效问卷 0 份。通过对问卷统计分析力学数据分析的结合, 分别对比 3 种鞋垫的差异性。

2.2 主观评价

2.2.1 总体喜欢程度对比分析 鞋垫 A、B、C 总体喜欢平均分分别为 (7.80 \pm 0.70)、(7.92 \pm 0.75)、(7.80 \pm 1.35) 分, 鞋垫 B 以 0.12 分的优势略高于鞋垫 A、C。

2.2.2 各项指标喜欢程度分析 鞋垫 C 各项指标的喜欢程度平均分均优于鞋垫 A、B, 鞋垫 B 在后脚跟软硬程度喜欢和后脚部反弹性喜欢两项优于鞋垫 A, 但差异不具有统计学意义 ($P>0.05$), 见表 1。

表 1 3 种鞋垫各指标喜欢程度对比

Tab. 1 Comparison of liking degree for each index of three insoles

指标	鞋垫 A	鞋垫 B	鞋垫 C
后脚部软硬程度	7.20 \pm 1.76	7.52 \pm 1.80	8.12 \pm 0.53
后脚部反弹性	7.28 \pm 1.31	7.40 \pm 1.66	8.16 \pm 0.69
后脚部稳定性	8.00 \pm 1.04	7.48 \pm 1.42	8.24 \pm 0.60
足跟到脚趾过渡顺畅程度	7.80 \pm 1.15	7.20 \pm 1.50	8.04 \pm 0.79
前脚部弯曲程度	7.88 \pm 1.17	7.24 \pm 1.69	8.04 \pm 0.73
前脚部软硬程度	7.84 \pm 1.11	7.52 \pm 1.48	8.16 \pm 0.75

2.2.3 各项指标性能强度反馈分析 3 款鞋垫在后脚部软硬程度强度和前脚部软硬程度强度两个性能指标上的平均分都小于 5 分。在后脚部反弹性强度平均分上, 鞋垫 A [(5.48 \pm 2.00) 分] 与鞋垫 B [(7.00 \pm 2.22) 分] ($P<0.05$)、鞋垫 A [(5.48 \pm 2.00) 分] 与鞋垫 C [(7.16 \pm 2.27) 分] ($P<0.01$) 之间差异显著, 见图 3。

通过对问卷调查结果进一步分析表明, 受试者对鞋垫 C 足跟到脚趾过渡舒畅程度更为喜欢, 原因是鞋垫 C 在后脚部设计的更新, 使得相比鞋垫 A、B 在动态中的稳定性和反弹性都更佳。受试者对鞋垫 C 的建议如下: ① 鞋垫前脚部两边设计应再宽松一些; ② 鞋垫 C 的外观和包裹性较好, 但是鞋垫中部硬度较大。

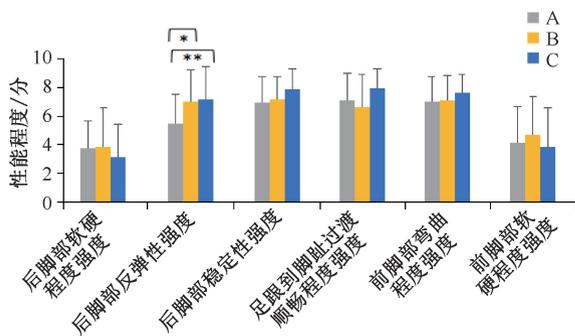


图3 3种鞋垫各指标主观性能对比 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$)

Fig. 3 Comparison of subjective performance for each index of three insoles

2.3 力学指标

2.3.1 最大压力 鞋垫 C 最大压力在各个足底分区均显著小于鞋垫 A、B ($P<0.01$), M5 区鞋垫 A 最大压力 [(178.70 ± 40.23) N] 显著小于鞋垫 B [(196.90 ± 48.03) N] ($P<0.05$), M2 区鞋垫 B 最大压力 [(173.45 ± 52.43) N] 显著小于鞋垫 A [(197.02 ± 50.36) N] ($P<0.05$), 见图 4。

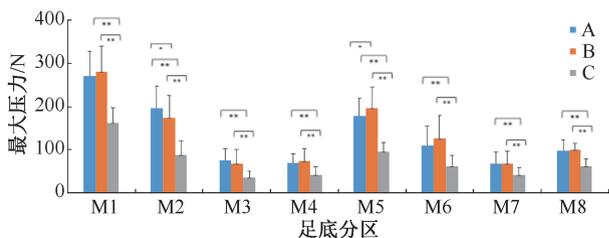


图4 3种鞋垫不同足底分区最大压力对比 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$)。

Fig. 4 Comparison of the maximum force in different plantar regions for three insoles

注: M1 为足跟区, M2 为足弓区外侧, M3 为足弓区内侧, M4 为第 5 跖骨区, M5 为第 2~4 跖骨区, M6 为第 1 跖骨区, M7 为第 2~5 趾骨区, M8 为拇趾区, 下同。

2.3.2 平均压强 鞋垫 C 平均压强在足底分区均显著小于鞋垫 A、B ($P<0.01$), 鞋垫 A 平均压强在 M2 区 [(190.99 ± 55.56) kPa]、M3 区 [(71.6 ± 31.27) kPa] 分别略高于鞋垫 B, 但不具有显著差异 ($P>0.05$), 见图 5。

2.3.3 冲量 高冲量指标区主要分布在 M1、M2、M5 区。鞋垫 C 在 M1~M7 区的冲量都低于鞋垫 A、B, M1 区鞋垫 A 冲量 [(58.6 ± 16.68) N·s] 与鞋垫 C [(44.64 ± 12.29) N·s] 具有非常显著差异 ($P<0.01$), 鞋垫 B 冲量 [(55.38 ± 11.47) N·s] 与鞋垫 C

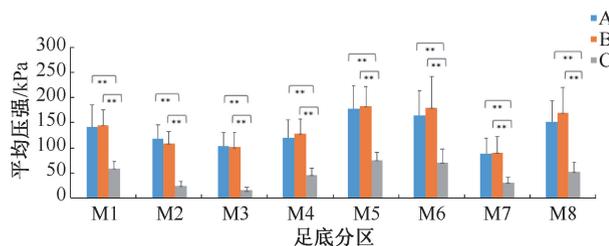


图5 3种鞋垫不同足底分区平均压强对比 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$)

Fig. 5 Comparison of average pressure in different plantar regions for three insoles

[(44.64 ± 12.29) N·s] 具有显著差异 ($P<0.05$), M2 区鞋垫 A 冲量 [(49.7 ± 16.77) N·s] 与鞋垫 C [(38.66 ± 17.53) N·s] 具有显著差异 ($P<0.05$), M5 区鞋垫 B 冲量 [(54.73 ± 18.2) N·s] 与鞋垫 C [(44.04 ± 15.72) N·s] 具有非常显著差异 ($P<0.01$), 见图 6。

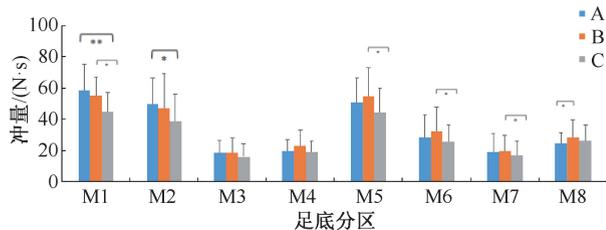


图6 3种鞋垫不同足底分区冲量对比 (* $P<0.05$, ** $P<0.01$)

Fig. 6 Comparison of impulse in different plantar regions for three insoles

3 讨论

3种鞋垫的力学分析结果表明,足底 MI、M2、M5、M6 区相对于其他区受力都大,说明老年人步行过程中,足跟以及足跖区受力较大,通过改变鞋垫设计,可以有效降低步行中出现的受力。

鞋垫 B 在足后部的减压缓冲性能方面稍优于鞋垫 A,但不具有显著差异,说明加入减震垫片可以降低高压区的负荷,但这与本研究在后跟区加入减震垫片的预期效果并不符合,推测与鞋垫足跟部物理厚度的差别有关。鞋垫 C 在全足的减压缓冲性能方面都优于鞋垫 A、B,较好解决了老年人行走过程中足跟以及足跖区过高受力的问题,说明鞋垫 C 通过矫形设计的改进,达到了预期效果,有助于老年人的足底保护。冲量指标上,鞋垫 C 在老年人步行中主要受力区(M1、M2、M5、M6)的指标明显低于

鞋垫 A、B,达到了本实验的预期效果;但在 M8 区鞋垫 C 的冲量指标高于鞋垫 A,推测原因是鞋垫 C 足前部增加了减震垫片,使得该部位的硬度高于鞋垫 A,并且老年人脚趾的肌肉力量随年龄增大而下降,从而导致出现上述情况^[10]。

老年人运动一直是研究热点,体育锻炼对于促进老年人身心健康、缓解社会老龄化的作用已被证实。运动的形式各式各样,而行走是生活中重复次数最多的运动。与年轻人相比,老年人在地面上的行走速度和行走稳定性也都要更差^[11-12]。研究发现,低强度的步行运动更加适合老年人参与,达到促进身心健康的要求^[13]。在老年人的衰老过程中,老年人的步行能力随着年龄的增加而降低^[14]。

矫形鞋垫作为一种嵌入式的治疗辅具,可以通过改变足与地面的接触面积,从而重新分布足底压力,预防和治疗一些临床病症,且长期使用无危害性^[15]。矫形鞋垫的结构材料等对足部畸形的生物力学形态具有康复作用^[16]。在鞋垫的材料选择方面:① 柔软的鞋垫可能会降低脚底皮肤感觉的可靠性。② 较软的鞋垫主观舒适,但产生反作用力的机械支持较少,需要更多的肌肉活动来抵消行走过程中的姿势扰动,使得保持姿势稳定变得更加困难,特别是对老年人而言^[17]。③ 更坚硬的鞋垫更有可能将脚放在更中性的位置,而更柔软的鞋垫往往更好地适应脚的姿势,柔软均匀的聚氨酯材料被推荐用于鞋垫设计,以降低常规和负重步态的足底压力^[18]。最佳刚度与身体质量(body mass, BM)以及身体质量指数(body mass index, BMI)密切相关,对于 BM 或 BMI 较高的人来说,制作鞋垫需要更坚硬的材料^[19]。Tang 等^[20]通过制定矫形鞋垫来降低足底压力,从而防止麻风患者足底溃疡的发生。开展运动生物力学研究能为减少运动损伤提供参考^[21]。本文结果表明,合适的矫形鞋垫对于足底压力改变具有积极意义。

足底压力是足底和支撑面之间的压力分布,足底压强是足底单位面积所承受的地面反作用力,过大的足底压力和压强极易对足底造成伤害,故必须防止高压强区的出现。冲量是作用于足底的外力与外力作用时间的乘积,它表示了力在一定时间内对足底各区域连续作用所产生的积累效应。冲量

的大小是疲劳积累的直接原因。

鞋垫 C 在前掌和后跟部增加了 GLE 减震垫片,有效减少了老年人足底高压区带来的伤害,并且后跟材料厚度的相对增加,有效降低了老年人由于年龄增长导致的行走过程中足跟部高压。

本研究的局限性如下:① 本文主要研究老年人鞋垫的减压缓冲能力,有关鞋垫包裹性、助力性等还有待进一步完善。② 由于老年人体力等原因,实验过程中获得的第 2 次测试结果可能会受到第 1 次测试的影响。③ 本实验主要针对个性化设计来研究,将其用于评价普通老年人鞋垫时会存在一定局限性。

综上所述,本文建议:① 鞋垫 C 的矫形设计对老年人步行具有较好的足底抗压缓冲,以及抗疲劳的作用;② 老年人步行鞋垫设计,足前部可以稍增大一些,以增加穿着的主观舒适度;③ 前足尤其是足跖区以及足跟区增加减震垫片,可以有效降低老年人行走中高压区所带来的伤害,但不要过软,会降低鞋垫的推动力。④ 应该注意加强前足和后跟部位的稳定性以及全足的抗疲劳性。

4 结论

通过改变鞋垫矫形设计可以干预老年人步行时足底压力;聚氨酯发泡材料适用于老年人鞋垫;在鞋垫前足与后跟增加类似 GEL 减震片,可以有效降低老年人步行中出现的高压力;但是鞋垫前中后部位的物理厚度不一,易造成老年人步行过程中足部疲劳。上述研究结果可为老年人鞋垫制作厂家提供重要参考。

参考文献:

- [1] 吴红依,王建荣,程少荣,等. 老年跌倒综合评估及干预研究进展 [J]. 上海护理, 2020, 20(10): 38-41.
- [2] 娄方潇,张锋成. 体医融合下老年社区体育活动的现状分析 [C]//第十一届全国体育科学大会. 南京: [s. n.], 2019.
- [3] 魏孟田,及化娟,李立. 足底压力测试技术在不同人群中的应用 [J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(50): 9425-9428.
- [4] 盛欣. 不同年龄阶段老年人足底压力变化特征的研究 [D]. 秦皇岛:燕山大学, 2018.
- [5] 周捷,李健,马秋瑞,等. 矫形鞋垫对糖足足底压力分布影响的荟萃分析 [J]. 纺织高校基础科学学报, 2020, 33(3): 73-80.

- [6] 郭悦, 李剑, 张海涛, 等. 矫形鞋垫用于改善小儿脑瘫足部畸形的研究现状 [J]. 足踝外科电子杂志, 2020, 7(1): 6-11.
- [7] 朱静华, 丛林. 足底筋膜炎的防治 [J]. 田径, 2019(11): 82-83.
- [8] 梁玲, 崔玉志, 燕杰善, 等. 高性能聚氨酯泡沫鞋垫的研究 [J]. 化学推进剂与高分子材料, 2020, 18(4): 60-62.
- [9] 梁丹. 缓冲垫对人体前掌部足底压力的影响 [J]. 漳州师范学院学报(自然科学版), 2012, 25(1): 80-83.
- [10] 李艳. 老年人足部运动功能衰退的力学研究 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2016.
- [11] 郑晓丹, 王栋梁, 徐冬青. 不同条件下老年人 Tandem 行走的足底压力特征分析 [C]//第十一届全国体育科学大会. 南京: [s. n.], 2019.
- [12] 李立, 陈玉娟, 翟凤鸣, 等. 老年人不同运动形式下足底压力分布特征研究进展 [J]. 中国老年学杂志, 2011, 31(16): 3210-3212.
- [13] 徐浩. 老年人步行运动适宜的强度和量的研究 [J]. 当代体育科技, 2019, 9(32): 15-16.
- [14] 朱晓兰, 赵芳, 周兴龙. 老年人步态特征的分析及其评价系统的初步建立 [J]. 北京体育大学学报, 2006, 29(2): 201-203.
- [15] 侯亚丽, 王向东. 矫形鞋垫在相关病症康复中的应用研究现状 [J]. 中国运动医学杂志, 2017, 36(5): 460-463.
- [16] 苏宏伦, 郭俊超, 莫中军, 等. 个性化扁平足矫形鞋垫的生物力学研究 [J]. 医用生物力学, 2016, 31(6): 490-494.
- SU HL, GUO JC, MO ZJ, *et al.* Biomechanical study on the personalized orthopedic insoles for flatfoot [J]. J Med Biomech, 2016, 31(6): 490-494.
- [17] JENNIFER A, WILLIAMS AE, NESTER C. Development and evaluation of a dual density insole for people standing for long periods of time at work [J]. J Foot Ankle Res, 2020, 13(1): 42.
- [18] MELIA G, SIEGKAS P, LEVICK J, *et al.* Insoles of uniform softer material reduced plantar pressure compared to dual-material insoles during regular and loaded gait [J]. Appl Ergon, 2021, 91: 103298-103298.
- [19] CHATZISTERGOS PE. Subject specific optimisation of the stiffness of footwear material for maximum plantar pressure reduction [J]. Ann Biomed Eng, 2017, 45(8): 1929-1940.
- [20] TANG SFT, CHEN CPC, LIN SC, *et al.* Reduction of plantar pressures in leprosy patients by using custom made shoes and total contact insoles [J]. Clin Neurol Neurosurg, 2015, 129: S12-S15.
- [21] 郝卫亚. 运动损伤生物力学研究 [J]. 医用生物力学, 2017, 32(4): 299-306.
- HAO WY. The research on biomechanics of sports injuries [J]. J Med Biomech, 2017, 32(4): 299-306.