



移动阅读

矫形鞋垫对柔韧性扁平足者疲劳状态下跑步足底压力的影响

王月萍¹, 周志鹏², 孙威², 王疆娜^{2*}

(1. 山东体育学院研究生教育学院, 山东 济南 250102; 2. 山东体育学院运动与健康学院, 山东 济南 250102)

摘要: 26名柔韧性扁平足者在10 m的实验场地以(3.0±0.3)m/s速度进行疲劳前和疲劳后跑步测试。应用Pedar足底压力测试系统和鞋垫测量扁平足者疲劳前、后穿矫形鞋垫和平鞋垫跑步时的足底8个区域的压力,对矫形鞋垫的作用效果进行分析。与平鞋垫相比,矫形鞋垫显著减少了扁平足者跑步时后跟的峰值压力、峰值压强和压力时间积分。和疲劳前相比,受试者疲劳后穿着平鞋垫跑步时前足内侧和后跟区域峰值压力显著增大,前足内侧和中足内侧区域的峰值压强显著增大;而穿着矫形鞋垫以上区域指标无显著性差异。矫形鞋垫有助于降低扁平足者跑步疲劳引起的足部损伤风险、实现健康跑。

关键词: 鞋垫; 健康; 跑步; 扁平足; 矫形; 足底压力; 疲劳

中图分类号: TS943 **文献标志码:** A

Effect of Orthopedic Insoles on Plantar Pressure during Running in Fatigue State in Patients with Flexible Flatfoot

WANG Yueping¹, ZHOU Zhipeng², SUN Wei², WANG Jiangna^{2*}

(1. College of Postgraduate Education, Shandong Sport University, Jinan 250102, China; 2. College of Sports and Health, Shandong Sport University, Jinan 250102, China)

Abstract: Twenty-six patients with flexible flatfoot were tested before and after fatigue at a speed of (3.0 ± 0.3) m/s in a 10 m experimental field. Pedar-x system and insoles were used to measure the plantar pressure of eight areas of the flatfoot before and after fatigue when running with orthopedic insoles and flat insoles. Compared with the flat insole, the orthopedic insole significantly reduced the peak force, peak pressure and force-time integral of the heel of the flatfoot when running. Compared with before fatigue, the peak force in the medial forefoot and heel area and the peak pressure in the medial forefoot and medial midfoot area increased significantly when the patients wore flat insoles after fatigue. However, there was no significant difference in these indexes above the orthopedic insole. Orthopedic insoles are helpful to reduce the risk of foot injury caused by running fatigue of flatfoot and realize healthy running.

Key words: insoles; health; running; flatfoot; orthoses; plantar pressure; fatigue

前言

足弓具有减震和缓冲作用,其支撑和平衡功能

有助于降低运动对骨骼、关节和软组织的损伤风险^[1]。内侧纵弓的塌陷或消失可使足底变扁平,进而伴随后足外翻和前足外展,这种足部畸形称为扁平足^[2]。近年来,扁平足发病率呈明显增高趋势^[3]。柔韧性扁平足,又称功能性扁平足,即人体在承重状态时足弓变平,但在非承重状态下或大脚趾抬高时,足弓又显现出来,在扁平足中占比高达95%^[4]。柔韧性扁平足会降低足部支撑缓冲功能、引起足底压

收稿日期: 2024-05-27 修回日期: 2024-10-08 接受日期: 2024-10-10
基金项目: 国家自然科学基金(12402373); 山东省自然科学基金(ZR2024MH341); 济南市市校融合发展战略工程项目(JNSX2023088)
第一作者简介: 王月萍(1997-),女,硕士,主要研究方向: 运动生物力学。E-mail: wyp13963759255@163.com。

* 通信作者: 王疆娜(1986-),女,硕士,副教授,主要从事特殊人群运动与健康促进。E-mail: tsjwjn2018@126.com。

力分布不均,如足内侧受力过大、中足和趾骨区域的压强增高^[5]。久而久之,异常的压力分布会导致扁平足者发生跖骨疼痛、胫骨内侧压力综合征和足底筋膜炎等软组织损伤风险增大^[6]。

疲劳会改变扁平足人群跑步的生物力学表现并增加运动损伤风险^[5]。跑步中持续重复的肌肉活动易致扁平足者下肢肌肉疲劳,使下肢关节控制能力减弱、踝关节外翻程度增大,从而增加跑步相关损伤和过度使用损伤的风险^[7]。如疲劳后扁平足人群跑步时前足区域和中足内侧区域的压力显著增大^[8],跖骨头区域下的压力增加可能会增加跖骨应力性骨折的风险^[9];长时间跑步使扁平足过度紧张的足底韧带、筋膜和跟腱反复拉长,导致出现足底筋膜及跟腱的慢性损伤^[10]。因此,及早识别扁平足者并采取适当的措施防止发生足踝疼痛、损伤非常重要。

矫形鞋垫是针对柔韧性扁平足最常见的保守治疗方法之一,被广泛应用于运动损伤预防及康复领域等^[11-13]。研究发现跑步疲劳后前足下峰值压力和冲量会显著增高^[14]。扁平足者在疲劳状态下跑步,前掌1~3跖骨区域的压力、压强和冲量显著大于疲劳前^[8]。扁平足者穿带有前足楔形和足弓支撑的个性化鞋垫跑步时,可显著降低前足和后跟的压力时间积分与后跟的峰值压力^[15]。矫形鞋垫可改变并重新分配足部关节之间的压力,避免足部的进一步损伤和预防其疾病进展^[11]。

尽管当前研究支持跑步状态下矫形鞋垫可缓解扁平足者足底疼痛症状和矫正功能方面的作用,但在疲劳状态下跑步,矫形鞋垫对扁平足足底压力的改善效果尚未可知。通过比较柔韧性扁平足者疲劳前后穿着两种鞋垫跑步时的足底压力特征,量化疲劳下柔韧性扁平足的足底压力分布,检验矫形鞋垫对柔韧性扁平足者疲劳后足底压力分布的改善效果,为预防扁平足者在跑步时发生运动损伤提供理论支持。

1 实验部分

1.1 研究对象

样本量的计算使用 G*Power 软件(Version 3.1),

德国 Heinrich-Heine 公司;显著性水平 α 为 0.05, power 为 0.80, 根据预实验结果计算得到效应量 f 为 0.42, 考虑 20% 流失率, 计算出所需最小样本量为 18 人。纳入标准^[16-17]: (1) 18~25 岁大学生; (2) 身体质量指数(Body Mass Index, BMI) $\leq 28 \text{ kg/m}^2$; (3) 双侧轻度扁平足: $0.26 < \text{足弓指数} < 0.35$; (4) 平时无症状, 只在运动时会出现轻微疼痛的柔韧性扁平足; (5) 无脑瘫、糖尿病、心血管和肺部等疾病; (6) 扁平足病史在 8 个月以上。排除标准^[18-19]: (1) 患有神经肌肉和神经系统疾病; (2) 过去 6 个月内足部使用矫形器或物理治疗; (3) 6 个月内下肢肌肉、骨骼损伤或手术史。

本研究最终招募 26 名柔韧性扁平足受试者。所有参与者均签署了知情同意书, 实验前 24 h 内无剧烈运动, 且身体状况良好。实验已通过山东体育学院伦理委员会的伦理批准(批准号: 2023010), 受试者的基本信息如表 1 所示。

1.2 实验材料与仪器

(1) 矫形鞋垫(Total Support), 美国思奔客公司; 如图 1(a) 所示, 该鞋垫针对扁平足人群足弓塌陷、后足外翻、前足压力过大的特点, 根据人体解剖学原理、鞋垫的材料和性能而设计。矫形鞋垫的前掌厚度 6 mm, 足弓高度 25 mm, 后跟厚度 9 mm。鞋垫中层采用热塑性材料, 硬度约 40° 邵氏硬度 C (Shore C); 全部前脚掌部位添加缓冲垫 27° Shore C; 足弓和后跟部位下添加高硬度的托架; 在足跟和足外侧放置 3 块两种不同硬度的垫片, 红色垫片硬度 60° Shore C, 蓝色垫片硬度 55° Shore C。

(2) 对照鞋垫(Ekiden One), 法国迪卡侬公司; 如图 1(b) 所示, 即跑鞋自身鞋垫, 鞋垫材料是乙烯-醋酸乙烯共聚物(Ethylene Vinyl Acetate Copolymer, EVA), 厚度 6 mm, 硬度 45° Shore C。

(3) 实验跑鞋(Ekiden One), 法国迪卡侬公司; 如图 1(c) 所示, 鞋底采用 EVA 材质, 无任何支撑作用的基础跑鞋。

(4) Pedar 鞋垫式足底压力测量系统(Pedar-X-32), 德国 Novel 公司; 采集扁平足受试者穿着不同鞋垫状态下跑步时的足底压力数据, 采样频率设为

表 1 受试者基本信息
Tab. 1 Information of subjects

年龄/y	身高/cm	体重/kg	BMI/(kg/m ²)	足弓指数/%	男/女	测试足(左/右)
22.0±2.2	171.7±7.1	68.5±9.1	22.2±2.1	29.6±2.2	16/10	13/13



图1 实验用鞋及鞋垫 (a) 矫形鞋垫, (b) 平鞋垫和 (c) 实验跑鞋

Fig.1 Shoes and insoles used for experiments (a) Photos of orthopedic insoles; (b) flat insoles; (c) experimental running shoes

100 Hz。

(5)Footscan 足底压力板(Footscan 7 USB2), 比利时 RScan 国际公司;用于扁平足的筛选, 频率为 120 Hz。

(6)Polar 心率表(M400), 芬兰博能公司。

(7)跑步机(T-19X), 德国阿迪达斯公司;用于诱导跑步疲劳。

1.3 实验流程

实验前准备: 受试者个人信息采集, 统一测试服、纯棉袜和跑鞋。受试者单盲随机抽签决定鞋垫测试顺序, 间隔一周进行另一双鞋垫的测试, 测试流程与第一双鞋垫一致^[20]。受试者将 Pedar 压力测试鞋垫放置在测试鞋垫和足底之间, 佩戴心率表。受试者在跑步机上热身并对设定的跑步测试速度进行适应, 之后受试者对测试场地、鞋垫和测试速度进行熟悉, 总时长约 5 min。

跑步足底压力测试: 如图 2 所示, 受试者以脚后跟撞击模式跑步, 以 (3.0 ± 0.3) m/s 速度通过 10 m 长的步道^[21]。受试者每次测试都用秒表控制跑步速度, 如果测试不在设定的跑步速度区间, 工作人员立



图2 跑步测试
Fig.2 Running test

即告诉受试者调整跑步速度, 并重新试验, 减少速度对足底压力等指标的影响^[22]。跑步测试时将足跟着地方式且跑步速度在设定的速度区间内视为一条成功数据。受试者在疲劳前跑步测试中相邻两次测试间歇 30 s, 收集 3 次成功数据。受试者疲劳后需在 60 s 时间内再次完成 3 次跑步测试, 以消除疲劳缓解的影响^[23]。

疲劳诱导方案^[24]: 受试者在跑步机上以 6 km/h 的速度开始跑步, 每 2 min 增加 1 km/h, 研究者使用心率表观察心率, 并记录主观感觉疲劳分级 (Rating of Perceived Exertion, RPE) 指数。当受试者自述感觉累即 $RPE \geq 13$ 时, 速度不再增加, 受试者以此时的速度开始跑步直到疲劳。疲劳为受试者跑步时实时心率高于最大心率的 90% (最大心率 = $220 - \text{年龄}$) 或 RPE 指数大于 17 (自述感觉非常困难) 时再维持 2 min 的跑步, 2 min 后终止疲劳方案。

1.4 数据处理与统计学分析

如图 3 所示, 将足底划分为 8 个区域 (大脚趾 (H)、其他脚趾 (LT)、前足内侧 (MedFF)、前足中部 (MidFF)、前足外侧 (LatFF)、中足内侧 (MedMF)、中足外侧 (LatMF)、足跟 (RF))^[25]。每个分区的压力由每个区域传感器的压力的和得出, 峰值压力以受试者的体质量做标准化处理。每条数据去除第一个和最后一个测试足单支撑期数据, 取每名受试者

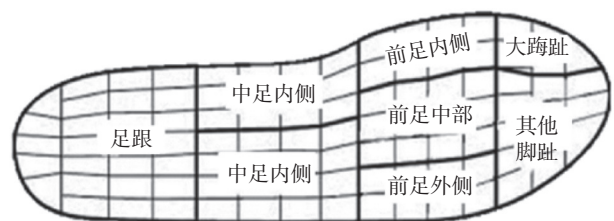


图3 足底八分区划分
Fig.3 Division of plantar eight zones

3次成功数据中其余测试足单支撑相(n=2)进行分析, 则每名受试者每双鞋垫条件下共截取10个测试足跑步单支撑期数据取平均值用于统计学分析^[24]。

应用SPSS 26.0软件进行统计学分析。使用双因素重复测量方差分析检验鞋垫类型和疲劳因素的主效应与交互效应。如果存在显著性交互效应($P < 0.05$), 使用简单效应分析。若数据不符合正态分布, 则使用配对Wilcoxon检验。统计学显著水平 α 设定为0.05。

2 结果

2.1 足底峰值压力

表2结果显示, 受试者跑步着地过程中MedFF($P=0.025$)和RF($P=0.039$)的峰值压力呈显著的疲劳×鞋垫交互效应。事后检验发现, 与疲劳前相比, 疲劳后受试者穿着平鞋垫跑步MedFF($P=0.019$)和RF峰值压力($P=0.003$)显著增大。与平鞋垫相比, 受试者穿矫形鞋垫跑步时RF的峰值压力显著低于

平鞋垫($P=0.020$)。受试者跑步着地过程中LatFF($P=0.020$)和MedMF($P=0.002$)的峰值压力均呈现出显著的疲劳主效应。疲劳后受试者穿戴两种鞋垫跑步时, MedMF的峰值压力显著增大, LatFF的峰值压力显著降低。

2.2 足底峰值压强

由表3可知, 受试者跑步着地过程中MedFF($P=0.041$)和MedMF($P < 0.001$)峰值压强呈现显著的疲劳×鞋垫交互效应。与疲劳前相比, 受试者疲劳后穿平鞋垫跑步MedFF($P=0.005$)和MedMF($P < 0.001$)的峰值压强显著增大。H($P=0.042$)和RF($P=0.026$)呈现出显著的鞋垫主效应。受试者穿着矫形鞋垫跑步时H峰值压强显著大于平鞋垫, RF峰值压强显著小于平鞋垫。LatFF($P=0.013$)、LatMF($P < 0.001$)和RF($P=0.003$)的峰值压强均呈现出显著的疲劳主效应。

2.3 足底压力时间积分

由表4可知, 受试者跑步着地过程中LatFF($P=$

表2 疲劳前后穿不同鞋垫跑步时足底各区域峰值压力(N/kg)

Tab. 2 Peak force in different areas of foot during running with different insoles before and after fatigue (N/kg)

	矫形鞋垫		平鞋垫		P	鞋垫	疲劳×鞋垫
	疲劳前	疲劳后	疲劳前	疲劳后			
H	2.93±0.62	2.93±0.63	2.73±0.77	2.76±0.75	0.853	0.323	0.739
LT	3.51±0.79	3.58±0.64	3.55±0.74	3.60±0.64	0.375	0.883	0.834
MedFF	3.01±0.95	2.96±0.99	2.90±0.89	3.04±0.91¹⁾	0.265	0.943	0.025
MidFF	5.28±1.16	5.20±1.20	4.93±1.19	4.85±1.12	0.235	0.272	0.995
LatFF	2.15±0.50	2.13±0.44	2.19±0.50	2.05±0.42	0.020	0.844	0.092
MedMF	3.01±0.55	3.12±0.47	2.80±0.54	2.99±0.44	0.002	0.425	0.425
LatMF	3.96±0.69	4.16±0.78	3.94±0.60	4.02±0.67	0.045	0.639	0.409
RF	10.21±1.92²⁾	10.25±2.47²⁾	11.57±2.25	12.48±1.95¹⁾	0.023	0.002	0.039

1)为同一鞋垫条件疲劳前后对比具有显著性差异; 2)为同一疲劳状态下鞋垫间对比具有显著性差异。显著性水平设置为0.05。

表3 疲劳前后穿不同鞋垫跑步时足底各区域峰值压强(kPa)

Tab. 3 Peak pressure in different areas of foot during running with different insoles before and after fatigue (kPa)

	矫形鞋垫		平鞋垫		P	鞋垫	疲劳×鞋垫
	疲劳前	疲劳后	疲劳前	疲劳后			
H	375.76±77.58	376.05±84.84	333.67±91.82	329.33±82.56	0.835	0.042	0.811
LT	216.34±55.76	223.67±55.62	220.10±46.01	232.34±65.87	0.134	0.656	0.704
MedFF	264.85±81.97	264.65±77.79	256.07±80.49	273.32±97.38¹⁾	0.046	0.998	0.041
MidFF	298.63±76.55	299.83±76.58	286.43±68.92	293.67±70.92	0.367	0.652	0.518
LatFF	164.00±34.29	160.02±36.65	161.40±39.60	151.51±31.17	0.013	0.561	0.278
MedMF	144.70±21.44	147.54±20.98¹⁾	135.00±20.31	148.52±21.90¹⁾	<0.001	0.327	<0.001
LatMF	149.51±30.46	155.95±31.56	143.55±26.91	149.85±22.41	<0.001	0.423	0.969
RF	260.21±47.25	274.49±60.89	289.16±54.25	307.80±50.43	0.003	0.026	0.676

1)为同一鞋垫条件疲劳前后对比具有显著性差异, 显著性水平设置为0.05。

表4 疲劳前后穿不同鞋垫跑步时足底各区域压力时间积分(N·s)

Tab. 4 Force-time integral in different areas of foot during running with different insoles before and after fatigue (N·s)

	矫形鞋垫		平鞋垫		疲劳	鞋垫	疲劳×鞋垫
	疲劳前	疲劳后	疲劳前	疲劳后			
H	21.84±3.67	22.17±4.56	20.54±4.01	20.59±4.76	0.744	0.172	0.817
LT	27.46±6.05	28.99±7.46	28.84±4.92	28.86±5.946	0.319	0.675	0.332
MedFF	22.52±8.81	22.93±8.19	22.51±8.44	23.70±8.45	0.040	0.869	0.309
MidFF	41.84±13.53	42.06±13.02	39.93±11.92	38.76±12.16	0.478	0.445	0.301
LatFF	16.37±5.12	16.48±4.65	17.05±5.02	15.57±4.70¹⁾	0.035	0.928	0.014
MedMF	17.87±5.14	19.34±5.84	16.04±5.86	17.05±5.59	<0.001	0.175	0.462
LatMF	26.55±7.78	27.39±7.64	27.57±8.08	25.89±7.47¹⁾	0.321	0.907	0.004
RF	39.80±10.11	41.05±10.07	45.94±11.54	47.46±10.99	0.204	0.031	0.903

1)为同一鞋垫条件疲劳前后对比具有显著性差异,显著性水平设置为0.05。

0.014)和 LatMF($P=0.004$)的压力时间积分呈现显著的疲劳×鞋垫交互效应。经事后检验分析结果可知,受试者疲劳后穿平鞋垫跑步 LatFF($P=0.002$)、LatMF($P=0.004$)的压力时间积分显著小于疲劳前。RF($P=0.031$)的压力时间积分呈现出显著的鞋垫主效应。扁平足大学生穿着矫形鞋垫跑步时 RF 的压力时间积分显著低于平鞋垫。受试者跑步着地过程中 MedFF($P=0.040$)和 MedMF($P<0.001$)的压力时间积分均呈现出显著的疲劳主效应。和疲劳前相比,疲劳后受试者穿戴两种鞋垫跑步时,MedFF 和 MedMF 的压力时间积分均显著增加。

3 讨论

3.1 矫形鞋垫对前足区域和中足区域足底压力的影响

相比疲劳前,受试者疲劳后穿平鞋垫跑步时 MedFF 的峰值压力和峰值压强显著增大,这与前人的研究结果一致。疲劳状态下扁平足跑者中的第一跖骨、中足内侧峰值压力显著增大,疲劳时小腿三头肌的功能减弱导致扁平足人群行走时旋前活动更加明显,进而导致疲劳后前足和中足内侧的负荷增加^[25]。疲劳后跖骨区域下压力增加可能增加跖骨应力性骨折的风险^[7]。受试者在疲劳状态下穿矫形鞋垫跑步时前足的峰值压力、峰值压强和压力时间积分无显著改变,矫形鞋垫有助于维持扁平足者疲劳前跑步的足底压力分布,避免因疲劳导致前足压力过大而增加跖骨疼痛和跖骨应力骨折的风险。

实验结果显示,疲劳状态下扁平足者穿平鞋垫跑步时中足内侧的峰值压强和压力时间积分均显著增大、外侧压力时间积分和峰值压强显著减小,结

果与前人研究一致。Lee 等人^[28]结果发现和疲劳前相比,运动疲劳后扁平足人群中足内侧的峰值压力显著增加。刁子鹏^[29]的研究发现,跑者 20 km 跑后足弓高度下降,低足弓者更容易受到疲劳的影响导致足弓下降更多,从而导致足弓处的负荷增大。矫形鞋垫的硬性足弓支撑设计增加了中足区域的接触面积,更均匀地延伸前足、中足和脚跟的接触区域,最大限度地减少了中足区域的压力变化^[30]。受试者在疲劳状态下穿矫形鞋垫跑步时中足区域的峰值压力无显著改变,说明矫形鞋垫有助于维持扁平足者疲劳前跑步的中足区域压力分布。

相对于平鞋垫,矫形鞋垫对前足内侧和中足内侧的减压效果不显著,这可能与矫形鞋垫的设计有关。研究发现,健康男性穿前掌厚度为 4 mm 的鞋垫行走时,前掌峰值压强和压强时间积分最低^[14]。足弓高度为 26 mm,前足和足跟为 4 mm 的矫形鞋垫可以显著降低扁平足行走时的足底负荷率^[31]。上述研究提示,扁平足矫形鞋垫应在本研究的基础上增强足弓支撑高度并减少前掌厚度,使其足弓高度在 26 mm 以上,前掌厚度不低于 4 mm,另外可以尝试通过在前掌部位添加高弹复合材料的缓冲垫,可能有助于提升对足底前足和中足的减压效果。

3.2 矫形鞋垫对后足区域足底压力的影响

与平鞋垫相比,矫形鞋垫显著降低了扁平足者跑步时后足峰值压力,尤其在疲劳状态下。该结果与前人一致。扁平足者穿足弓支撑鞋垫和前足楔形足弓支撑鞋垫以(3.0±0.3)m/s 跑步时,后足的压力时间积分和峰值压力显著减少^[15]。Khodaei 等人^[32]的研究发现,与单独穿鞋相比,带有足跟杯的预制矫形鞋垫和定制矫形鞋垫下足跟区域的峰值压力比仅

穿鞋时分别降低了 8.0% 和 8.5%。扁平足者跖骨和脚跟异常高的压力与足部疼痛显著相关^[15], 因此矫形鞋垫可能有助于降低跑步足跟疼痛的风险。

本研究中矫形鞋垫的内侧足弓支撑补偿跑步疲劳导致内侧足弓下降, 使负荷从后足区域传递到中足区域, 后足区域压力降低。其次足跟杯结构将跟骨重新对齐到正常的位置并重新分配矫形鞋垫中的压力^[33]。另外后跟的蓝色垫片材料较软, 有助于吸收和分散足跟着地对跟骨的冲击, 红色垫片较硬, 起到定向引导的作用, 帮助重建旋后功能以实现正确的蹬离动作^[32]。后跟垫厚度对压力降低也有重要影响, 前人研究中将后跟垫的厚度从 6.50 mm 增加到 11.51 mm, 后跟部位足底压力显著降低^[34]。因此厚度的增加也可能是后跟区域压力降低的因素。

3.3 矫形鞋垫对大脚趾区域足底压力的影响

在本研究结果中, 矫形鞋垫下大脚趾区域的峰值压强显著高于平鞋垫。张晓雪等人^[25]发现健康女性穿足弓支撑功能性鞋垫慢跑时的大脚趾峰值压力显著大于普通鞋垫。扁平足的女大学生穿带有足弓支撑的矫形鞋垫在不同坡度的跑步机上跑步, 大脚趾的峰值压强显著高于扁平鞋垫^[30]。我们因此认为足弓支撑增强了大脚趾的刺激, 从而导致大脚趾对地面的抓地力更强^[25]。

当然, 本研究仍存在一些局限性:

(1) 目前矫形鞋垫的有效性设计及其对扁平足者足底压力的影响还缺乏共识, 研究结果仅供参考。

(2) 只观察了矫形鞋垫对足底压力的影响, 建议下一步结合三维动作分析系统, 对足部关节受力进行分析, 并结合肌电监测肌肉的疲劳程度, 进一步综合评估矫形鞋垫对扁平足者的改善效果。

(3) 实验设计并未做长期跟踪调查, 在后续的研究中可以让受试者长期穿着矫形鞋垫, 观察矫形鞋垫对扁平足者的改善效果。

4 结论

与平鞋垫相比, 矫形鞋垫显著降低了扁平足者跑步时后足的峰值压力、压强和压力时间积分; 疲劳状态下柔韧性扁平足者穿矫形鞋垫跑步前足内侧、中足内侧和后跟区域的足底压力变化不显著, 而穿平鞋垫跑步时足底压力显著增大, 矫形鞋垫可能有助于避免疲劳引起的足部疼痛不适和运动损伤的发生。

参考文献:

- [1] 刘梦媛, 刘浩, 晏诗阳, 等. 扁平足矫形鞋垫的研究进展[J]. 皮革科学与工程, 2021, 31(2): 54-61.
LIU M Y, LIU H, YAN S Y, et al. Developments in foot orthoses of flatfoot: A system review[J]. *Leather Sci Eng*, 2021, 31(2): 54-61. (in Chinese)
- [2] YURT Y, ŞENER G, YAKUT Y. The effect of different foot orthoses on pain and health related quality of life in painful flexible flat foot: A randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2019, 55(1): 95-102.
- [3] 宋艳, 郑坤, 魏浩馨, 等. 足姿指数评估扁平足信度及在 3D 打印鞋垫中的应用[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(3): 344-349.
SONG Y, ZHENG K, WEI H X, et al. Reliability of flat feet evaluated by foot posture index and its application in three-dimensional printing insoles[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2022, 26(3): 344-349. (in Chinese)
- [4] HSU W C, SUGIARTO T, CHEN J W, et al. The design and application of simplified insole-based prototypes with plantar pressure measurement for fast screening of flat-foot[J]. *Sensors*, 2018, 18(11): 3617.
- [5] 汤运启, 李静, 王志康, 等. 矫形鞋垫对扁平足人群足底压力分布的影响[J]. 中国皮革, 2019, 48(11): 55-61.
TANG Y Q, LI J, WANG Z K, et al. Influence of therapeutic insole on distribution of plantar pressure in flat foot population[J]. *China Leather*, 2019, 48(11): 55-61. (in Chinese)
- [6] 赵碎浪, 祁子芮, 曹中华, 等. 3D 打印支撑鞋垫对扁平足足底压力分布的影响[J]. 皮革科学与工程, 2022, 32(3): 85-89.
ZHAO S L, QI Z R, CAO Z H, et al. Effect of 3D printed arch-support insoles on plantar pressure distribution in flat feet[J]. *Leather Sci Eng*, 2022, 32(3): 85-89. (in Chinese)
- [7] HAMZAVI B, ESMAEILI H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in runners with different strike types[J]. *Gait Posture*, 2021, 88: 132-137.
- [8] ANBARIAN M, ESMAEILI H. Effects of running-induced fatigue on plantar pressure distribution in novice runners with different foot types[J]. *Gait Posture*, 2016, 48: 52-56.
- [9] NAGEL A, FERNHOLZ F, KIBELE C, et al. Long distance running increases plantar pressures beneath the metatarsal heads: A barefoot walking investigation of 200 marathon runners[J]. *Gait Posture*, 2008, 27(1): 152-155.
- [10] ALSAAFIN N, SAAD N, MOHAMMAD ZADEH S A, et al. Effect of different foot orthosis inverted angles on walking kinematics in females with flexible flatfeet[J]. *J Multidiscip Healthc*, 2023, 16: 2613-2623.
- [11] 张新语, 邢新阳, 霍洪峰. 矫正鞋垫的设计原理与生物力学功能[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(23): 3744-3750.
ZHANG X Y, XING X Y, HUO H F. Design principle and biomechanical function of orthopedic insoles[J]. *Chin J Tissue Eng Res*, 2020, 24(23): 3744-3750. (in Chinese)
- [12] 王育星, 卢小群, 许杰婷. 3D 打印儿童定制矫形鞋垫

- APP 开发[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(5): 86–91, 98.
- WANG Y X, LU X Q, XU J T. Exploratory research on the development of children's customized orthotic insole APP based on 3D printing technology[J]. *Leather Sci Eng*, 2024, 34(5): 86–91, 98. (in Chinese)
- [13] 黄慧敏, 曾喻容, 徐海燕. 基于 Meta 分析的拇外翻足部矫形器的有效性探究[J]. 皮革科学与工程, 2024, 34(2): 84–90.
- HUANG H M, ZENG Y R, XU H Y. Effectiveness of foot orthotics for hallux valgus based on Meta-analysis[J]. *Leather Sci Eng*, 2024, 34(2): 84–90. (in Chinese)
- [14] HAZZAA W A, HOTTENROTT L, KAMAL M A, et al. The Influence of general and local muscle fatigue on kinematics and plantar pressure distribution during running: A systematic review and meta-analysis[J]. *Sports*, 2023, 11(12): 241.
- [15] MA M J, SONG Q Q, LIU H. The effect of personalized orthopedic insoles on plantar pressure during running in subtle cavus foot[J]. *Front Bioeng Biotechnol*, 2024, 12: 1343001.
- [16] 马文静. 柔韧性与僵硬性扁平足女大学生行走和跳跃落地时下肢生物力学特征的研究[D]. 天津: 天津体育学院, 2021.
- MA W J. A study on the lower limb biomechanics of flexible and rigid flatfoot female university students during walking and jumping landing[D]. Tianjin: Tianjin University of Sport, 2021. (in Chinese)
- [17] PENG Y H, WONG D W C, WANG Y, et al. Immediate effects of medially posted insoles on lower limb joint contact forces in adult acquired flatfoot: A pilot study[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(7): 2226.
- [18] KIM J S, LEE M Y. The effect of short foot exercise using visual feedback on the balance and accuracy of knee joint movement in subjects with flexible flatfoot[J]. *Medicine*, 2020, 99(13): e19260.
- [19] GIL-CALVO M, JIMENEZ-PEREZ I, PRIEGO-QUESADA J I, et al. Effect of custom-made and prefabricated foot orthoses on kinematic parameters during an intense prolonged run[J]. *PLoS One*, 2020, 15(3): e0230877.
- [20] 陈天一. 不同刚度鞋垫对长时间跑步过程中下肢生物力学特征的影响[D]. 上海: 上海体育学院, 2020.
- CHEN T Y. Effects of different stiffness insoles on lower limb biomechanical characteristics during long-time running[D]. Shanghai: Shanghai University of Sport, 2020. (in Chinese)
- [21] 李翠. 3D 矫形鞋垫对柔韧性扁平足患者下肢缓冲动作生物力学特征的影响[D]. 石家庄: 河北师范大学, 2023.
- LI C. The effect of 3D orthotic insoles on the biomechanical characteristics of cushioning movements of the lower limb in patients with flexible flat feet[D]. Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2023. (in Chinese)
- [22] XU R, WANG Z H, REN Z X, et al. Comparative study of the effects of customized 3D printed insole and prefabricated insole on plantar pressure and comfort in patients with symptomatic flatfoot[J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25: 3510–3519.
- [23] SANJARI M A, BOOZARI S, ASHRAF JAMSHIDI A, et al. Fatigue effect on linear center of pressure measures during gait in people with flat feet[J]. *Asian J Sports Med*, 2016, 7(4): e34832.
- [24] GAO Z X, ZHAO L, FEKETE G, et al. Continuous time series analysis on the effects of induced running fatigue on leg symmetry using kinematics and kinetic variables: Implications for knee joint injury during a countermovement jump[J]. *Front Physiol*, 2022, 13: 877394.
- [25] ZHAO X X, WANG M Z, FEKETE G, et al. Analyzing the effect of an arch support functional insole on walking and jogging in young, healthy females[J]. *Technol Health Care*, 2021, 29(6): 1141–1151.
- [26] HÄBNI M, HIRSCHMÜLLER A, BAUR H. The effect of foot orthoses with forefoot cushioning or metatarsal pad on forefoot peak plantar pressure in running[J]. *J Foot Ankle Res*, 2016, 9: 44.
- [27] WEIST R, EILS E, ROSENBAUM D. The influence of muscle fatigue on electromyogram and plantar pressure patterns as an explanation for the incidence of metatarsal stress fractures[J]. *Am J Sports Med*, 2004, 32(8): 1893–1898.
- [28] LEE C R, KIM M K, CHO M S. The relationship between balance and foot pressure in fatigue of the plantar intrinsic foot muscles of adults with flexible flatfoot[J]. *J Phys Ther Sci*, 2012, 24(8): 699–701.
- [29] 刁子鹏. 男性足踝疼痛跑步爱好者足弓形态与踝周神经肌肉特征的研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2019.
- DIAO Z P. Study on foot arch and foot muscle neuromuscular features of male recreation runners with heel pain[D]. Beijing: Beijing Sport University, 2019. (in Chinese)
- [30] HUANG Y P, PENG H T, WANG X, et al. The arch support insoles show benefits to people with flatfoot on stance time, cadence, plantar pressure and contact area[J]. *PLoS One*, 2020, 15(8): e0237382.
- [31] ZHAI J N, QIU Y S, WANG J. Effects of orthotic insoles on adults with flexible flatfoot under different walking conditions[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(11): 3078–3083.
- [32] KHODAEI B, SAEEDI H, JALALI M, et al. Comparison of plantar pressure distribution in CAD-CAM and prefabricated foot orthoses in patients with flexible flatfeet[J]. *Foot*, 2017, 33: 76–80.
- [33] AMINIAN G, SAFAEIPOUR Z, FARHOODI M, et al. The effect of prefabricated and proprioceptive foot orthoses on plantar pressure distribution in patients with flexible flatfoot during walking[J]. *Prosthet Orthot Int*, 2013, 37(3): 227–232.
- [34] 罗向东, 杨洋, 岳宗敏, 等. 鞋垫形态对不同脚型足底压力的影响[J]. *陕西科技大学学报*, 2021, 39(6): 27–31.
- LUO X D, YANG Y, YUE Z M, et al. The influence of forefoot shape of insole on plantar pressure of different foot shapes[J]. *J Shaanxi Univ Sci Technol*, 2021, 39(6): 27–31. (in Chinese)