

不同压力弹力袜对青年女性穿高跟鞋步行时下肢关节负荷及肌肉疲劳的影响

吴肖洁¹ 李翰君^{1,2} 刘 卉¹ 时会娟¹

摘要

目的:了解弹力袜压力对青年女性穿高跟鞋正常步行时下肢关节负荷与肌肉疲劳的影响。

方法:选取10例健康青年女性,穿着高跟鞋在跑台行走30min。利用红外光点运动捕捉系统、测力台测量30min行走前后连续纵跳高度、步态的运动学数据,并计算步行时膝、踝关节的负荷。运用重复测量双因素方差分析法检验不同压力和疲劳前后对穿高跟鞋步行下肢关节运动和关节负荷的影响。

结果:不同压力弹力袜对穿高跟鞋步行时膝关节角度有显著影响(屈曲 $P=0.024$ 、内收 $P=0.033$ 、外展 $P=0.025$ 、内旋 $P=0.027$ 、外旋 $P=0.014$),穿弹力袜行走时膝踝关节关节负荷有显著增加(膝 $P<0.001$ 、踝 $P=0.041$),而疲劳前后纵跳高度差明显减小($P=0.018$);但弹力袜压力大小对关节负荷和纵跳高度差影响不显著。

结论:合适的(中低压力)弹力袜可以减轻穿高跟鞋导致的膝关节角度的过度变化,压力的施加会增大穿高跟鞋步行时膝踝关节负荷。一定压力(中级压力)的弹力袜可以延缓穿高跟鞋步行后的疲劳程度。弹力袜可以减轻疲劳对步态的不良影响,缓解穿高跟鞋步行疲劳时膝关节角度的过度改变,减缓疲劳后膝踝关节负荷的增大。

关键词 弹力袜;高跟鞋;关节负荷;肌肉疲劳

中图分类号:R493 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-1242(2016)-09-995-06

穿梯度压力袜预防患者术后由于静脉血栓而引发的外周肿胀已有近50年的历史^[1],至今弹力袜(compression elastic stockings, CES)作为一种方便、有效、无创伤性而且廉价的医疗用品已得到广泛使用。许多研究已证明弹力袜能加快深静脉血流速度、增加静脉回流量、预防和缓解下肢深静脉血栓^[2-3],而血液回流的加快可能加速运动后血液中堆积的代谢产物的清除^[4]。弹力袜还被认为有利于缓解高血压、改善微循环、有助于提高小腿肌肉功能,从而缓解下肢浮肿及静脉症状^[5]。但是近年来,弹力袜已不仅是一种康复医疗工具,而且已成为年轻女性追求美的一种方式,各种媒体和商家推崇弹力袜的神奇功用:缓解疲劳、修正腿形,使之在年轻女性消费市场占有重要地位。

高跟鞋已成为女性现代生活的显著标志,越来越多的女性穿着高跟鞋参与各种社交场合,但是在追求美的同时,不能忽视高跟鞋对人体造成的不良影响。已有研究表明穿高跟鞋易致扁平足、拇外翻、鸡眼,更易导致踝关节扭伤。而且穿高跟鞋会使行走时下肢肌肉功能减弱^[6-7],显著增加下肢肌肉疲劳程度^[8],同时容易诱发膝关节炎^[9]。

紧身弹力袜和高跟鞋的搭配已经成为许多女性的日常

装扮。已有研究表明长期穿高跟鞋是下肢慢性水肿的重要诱因^[10],而弹力袜可缓解下肢慢性水肿^[11]和长跑后下肢肌肉横断面的增粗^[12]。此外,穿高跟鞋会增大膝关节负荷^[13],因此,本研究的目的是确定弹力袜对女性穿高跟鞋步行时步态特征、下肢关节负荷和肌肉疲劳的影响。本研究有三个研究假设:①穿不同压力弹力袜会影响穿高跟鞋行走时的下肢运动学特征;②穿不同压力弹力袜会影响穿高跟鞋行走时下肢关节负荷;③穿不同压力弹力袜会影响穿高跟鞋长时间行走后下肢肌肉疲劳程度。

1 资料与方法

1.1 受试者

本研究受试者为10例经常穿高跟鞋的普通大学女生,身材匀称,平均年龄 22.1 ± 1.4 岁,身高 166 ± 4 cm,体重 56.5 ± 7.3 kg。所有受试者身体健康,无足部疾病,无骨骼及神经肌肉系统疾病,实验前48h无剧烈运动,并在实验前签署参加测试知情同意书。

1.2 实验设备

1.2.1 弹力袜和高跟鞋:本研究所用弹力袜为露趾长筒袜,

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2016.09.013

1 北京体育大学运动生物力学教研室,北京海淀区,100084; 2 通讯作者
作者简介:吴肖洁,女,在读硕士生; 收稿日期:2015-06-24

在脚踝部位建立最高支撑压力,并顺着腿部向上逐渐递减,在腓肠肌肌腹位置减到最大压力值的70%—90%,在大腿处减到最大压力值的25%—45%,形成弹力袜的循序减压效果。本实验选用2个等级的弹力袜,Ⅰ级:最大压力20—30mmHg(低级压力),Ⅱ级:最大压力30—40mmHg(中级压力)。

本实验统一穿着同一品牌和款式的露脚背高跟单鞋,鞋跟高5cm,选择两个常见鞋码:38码、39码。

1.2.2 实验仪器:应用美国产8镜头Motion Analysis红外光点运动捕捉系统对受试者行走时的运动学指标进行采集,数据采集频率为200Hz。应用2台瑞士产KISTLER 9281CA三维测力台对受试者步行过程中的受力情况及相关动力学指标进行采集,数据采集频率为1000Hz。红外光捕捉系统和测力台数据进行同步采集。

1.3 测试过程

受试者穿轻薄运动衣和短裤,并随机穿着不同压力弹力袜或不穿。实验开始前,受试者进行5min的准备活动并熟悉实验流程。实验室温度适宜,穿实验专用弹力袜不会感觉寒冷。准备活动后,在受试者身上粘19个反光标志点,固定位置为左/右髂前上棘、髂后上棘中点、左/右股骨前面、左/右股骨内侧髁、左/右股骨外侧髁、左/右胫骨前面、左/右内踝、左/右外踝、左/右足尖、左/右足跟。

令受试者穿着高跟鞋行走一段时间,确定没有任何不适后,在离测力台5—10m处开始步行,保证开始行走至少五步后踏上测力台。如受试者两只脚分别自然地落在两块测力台上即为一次有效数据。受试者走出测力台一段距离后返回进行下一次测试,每个受试者采集5次有效数据。接着令受试者穿着运动鞋,双手叉腰站在一块测力台上,从直立姿势开始进行连续20次原地纵跳,要求受试者尽最大能力向上跳,记录每次纵跳的高度。以上测试结束后令受试者休息10min,重新换上高跟鞋后以4km/h的速度在跑台上正常步行30min。步行过程中采用适当的安全防护措施,并密切观察受试者的反应,如有任何不适都应停止实验。结束后立即在测力台上进行步行测试和原地纵跳测试。24h及48h后以相同流程进行另外两种压力弹力袜的相关测试,三种弹力袜穿着测试顺序随机。

1.4 数据处理

在每人5套数据中选择数据间断最少的1套进行分析,应用Motion Analysis运动分析系统获得各标志点的空间三维坐标。根据标志点的坐标建立骨盆、大腿和小腿的坐标

系。左、右髂前上棘点和髂后上棘中点用来确定骨盆坐标系;股骨前点、股骨内侧髁、股骨外侧髁确定大腿坐标系;胫骨前点、内踝点、外踝点确定小腿坐标系。采用Excel等软件对运动学指标(步长、步宽、步频、膝关节角度)以及纵跳时的高度差进行计算。数据平滑采用低通滤波方法,截断频率为13Hz。其中步长定义为步行时相邻两足着地点间的前后方向上的距离(y轴方向);步宽定义为步行时相邻两足着地点间的左右方向上的距离(x轴方向);膝关节角度定义为大腿坐标系和小腿坐标系之间的欧拉角,先绕x轴转动得到屈伸角,再绕y轴转动得到内收外展角,最后绕z轴转动得到内旋外旋角;纵跳时骨盆相对静止直立状态运动的最大垂直距离定义为纵跳高度(z轴方向)。应用逆动力学方法计算膝、踝关节负荷,即3个方向的关节合力(x轴:左右方向;y轴:前后方向;z轴:垂直方向)。将膝、踝关节负荷相对体重进行标准化处理,表示为体重的倍数。

1.5 统计学分析

运用重复测量双因素方差分析方法确定弹力袜压力和疲劳这两个自变量对步态参数和下肢关节负荷的影响,因变量包括步长、步宽、步频、膝关节三维角度、一个步态周期中膝关节负荷峰值、踝关节负荷峰值。运用单因素方差分析法确定弹力袜压力对疲劳前后纵跳高度差的影响。将 $P \leq 0.05$ 作为显著性差异的标准,并采用SPSS16.0软件完成统计。

2 结果

本研究于2014年3—5月完成测试及数据处理分析工作,10例受试者均顺利完成所有测试并获得有效数据。

2.1 运动学指标

本研究将足跟着地到同侧足跟再次着地定义为一个步态周期。双因素方差分析结果表明,弹力袜压力和疲劳对各指标(表1)的影响均无交互作用(步长 $P=0.927$;步宽 $P=0.077$;步频 $P=0.298$)。

方差分析结果进一步表明,不论是受试者的疲劳状况,还是弹力袜的压力改变,对受试者穿高跟鞋步行时的步长(疲劳 $P=0.963$,压力 $P=0.380$)、步宽(疲劳 $P=0.292$,压力 $P=0.848$)、步频(疲劳 $P=0.756$,压力 $P=0.755$)均无显著性影响。

本研究分析一个步态周期中膝关节三维角度的变化(x轴:正为屈、负为伸;y轴:正为内收、负为外展;z轴正为外旋、负为内旋),取膝关节各个方向角度的峰值(最大值、最小值)以及活动幅度(表2)。

表1 穿不同压力弹力袜疲劳前后步态指标

($\bar{x} \pm s, n=10$)

	疲劳前			疲劳后		
	无压力	一级压力	二级压力	无压力	一级压力	二级压力
步长(m)	1.360±0.05	1.377±0.07	1.382±0.07	1.368±0.06	1.372±0.07	1.381±0.05
步宽(m)	0.079±0.03	0.087±0.01	0.093±0.02	0.080±0.02	0.079±0.03	0.072±0.02
步频(步/s)	1.977±0.10	1.981±0.11	1.968±0.12	1.972±0.10	1.947±0.94	1.993±0.07

表2 穿不同压力弹力袜步行疲劳前后膝关节三维角度

($\bar{x} \pm s, n=10, ^\circ$)

	疲劳前			疲劳后		
	无压力	一级压力	二级压力	无压力	一级压力	二级压力
屈曲最大值 ^②	66.0±4.8	63.8± 3.5	67.1± 3.3	67.8± 4.0	65.5±4.3	69.7± 4.7
屈曲最小值	8.2±5.5	3.7± 5.6	6.4± 6.0	7.8± 5.6	4.0±5.6	7.7± 7.3
屈曲幅度	57.9±3.4	60.0± 4.8	60.6± 4.7	60.0± 3.1	61.5±4.1	62.0± 4.9
内收最大值 ^②	7.5±8.5	10.8± 5.8	4.6± 7.1	6.9± 8.0	8.9±5.9	5.8± 7.5
外展最大值 ^{①②③}	-4.6±4.7	-1.8± 2.4	-5.4± 3.9	-5.3± 4.5	-2.4±1.9	-6.7± 5.0
内收外展幅度	12.1±9.0	12.6± 7.1	10.0± 7.3	12.2± 9.0	11.4±7.2	12.5± 8.9
外旋最大值 ^{①②}	25.4±6.5	29.4± 7.6	24.6± 7.4	23.6± 5.9	32.1±8.1	23.5± 6.6
外旋最小值 ^②	6.9±9.2	12.4±12.1	6.5±11.8	6.1±10.3	12.6±8.1	-0.2±12.8
内旋外旋幅度	18.5±7.2	17.0± 6.4	18.1± 6.8	17.5± 6.7	19.5±5.3	23.7± 8.8

注:①无论疲劳前后,无压力与一级压力相比有显著差异;②无论疲劳前后,一级与二级压力相比有显著差异;③无论是否穿弹力袜或弹力袜压力大小,在疲劳前后有显著差异

双因素方差分析结果表明,疲劳和压力对膝关节角度各指标均无交互作用($P > 0.05$)。结果表明,疲劳仅对膝关节外展峰值产生了显著性影响($P=0.016$),而弹力袜压力对膝关节屈角最大值($P=0.024$)、内收($P=0.033$)、外展($P=0.025$)、外旋($P=0.014$)及内旋($P=0.027$)峰值均产生了显著性影响。不同压力及不同疲劳程度对膝关节在三个方向上的运动幅度均未产生显著影响。后继检验发现,无压力和一级压力弹力袜之间在外展($P=0.023$)、外旋($P=0.004$)峰值上出现了显著性差异,一级压力和二级压力弹力袜之间在屈曲最大值($P=0.005$)、内收($P=0.007$)、外展($P=0.015$)、外旋($P=0.003$)、内旋($P=0.035$)峰值上均出现了显著性差异,无压力和二级压力之间所有角度指标均未出现显著差异。一个步态周期中膝关节角度变化如图1所示。

从图中可以看出,疲劳前整个步态周期和疲劳后步态的支撑阶段,穿着一级压力弹力袜时膝关节屈角的变化幅度小于不穿弹力袜及穿二级弹力袜时,而膝关节的内收外展、内外旋幅度却明显大于不穿弹力袜及穿着二级弹力袜时。不穿弹力袜时疲劳后膝关节外展角度增大。穿着二级弹力袜时疲劳后膝关节外展角度减小,外旋角度减小。

2.2 动力学指标

膝关节和踝关节关节负荷在整个步态周期中呈规律性

变化,其峰值出现在脚着地后的支撑期。本研究取一个步态周期中关节在前后、左右和垂直方向上负荷的峰值。双因素方差分析结果表明,疲劳和压力对各指标的交互影响不显著($P > 0.05$)。

统计分析结果表明,疲劳使膝关节前后方向负荷以及总负荷都出现了显著增加(膝关节左右 $P=0.051$;膝关节前后 $P=0.042$;膝关节垂直 $P=0.062$;膝关节合力 $P=0.007$),而疲劳对踝关节负荷没有显著影响(踝关节左右 $P=0.194$;踝关节前后 $P=0.558$;踝关节垂直 $P=0.063$;踝关节合力 $P=0.055$)。

弹力袜压力对穿高跟鞋步行时膝关节前后、垂直方向负荷和总负荷有显著影响(前后 $P=0.036$;垂直 $P=0.001$,总负荷 $P < 0.001$),对踝关节垂直方向负荷和总负荷(垂直 $P=0.024$,总负荷 $P=0.041$)也有显著影响。其余指标在弹力袜不同压力间均无明显差异。后继检验发现,无压力与一级压力在膝关节垂直方向负荷($P=0.001$)、膝关节总负荷($P=0.001$),以及踝关节左右方向负荷($P=0.040$)、垂直方向负荷($P=0.005$)、踝关节总负荷($P=0.021$)上出现了显著性差异。无压力与二级压力在膝关节前后方向($P=0.021$)、垂直方向($P=0.019$)、膝关节总负荷($P=0.003$),以及踝关节垂直方向负荷($P=0.048$)上表现出了显著性差异,但不同压力(一级、二级压力)间并未出现显著差异,见表3。

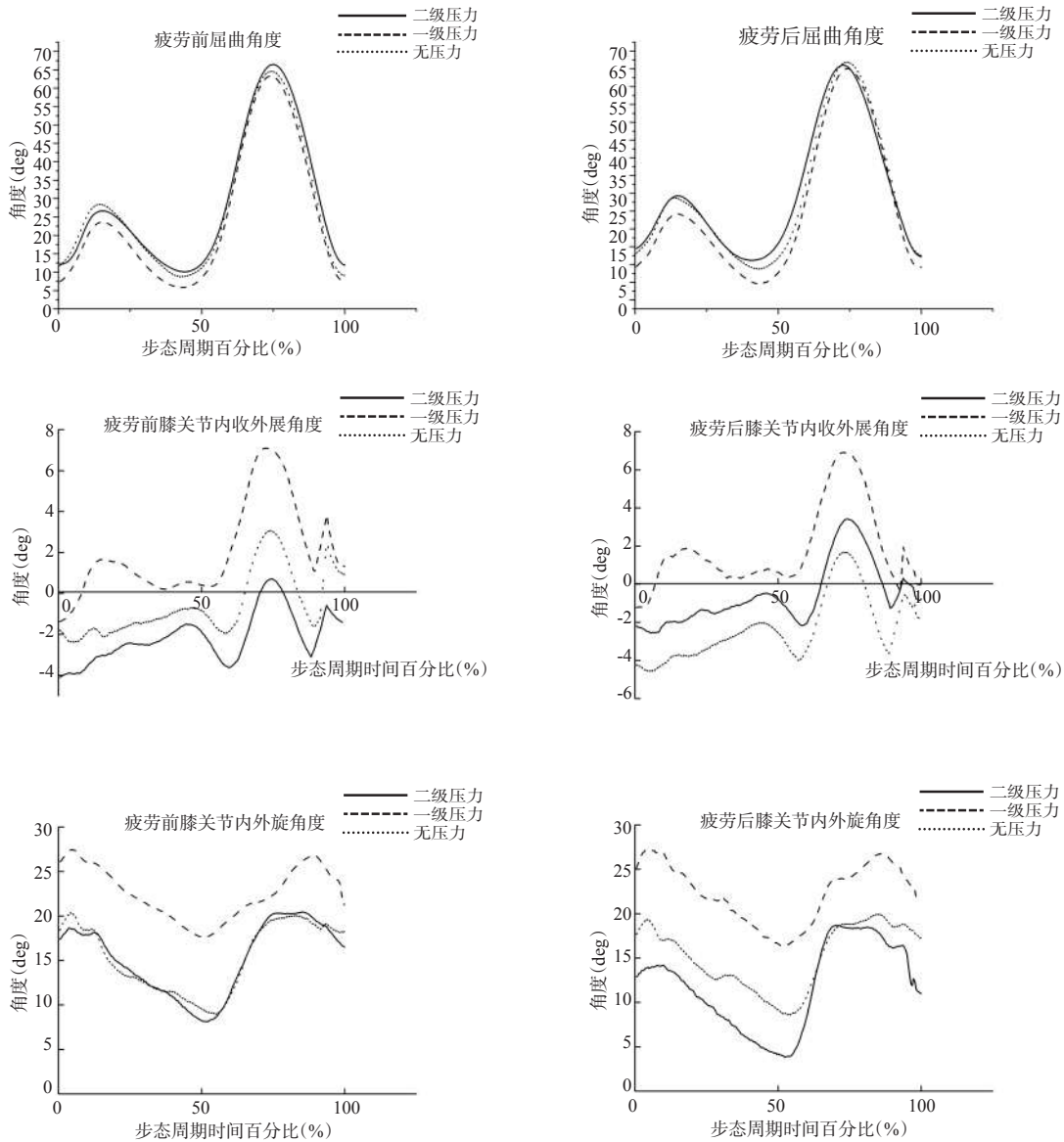
表3 穿不同压力弹力袜步行疲劳前后膝关节和踝关节负荷峰值

($\bar{x} \pm s, n=10, BW$)

	疲劳前			疲劳后		
	无压力	一级压力	二级压力	无压力	一级压力	二级压力
膝关节左右方向负荷 ^③	0.06±0.02	0.07±0.03	0.08±0.03	0.08±0.03	0.10±0.05	0.10±0.04
膝关节前后方向负荷 ^{②③}	0.36±0.07	0.38±0.09	0.44±0.09	0.42±0.10	0.47±0.21	0.51±0.21
膝关节垂直方向负荷 ^{①②③}	1.15±0.07	1.20±0.06	1.18±0.07	1.18±0.08	1.24±0.07	1.23±0.07
膝关节总负荷 ^{①②③}	1.21±0.07	1.26±0.07	1.27±0.09	1.26±0.10	1.35±0.09	1.35±0.12
踝关节左右方向负荷 ^①	0.34±0.06	0.35±0.07	0.35±0.07	0.34±0.09	0.38±0.07	0.39±0.07
踝关节前后方向负荷	1.06±0.07	1.07±0.08	1.10±0.06	1.08±0.10	1.09±0.06	1.08±0.08
踝关节垂直方向负荷 ^{①②}	0.72±0.08	0.77±0.07	0.77±0.07	0.77±0.09	0.81±0.10	0.82±0.11
踝关节总负荷 ^①	1.33±0.09	1.37±0.08	1.39±0.07	1.37±0.12	1.42±0.08	1.42±0.09

注:①无论疲劳前后,无压力与一级压力相比有显著差异;②无论疲劳前后,无压力与二级压力相比有显著差异;③无论是否穿弹力袜或弹力袜压力大小,在疲劳前后有显著差异

图1 疲劳前后穿不同压力弹力袜步行时膝关节角度的变化



2.3 疲劳相关指标

根据预实验结果,本研究选择在跑台上以4km/h的速度步行30min作为使受试者疲劳的手段。文献表明,纵跳高度是反映下肢神经肌肉疲劳状况的简单易行的指标,已被广泛应用于对疲劳评价^[14-15]。本研究在步行前后分别进行20次原地连续纵跳,并通过疲劳前后纵跳平均高度降低的百分比来反映下肢肌肉疲劳状况。在无压力、一级压力、二级压力时,纵跳高度降低百分比分别为:(8.97±5.02)%、(4.16±5.47)%、(2.69±4.90)%。统计结果表明,弹力袜的压力对步行后的疲劳状况有显著影响(P=0.018),后继检验发现不穿

弹力袜与穿二级压力弹力袜相比,纵跳高度差有显著增加(P=0.018),与一级压力弹力袜对纵跳高度差无显著影响(P=0.072),穿不同等级压力弹力袜对纵跳高度差也无显著性差异(P=0.373)。

3 讨论

3.1 步态特征

本研究的结果部分支持本研究的第一个假设,穿不同压力弹力袜对女性高跟鞋步行的步态特征有一定影响。穿弹力袜没有显著改变高跟鞋步行时的步速、步长和步宽等基本

参数,但不同压力弹力袜对穿高跟鞋步行时膝关节三维角度有一定影响。

对高跟鞋步态研究结果已经表明,为减少穿高跟鞋步行时上体前倾,髌、膝关节会过度屈曲,使步长缩短,同时造成步态周期延长,降低步速^[6]。本结果说明穿弹力袜并不能明显改善高跟鞋步态。

本研究结果还提示,穿着一定压力的弹力袜可缓解穿高跟鞋步行时膝关节角度的过度改变,从而增加膝关节稳定性。这一结果在一定程度上支持 Doan 等^[16]的研究结果,Doan 等的研究发现穿紧身裤会减少步行时髌、膝关节的屈角。许多研究已经指出穿着高跟鞋会增大膝关节屈角,随着鞋跟高度的增加,膝关节屈曲角度增大越明显^[17],内外旋角度与裸足相比也明显增大^[18]。有研究认为这可能与穿高跟鞋时伸膝肌群的被动能力减弱有关,造成膝关节在着地时的伸展角度明显减少,膝关节活动幅度减小,从而导致了膝关节屈角峰值的增大^[19],而弹力袜对力量输出有一定的积极作用,可增强伸膝肌群的肌力^[20],从而增大膝关节屈伸幅度,减少最大屈曲角度。提示,穿着一级压力弹力袜时膝关节屈曲峰值最小,穿着二级弹力袜时膝关节内收外展峰值和内旋外旋峰值最小,说明需穿着合适压力的弹力袜才能对膝关节角度产生积极的影响,否则可能得到相反的效果。本研究中弹力袜压力并未对关节三维活动幅度产生显著性影响,但是随着弹力袜压力的增大,膝关节的屈曲幅度也增大,说明弹力袜在一定程度上缓解了由于穿高跟鞋导致的膝关节“僵硬”(屈伸幅度减少)。

3.2 关节负荷

本研究的结果支持了第二个研究假设,即弹力袜的压力对下肢关节负荷有显著影响,穿着弹力袜会增加步行时膝、踝关节大部分方向上的负荷及总负荷。已有研究证明穿高跟鞋会增加步行时地面反作用力和下肢关节负荷^[21]。特别是造成膝关节和踝关节在竖直和水平方向负荷的增加^[13],从而增加了关节软骨退化性变化的危险。关节负荷主要由关节周围肌肉和软组织产生^[22],而弹力袜在增强肌力方面的作用已得到研究证实^[20],所以弹力袜对关节负荷的增大有影响。本研究结果发现,穿弹力袜会进一步增加穿高跟鞋行走时的下肢关节负荷,膝关节关节负荷在前后、垂直方向负荷及总负荷有显著性增加,踝关节关节负荷在垂直方向上及总负荷增加显著,这更进一步增大了关节应力,增加了关节磨损和关节炎的风险。但是,下肢关节负荷并没有随着弹力袜压力的增加而进一步增加,这可能是由于压力增加梯度不足并不能引起显著性的改变。

3.3 下肢疲劳差异

本研究结果支持第三个研究假设,即一定的压力对穿高跟鞋步行下肢疲劳的缓解有积极作用,一定范围内压力越大疲劳程度越低。因此,本结果支持以往关于弹力袜对疲劳影

响的结论。Miyamoto 等^[23]的研究中,提踵运动前后测量腓肠肌内侧和比目鱼肌的力矩和采集表面肌电信号(EMG),穿高压弹力袜的力矩与无压力相比明显降低,在最大自主收缩时EMG得出的平均功率频率下降速度明显小于无压力弹力袜。Jakeman 等^[24]的研究发现,在10组10次的增强式深跳练习之后,穿着弹力袜的运动员在24h、48h和72h后的肌肉酸痛感、下蹲跳和纵跳高度、等动肌力,相比对照组均有显著改善或增加。Bicuzen 等^[25]对11例优秀长跑运动员进行跟踪测试(热身前期、运动中期、运动后恢复期),发现穿着弹力袜后长跑运动员的肌肉酸痛感以及白细胞介素、肌酸激酶指标均有所改善,尤其是恢复期更加明显。本研究结果证明,与不穿弹力袜相比,穿着弹力袜进行相同时间的穿高跟鞋步行后下肢肌肉疲劳程度较轻,且弹力袜压力越大疲劳程度越小,二级压力弹力袜则出现了显著差异。这说明,足够压力的弹力袜对运动后的下肢肌肉疲劳有缓解作用。本研究中一级压力弹力袜和二级压力弹力袜对疲劳的影响效果差异不是很明显,这可能是由于压力的变化程度较小,还不足以使机体疲劳的外在表现产生较大的差异。

下肢疲劳的产生会对步态、关节角度、关节负荷产生不同程度的影响。下肢运动疲劳会导致步长变短,双支撑时间变长^[26],而本研究中疲劳后步态并未产生显著差异,说明中低压力弹力袜可以在一定程度上抑制疲劳对步态的不良影响,从而降低穿高跟鞋扭伤、跌倒等损伤的风险。Murdock 等^[27]研究指出疲劳可导致膝关节外旋角度、屈曲角度增大。本研究中疲劳仅对膝关节外展峰值产生了显著性影响,说明弹力袜可以防止下肢运动疲劳后关节角度的变化,降低运动损伤的风险。本研究中膝关节前后方向及总负荷随着疲劳的产生明显增加,踝关节负荷随疲劳的产生并未在统计学上出现显著性差异,这一结果与多数关于运动疲劳中关节负荷变化的研究结果不尽相同。Christina 等^[28]指出跑步疲劳后地面反作用力明显增大。Wang 等^[29]对军人负重步行至疲劳后的下肢关节进行动力学分析,发现髌、膝、踝关节的关节负荷产生了明显增大。本结果提示弹力袜对下肢疲劳后关节负荷的增大具有缓解作用,尤其是对踝关节的保护作用。

综上所述,足够压力的弹力袜对穿高跟鞋步行后的下肢肌肉疲劳有缓解作用,这种缓解作用表现在改善高跟鞋疲劳步态,缓解疲劳后膝关节角度的过度改变,以及减缓疲劳后关节负荷的增大,从而降低穿高跟鞋的损伤风险。根据预实验结果,本研究采用跑台以4km/h的速度步行30min作为达到疲劳的方案,缺乏一定的理论依据,今后的研究,可以结合肌电测试制定更加合理的运动方案,同时可采用肌电测试手段了解不同压力弹力袜对下肢肌肉激活和疲劳程度的影响,从而更加明确弹力袜延缓疲劳、增加关节负荷的机制。

参考文献

- [1] Ellerbroek U. Use of the compression-socking in the so-called varicose symptom complex[J]. Zeitschrift für Hautkrankheiten, 1975, 50(4): 153—156.
- [2] Lattimer CR, Kalodiki E, Kafeza M, et al. Quantifying the degree graduated elastic compression stockings enhance venous emptying[J]. European Journal of Vascular and Endovascular Surgery, 2014, 47(1): 75—80.
- [3] Lattimer CR, Azzam M, Kalodiki E, et al. Compression stockings significantly improve hemodynamic performance in post-thrombotic syndrome irrespective of class or length[J]. Journal of Vascular Surgery, 2013, 58(1): 158—165.
- [4] Ali A, Caine MP, Snow BG. Graduated compression stockings: physiological and perceptual responses during and after exercise[J]. Journal of Sports Sciences, 2007, 25(4): 413—419.
- [5] Carpentier P, Allaert FA, Chudek J, et al. Phlebotonic and compression stocking therapy in venous edema management: an overview of recent advances with a focus on Cyclo 3 Fort(R) and progressive compression stockings[J]. Women's Health, 2013, 9(4): 325—333.
- [6] 吴剑, 李建设. 青年女性穿不同鞋行走时步态的动力学研究[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(1): 486—488.
- [7] Sato H, Sako H, Mukae H, et al. Gait patterns of young Japanese women[J]. Journal of Human Ergology, 1991, 20(1): 85—88.
- [8] 王立平, 李建设. 青年女性着高跟鞋行走时下肢肌肉sEMG信号变化——与疲劳的相关研究[C]. 第十届全国运动生物力学学术交流大会论文汇编, 2002: 372—376.
- [9] 丁金亮. 膝关节炎与高跟鞋的关系[J]. 国外医学·物理医学与康复学分册, 1999, (4): 187—188.
- [10] Mika A, Oleksy L, 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.
- [11] Mosti G, Picerni P, Partsch H. Compression stockings with moderate pressure are able to reduce chronic leg oedema [J]. Phlebology / Venous Forum of the Royal Society of Medicine, 2012, 27(6): 289—296.
- [12] Bovenschen HJ, Booij MT, van der Vleuten CJ. Graduated compression stockings for runners: friend, foe, or fake?[J]. Journal of Athletic Training, 2013, 48(2): 226—232.
- [13] Kerrigan DC, Riley PO, Nieto TJ, et al. Knee joint torques: a comparison between women and men during barefoot walking[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2000, 81(9): 1162—1165.
- [14] Hogarth LW, Burkett BJ, McKean MR. Neuromuscular and perceptual fatigue responses to consecutive tag football matches[J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2015, 10(5): 559—565.
- [15] Montgomery PG, Pyne DB, Hopkins WG, et al. The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball[J]. Journal of Sports Sciences, 2008, 26(11): 1135—1145.
- [16] Doan BK, Kwon YH, Newton RU, et al. Evaluation of a lower-body compression garment[J]. Journal of Sports Sciences, 2003, 21(8): 601—610.
- [17] Titchenal MR, Asay JL, Favre J, et al. Effects of high heel wear and increased weight on the knee during walking [J]. Journal of Orthopaedic Research, 2015, 33(3): 405—411.
- [18] Gale Gehlsen, Janelle S BaNA. Effects of height on knee rotation and gait[J]. Human Movement Science, 1986, 5: 149—155.
- [19] 吴剑, 李建设. 青年女性着高跟鞋平地行走时步态的生物力学研究[J]. 上海体育科研, 2003, 24(3): 9—12.
- [20] Kraemer WJ, Bush JA, Baner JA, et al. Influence of compression garments on vertical jump performance in NCAA Division I volleyball players[J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 1996, 10(3): 180—183.
- [21] 赵恒徐. 膝关节骨性关节炎患者步态和下肢主要关节的运动学分析[J]. 北京体育大学学报, 2011, 34(4): 71—74.
- [22] Lloyd DG, Buchanan TS. Strategies of muscular support of varus and valgus isometric loads at the human knee[J]. Journal of Biomechanics, 2001, 34(10): 1257—1267.
- [23] Miyamoto N, Hirata K, Mitsukawa N, et al. Effect of pressure intensity of graduated elastic compression stocking on muscle fatigue following calf-raise exercise[J]. Journal of Electromyography and Kinesiology, 2011, 21(2): 249—254.
- [24] Jakeman JR, Byrne C, Eston RG. Lower limb compression garment improves recovery from exercise-induced muscle damage in young, active females[J]. European Journal of Applied Physiology, 2010, 109(6): 1137—1144.
- [25] Bieuzen F, Brisswalter J, Easthope C, et al. Effect of wearing compression stockings on recovery after mild exercise-induced muscle damage[J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2014, 9(2): 256—264.
- [26] 殷杰, 游永豪, 周浩祥. 基于步态特征的下肢运动疲劳无创检测方法[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2015, 29(3): 78—81.
- [27] Murdock GH, Hubley-Kozey CL. Effect of a high intensity quadriceps fatigue protocol on knee joint mechanics and muscle activation during gait in young adults[J]. European Journal of Applied Physiology, 2012, 112(2): 439—449.
- [28] Christina KA, White SC, Gilchrist LA. Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction forces and ankle joint motion during running[J]. Human Movement Science, 2001, 20(3): 257—276.
- [29] Wang H, Frame J, Ozimek E, et al. The effects of load carriage and muscle fatigue on lower-extremity joint mechanics[J]. Research Quarterly for Exercise and Sport, 2013, 84(3): 305—312.