

膝关节屈曲角度对压缩袜压力分布的影响

师亚楠, 方琦, 任雨佳, 陈郁*

(上海工程技术大学 纺织服装学院, 上海 201620)

摘要:为研究膝关节屈曲角度变化时,压缩袜在腿部压力值的变化,使用 Novel PlianceX 服装压力测量系统采集了穿着 I, II, III 级压缩袜的 6 名正常腿型女性在 10 个膝关节角度下的压力分布数据,分析了压缩袜的压力等级以及膝关节屈曲角度变化对压缩袜压力分布的影响。结果表明:穿着同等级压缩袜的情况下,膝关节屈曲 $90^{\circ} \sim 100^{\circ}$ 时胫骨节下端截面处的压力达到最大值,其余测试截面在膝关节屈曲 $120^{\circ} \sim 140^{\circ}$ 时取到压力最大值;压缩袜的不同压力级别对脚踝和小腿最大围处的影响较大,对大腿中部的影响较小。

关键词: 压缩袜;压力测量;膝关节角度;压力分布

中图分类号: TS 941.17 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2021)06-0503-06

Effects of the Knee Joint Angle on the Pressure Distribution of the Leg Wearing Compression Stockings

SHI Yanan, FANG Qi, REN Yujia, CHEN Yu*

(School of Textiles and Fashion, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: To study the influence of knee joint angle changes on the distribution of leg pressure, the Novel PlianceX garment using a pressure measurement system collected 6 normal-legged women wearing grade I, grade II and grade III compression stockings under 10 knee joint angles. The pressure distribution data of compression stockings and the influence of knee joint angle changes on leg pressure distribution were analyzed. The results showed that when wearing compression stockings with the same grade, the pressure at the lower end section of the tibial joint reached the maximum when the knee joint was bent at 90° to 100° , while other situations reached the maximum when the knee joint angle was 120° to 140° . The different pressure levels of compression stockings had greater impacts on the maximum circumference of the ankle and calf, and had less impacts on the position of the middle of the thigh.

Key words: compression stockings, pressure measurement, knee joint angle, pressure distribution

医用压缩袜是预防、治疗下肢静脉疾病及淋巴血管疾病应用最广泛的医疗产品之一,具有可移动性、连续性治疗等优势^[1]。治疗原理是通过施加自脚踝向上逐渐递减的梯度压力,从而加快下肢静脉血回流速度,以减少静脉血在肢体远端瘀滞、积聚的情况,达到预防和治疗的目的^[2-3]。治疗效果的好坏与压力分布密切相关,在实际应用中影响压缩袜压力分布的因素有很多,包括环境温度^[4]、穿着

压缩袜时长^[5]、穿着过程中腿部姿势^[6]以及压缩袜压力级别^[7]等,其中腿部不同姿势和压缩袜的压力级别均对压力分布有着重要作用。

压缩袜所产生的压力分布会随着腿部姿势的改变而变化^[8],从而影响穿着过程中的连续治疗效果。例如,LIU R 等^[9]研究发现腿部姿势的变化对压力分布有显著影响,姿势改变会影响皮肤表面的压力分布,从而影响压缩袜治疗下肢静脉疾病的效

收稿日期:2021-01-07; 修订日期:2021-10-16。

基金项目:上海工程技术大学研究生科研创新项目(20KY0916)。

作者简介:师亚楠(1995—),女,硕士研究生。

*通信作者:陈郁(1977—),男,教授,硕士生导师。主要研究方向为人工智能在服装设计中的应用及三维人体测量等。

Email:09180001@sues.edu.cn

果;赵艳敏等^[10]通过实验测量发现,压缩袜只有在站立姿势下的压力值符合压力梯度分布标准,而坐姿、躺姿的压力分布均不符合生理需求;倪海燕等^[11]在压力测试过程中发现各测试点的压力值随着腿部姿势变化而产生波动;宫鲁蜀等^[12]测量在原地踏步过程中腿部的动态压力分布,发现运动时各测量点的压力显著增大且增加幅度有所差异,但材料上只选用了Ⅱ级压缩袜,未对Ⅰ级、Ⅲ级压缩袜进行同等实验;刘艺等^[13]研究了不同等级压缩袜以及蹲姿、站姿、坐姿对小腿围度的影响,结果表明小腿的围度受到压缩袜压力等级影响,且与人体踝关节、膝关节的角度有关。

腿部姿势和压缩袜的压力级别对压力分布的影响已有初步研究,而关于运动过程中膝关节多角度变化对压力分布的研究尚未深入展开,且部分姿势研究中没有考虑压力等级对压力分布的影响。因此,文中通过测量 3 种压力等级的压缩袜在 10 个膝关节屈曲角度下的压力值,分析膝关节屈曲角度与压缩袜压力级别对腿部压力分布的影响,为压缩袜设计提供参考。

1 实验设计

1.1 实验材料

选用符合 YY/T 0853—2011^[14] 标准规定的Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级 M 号型长筒压缩袜作为实验材料,中三院有限公司提供。压缩袜具体参数见表 1。

表 1 压缩袜参数

Tab. 1 Parameters of compressed stocks			
压力级别	p/kPa	面密度占比/%	
		氨纶	锦纶
Ⅰ	2.0 ~ 2.8	28	72
Ⅱ	3.1 ~ 4.3	28	72
Ⅲ	4.5 ~ 6.1	36	64

1.2 实验设备

Novel PlianceX 服装压力测量系统、角度计、皮尺,德国 Novel 公司制造。压力测量系统采用 Flexi Force 柔性薄膜传感器,有效传感区域为直径 9.53 mm 的圆,线性误差 $\leq 5\%$ ^[15]。

1.3 选取测量点

人体腿部测量点位置示意如图 1 所示。按照 FZ/T 73031—2009^[16] 标准选取人体右腿中的脚踝周长最细处 B 、跟腱与小腿肌转变处 C 、小腿最大周长处 D 、胫骨节下端 E 、大腿中部 F 及大腿根部 G 为测量截面,每个测量截面有前、后、内、外侧 4 个测量点,共计 24 个测量点。

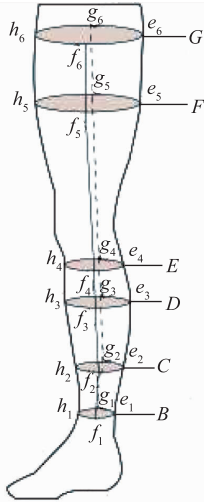


图 1 人体腿部测量点位置示意
Fig. 1 Measurement points of the human leg

1.4 实验对象

选取 6 名身体健康且腿型正常^[17] 的女大学生作为实验对象,受试者基本信息及描述性统计数据见表 2 和表 3。

表 2 6 名受试者的体型特征

Tab. 2 Body type characteristics of 6 subjects								
实验编号	身高/cm	体质量/kg	截面周长/cm					
			B	C	D	E	F	G
1 [#]	163.4	46.8	18.9	26.4	30.5	28.6	38.9	45.4
2 [#]	164.2	48.9	19.4	26.9	31.6	29.4	39.6	45.7
3 [#]	164.8	47.3	19.0	27.2	31.8	29.9	40.4	46.3
4 [#]	166.1	49.5	19.2	27.4	32.0	30.2	40.8	47.2
5 [#]	166.5	54.2	20.1	27.8	32.5	31.1	41.4	47.8
6 [#]	167.6	52.5	19.7	28.0	31.7	30.2	41.1	46.9

表 3 6 名受试者腿部截面描述性数据

Tab.3 Descriptive data on the cross-sections of the legs of 6 subjects

测量部位	周长平均值/cm	周长方差/cm
截面 B	19.4	0.206
截面 C	27.3	0.346
截面 D	31.7	0.438
截面 E	30.0	0.712
截面 F	40.4	0.907
截面 G	46.6	0.843

1.5 实验过程

1.5.1 实验动作 根据行走的单个步幅周期^[18-19]及日常生活中膝关节不同姿势,如站姿、坐姿、驾车姿势等,将实验的最小膝关节屈曲角度设为 90°,最大膝关节角度设为 180°,实验过程中膝关节屈曲角度以 10°进行划分,实验动作如图 2 所示。

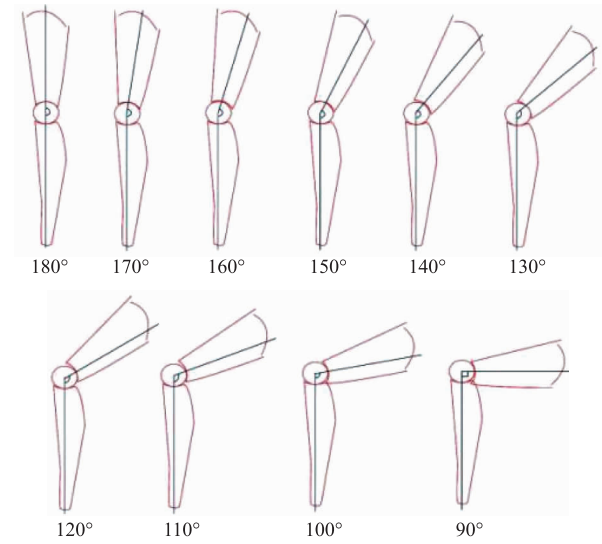


图 2 实验动作示意

Fig.2 Schematic diagram of experimental action

1.5.2 数据采集 在实验对象熟悉实验动作后,进行压力测量实验。实验对象穿着 M 号型 I 级长筒压缩袜,测量前将压力传感器固定在腿部相应的测试点,调整压缩袜无重叠、扭曲现象。测量时首先通过角度计调整实验对象的膝关节角度,等待压力数据稳定后,保存平稳状态下连续 8 s 内所测量的压力值。压缩袜 I 级的压力数据采集完毕后,按相同的步骤采集压缩袜 II 级和 III 级的压力值。每组实验开始前,实验对象有 30 min 的休息时间,避免腿部肌肉紧绷造成实验误差。

2 结果与分析

2.1 膝关节屈曲角度对压缩袜压力的影响 穿着 III 级压缩袜,在膝关节屈曲角度发生改变

时,压力分布变化如图 3 所示。由图 3 可以看出,每个测试截面的压力都会随着膝关节屈曲角度变化而发生波动,在截面 B 处的压力值 p_B 波动幅度最大,当膝关节屈曲 130°时取到最大值 3.46 kPa,膝关节屈曲 110°时为最小值 2.98 kPa,两者的极差达到 0.48 kPa。其余截面压力波动幅度从大到小依次为: $p_C(0.61\text{ kPa}) > p_E(0.56\text{ kPa}) > p_D(0.51\text{ kPa}) > p_F(0.39\text{ kPa}) > p_G(0.34\text{ kPa})$ 。

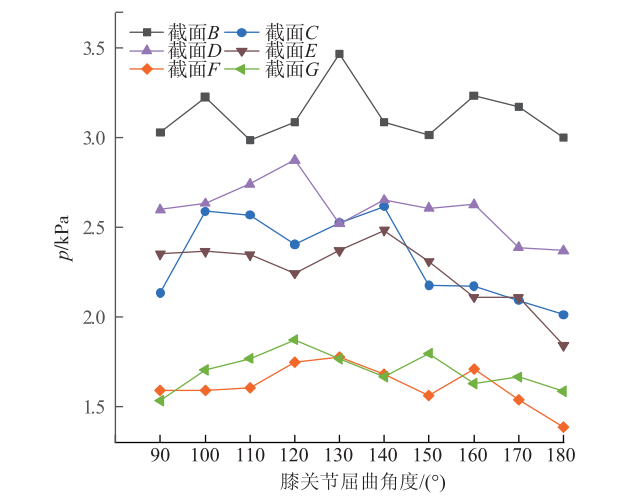


图 3 III 级压缩袜在不同膝关节屈曲角度下的压力分布变化

Fig. 3 Pressure distribution changes of grade III compression stockings at different knee joint angles

此外,随着膝关节屈曲角度的增大,除截面 E,其余各截面压力的变化趋势都是先增大后减小,其他截面最大压力对应的膝关节屈曲角度是 120°~140°,而截面 E 在膝关节屈曲 100°时压力最大,为 2.41 kPa。

I 级、II 级压缩袜在不同膝关节屈曲角度下的压力分布变化如图 4 所示。图 4 中,穿着 I 级、II 级压缩袜的压力分布规律与 III 级压缩袜所呈现的相似,I 级与 II 级压缩袜测试截面的最大、最小极差分别为 0.39,0.21 kPa 和 0.44,0.23 kPa。此外,在 I 级、II 级压缩袜中,截面 E 分别在膝关节屈曲 90°和 100°时压力最大,数值分别为 1.49,1.75 kPa。

结果表明,穿着同一级别压缩袜时压力会随着膝关节屈曲角度增大呈先增大后减小的变化趋势。膝关节屈曲角度为 90°~100°时,截面 E 的压力达到最大;在膝关节屈曲 120°~140°时,剩余截面达到最大压力值。

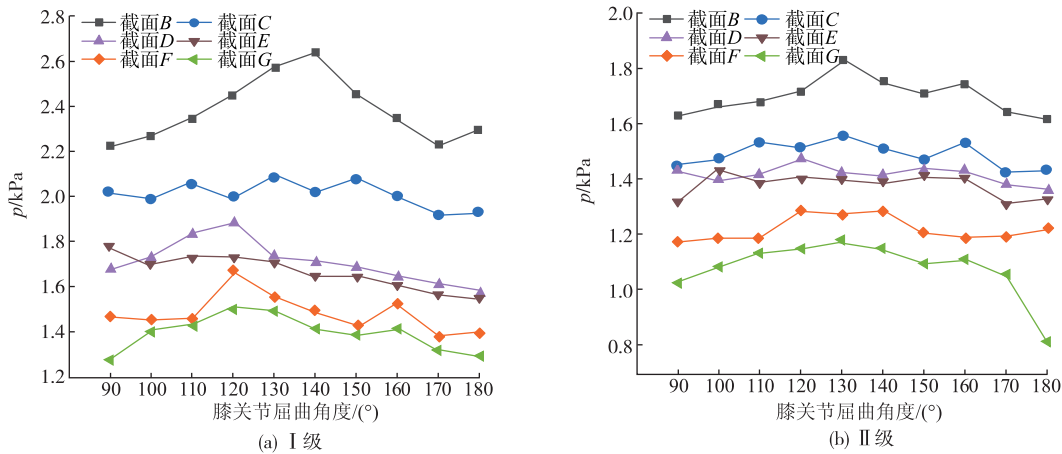


图 4 I 级、II 级压缩袜在不同膝关节屈曲角度下的压力分布变化

Fig. 4 Pressure distribution changes of grade I and grade II compression stockings under different knee joint angles

2.2 不同等级压缩袜对腿部压力的影响

不同膝关节屈曲角度下 3 种级别压缩袜在截面 B 处的压力如图 5 所示。由图 5 可知,不同压力级别的压缩袜所产生的压力存在一定的分布规律,随着膝关节屈曲角度的变化,在同一测试截面上 3 种压力级别压缩袜的压力都呈现先增大后减小的变化趋势,其中 I 级、II 级、III 级压缩袜在截面 B 处的平均压力分别为 1.67,2.36,3.13 kPa。

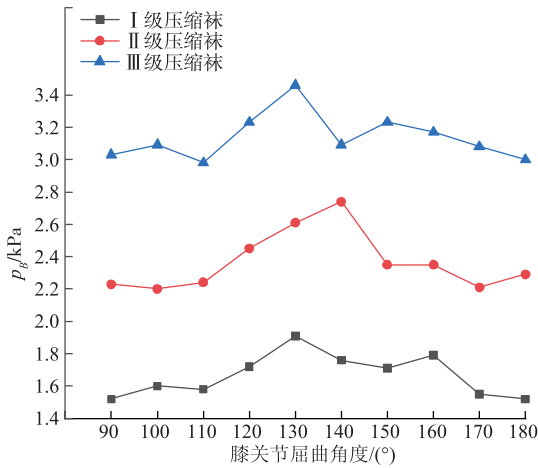


图 5 不同膝关节屈曲角度下 3 种级别压缩袜在截面 B 处的压力值

Fig. 5 Influence of three grades of compression socks on the pressure distribution of section B

将 I 级、II 级和 III 级压缩袜在各截面处的压力值进行平均化处理并作直方图,具体如图 6 所示。由图 6 可以看出,各截面 II 级与 I 级的压力差呈先递减后增加的变化趋势,在截面 E 处的压力差最小,为 0.23 kPa;随后比较 II 级与 III 级压缩袜的压力

分布,得出各测试截面的压力增幅排序为 $p_D(0.95 \text{ kPa}) > p_B(0.77 \text{ kPa}) > p_E(0.7 \text{ kPa}) > p_C(0.34 \text{ kPa}) > p_G(0.29 \text{ kPa}) > p_F(0.11 \text{ kPa})$ 。

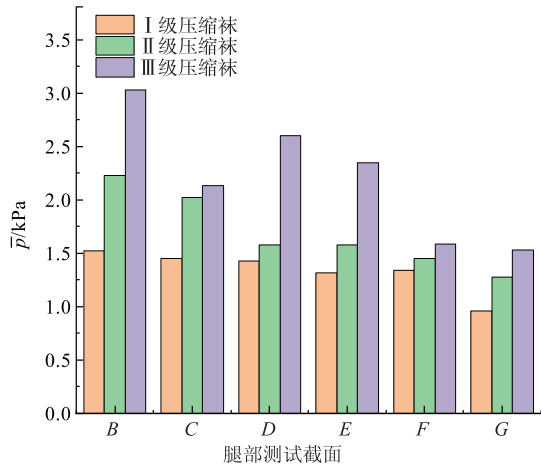


图 6 不同压力级别的压缩袜在各测量截面的压力
Fig. 6 Pressure bar graphs of compression stockings with different pressure levels for each measurement section

结果表明,截面 D 处的压力增幅最大,为 0.95 kPa,说明穿着 III 级压缩袜时小腿肌肉运动对压力分布的影响较大;截面 F 的压力增幅最小,为 0.11 kPa,说明大腿中部肌肉运动对 III 级压缩袜的压力变化影响较小。

2.3 膝关节屈曲角度对压力梯度分布的影响

当穿同一等级压缩袜,膝关节处于不同屈曲角度时,不同部位的的压力梯度不同^[20]。YY/T 0853—2011 规定的压缩袜压缩等级及力系范围见表 4。II 级压缩袜在不同膝关节屈曲角度下压力与压力分布见表 5。

表4 YY/T 0853—2011 规定的压缩袜压缩等级及力系范围

Tab.4 Compression grade and force range of compression stockings specified in YY/T 0853—2011

压缩力等级	脚踝部位 <i>B</i> 的压缩力/kPa	截面与脚踝部位施加压缩力之比/%		
		<i>B</i>	<i>C,D</i>	<i>E</i>
Ccl I (轻)	2.0 ~ 2.8	70 ~ 100	50 ~ 80	20 ~ 60
Ccl II (中)	3.1 ~ 4.3	70 ~ 100	50 ~ 80	20 ~ 60
Ccl III (强)	4.5 ~ 6.1	70 ~ 100	50 ~ 80	20 ~ 60
Ccl IV (很强)	>6.5	70 ~ 100	50 ~ 80	20 ~ 60

表5 II级压缩袜在不同膝关节屈曲角度下压力与压力分布

Tab.5 Pressure and pressure distribution of grade II compression stockings under different knee joint angles

膝关节屈曲 角度/(°)	p_B /kPa	p_C /kPa	$p_C:p_B$ /%	p_D /kPa	$p_D:p_B$ /%	p_E /kPa	$p_E:p_B$ /%
90	2.23	2.02	90.66	1.58	70.77	1.58	70.90
100	2.20	1.99	90.35	1.73	78.43	1.60	72.49
110	2.24	2.05	91.34	1.87	83.61	1.44	64.47
120	2.45	2.00	81.59	1.61	65.67	1.45	59.10
130	2.61	2.08	79.77	1.73	66.21	1.45	55.36
140	2.74	1.89	68.89	1.60	58.25	1.45	52.86
150	2.35	2.07	88.09	1.61	68.70	1.69	71.91
160	2.35	2.01	85.21	1.55	65.71	1.62	68.99
170	2.21	1.92	86.98	1.63	73.81	1.55	70.13
180	2.29	1.86	80.89	1.57	68.34	1.60	69.78

注:斜体数据即不满足压力梯度标准。

结合表3,由表5可以得出以下结论:①膝关节屈曲150°,160°,180°时,压力分布不符合人体腿部自踝部向上逐步递减的规律,其他角度都符合;②膝关节屈曲140°时, $p_C:p_B$ 大于相应标准规定;③膝关节屈曲110°时, $p_D:p_B$ 大于相应标准规定;④膝关节屈曲120°~140°时, $p_E:p_B$ 符合相应标准规定,其他角度均不符合。同理,I级、Ⅲ级压缩袜可以得出类似结论。

同一等级压缩袜,截面*E*处大多均不符合压力梯度标准,截面*C,D*在膝关节屈曲140°,110°时,不符合压力梯度标准,其余均符合。

为使压缩袜得到更好应用,可针对测得的压力指标进行改良,在研发过程中应考虑到膝关节多角度的影响,确保压缩袜在膝关节不同屈曲角度下压力分布的合理性,符合人体生理需求。

3 结 语

文中根据 FZ/T 73031—2009 标准选取人体腿部6个测量截面,前、后、内、外侧4条测量纵线,共24个测量点。在膝关节屈面角度变化以及不同压力等级压缩袜的基础上,对测量点进行压力测试,分析膝关节屈面角度变化对不同等级压缩袜压力分布规律的影响。

研究表明,在同一姿势下,不同压力等级压缩袜对各截面压力变化趋势的影响较小,但对压力的影响显著,且人体腿部的胫骨节下端截面*E*在膝关节屈曲90°~100°时压力最大,其余各截面在膝关节屈曲120°~140°时压力最大;穿着同一等级压缩袜时,随膝关节屈曲角度变化,压缩袜对各截面压力分布有不同的影响,各截面压力增幅不尽相同;

参考文献:

[1] KUMAR B, HU J, PAN N. Smart medical stocking using memory polymer for chronic venous disorders[J]. Biomaterials, 2016(75):174-181.

[2] 刘晓凤,张倩,王璐. 医用压力袜的结构特征及其研究进展[J]. 生物医学工程学进展,2019,40(2):78-82.

LIU Xiaofeng, ZHANG Qian, WANG Lu. Structural characteristics and research progress of medical compression stockings[J]. Progress in Biomedical Engineering, 2019, 40(2):78-82. (in Chinese)

[3] 李红,宋广礼. 循序递减压力袜研究[J]. 针织工业, 2014(10):19-21.

LI Hong, SONG Guangli. An introduction of pressure progressive reduction stockings [J]. Knitting Industry, 2014(10):19-21. (in Chinese)

[4] STICK C, HIEDL U, WITZLEB E. Venous pressure in the

- saphenous vein near the ankle during changes in posture and exercise at different ambient temperatures[J]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1993(66):434-438.
- [5] 刘海楠,成玲. 压力袜对人体下肢血流影响的研究[J]. *纺织导报*, 2020(5):72-76.
- LIU Hainan, CHENG Ling, Study on the effect of compression stockings on blood flow velocity of lower limbs[J]. *China Textile Leader*, 2020(5):72-76. (in Chinese)
- [6] 陆寅雯,徐洪叶,姜林影,等. 不同姿势下压力袜穿着压力和主观感觉研究[J]. *纺织科技进展*, 2019(12):34-36.
- LU Yinwen, XU Hongye, JIANG Linying, et al. Study on wearing pressure of compressive stockings and subjective sensation in different postures[J]. *Progress in Textile Science and Technology*, 2019(12):34-36. (in Chinese)
- [7] BELCZAK C E Q, DE GODOY J M P, SEIDE L A C, et al. Comparison of 15 ~ 20 mmHg versus 20 ~ 30 mmHg compression stockings in reducing occupational oedema in standing and seated healthy individuals[J]. *International Journal of Vascular Medicine*, 2018(10):1-6. (in Chinese)
- [8] LIU R, LAO T T, KWOK Y L, et al. Effects of compression legwear on body temperature, heart rate, and blood pressure following prolonged standing and sitting in women[J]. *Fibers and Polymers*, 2010(1):128-135.
- [9] LIU R, KWOK Y L, LI Y, et al. Skin pressure profiles and variations with body postural changes beneath medical elastic compression stockings[J]. *International Journal of Dermatology*, 2010(5):514-523.
- [10] 赵艳敏,孙玉钗. 不同姿势下压力袜压力分布研究[J]. *针织工业*, 2018(2):59-61.
- ZHAO Yanmin, SUN Yuchai. Research on pressure distribution of compression stockings in different postures[J]. *Knitting Industry*, 2018(2):59-61. (in Chinese)
- [11] 倪海燕,甘应进,陈东生,等. 女性弹力袜压力测试及其压感舒适性研究[J]. *西安工程大学学报*, 2009, 23(1):35-38.
- NI Haiyan, GAN Yingjin, CHEN Dongsheng, et al. Study on the pressure comfort of female elastic stockings[J]. *Journal of Xi'an Polytechnic University*, 2009, 23(1):35-38. (in Chinese)
- [12] 宫鲁蜀,孙玉钗. 压力袜穿着过程压力分布规律研究[J]. *针织工业*, 2017(10):15-18.
- GONG Lushu, SUN Yuchai. Research on the pressure distribution law of compression stockings wearing process[J]. *Knitting Industry*, 2017(10):15-18. (in Chinese)
- [13] 刘艺,王永荣,刘银星,等. 不同压力等级医疗袜下腿部共偶变形分析[J]. *东华大学学报(自然科学版)*, 2018, 44(2):225-231.
- LIU Yi, WANG Yongrong, LIU Yinxing, et al. Analysis of lower limbs deformation beneath medical stockings of different pressure levels[J]. *Journal of Donghua University (Natural Science Edition)*, 2018, 44(2):225-231. (in Chinese)
- [14] 国家食品药品监督管理总局. 医用静脉曲张压缩袜: YY/T 0853—2011[S]. 北京:中国标准出版社, 2013.
- [15] 庞欣,方园,李新阳. 基于柔性压力传感器的压力袜压力检测[J]. *浙江理工大学学报(自然科学版)*, 2017, 37(6):759-764.
- PANG Xin, FANG Yuan, LI Xinyang. Pressure testing of compression stockings based on flexible pressure sensor[J]. *Journal of Zhejiang Institute of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2017, 37(6):759-764. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国工业和信息化部. 压力袜: FZ/T 73031-2009[S]. 北京:中国标准出版社, 2010.
- [17] 赵艳敏. 压力袜穿着过程压力分布规律研究[D]. 苏州:苏州大学, 2018.
- [18] 马越,丁浩. 人行走过程中膝关节角度特征研究[J]. *刑事技术*, 2019, 44(4):322-326.
- MA Yue, DING Hao. Characteristic angle of human knee joint in walking[J]. *Forensic Science and Technology*, 2019, 44(4):322-326. (in Chinese)
- [19] 姚瑞祥,王燕珍. 行走和慢跑状态下护膝的防护效果[J]. *纺织学报*, 2015, 36(6):106-111.
- YAO Ruixiang, WANG Yanzhen. Protective effect of kneepads in states of walking and jogging[J]. *Journal of Textile Research*, 2015, 36(6):106-111. (in Chinese)
- [20] 方琦,孙光武,陈郁. 膝关节角度变化对压力梯度分布和皮肤形变的影响[J]. *服装学报*, 2021, 6(1):23-28.
- FANG Qi, SUN Guangwu, CHEN Yu. Effects of knee joint angle change on pressure gradient distribution and skin deformation[J]. *Journal of Clothing Research*, 2021, 6(1):23-28. (in Chinese)

(责任编辑:卢杰)