

# 运动压力裤的功能研究进展

郑 晴, 王宏付\*, 柯 莹

(江南大学 纺织服装学院, 江苏 无锡 214122)

**摘 要:**运动压力裤是一种通过服装压在运动过程中保护人体和辅助运动的新型服装。回顾目前国内外的相关研究成果,总结运动压力裤的作用原理及压力控制手段,从运动能力和运动恢复两个方面归纳压力裤对运动机能的改善效果,并且分析压力裤对人体生理机能的影响。提出压力裤的研究方向:在运动领域的应用中重点关注压力裤对运动后恢复能力的影响;将形变记忆聚合物运用于压力裤中,提高其智能性和压力的可控性;探究不同环境温度下压力服装对体温的作用变化,建立在服装压力作用下人体的体温调节模型。

**关键词:**压力服;压力裤;运动机能;热舒适性

**中图分类号:**TS 941.17 **文献标志码:**A **文章编号:**2096-1928(2018)06-0482-05

## Review on the Functions of Compression Tights

ZHENG Qing, WANG Hongfu\*, KE Ying

(School of Textile and Clothing, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

**Abstract:** Compression tights are a kind of new garment that protect human body and assist body movement by applying garment pressure during exercises. By reviewing the relative research achievements at home and abroad, this article summarized the functions of compression tights and methods to control garment pressure. Their ergogenic effects on exercise were concluded from the aspects of performance and recovery. The article also analyzed their effects on physiology. Based on the current research results, further research directions of compression tights were proposed as below. The effect of compression tights on recovery ability after exercises should be concerned. Shape memory polymers could be used in compression tights so as to improve its intelligence and controllability. Moreover, the effect of compression garments on thermoregulation needs to be studied in different ambient temperatures to establish the thermoregulation model under garment pressures.

**Key words:** compression garments, compression tights, exercise performance, thermal comfort

压力服(compression garments)是一种通过给予人体特定部位一定的压力,对人体起到保健作用的服装。在医疗领域,压力袜(compression stockings)是治疗下肢静脉曲张的一种重要的辅助手段。通过促进静脉血液回流、加速血流速度,压力袜能有效改善人体的血液循环,增加肌肉组织供氧,预防和治理静脉曲张、血栓,缓解下肢水肿<sup>[1]</sup>。

近年来,压力服在运动领域也开始流行。不少

运动服品牌运用医疗压力袜的原理制造压力运动服,并希望通过一定程度的施压加快血流和供氧,从而提高运动表现及减低疲劳,此外还能肌肉提供支撑和保护。

压力裤(compression tights)又称压缩裤,是最常见的一种压力运动服。由于下肢在运动过程中容易疲劳和损伤,越来越多的专业运动员和运动爱好者选择穿着压力裤稳固肌肉和韧带,延缓肌肉疲

收稿日期:2018-09-07; 修订日期:2018-10-19。

**基金项目:**国家自然科学基金项目(51506076);中国博士后科学基金项目(2016M591763);中央高校基本科研业务费专项资金项目(JUSRP51735B)。

**作者简介:**郑 晴(1994—),女,硕士研究生。

**\* 通信作者:**王宏付(1963—),男,教授,硕士生导师。主要研究方向为服装数字化。Email:whf.123@163.com

劳,缓解运动后肌肉的酸胀感<sup>[2]</sup>。

国外已有不少对于运动压力裤的研究成果,主要探究压力裤对运动能力<sup>[2-4]</sup>、运动疲劳和恢复<sup>[5-6]</sup>以及生理功能<sup>[7-8]</sup>的影响。

## 1 压力裤的压力控制

压力裤的压力大小控制极为重要,既要有足够的压力作用以达到提高运动机能的效果,又不能影响穿着舒适性和实用性。

### 1.1 面料

紧身服装的面料紧绷于人体表面时,由于面料形变,对体表产生机械作用,皮肤及皮下组织也产生形变。在垂直于皮肤表面的方向上,面料压迫皮肤组织,即为产生服装压力。压力裤通常采用锦纶/氨纶或棉/氨纶混纺的针织面料,所选择面料的物理机械性能直接影响服装的压力大小。压力服装对人体表面的压力作用可以通过 Laplace 定律进行预测和估计:

$$P = \frac{T}{R} \tag{1}$$

式中: $P$  为服装压力; $T$  为织物单位长度的拉伸力; $R$  为织物包裹圆柱体的半径。

用 Laplace 的公式计算服装压力时,需要将人体部位假设为圆柱体。因此,Hasegawa 等考虑了人体在水平方向和垂直方向的曲率差异,以及面料经纬向的拉伸力差异,对式(1)进行优化<sup>[9]</sup>,得到

$$P = \frac{T_w}{R_w} + \frac{T_c}{R_c} \tag{2}$$

式中: $T_w, T_c$  分别为服装面料在经向和纬向的拉伸力; $R_w, R_c$  分别为人体在经向和纬向的曲率半径。

由式(2)可知,服装面料的拉伸力直接影响服装压力。面料的组织结构、厚度、纤维成分会影响织物的拉伸性能。在服装结构和尺寸相同的情况下,面料越容易拉伸,弹性越好,对人体产生的压力也就越小。潘科<sup>[10]</sup>在紧身针织服装压力性能测试与评价研究中发现针织面料的弹性回复性越好,回复所需的力越小,因此垂直作用于人体表面的压力就小。

虽然通过准确测量和计算,可以使压力裤达到需要的压力水平,但由于穿着者下肢尺寸千差万别,压力裤的实际压力很难与设计的要求相一致。另外由于应力松弛,压力裤的压力也会随穿着时间的增长而逐步衰减。

形状记忆聚合物(SMP)是一种新兴的智能材料,该类聚合物制品经过形变并固定后,在特定的外界刺激下能自动恢复到初始形状,在此过程中产

生恢复张力<sup>[11-13]</sup>。胡金莲等<sup>[12]</sup>将一种热敏的形状记忆聚合物应用到医疗领域的压力袜和压缩绷带中,通过外部温度的调节可以控制这种压力袜的压力大小,使得压力袜的压力不再依赖于人体肢体的形状和尺寸特征。这种医疗用压力袜的材料也可应用于运动压力裤,即通过外部各种激励源,如光、磁、水等,调节压力裤的压力大小,从而达到理想的压力设计需求。

### 1.2 服装尺寸

压力裤的尺寸对服装压力有显著影响<sup>[14]</sup>。面料在产生某一特定压力值时的拉伸量称为压力松量。压力裤的设计需要在零松量的基础上减去一定的压力松量。所以,精确且充分的人体测量尺寸对于压力裤设计极为重要。

近年来,三维人体测量技术已逐步成熟。这种非接触式的测量方法非常适用于压力裤的设计,可快速得到人体腿部各部位的围度大小,从而便于对压力裤的尺寸进行更精确的设计。另外,还可利用三维人体扫描结果设置虚拟模特,在此基础上用虚拟试衣软件直接进行服装压力测量<sup>[15-16]</sup>。

## 2 压力裤对生理机能的影响

### 2.1 对体温调节的影响

当服装压力直接作用于皮肤表面,对人体排汗能产生抑制作用<sup>[17-18]</sup>。因此,压力裤的使用将对人体的体温调节产生影响。目前,大量研究主要从皮肤温度和核心温度两个方面反映压力裤对人体体温调节的作用。

皮肤是人体直接接触服装和微气候的部分,其温度直接反映了人的热湿感和舒适性。在较冷或适温(10 ~ 25 ℃)环境下,穿着压力裤后的皮肤温度将高于普通服装的<sup>[19-21]</sup>,且这一现象不仅体现在压力裤覆盖的下肢部分,上半身未覆盖部位的皮肤温度也有所上升<sup>[21]</sup>;但在热环境(> 30 ℃)中,是否穿着压力裤对皮肤温度不会产生显著影响<sup>[20,22]</sup>。这可能是由于在冷环境下穿着压力裤后抑制了皮肤出汗,人体的蒸发散热减少造成皮肤温度上升;而在热环境中,即使穿着压力裤仍会有大量的出汗,而压力裤较好的吸湿排汗性能加快了汗液挥发,所以皮肤温度不会显著升高。

核心温度可以反映人体的生理舒适感和环境耐久性。较高的核心温度会增加人体在运动过程中的疲劳感<sup>[23]</sup>。相关文献研究显示,在低温环境中穿着压力裤不会影响核心温度,但在热环境中核心温度可能上升<sup>[19-22]</sup>。由于压力的作用不仅会抑制

出汗,还会影响诸多生理反应,如血流量、心率、呼吸、肌肉紧张度等<sup>[24]</sup>,所以尚不明确压力运动服装在不同环境温度下对人体温度调节产生不同影响的原因。

很少有科研人员对压力服装在冷热环境下的作用进行比较,因此还需要更多的实验研究支持,明确服装压力对体温调节的作用原理。

2.2 对心血管功能的影响

在医学领域,对心血管功能的作用是压力袜研究的重点。压力袜被广泛用来治疗静脉曲张、淋巴水肿、静脉溃疡等疾病<sup>[25-27]</sup>。

在运动领域,人们也希望采用梯度压力设计的压力裤,加快肌肉中的血流速度,促进皮肤和肌肉内的微循环。血流速度的提高和微循环的改善有助于提高肌肉供氧,并加速乳酸等代谢废物的排出,从而增强人体的有氧运动能力<sup>[28-29]</sup>。

但现有研究发现,压力裤在运动过程中(如跑步、骑行),对心率、耗氧量等的影响很小<sup>[7,30]</sup>;但对剧烈运动时血液流速的影响还缺少研究结果。医用压力袜的研究实验通常采用人体仰卧和休息状态,因此其效果只能作为运动压力裤加快运动恢复的参考依据。

2.3 对肌肉振动及神经系统的影响

压力裤的作用效果直接表现为对人体下肢肌肉运动的影响。人体在运动过程中肌肉和其他软组织会产生不同程度的振动和牵拉。当肌肉过度振动和牵拉时,肌肉收缩蛋白结构遭到破坏,将造成肌肉损伤。穿着压力裤后,肌肉被服装面料包裹,高压面料可以限制肌肉活动范围,从而有效防止肌肉由于过度振动和牵拉而造成损伤,并且避免肌肉因振动而做的无用功<sup>[31]</sup>。

肌肉神经系统中包括运动神经、植物性神经和感觉神经。运动神经通过发放冲动信号使肌肉收缩产生运动;植物性神经由交感与副交感两种神经构成,影响人体生理功能;感觉神经能感受外部刺激,掌握运动中的人体形态、位置、方向、平衡等。压力裤的压迫感可增强交感神经活动,加快心跳速度、提高血压、增强呼吸功能等;同时压力裤通过对下肢适当的压迫,能增强感觉器官对肌肉和关节的感受,提高人体对关节的感知能力,增强肌肉的本体感觉<sup>[32]</sup>。

3 压力裤对运动机能的影响

压力裤对运动机能的影响是压力裤在运动领域研究的主要内容,体现在对运动过程中运动能力

以及对运动后肌肉疲劳和恢复的影响。

3.1 对运动能力的影响

现有的研究表明,穿着压力裤对运动能力提高作用存在不确定性。KRAEMER W J 等<sup>[33]</sup>发现穿着压力裤可能会增强臀部的本体感受,减少肌肉振动,从而提高弹跳能力。但在其他关于短跑<sup>[34]</sup>、耐力跑<sup>[30]</sup>、骑行<sup>[35]</sup>等运动研究中,压力裤对运动能力的积极作用十分有限。在多数研究结果中,压力裤并不能直接提高运动成绩。

但研究指出压力裤可以有效提高人体对关节的感知能力,增强肌肉的本体感觉,同时对肌肉减震的效果也较显著。DOAN B 等<sup>[34]</sup>测试肌肉在垂直弹跳中的振动情况时,发现压力短裤能降低大腿肌肉垂直和水平方向的振幅。因此,压力裤在一定程度上可以提高运动的主观舒适感,并对肌肉起到保护作用。

3.2 对运动疲劳与恢复的影响

现有的文献研究表明,穿着压力裤不能显著改善运动疲劳。KRAEMER W J 等<sup>[36]</sup>通过测试受试者在负荷为最大肌力 70% 时的深蹲次数(3 × 50 次)计算出膝关节屈伸的总消耗能量,结果表明压力短裤对肌肉持续收缩过程中的疲劳没有改善作用。

压力裤对运动恢复存在潜在的积极作用是其得到广泛使用的重要原因之一。运动人群希望通过穿着压力裤帮助加快肌肉代谢物的排出,缓解运动引起的肌肉肿胀、肌肉酸痛,增强细胞修复能力。在压力裤对运动恢复影响的研究中,主要将血液中的某些蛋白酶和代谢物含量作为检测指标,例如乳酸盐、乳酸脱氢酶、肌酸激酶、C 反应蛋白等。BERRY M J 等<sup>[37]</sup>发现受试者在跑步和骑行后穿着压力裤休息,血液中的乳酸含量明显较低;其他在对肌肉损伤的影响研究中也显示,在恢复过程中穿着压力裤,血浆中的乳酸脱氢酶和肌酸激酶比穿着普通运动裤时更低<sup>[38-40]</sup>。但由于以上提到的检测指标受个体差异影响巨大,因此已有的研究结果也不尽相同。

4 结 语

文中针对压力裤的功能研究,讨论了其作用原理和压力控制方法,从运动机能和生理机能两个方面的影响作用分析了压力裤的研究现状,为进一步研究提供参考。

1) 由于个体间的体型特征差异巨大,下肢各部位(例如小腿围、胫骨长度等)尺寸不同会影响压力

裤的压力大小。形状记忆聚合物是一种可以应用于压力裤的新型材料,在外部刺激作用下能改变服装压大小。使用此类材料既能解决由于体型差异带来的不适体问题,又能使压力裤更为智能化和可控化。因此,形状记忆聚合物将为运动压力裤带来新的发展可能。

2) 现有的实验结果表明,压力裤对运动能力的提高作用十分有限,但可以控制运动过程中肌肉的振动,加强关节的本体感受,并且加快血液流动和细胞代谢物的排出,以缓解运动后的肌肉肿胀和酸痛。因此,压力裤在运动领域的功能作用研究应更多集中于对运动后恢复能力的影响,包括生理和心理的影响。

3) 压力裤对人体施加的高服装压会影响人体的生理机能。在体温调节方面,目前的研究结果并不一致。冷热两种环境下,压力服对皮肤温度和体核温度会有不同的作用结果。所以,可以通过探究不同环境温度下的体温变化,建立压力服装对人体体温调节的作用模型。

## 参考文献:

[1] 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 stocking [J]. Knitting Industries, 2014(10):19-21. (in Chinese)

[2] DRILLER M W, HALSON S L. The effects of wearing lower body compression garments during a cycling performance test[J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2013, 8(3):300-306.

[3] KEMMLER W, VON STENGEL S, KOECKRITZ C, et al. Effect of compression stockings on running performance in men runners [J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2009, 23(1):101-105.

[4] ENGEL F A, HOLMBERG H C, SPERLICH B. Is there evidence that runners can benefit from wearing compression clothing? [J]. Sports Medicine, 2016, 46(12):1939-1952.

[5] DAVIES V, THOMPSON K G, COOPER S M. The effects of compression garments on recovery [J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2009, 23(6):1786-1794.

[6] HILL J A, HOWATSON G, VAN SOMEREN K A, et al. Influence of compression garments on recovery after marathon running [J]. Journal of Strength and Conditioning Research, 2014, 28(8):2228-2235.

[7] ALI A, CREASY R H, EDGE J A. Physiological effects of wearing graduated compression stockings during running

[J]. European Journal of Applied Physiology, 2010, 109(6):1017-1025.

[8] MACRAE B A, LAING R M, NIVEN B E, et al. Pressure and coverage effects of sporting compression garments on cardiovascular function, thermoregulatory function, and exercise performance [J]. European Journal of Applied Physiology, 2012, 112(5):1783-1795.

[9] HASEGAWA M, ISHIKAWA K. Studies on garment compression: an estimation of garment compression by the dome method [J]. Sen-Ito Kogyo, 1986, 42: T475-T484.

[10] 潘科. 紧身针织服装压力性能测试与评价研究 [D]. 上海: 东华大学, 2013.

[11] AHMAD M, LUO J, MIRAFITAB M. Feasibility study of polyurethane shape-memory polymer actuators for pressure bandage application [J]. Science and Technology of Advanced Materials, 2012, 13(1):015006.

[12] 胡金莲, 范浩军. 智能热敏形状记忆聚合物及其应用 [J]. 纺织学报, 2005, 26(6):122-129.  
HU Jinlian, FAN Haojun. Thermal-sensitive intelligent polymers and their application [J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(6):122-129. (in Chinese)

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

[14] 王强, 陈东生, 魏取福. 服装压对人体影响的研究现状与前景 [J]. 纺织学报, 2009, 30(4):139-144.  
WANG Qiang, CHEN Dongsheng, WEI Qufu. Situation and prospects of the researches on clothing pressure effects on body [J]. Journal of Textile Research, 2009, 30(4):139-144. (in Chinese)

[15] SALLEH M N B, FOZI M A A, LAMSALI H B. The using of 3D handheld scanner to develop a pressure garment model [J]. Advanced Science Letters, 2017, 23(5):4383-4387.

[16] SALLEH M N B, LAZIM H B M, OTHMAN S N B, et al. Development of a flexible customised compression garment pattern design system [J]. International Journal of Advanced Mechatronic Systems, 2013, 5(3):202-208.

[17] OGAWA T, ASAYAMA M, ITO M, et al. Significance of skin pressure in body heat balance [J]. Japanese Journal of Physiology, 1979, 29(6):805-816.

[18] TOKURA H, KOMATSU Y, TAMURA N. Effects of skin pressure applied by clothing upon sweating rates in sedentary women [J]. Journal of Home Economics of Japan, 1983, 34(10):633-637.

[19] HOUGHTON L A, DAWSON B, MALONEY S K. Effects of wearing compression garments on thermoregulation during simulated team sport activity in temperate environmental conditions [J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2010, 12(2):303-309.

- [20] GOH S S, LAURSEN P B, DASCOMBE B, et al. Effect of lower body compression garments on submaximal and maximal running performance in cold (10 °C) and hot (32 °C) environments[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2011, 111(5): 819-826.
- [21] QUESADA J I P, LUCAS-CUEVAS A G, GIL-CALVO M, et al. Effects of graduated compression stockings on skin temperature after running[J]. *Journal of Thermal Biology*, 2015, 52: 130-136.
- [22] BARWOOD M J, CORBETT J, FENNEY J, et al. Compression garments; no enhancement of high-intensity exercise in hot radiant conditions[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2013, 8(5): 527-535.
- [23] GONZÁLEZALONSO J, TELLER C, ANDERSEN S L, et al. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat[J]. *Journal of Applied Physiology*, 1999, 86(3): 1032-1039.
- [24] 王雪, 方方. 服装压力舒适性研究分析[J]. *纺织科技进展*, 2015(1): 47-51.  
WANG Xue, FANG Fang. Research and analysis of clothing pressure comfort[J]. *Progress in Textile Science and Technology*, 2015(1): 47-51. (in Chinese)
- [25] KOLLURI R. Management of venous ulcers[J]. *Australasian Journal of Dermatology*, 2014, 17(2): 132-138.
- [26] MOSTI G. Compression and venous surgery for venous leg ulcers[J]. *Clinics in Plastic Surgery*, 2012, 39(3): 269-280.
- [27] WIENERT V, GERLACH H, GALLENKEMPER G, et al. Medical compression stocking (MCS) [J]. *Jddg Journal Der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 2010, 6(5): 410-415.
- [28] 古德兴, 虞秉儒. 压力裤压力对运动能力表现与服装舒适性之研究[J]. *华冈纺织期刊*, 2015, 22(3): 160-164.  
KU Tehsing, YU Bingru. The effects of compression tights pressure on the athletic performance and clothing comfort [J]. *Journal of the Hwa Gang Textile*, 2015, 22(3): 160-164. (in Chinese)
- [29] 黄亚南. 紧身着装作用对皮肤血流的影响研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2012.
- [30] ALI A, CAINE M P, SNOW B G. Graduated compression stockings: physiological and perceptual responses during and after exercise[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2007, 25(4): 413-419.
- [31] COOPER C B. Exercise testing and interpretation[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [32] 蔡娟娟. 紧身运动裤对运动机能的影响研究——对蹬踏运动的影响[D]. 苏州: 苏州大学, 2013.
- [33] KRAEMER W J, BUSH J A, NEWTON R U, et al. Influence of a compression garment on repetitive power output production before and after different types of muscle fatigue[J]. *Sports Medicine Training and Rehabilitation*, 1998, 8(2): 163-184.
- [34] DOAN B, KWON Y, NEWTON R, et al. Evaluation of a lower-body compression garment [J]. *Journal of Sports Sciences*, 2003, 21(8): 601-610.
- [35] SCANLAN A T, DASCOMBE B J, REABURN P R, et al. The effects of wearing lower-body compression garments during endurance cycling [J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2008, 3(4): 424.
- [36] KRAEMER W J, BUSH J A, TRAVIS T M N, et al. Compression garments; influence on muscle fatigue [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 1998, 12(4): 211-215.
- [37] BERRY M J, MCMURRAY R G. Effects of graduated compression stockings on blood lactate following an exhaustive bout of exercise [J]. *American Journal of Physical Medicine*, 1987, 66(3): 121-132.
- [38] KRAEMER W J, BUSH J A, WICKHAM R B, et al. Continuous compression as an effective therapeutic intervention in treating eccentric-exercise-induced muscle soreness[J]. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2001, 10(1): 11-23.
- [39] KRAEMER W J, BUSH J A, WICKHAM R B, et al. Influence of compression therapy on symptoms following soft tissue injury from maximal eccentric exercise[J]. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 2001, 31(6): 282-290.
- [40] KRAEMER W J, FLANAGAN S D, COMSTOCK B A, et al. Effects of a whole body compression garment on markers of recovery after a heavy resistance workout in men and women[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2010, 24(3): 804-814.

(责任编辑: 邢宝妹)