



紧身服装在提升自行车运动能力方面的研究综述

陆星辰,张洁*

摘要: 紧身服装目前已成为多数运动项目尤其是自行车项目中运动者常用的运动装备。紧身服装能够通过改善运动中的静脉回流、骨骼肌能量代谢以及减少运动过程中的肌肉振动来达到提升运动能力的效果。但普通的紧身服装不能对训练有素的运动员产生有效刺激,紧身服装压力过小不能有效改善运动能力,压力过大则会影响皮下组织中的血液流动。因此,从紧身服装影响运动能力的机制,紧身服装松紧度对运动能力的影响等方面进行论述,发现目前研究者对紧身服装提高运动能力进而改善运动员骑行效果的合适压力范围尚存争议,今后的研究要对合适的压力范围加以明确。

关键词: 紧身服装;自行车;运动能力

中图分类号:G818 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2020)05-0093-06

DOI:10.12064/ssr.20200513

A Review of Studies on Tight Fitting Clothing in Improving Cycling Performance

LU Xingchen, ZHANG Jie*

(Shanghai Research Institute of Sports Science & Shanghai Anti-Doping Agency, Shanghai 200030, China)

Abstract: Tight-fitting clothing has now become a common gear for athletes in most sports, especially cycling. Tight-fitting clothing can improve athletic ability by improving the venous reflux during exercise, energy metabolism of skeletal muscles, and reducing muscle vibration during exercise. However, ordinary tight-fitting clothing cannot effectively stimulate well-trained athletes. Too little pressure of tight-fitting clothing cannot effectively improve athletic ability, while too much pressure will affect blood flow in the subcutaneous tissue. Therefore, this article discusses the mechanism of tight clothing affecting athletic ability and the impact of clothing tightness on athletic ability, etc. It is found that currently the appropriate pressure range of tight fitting clothing to improve sports ability and thus improve the riding performance of athletes remains controversial among researchers, in view of which it is necessary to clarify the appropriate range of pressure in future researches.

Key Words: tight-fitting clothing; bicycle; athletic ability

紧身服装(Compression Garment, CG)是一种可以通过在身体表面施加机械压力的服装,最早用于治疗各种循环、淋巴疾病。紧身服装有压缩、稳定和支撑组织,维持肌肉功能和减轻运动损伤等功能并有助于提高运动能力,因此在体育界得到越来越多的关注。如今市面上的紧身服装款式多样,它们拥有不同的性能和特点,根据穿着部位的不同可以分为压力袜、压力袖、压力腰带、上身紧身服装、下身紧身服装和全身紧身服装。对于自行车运动装备,目前下身紧身服装为主要研究对象。当前研究表明,穿着紧身服装可以提高短距离骑行的最大功率、长距离骑行的平均功率,这可能由于紧身服装

能增加血流速度,为肌肉输送更多的氧气及葡萄糖,有助于血乳酸清除及氧化。此外,紧身服装还能在一定程度上减少肌肉振动、能量代谢。但是单纯穿着紧身服装的作用范围有限,紧身服装与紧身衣配合使用往往能取得更好的效果。但普通紧身服装可能不能刺激到训练有素的运动员,同时紧身服装压力过小不能改善运动能力,压力过大将对皮下组织中血液流动造成影响。因此紧身服装存在一个合适的压力范围能帮助运动员提高运动能力,但这个最佳压力范围目前仍不明确,今后还需要更多的相关研究探索,以供场地自行车运动员紧身服装设计作参考。

收稿日期:2019-09-24

基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目(19dz1200700)。

第一作者简介:陆星辰,女,硕士,研究实习员。主要研究方向:运动生物力学。E-mail:luxingchen@shriss.cn。

* 通信作者简介:张洁,女,博士,副研究员。主要研究方向:训练监控与机能评定。E-mail:zhj8641@hotmail.com。

作者单位:上海体育科学研究所(上海市反兴奋剂中心),上海 200030。



1 紧身服装与自行车运动

1.1 紧身服装松紧度对运动能力的影响

施加在身体上的压力主要取决于服装的机械性能,而机械性能与织物的性能和衣服的松紧度有关。不同的织物成分和织物方向对界面压力的影响不同^[1]。紧身服装上的扎带,特别是弹力扎带,也会形成相应压力。因此,在选择服装时不仅要选择适合自己的尺寸,也应该考虑织物的物理性能(如热阻、延伸和弹性)、织物结构、厚度、单位面积质量和纤维含量、覆盖的身体区域范围等。

适当的压力范围,能更好地激发运动员运动能力。Ali 等研究不同等级的分级加压长袜对 10 km 长跑的影响,4 个压力等级分别为 0 mmHg、12~15 mmHg、18~21 mmHg、23~32 mmHg,随后采用纵跳评价运动后腿部力量,结果发现 12~15 mmHg 与 18~21 mmHg 会更好维持耐力训练后腿部力量^[2]。傅维杰等对 12 名田径运动员分别在无紧度负荷、中等紧度负荷(66.4 N)和高等紧度负荷(85.8 N)3 种紧度条件下进行了 5 s 最大等长收缩和两种速度(60°/s 和 300°/s)下的连续 25 次最大伸膝等动向心运动测试,肌电结果为:无紧度>中等紧度>高等紧度,且具有显著性差异^[3]。Kraemer 等让受试者穿着标准尺寸的紧身短裤、小尺寸的紧身短裤和宽松的运动短裤,在测力台上分别进行 10 次连续的最大叉腰起跳动作,结果显示男性穿着标准尺寸紧身短裤平均功率大于小尺寸紧身短裤^[4]。然而也有研究并未发现不同尺寸紧身服装间的差异。Dascombe 等研究发现穿着正常尺寸紧身短裤和过小尺寸紧身短裤都会改变运动员生理参数、改善静脉血流,但这两种尺寸间没有差异^[5]。

当前大部分相关研究表明,身着紧身服装可以有效提高机体的运动能力,且紧身服装的松紧度不同对不同运动项目运动能力的提升有着不同的效果。

1.2 紧身服装松紧度在自行车运动中的应用

目前紧身服装已运用到多个领域,在自行车项目中也有较为广泛的应用。自行车骑行过程中不同肌肉的参与程度不同,对紧身服装的压力有不同需求。吴昕穗等研究不同压力程度(低压力、中压力、高压力)紧身裤对骑行运动下肢疲劳的影响,骑行运动中大腿前部股外侧肌和股直肌承受压力大于大腿后部肌肉,其中股外侧肌参与度低,较不易产生疲劳,而需要承受更多压力的股直肌易产生肌肉疲劳^[6]。穿着紧身裤能有效缓解股外侧肌和股二头肌的疲劳,但对股直肌与半腱肌效果

不明显。因此在骑行紧身服装设计时,可以重点对股直肌部位施加压力。同时,不同项目、不同身体部位对压力的要求并不相同,运动员身体的形态差异也可能影响施加的压力,因此高水平运动员的参赛紧身服装正逐渐走向定制化。因此,关于紧身服装是通过何种途径影响自行车运动员运动能力的研究尤为重要。

在自行车运动中,功率是反应骑行效果的重要指标,功率是踏蹬力和踏蹬速度的乘积。穿着紧身服装能增大运动员骑行功率。在重复冲刺骑行中,穿着紧身服装可以增大峰值功率,在耐力训练中,能提高平均功率。Broatch 等发现穿着紧身服装重复冲刺骑行时峰值功率增大^[7]。Driller 等^[8]和 Scanlan 等^[9]均发现穿着紧身服装长时间耐力骑行时平均功率增加。也有研究发现穿着紧身服装能维持肌肉力量,减少功率衰退^[2]。Argus 等让 11 名训练有素的自行车运动员进行 3 个 30 s 最大冲刺骑行,结果发现与被动恢复相比,穿着紧身服装功率衰减更为缓慢^[10]。Chatard 等让受试者穿着弹性加压长筒袜进行两次 5 min 的最大强度踏蹬,结果发现穿着加压长筒袜组的最大功率降低较少^[11]。De Glanville 研究发现在两次长时间骑行中穿着分级加压长裤恢复也能减少功率衰退^[2]。因此,无论在训练中或恢复中,穿着紧身服装都能减少功率衰退。虽然紧身服装不能增大肌肉力量,但是通过增加一定范围的紧度能够帮助肌肉在募集更少运动单位的情况下维持相似的力量输出,进而对肌肉疲劳恢复和长时间的运动能力产生积极的影响^[3]。

综上所述,自行车运动员的骑行效果与骑行功率密切相关,骑行功率又受到肌肉氧利用能力和肌肉耐力等多方面因素的影响。因此,本文对有关紧身服装提高自行车运动员运动能力进而提升骑行效果的机制进行总结,主要有以下几个方面。

2 紧身服装提高自行车运动能力的机制

紧身服装影响自行车运动员运动能力的主要机制见图 1。

2.1 紧身服装与静脉回流

运动紧身服通常使用分级紧身服装改善血液循环,分级加压意味着所施加的压力在远端时最高,在近端时最低,常使用在需要回流静脉血的部位,如四肢。但有些加压腿套施加的压力在远端最低,在近端最高,也能达到帮助静脉回流的效果^[12]。在医学文献中,紧身服装和压力绷带作为治疗循环系统疾病的一种方法,用于预防静脉淤滞和促进血液流动^[13]。

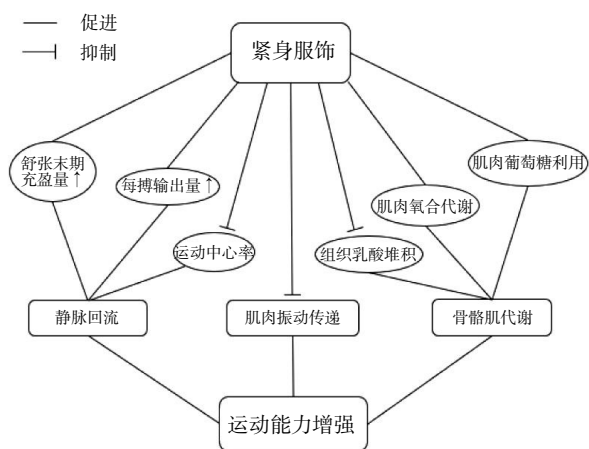


图1 紧身服装影响自行车运动员运动能力的主要机制
Figure 1 The Main Mechanism of Tight-Fitting Clothing Influencing the Athletic Ability of Cyclists

无论是在运动期还是恢复期,穿着下身紧身服装都能降低骑行时的心率^[7-8],但穿着上身紧身装置可能会增加心率与体温,并因此增加心血管和体温调节压力^[14]。这表明穿着紧身服装无论在运动期还是恢复期都能帮助静脉回流。紧身服装直接对皮肤施加压力,增加了静脉血流的线速度^[15-16],血液从外周重新分配到深静脉系统,有助于血液回流到心脏,从而增加心脏的舒张末期充盈量和每搏输出量,降低运动中的心率^[17]。运动期间,血液流量的增加可能有助于机体向运动肌肉输送氧气,从而提高机体运动能力。但是在运动期间,心率作为评价回心血流的一个指标,对于高水平运动员而言并不敏感^[9]。无论是在重复冲刺^[18]或耐力^[19]骑行期间,穿着分级加压紧身服装的运动员和对照组之间的心率没有差异,这可能由于运动员心肌泵血能力较高。

运动期间,血液流量的增加还有助于向运动肌肉输送氧气,从而提高运动表现。有研究发现,穿着紧身服装骑行时,股外侧肌血流量增高^[7]。肌肉血流量的增加可能归因于动脉,而不是压缩后的静脉变化。施加在肌肉上的外部压力可能会导致下层组织的压缩,从而降低局部小动脉的跨壁压力,导致反射性血管扩张,增加局部血流^[20]。然而,压力过大可能不利于皮下组织中的血液流动,或对恢复期肌肉血流造成不利影响。Born发现在短跑项目中,当服装下肢压力范围为8 mmHg、10 mmHg、14 mmHg、18 mmHg时,平均深静脉血流速度显著增加,且不会对小腿肌肉血流或皮下组织血流造成任何损害^[21]。当压力范围为26 mmHg、30 mmHg时也会导致平均深静脉血流速度增加,但会显著阻碍小腿皮下组织中血液的流动。Billy等采用正电子发射断层扫描技术,摄取6名

健康男性穿着紧身服装时和未穿着紧身服装时腿部的血流和葡萄糖,并进行测量,结果表明穿上具有37 mmHg外压的压缩短裤,在高强度踏蹬运动恢复期间可降低肌肉组织深部和浅部的血流,但不会影响股二头肌和股四头肌的葡萄糖摄取^[22]。

2.2 紧身服装与骨骼肌能量代谢

骑行功率的增高与葡萄糖代谢有关,穿着紧身服装进行骑行可使血液中的葡萄糖水平升高^[23]。由于血液运输的葡萄糖是肌肉糖原合成的一个重要组成,因此血流增加可能改变肌肉的葡萄糖利用率,最终影响糖原合成。

在长时间高强度间歇跑步运动中,发现穿着紧身服装可以改善肌肉氧合和相关肌肉代谢^[24]。但对于自行车运动,仅见穿着紧身服装对肌肉氧合经济型、厌氧阈值有增加趋势的研究结果^[9]。也有研究认为穿着紧身服装可以增加低强度骑行时的组织氧饱和度,但对高强度骑行没有影响。Boucourt等让11名运动员穿着小腿压缩套进行15 min递增负荷骑行,测试骑行期间和组织氧饱和度的变化。这项研究表明,在运动前、后低强度骑车时(40 W和80 W),穿着小腿压缩套能增加组织氧饱和度^[25]。在高强度运动(功率为120 W及以上)时,压缩套筒对增加组织氧饱和度没有帮助,对于骑行时肌肉氧合情况的影响有待进一步研究。

运动产生的代谢产物会使得血液酸碱度、碳酸氢盐浓度降低。乳酸升高可延缓肌肉糖酵解速率,抑制糖酵解酶的活性。穿着紧身服装使肌肉血流量增加,降低了血乳酸浓度,并提高恢复期乳酸清除和氧化作用^[26]。Chatard等让12名老年自行车运动员穿着弹性加压长筒袜进行两次5 min的最大强度踏蹬^[11]。研究发现,在恢复过程中,穿着加压长筒袜,血乳酸浓度和血细胞比容显著降低,但血浆容量增加不显著。但也有研究认为,紧身衣施加的压力不足以增加静脉回流^[9]。运动后,弹性压力减小静脉口径,限制了血管的扩张,使血液从这些区域分流开,从而减少乳酸、无机磷酸盐的扩散和氧气运输。Rimaud等让8名普通男性穿加压长袜或未加压袜子在功率自行车上进行了两次递增负荷踏蹬直至无法坚持,研究发现运动期间穿着加压长袜会导致血乳酸浓度升高,而恢复期间的乳酸消除能力增加^[27]。研究认为增强的乳酸清除能力是由于穿着加压长袜可能使无氧糖酵解的总体贡献更大,在恢复期穿着加压袜子导致血乳酸交换能力降低,提高的乳酸清除能力。此外,也有研究认为穿着紧身服装不会影响血乳酸水平^[18,10]。Broatch让20名运动爱好者穿着紧身或非紧



身短裤,在功率自行车上完成4组10×6 s最大冲刺骑行,结果发现两组的血液酸碱度、碳酸氢盐浓度没有差异^[7]。在递增骑行测试中,下半身紧身服(膝盖到脚踝)也不能改善训练对象的乳酸浓度^[28]。

2.3 紧身服装与肌肉振动

由于骑行路面的粗糙,室外自行车行驶时会产生约10~80 Hz^[29]或10~50 Hz^[30]的振动。振动会引起肌肉骨骼系统的生理和神经肌肉变化。影响振动程度的因素包括振动持续时间、先前累积的振动以及振动的强度和频率。与无振动骑行相比,振动会显著增加能量消耗和肺通气量^[31-32],这也是山地自行车骑行过程中所需功率较高的原因^[33]。场地自行车场地平滑,振动较小,穿着紧身服装可以使运动更舒适,但不一定能减少能量消耗。振动对肌肉活动的直接影响通常表现为会引起肌肉收缩和/或中枢神经系统的肌肉调节^[34],运动中通常需要不同的姿势控制策略,以尽量减少软组织振动^[35-36]。Lienhard等研究发现与无振动相比,振动可以增加33 kg的额外负荷,相当于体重的50%^[37]。而穿着紧身短裤可以有效减少肌肉振动的传递^[31,38]。

Hintzy等探究中不同程度的紧身短裤对自行车运动期间大腿振动和肌肉活动的影响^[39]。12名健康男性在一台专门设计的振动式功率车上进行18 min的骑行测试。测试了由2个功率车电阻强度(中、高)和3个振动频率(18.3 Hz、22.4 Hz和26.3 Hz,对应的转速为70 rpm、85 rpm和100 rpm)。当振动频率为22.4 Hz和26.3 Hz时,6 mmHg和15 mmHg的大腿压缩短裤可以显著降低大腿振动的传递率和股外侧肌肌肉活动,且振动越大,效果越大。

综上所述,运动员骨骼肌的做功能力和运动中的疲劳恢复能力是骑行功率的重要影响因素,而自行车运动员的骑行效果与骑行功率密切相关。对于大部分自行车项目运动员而言,紧身服装可以通过改善静脉回流和骨骼肌能量代谢以及减少运动过程中肌肉振动的途径来增强运动员运动能力,从而增加骑行功率,进而达到提高骑行效果的目的。

3 紧身服装与训练有素的运动员

当前有相关研究发现,训练有素的自行车运动员穿着紧身服装时,其运动能力并未出现显著提高。Kraemer等的研究发现,在等速膝关节伸展/弯曲运动中,紧身短裤组与非紧身短裤组在最大扭矩、总功率和最大下蹲重复次数方面均无显著差异^[40]。穿着紧身短裤并不能增加大腿重复发力的能力,也不会造成额外的疲劳。Burden等让10名训练有素的男性

运动员分别穿着非电离压缩紧身衣、电离压缩紧身衣或标准运动紧身衣,进行3次爆发力测试和3次耐力测试,发现服装类型对峰值功率、平均功率和疲劳的关键指标均无显著影响^[41]。

综上所述,虽然目前已有部分有关紧身服装对血流变化、骨骼肌能量代谢及运动中肌肉振动影响的相关研究,但这些研究尚未找到紧身服装通过影响血流变化、骨骼肌能量代谢及运动中肌肉振动传递从而影响运动员运动能力的最适合压力范围,在今后的研究中,需对不同压力紧身服装影响自行车运动员运动能力做进一步研究。

4 小结与展望

穿着紧身服装可以提高短距离骑行的最大功率和长距离骑行的平均功率。这可能是由于紧身服装对皮肤施加压力,使得血流速度增加,为肌肉输送更多的氧气及葡萄糖,同时也有助于血乳酸清除及氧化。此外,紧身服装一定程度上减少了肌肉振动,节省了能量消耗,从而提高运动能力。但紧身服装的作用范围有限,普通紧身服装可能不能刺激到训练有素的运动员。存在一个合适的压力范围能帮助提高骑行效果,但这个范围还需要今后更多的研究来发现。目前对于紧身服装压力的测试通常是针对服装本身的,对于运动时运动员受到的实际压力的研究较少。不同肌肉对压力的需求不同,在紧身服装定制时,可以对紧身服装做更精准的设计。此外,不同运动员之间存在生理结构及专业技术动作上的个体差异,在今后为自行车运动员设计紧身服装时,对不同运动员应进行个性化设计。

参考文献:

- [1] Wardingsih W., Troynikov O. Interface pressure generated by knitted fabrics of different direction, composition and number of layers in sport compression garments[J]. Journal of the Textile Institute, 2008, 110(6): 1-9.
- [2] Ali A., Creasy R. H., Edge J. A. The effect of graduated compression stockings on running performance[J]. Journal of Strength & Conditioning Research, 2011, 25(5): 1385-1392.
- [3] 傅维杰,刘宇,熊晓洁,等.外加弹性紧身装置对田径运动员下肢肌力、疲劳与肌肉活动的影响[J].中国运动医学杂志,2010,29(06):631-635.
- [4] Kraemer W. J., Bush J. A., Bauer J. A., et al. Influence of Compression Garments on Vertical Jump Performance in NCAA Division I Volleyball Players[J]. Journal of Strength & Conditioning Research, 1996, 10(1): 180-183.
- [5] Dascombe B. J., Hoare T. K., Sear J. A., et al. The Ef-



- ffects of Wearing Undersized Lower-Body Compression Garments on Endurance Running Performance[J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2011, 6(2): 160.
- [6] 吴昕穗,顾奇琦,方红琼,等.骑行运动裤压力与大腿疲劳关系研究[J].*时尚设计与工程*,2018(06) 25-30.
- [7] Broatch J. R., Bishop D. J., Halson S. Lower-Limb Sports Compression Garments Improve Exercise Performance and Muscle Blood Flow During Repeated-Sprint Cycling [J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2017, 13(7): 1-27.
- [8] 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 & Performance*, 2013, 8(3): 300-306.
- [9] 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 & Performance*, 2008, 3(4): 424.
- [10] Argus C. K., Driller M. W., Ebert T. R., et al. The effects of 4 different recovery strategies on repeat sprint-cycling performance[J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2013, 8(5): 542-548.
- [11] Chatard J. C., Atlaoui D., Farjanel J., et al. Elastic stockings, performance and leg pain recovery in 63-year-old sportsmen[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2004, 93(3): 347-352.
- [12] De Glanville K. M., Hamlin M. J. Positive Effect of Lower Body Compression Garments on Subsequent 40-kM Cycling Time Trial Performance[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2012, 26(2): 480-486.
- [13] Amaragiri S. V., Lees T. A. Elastic compression stockings for prevention of deep vein thrombosis (Cochrane Review)[J]. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2000, 196(3): 1484.
- [14] Leoz-Abaurrea I., Aguado-Jiménez R. Upper Body Compression Garment: Physiological Effects While Cycling in a Hot Environment[J]. *Wilderness & Environmental Medicine*, 2017, 28(2):94-100.
- [15] Ibegbuna V., Delis K. T., Nicolaidis A. N., et al. Effect of elastic compression stockings on venous hemodynamics during walking[J]. *Journal of Vascular Surgery*, 2003, 37(2): 420-425.
- [16] Lawrence D., Kakkar V. V. Graduated, static, external compression of the lower limb: A physiological assessment[J]. *British Journal of Surgery*, 2010, 67(2): 119-121.
- [17] Agu O. Graduated compression stockings in the prevention of venous thromboembolism[J]. *British Journal of Surgery*, 1999, 86(8): 992-1004.
- [18] Duffield R., Portus M. Comparison of three types of full-body compression garments on throwing and repeat-sprint performance in cricket players[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2007, 41(7): 409-414.
- [19] Berry M. J., Bailey S. P., Simpkins L. S., et al. The effects of elastic tights on the post-exercise response[J]. *Can. J. Sport Sci.*, 1990, 15(4): 244.
- [20] Bochmann R. P., Woldemar S., Elke H., et al. External compression increases forearm perfusion[J]. *Journal of Applied Physiology*, 2005, 99(6): 2337-2344.
- [21] Born D. P., Holmberg H. C., Goernert F., et al. A novel compression garment with adhesive silicone stripes improves repeated sprint performance-a multi-experimental approach on the underlying mechanisms[J]. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 2014, 6(1): 21.
- [22] Billy S., Dennis-Peter B., Kimmo K., et al. Squeezing the Muscle: Compression Clothing and Muscle Metabolism during Recovery from High Intensity Exercise[J]. *Plos One*, 2013, 8(4): e60923.
- [23] Jentjens R., Jeukendrup A. E. Determinants of Post-Exercise Glycogen Synthesis During Short-Term Recovery [J]. *Sports Medicine*, 2003, 33(2): 117-144.
- [24] Sear J. A., Hoare T. K., Scanlan A. T., et al. The Effects of Whole-Body Compression Garments on Prolonged High-Intensity Intermittent Exercise[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2010, 24(7): 1901-1910.
- [25] Boucourt B., Bouhaddi M., Mourou L., et al. Changes in tissue oxygen saturation with calf compression sleeve: Before, during and after a cycling exercise[J]. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 2015, 55(12): 1497-1501.
- [26] Berry M. J., McMurray R. G. Effects of graduated compression stockings on blood lactate following an exhaustive bout of exercise[J]. *Am. J. Phys. Med.*, 1987, 66(3): 121-132.
- [27] Rimaud D., Calmels P., Frédéric R., et al. Effects of Graduated Compression Stockings on Cardiovascular and Metabolic Responses to Exercise and Exercise Recovery in Persons With Spinal Cord Injury[J]. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 2007, 88(6):703-709.
- [28] 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 & Performance*, 2013, 8(3):300-306.
- [29] Lépine J., Champoux Y., Drouet J. M. A Laboratory Excitation Technique to Test Road Bike Vibration Transmission[J]. *Experimental Techniques*, 2013, 40(1): 1-8.
- [30] Olieman M., Marin-Perianu R., Marin-Perianu M. Measurement of dynamic comfort in cycling using wireless acceleration sensors[J]. *Procedia Engineering*, 2012, 34(4): 568-573.



- [31] Sperlich B., Kleinoeder H., De Marées M., et al. Physiological and perceptual responses of adding vibration to cycling[J]. *Journal of Exercise Physiology online*, 2009, 12(2):40-46.
- [32] Filingeri D., Jemni M., Bianco A., et al. The effects of vibration during maximal graded cycling exercise: a pilot study[J]. *Journal of Sports Science & Medicine*, 2012, 11(3): 423-429.
- [33] Macdermid P., Fink P., Stannard S. Quantification of vibrations during mountain biking[J]. *Journal of Science and Cycling*, 2014, 3(2): 17.
- [34] Cardinale M., Wakeling J. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you[J]. *Br. J. Sports Med.*, 2005, 39(9): 585.
- [35] Nigg B. M., Wakeling J. M. Impact forces and muscle tuning: a new paradigm[J]. *Exercise & Sport Sciences Reviews*, 2001, 29(1): 37.
- [36] Abercromby A. F. J., Amonette W. E., Layne C. S., et al. Variation in Neuromuscular Responses during Acute Whole-Body Vibration Exercise[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2007, 39(9): 1642.
- [37] Lienhard K., Cabasson A., Meste O., et al. Determination of the optimal parameters maximizing muscle activity of the lower limbs during vertical synchronous whole-body vibration[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2014, 114(7): 1493-1501.
- [38] Del Coso J., Areces F., Salinero J. J., et al. Compression stockings do not improve muscular performance during a half-ironman triathlon race[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2014, 114(3): 587-595.
- [39] Hintzy F., Gregoire N., Samozino P., et al. Effect of Thigh-Compression Shorts on Muscle Activity and Soft-Tissue Vibration During Cycling[J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2019, 33(8): 2145-2152.
- [40] Kraemer W. J., Bush J. A., Triplett-Mcbride N. T., et al. Compression Garments: Influence on Muscle Fatigue[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 1998, 12(4): 211-215.
- [41] Burden R. J., Glaister M. The Effects of Ionized and Non-ionized Compression Garments on Sprint and Endurance Cycling[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2012, 26(10): 2837.

(责任编辑:刘畅)

(上接第 82 页)

- [84] 张海滨.训练负荷的变化对优秀排球运动员脑电的影响[C].2015 年第十届全国体育科学大会论文摘要汇编(二),2015:1680-1681.
- [85] 王新平.不同角色女子排球运动员视觉搜索策略与预测能力及其神经机制的研究[D].上海:上海体育学院,2010.
- [86] 何洋.山西女子沙滩排球运动员赛前脑机能特点研究[J].*运动*,2011,24(08):47-49.
- [87] 李四化,初悦,王晓媛.排球专修与新手大学生接扣球预判的 ERP 和眼动特征[A].2014 年中国运动生理生化学术会议论文集,2014:131-132.
- [88] 王峥.射箭与篮球运动员脑自动化加工的事件相关电位研究[D].北京:首都体育学院,2008.
- [89] 朱泳,高俊,黄滨,等.基于眼动和 EEG 对篮球罚球思维调控特征的分析[J].*天津体育学院学报*,2014,29(4): 313-318.
- [90] 聂荣彪.高校高水平篮球运动员运动信息体验的时距知觉特征及 ERP 研究[D].长沙:湖南师范大学,2015.
- [91] 孙连洁.足球运动员预测能力的神经心理机制研究[D].上海:上海体育学院,2011.
- [92] 张嘉伟.足球守门员在防守点球情境中的预判特征——来自眼动和 ERP 的证据[D].成都:成都体育学院,2017.
- [93] Moritz K., Uwe F., Benjamin S., et al. Theta-gamma coupling during episodic retrieval in the human EEG [J]. *Brain Research*, 2014,1577: 57-68.
- [94] Paul S., Charline P., Anna L. B., et al. Does cross-frequency phase coupling of oscillatory brain activity contribute to a better understanding of visual working memory? [J]. *British Journal of Psychology*, 2019, 110: 245-255.
- [95] Sebastian W., Ellen B., Philipp M. K., et al. Motor skill failure or flow-experience? Functional brain asymmetry and brain connectivity in elite and amateur table tennis players[J]. *Biological Psychology*, 2015, 105: 95-105.
- [96] Zargol M., Dante M., Alla Y., et al. Changes in intrinsic functional connectivity and group relevant salience: The case of sport rivalry[J]. *Behavioural Brain Research*, 2017, 322:126-135.
- [97] Christoph J., Cornelia H. The spatio-temporal dynamics of deviance and target detection in the passive and active auditory oddball paradigm: a sloreta study[J]. *BMC Neuroscience*, 2018,10:19-25.
- [98] Mustafa Y., Mustafa U., Mukadder O. A comprehensive sLORETA study on the contribution of cortical somatomotor regions to motor imagery[J]. *Brain Science*, 2019, 9:372.

(责任编辑:刘畅)