



赛前加压训练结合冲刺间歇训练对公路自行车运动员运动能力的影响

唐一丹, 屈成刚 *

摘要:目的: 比较在赛前训练阶段采用加压训练结合 SIT 训练与单独 SIT 训练对公路自行车运动员运动能力的影响。方法: 将 12 名云南省女子公路自行车运动员随机分为两组, 在训练前后分别进行身体成分测试、递增负荷测试和 Wingate 无氧功测试。结果: (1) 两组运动员训练前后体重、肌肉量无明显变化, 加压组体脂率较训练前差异呈显著性 ($P < 0.05$), 对照组骨骼肌含量较训练前有显著差异 ($P < 0.05$); (2) 训练后加压组最大摄氧量相对值、无氧阈心率、最大心率与每搏输出量较训练前差异非常显著 ($P < 0.01$), 最大有氧输出功率较训练前差异呈显著性 ($P < 0.05$), 对照组各指标的变化趋势与加压组相似, 但增长幅度较加压组小, 无氧阈心率、最大心率较训练前差异呈显著性 ($P < 0.05$), 每搏输出量较训练前差异呈非常显著性 ($P < 0.01$), 两组运动员 VE 均较训练前有所下降; (3) 训练后加压组峰值功率、相对峰值功率、平均功率、相对平均功率较训练前差异呈显著性 ($P < 0.05$); 对照组峰值功率与相对峰值功率较训练前差异呈显著性 ($P < 0.05$); 平均功率与相对平均功率较训练前稍有下降。结论: (1) 赛前 3 周加压训练结合 SIT 训练和单纯 SIT 训练均可引起机体蛋白质分解代谢和降解加速, 而导致骨骼肌含量下降; (2) 赛前加压训练结合 SIT 训练和单纯 SIT 训练均可有效提高公路自行车运动员的有氧运动能力, 且加压训练结合 SIT 训练较单纯 SIT 训练的增长幅度更明显, 训练效果更佳; (3) 赛前加压训练结合 SIT 训练可有效提升公路自行车运动员爆发力水平和无氧耐力水平。

关键词: 加压训练; 冲刺间歇训练; 公路自行车; 运动能力; 赛前

中图分类号: G808 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2020)04-0082-11

DOI: 10.12064/ssr.20200412

Effect of Pre-competition KAASSTU Training Combined with Sprint Interval Training on the Performance of Road Cyclists

TANG Yidan, QU Chenggang*

(Sports Science Research Institute of Yunnan Province, Kunming 650041, China)

Abstract: Objective: To compare the effects of the pre-competition KAASSTU training combined with sprint interval training and the sprint interval training alone on the performance of road cyclists. Methods: 12 female road cyclists from Yunnan Province were randomly divided into two groups. Their body composition test, incremental load test and Wingate anaerobic test were conducted before and after the training. Results: (1) There were no significant changes in body weight and muscle mass between the two groups before and after training. The body fat rate of the experimental group was significantly different from that before training ($P < 0.05$), while the skeletal muscle mass of the control group was significantly different ($P < 0.05$); The VO_{2max}/kg , HR_{AT} , HR_{max} and SV of the KAASSTU training group were very significantly different from those before training ($P < 0.01$); and the

收稿日期: 2019-12-10

第一作者简介: 唐一丹, 女, 硕士, 助理研究员。主要研究方向: 高原训练与体能训练。E-mail: 248216430@qq.com。

* 通信作者简介: 屈成刚, 男, 硕士, 研究员。主要研究方向: 高原训练与自行车训练。E-mail: ynssiqcg@126.com。

作者单位: 云南省体育科学研究所, 云南 昆明 650041。



Aerobic Peak Power Output was significantly different from that before training ($P<0.05$). The change in each indicator of the control group was similar to that of the experimental group, but with a smaller growth rate. The HR_{AT} and HR_{max} of the control group were significantly different from those before training ($P<0.05$). The SV was very significantly different from that before training ($P<0.01$). The VE of both groups decreased after training. (3) The P_{peak} , P_{peak}/kg , P_{mean} , and P_{mean}/kg of the KAASTU training group after training were significantly different from those before training ($P<0.05$). For the control group, P_{peak} and P_{peak}/kg were significantly different from those before training ($P<0.05$); while the P_{mean} and P_{mean}/kg decreased slightly after training. Conclusions: (1) The 3-weeks KAASTU training combined with SIT training and SIT training alone before the competition both can accelerate protein catabolism and degradation, which lead to the decrease of skeletal muscle mass. (2) Pre-competition KAASTU training combined with SIT training and SIT training alone can effectively improve the aerobic exercise ability of road cyclists. But the growth rate of the KAASTU training combined with SIT training is more obvious than that of the SIT training alone, which can result in a better training effect. (3) Pre-competition KAASTU training combined with SIT training can effectively improve the explosive strength level and anaerobic endurance level of road cyclists.

Key Words: KAASTU training; sprint interval training; road cycling; sport ability; pre-competition

赛前训练是指在全年训练中的比赛前,为使运动员在重大比赛中表现出最佳竞技状态、创造优异成绩而进行的专门准备的训练全过程^[1]。赛前训练阶段训练负荷的把握、训练手段的安排直接影响到运动员比赛的竞技状态,这足以体现赛前训练的重要性。近年来,加压训练(KAASTU Training)又称血流限制训练(Blood Flow Restriction Training, BFRT)以“低强度、高效益、低风险”的特点,广泛应用于康复医疗和大众健身等领域。加压训练是采用专业的绑带,对上肢或下肢近心端施加一定的压力,使静脉血液循环受到适度限制,并在此状态下进行相应训练的训练手段。已有大量的研究和实践证实,加压训练可以通过较小的负荷(20%~40% 1RM)达到与无加压状态下抗组训练(60%~86% 1RM)的增肌效果^[2-6]。同样,也有大量研究发现,加压训练不仅可以提高肌力,而且对耐力有良好的促进作用^[7-10],以上研究的对象主要是普通人或一些康复患者。近两年,加压训练在竞技体育领域得到广泛的应用和推广,也有少量关于加压训练在竞技体育应用中的研究报道,这些研究也证实了加压训练在田径、足球、水球、橄榄球、网球等项目中的应用效果。研究发现,加压训练可有效地提高运动员的运动表现,如在等速肌力、爆发力、无氧代谢能力、灵敏素质、有氧水平、抗氧化能力等方面均有良好的促进作用^[11-15]。但以上研究所采用加压训练模式均为非专项训练模式。目前,国内外尚未有加压训练结合专项训练的研究报道,特别是加压训练结合冲刺间歇训练(Sprint Interval Training, SIT)在自行车项目赛前专项训练中。因此,本研

究旨在探讨加压训练结合 SIT 训练在赛前训练中对公路自行车项目运动员运动能力的影响,探索加压训练的新训练模式。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究以 12 名云南自行车队公路组女子运动员为实验对象,其中健将级运动员 4 名,一级运动员 4 名,二级运动员 4 名;所有运动员身体健康,无影响正常训练的重大伤病。将 4 名健将级运动员随机分为两组,2 人为一组;将 4 名一级运动员随机分为两组,2 人为一组;将 4 名二级运动员随机分为两组,2 人为一组;然后将 3 个级别的运动员随机组合成两组,每组 6 人,即每组均有 2 名健将级运动员、2 名一级运动员和 2 名二级运动员。将两组运动员分成加压组 and 对照组,加压组进行加压训练结合 SIT 训练;对照组仅进行 SIT 训练。两组运动员身高、体重和体能状况[使用递增负荷测试获得最大摄氧量(VO_{2max})]组间无差异。基本情况见表 1。参与实验运动员教练为同一人,实验干预前均进行相同训练负荷结构的有氧训练,所有运动员均无加压训练经历。

1.2 研究方法

1.2.1 训练方案

1.2.1.1 赛前训练周期安排

赛前训练是为把运动员引入较高的竞技水平,创造优异运动成绩所做的专门性准备训练过程,赛前阶段需根据运动项目和运动员特点确定训练时

表 1 研究对象基本情况 (N=12) ($\bar{X} \pm SD$)Table 1 Basic Information of Subjects(N=12)($\bar{X} \pm SD$)

组别	人数	年龄 / 岁	身高 /cm	体重 /kg	VO _{2max} /kg/(mL/kg·min)	P _{max} /W
加压组	6	19.3±1.03	164.8±4.75	56.2±1.97	60.0±3.16	293.3±5.16
对照组	6	19.7±1.37	165.5±2.43	55.9±1.68	62.7±4.84	301.7±19.41

注:VO_{2max}/kg 为最大摄氧量相对值,由递增负荷测试获得;P_{max} 为最大有氧输出功率,为递增负荷测试过程中 VO_{2max} 时所对应的峰值输出功率

间。根据多年赛前训练的实践与经验,本项目的赛前训练时间为赛前 4 周(前 3 周为减量上强度阶段,最后 1 周为下高原、调整阶段)。本研究将实验安排在赛前训练前 3 周的减量上强度阶段,训练地点为昆明呈贡体育训练基地(海拔 1 900 m)。

1.2.1.2 训练方法

两组运动员均以 4 d 为一个小周期(前 3 d 为训练日,第 4 天为调整日),并以此进行周期训练,总实验时间为 21 d。为保证训练质量,将实验训练课安排在每一小周期的第 1 天下午进行(即第 1 天、第 5 天、第 9 天、第 13 天、第 17 天和第 21 天,共计 6 次),当日上午以 60%~65%VO_{2max} 强度公路骑行 3 h(约 100 km);其余 3 d 两组的训练计划相同(即第 2 天和第 3 天均以 65%~75% VO_{2max} 强度分别公路骑行 140 km 和 120 km,第 4 天公路放松骑行 2 h)(小周期训练负荷安排见表 2);在此期间周训练负荷量仅为之前周训练负荷量的 60%。

表 2 两组运动员训练小周期负荷安排

Table 2 Mini-cycle Load Plan for Two Groups of Cyclists

时间	加压组	对照组
第 1 天 上午	3 h(60%~65%VO _{2max} 强度)	
下午	加压+SIT	SIT
第 2 天 上午	140 km(65%~75%VO _{2max} 强度)	
下午	1 h 牵拉放松	
第 3 天 全天	120 km(70%~75%VO _{2max} 强度)	
第 4 天 全天	2 h(50%~55%VO _{2max} 强度)	

实验训练在功率自行车(Wattbike PRO,英国)上进行,两组运动员进行相同的准备活动。训练时两组运动员均执行相同的 SIT 训练负荷方案,SIT 训练负荷安排参照屈成刚研究成果^[16]。为便于描述 SIT 训练负荷安排,SIT 训练安排表示为:训练频率×干预天数[负荷次数×负荷持续时间(负荷强度)/间歇休息时间(间歇休息强度)]×组数[组间歇时间(组间间歇强度)],即本研究 SIT 训练安排为:1 节/4d×21d[8~12×30s(全力)/3 min(60%~65% VO_{2max})]×2~3[7 min(60%~65%VO_{2max})](训练负荷安排详见表 3)。为确保每节训练课和每组训练的负荷强度和训练效果,训练

持续情况根据训练期间运动员血乳酸和输出功率的变化情况而定(每组训练后即刻血乳酸值不得高于上一组乳酸值 2 mmol/L、平均输出功率不得低于上一组平均输出功率的 95%。否则即刻停止训练)。训练负荷强度参照运动员个人在递增负荷测试过程中达到 VO_{2max} 时所对应的峰值输出功率,每名运动员的负荷强度均为其个人 VO_{2max} 强度的百分比,即每名运动员的负荷强度其实是有所差异的。从训练完成情况来看,每名运动员均能按照要求完成既定训练计划。由于目前并未查阅到有关 Lode Excalibur 功率自行车与 Wattbike 功率自行车在输出功率方面相关性的研究,因此,在训练之前特将两款功率自行车在相同情况下的输出功率进行了大致对比。具体方法如下:采用 Wattbike 功率自行车内置“10 min 渐进”程序所测峰值功率与递增负荷测试过程中达到 VO_{2max} 时所对应的峰值输出功率进行对比,换算比值,以此比值来设置训练时 Wattbike 功率自行车的功率。

表 3 运动员 SIT 训练负荷方案

Table 3 SIT Training Load Program for Cyclists

时间	组数 [#]	训练			间歇	
		时间/s	踏频/rpm	负荷强度	时间/min	踏频/rpm 间歇强度
第 1 天	8					
第 5 天	12					
第 9 天	12	30 s	115~120	全力*	3	90~100 60%~65% VO _{2max}
第 13 天	12					
第 17 天	12					
第 21 天	10					

注:*表示能保证规定踏频的最大阻力骑行;#表示每节实验训练课运动员训练的总组数

正式训练时,加压组运动员双下肢着日本 KAATSU Master 加压训练设备。按该加压训练设备操作规范,下肢加压带捆绑于大腿中上 1/3 处,并与大腿纵轴垂直,加压带宽度 5 cm,捆绑压控制在 40~50 mmHg 之间,训练时压力为 200 mmHg。每组训练结束后立即释放压力,运动员进行积极性恢复,待下一组训练开始前 1 min,再加压至 200 mmHg。对照组运动员不佩戴加压训练带。



1.2.3 实验设计

为比较两种训练手段在赛前训练阶段对受试运动员运动能力(有氧和无氧能力)的影响,分别在训练前后(训练前为实验训练课 3 d 前,训练后为实验训练课后第 2 天)对所有受试运动员进行身体成分测试、递增负荷测试及无氧功测试;测试均在云南省体育科学研究所运动机能实验室进行(海拔 1 900 m),训练地海拔与测试点海拔几乎相同,不存在海拔变化对运动员运动能力的影响。

1.2.3.1 身体成分测试

使用体成分分析仪(Inbody720,韩国)进行身体成分测试,测试时间为清晨空腹、大小便后,且两次测试均着相同的连体骑行服。测试指标包括体重(body mass)、肌肉量(muscle mass)、骨骼肌含量(skeletal muscle mass)、体脂肪(body fat mass)、体脂百分比(percent body fat)。

1.2.3.2 递增负荷测试

使用肺功能测试仪(Cortex Metalyzer 3B,德国)和功率自行车(Lode Excalibur,荷兰)进行递增负荷测试。严格控制实验室环境条件(室温 22~25 ℃,湿度 60%~65%),并在测试之前对仪器进行气压、容量和标准气体(CO₂:5%;O₂:16%;N₂:79%)校准。测试负荷变化由专业电脑软件根据负荷方案控制负荷递增和运动时长。测试全程均佩戴心率表(Polar RS800 CX,芬兰),对受试运动员心率(HR)进行监控和记录。

递增负荷方案:充分准备活动(首先以 80W 的功率自由骑行 10 min,然后在 5 min 之内将负荷逐渐增至 4 W/kg 体重,并保持此功率骑行 2 min,再将负荷降至 100 W,放松骑行 5 min)后,休息 5 min。调试好功率自行车的座高、扶把位置等,准备开始正式测试。正式测试时,首先以 50 W 的功率进行 2 min 的适应骑行,随后以 80 W 为起始负荷,并以 10 W/30 s 的负荷递增,运动至力竭。在整个测试过程中,要求踏频保持在 85~90 rpm,低于 85 rpm 时测试人员给予提示,连续 3 次提示不能保持此踏频或运动员主动汇报不能继续时,被认为已达到力竭,即终止测试。递增负荷测试中满足以下 3 个标准且摄氧量不再升高时认为达到 VO_{2max}:血乳酸≥7.00 mmol/L、呼吸商≥1.10、HR_{max}≥95%(220-年龄)。测试过程中测试人员给予受试运动员鼓励,使运动员尽全力完成测试。运动员自开始测试前 3 min 至测试结束后 3 min 佩戴呼吸面罩,面罩连接气体分析仪,收集运动过程中运动员呼出和吸进的气体,采用每次呼吸法测试其气体代谢情况。测试指标包括最大摄氧量相对值

(VO_{2max}/kg)、最大摄氧量绝对值(VO_{2max})、每分通气量(VE)、无氧阈心率(HR_{AT})、无氧阈输出功率(P_{AT})、最大摄氧量心率(HR_{max})、最大有氧输出功率(P_{max})及每搏输出量(SV)。HR_{AT}及 P_{AT}均由测试系统自动生成;SV 是基于 Stringer 等^[17]提出的 Fick 方程计算而得,计算方程如下:

$$SV=100\times(VO_{2max}/16.22)/HR$$

1.2.3.3 无氧功测试

在递增负荷测试 1.5 h 后,进行无氧功测试。测试之前同样要求运动员在备用功率自行车上以 100 W 的功率骑行 5 min,然后全力冲刺 2 个 10 s,间隔 4 min,之后以 80 W 的功率恢复骑行 4 min。下车休息 5 min 后,调试好测试功率自行车的座高、扶把位置等,准备开始正式测试。

无氧功测试采用标准 30 s Wingate 测试方法进行。测试人员事先将无氧功测试方案输入专用 Wingate 测试软件(Lode Ergometry Manager);阻力设定:功率自行车阻力(Nm)=阻力系数(Nm/kg)×体重(kg),阻力系数均为 0.86^[18]。正式测试时,被试运动员原地起动,测试人员倒数以提示运动员开始,运动员以本人最快踏蹬频率踏蹬自行车,测试人员、教练不断给予鼓励和时间提示,促使受试运动员发挥出最大能力,坚持以最高水平骑行至规定时间(30 s)结束。

测试指标包括:峰值功率(P_{peak})、平均输出功率(P_{mean})、相对峰值功率(P_{peak}/kg)、相对平均输出功率(P_{mean}/kg)。

1.2.4 统计分析

所有测试结果以平均值±标准差表示,使用 SPSS23.0 进行统计学分析。训练前后的组内变化采用配对样本非参数检验,训练前后的组间比较采用方差分析(ANOVA)。显著性差异表示为 P<0.05,非常显著性差异表示为 P<0.01。

2 研究结果

2.1 训练前后身体成分各指标变化

训练前后身体成分各项指标的变化情况见表 4。加压组训练前后体重、肌肉量、骨骼肌含量无明显变化,下降幅度不足 1%;其体脂肪与体脂率较训练前分别下降 3.09%和 2.31%,其中体脂率较训练前呈显著性差异(P<0.05)。对照组体重与肌肉量训练前后无明显变化,下降幅度不足 1%;骨骼肌含量、体脂肪与体脂率较训练前分别下降 1.17%、2.00%和 2.27%,其中骨骼肌含量较训练前有明显差异(P<0.05)。

表 4 训练前后体成分测试各项指标变化 (N=12) ($\bar{X}\pm SD$)Table 4 Index Changes of Body Composition Test before and after Training(N=12)($\bar{X}\pm SD$)

指标	组别	实验前	实验后	变化增量(Δ)	变化率/%
体重/kg	加压组	56.2 $\pm$ 1.97	56.1 $\pm$ 1.79	-0.08 $\pm$ 0.32	-0.18
	对照组	55.9 $\pm$ 1.68	55.8 $\pm$ 1.41	-0.02 $\pm$ 0.28	-0.18
肌肉量/kg	加压组	43.6 $\pm$ 1.74	43.4 $\pm$ 1.99	-0.15 $\pm$ 0.46	-0.46
	对照组	43.5 $\pm$ 1.50	43.1 $\pm$ 1.75*	-0.38 $\pm$ 0.34	-0.92
骨骼肌含量/kg	加压组	25.7 $\pm$ 1.16	25.5 $\pm$ 1.29	-0.13 $\pm$ 0.23	-0.78
	对照组	25.7 $\pm$ 1.18	25.4 $\pm$ 1.22*	-0.25 $\pm$ 0.16	-1.17
体脂肪/kg	加压组	9.7 $\pm$ 1.20	9.4 $\pm$ 0.96	-0.27 $\pm$ 0.29	-3.09
	对照组	10.0 $\pm$ 2.47	9.8 $\pm$ 2.28	-0.12 $\pm$ 0.38	-2.00
体脂率/%	加压组	17.3 $\pm$ 1.99	16.9 $\pm$ 1.75*	-0.32 $\pm$ 0.28	-2.31
	对照组	17.6 $\pm$ 3.73	17.2 $\pm$ 3.98	-0.33 $\pm$ 1.80	-2.27

注:变化率=(训练后值-训练前值)/训练前值 $\times$ 100%;*表示组内训练前后比较差异呈显著性, $P<0.05$

2.2 训练前后递增负荷测试各指标变化

训练前后递增负荷测试各项指标变化情况见表 5。加压组训练后 VO_{2max}/kg 、 VO_{2max} 、 HR_{AT} 、 P_{AT} 、 HR_{max} 、 P_{max} 、SV 均有不同程度的提升,提升幅度分别为 6.33%、3.19%、4.35%、3.27%、4.57% 和 3.08%,且 VO_{2max}/kg 、 HR_{AT} 、 HR_{max} 与 SV 较训练前呈非常显著性差异($P<0.01$), P_{max} 较训练前呈显著性差异($P<0.05$)。对照组以上各指标的变化趋势与加压组相似,但增长幅度较加压组小,训练后 VO_{2max}/kg 、 HR_{AT} 、 P_{AT} 、 HR_{max} 、最大摄氧量输出功率、SV 增幅分别为 2.07%、1.62%、2.52%、1.12%、1.09% 和 2.54%, HR_{AT} 、 HR_{max} 较训练前呈显著性差异($P<0.05$),SV 较训练前呈非常显著性差异($P<0.01$)。两组运动员训练后 VE 均较训练前有所下降,降幅分别为 1.09% 和 2.26%。以上各指标,训练前和训练后两组运动员组间比较无显著性差异($P>0.05$)。

表 5 训练前后递增负荷测试各项指标变化 (N=12) ($\bar{X}\pm SD$)Table 5 Index Changes of Incremental Load Test before and after Training(N=12)($\bar{X}\pm SD$)

指标	组别	实验前	实验后	变化增量(Δ)	变化率/%
最大摄氧量相对值/(mL/kg $\cdot$ min)	加压组	60.0 $\pm$ 3.16	63.8 $\pm$ 2.14**	3.83 $\pm$ 1.72	6.33
	对照组	62.7 $\pm$ 4.84	64.0 $\pm$ 4.60	1.33 $\pm$ 1.21	2.07
最大摄氧量绝对值/(L $\cdot$ min ⁻¹)	加压组	3.37 $\pm$ 0.14	3.55 $\pm$ 0.19	0.06 $\pm$ 0.23	5.34
	对照组	3.51 $\pm$ 0.22	3.57 $\pm$ 0.19	0.15 $\pm$ 0.07	1.71
无氧阈心率/(b $\cdot$ min ⁻¹)	加压组	153.8 $\pm$ 4.36	158.7 $\pm$ 5.24**	4.83 $\pm$ 1.94	3.19
	对照组	154.7 $\pm$ 1.75	157.2 $\pm$ 0.98*	2.50 $\pm$ 1.76	1.62
无氧阈功率/W	加压组	193.3 $\pm$ 5.16	201.7 $\pm$ 9.83	8.33 $\pm$ 13.29	4.35
	对照组	198.3 $\pm$ 7.53	203.3 $\pm$ 10.33	5.00 $\pm$ 5.48	2.52
每分钟通气量/(L $\cdot$ min ⁻¹)	加压组	138.1 $\pm$ 13.44	136.6 $\pm$ 12.70	-1.55 $\pm$ 2.27	-1.09
	对照组	141.9 $\pm$ 5.72	138.7 $\pm$ 5.76	-3.25 $\pm$ 0.66	-2.26
最大有氧心率/(b $\cdot$ min ⁻¹)	加压组	177.2 $\pm$ 2.79	183.0 $\pm$ 4.43**	5.83 $\pm$ 2.14	3.27
	对照组	178.8 $\pm$ 2.93	180.8 $\pm$ 4.17*	2.00 $\pm$ 1.41	1.12
最大有氧功率/W	加压组	293.3 $\pm$ 5.16	306.7 $\pm$ 12.11*	13.33 $\pm$ 10.33	4.57
	对照组	301.7 $\pm$ 19.41	305.0 $\pm$ 15.17	3.33 $\pm$ 12.11	1.09
每搏输出量/(mL $\cdot$ b ⁻¹)	加压组	116.7 $\pm$ 4.92	120.3 $\pm$ 4.32**	3.60 $\pm$ 1.93	3.08
	对照组	117.9 $\pm$ 6.42	120.9 $\pm$ 5.90**	2.96 $\pm$ 1.26	2.54

注:*表示组内训练前后比较差异呈显著性, $P<0.05$;**表示组内训练前后比较差异呈非常显著性, $P<0.01$

比较组内个体间差异显示,加压组 VO_{2max}/kg 、 HR_{AT} 、 P_{max} 、SV 均较对照组有更明显的增幅。加压组各运动员 VO_{2max}/kg 均有不同程度的增加,增加幅度在 1~6 mL/kg $\cdot$ min 之间,平均增加 3.83 mL/kg $\cdot$ min;对照组中 4 名运动员 VO_{2max}/kg 稍有增加,增幅在 1~3 mL/kg $\cdot$ min 之间,2 名运动员该值无变化(见图 1)。加压组各运动员 HR_{AT} 均有不同程度的增加,增幅在 3~8 b/min 之间,平均增加 4.83 b/min;对照组中 5 名运动员 HR_{AT} 值有所增加,增幅在 1~4 b/min 之间,1

名运动员训练前后无变化(见图 2)。从训练前后 P_{max} 值变化来看,加压组有 5 名运动员有所增加,增幅在 10~30 W 之间,平均增加 13.33 W,1 名运动员无变化;对照组有 4 名运动员稍有增加,增幅均为 10 W,1 名运动员训练前后无变化,1 名运动员训练后降低 20 W(见图 3)。从训练前后 SV 值变化情况来,对照组各运动员 SV 值有不同程度增加,增幅在 1.33~7.04 mL/b 之间,平均增加 3.61 mL/b;对照组各运动员也均有不同程度增加,增幅在 1.39~4.73 mL/b 之

间,平均增加 2.96 mL/b(见图 4)。

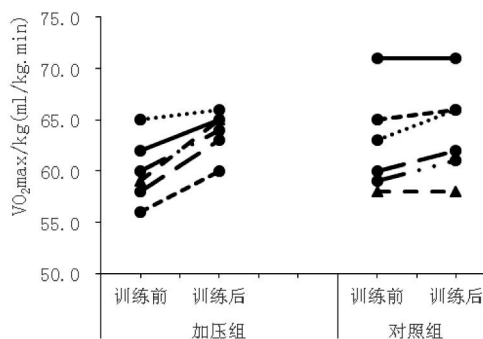


图 1 两组运动员训练前后 VO_{2max}/kg 值变化的个体差异

Figure 1 Individual Differences in VO_{2max}/kg Changes between the Two Groups of Cyclists before and after Training

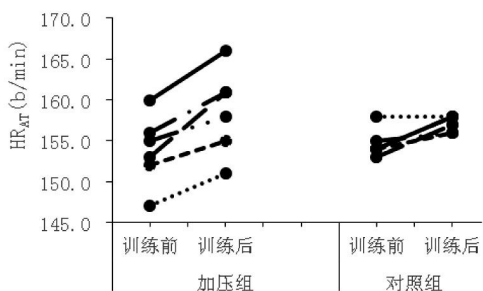


图 2 两组运动员训练前后 HR_{AT} 值变化的个体差异
Figure 2 Individual Differences in HR_{AT} Changes between the Two Groups of Cyclists before and after Training

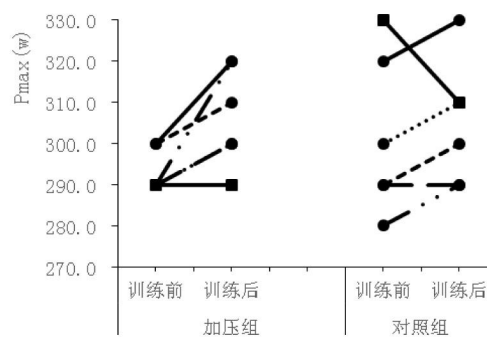


图 3 两组运动员训练前后 P_{max} 值变化的个体差异
Figure 3 Individual Differences in P_{max} Changes between the Two Groups of Cyclists before and after Training

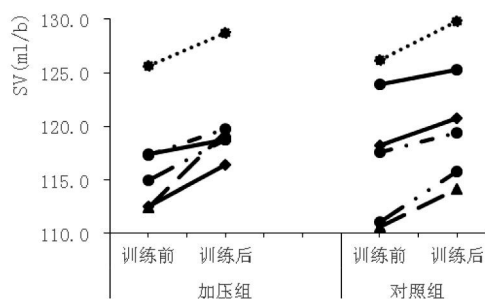


图 4 两组运动员训练前后 SV 值变化的个体差异
Figure 4 Individual Differences in SV Changes between the Two Groups of Cyclists before and after Training

2.3 训练前后无氧功测试各指标变化

训练后运动员无氧做功能力各项指标变化情况见表 6。加压组 P_{peak} 、 P_{peak}/kg 、 P_{mean} 、 P_{mean}/kg 均较训练前

表 6 训练前后无氧功测试各项指标变化 (N=12) ($\bar{X} \pm SD$)

Table 6 Index Changes of Anaerobic Test before and after Training (N=12) ($\bar{X} \pm SD$)

指标	组别	实验前	实验后	变化增量(Δ)	变化率/%
峰值功率 /W	加压组	953.0 $\pm$ 23.64	967.5 $\pm$ 33.73*	14.50 $\pm$ 10.78	1.52
	对照组	941.3 $\pm$ 24.92	948.8 $\pm$ 25.21*	7.50 $\pm$ 2.07	0.80
平均输出功率 /W	加压组	587.7 $\pm$ 54.47	597.4 $\pm$ 54.68*	9.66 $\pm$ 1.86	1.64
	对照组	581.4 $\pm$ 22.61	578.9 $\pm$ 24.63	-2.45 $\pm$ 4.49	-0.42
相对峰值功率 / (W·kg ⁻¹)	加压组	17.0 $\pm$ 0.73	17.3 $\pm$ 0.76*	0.28 $\pm$ 0.22	1.64
	对照组	16.9 $\pm$ 0.35	17.0 $\pm$ 0.34*	0.14 $\pm$ 0.08	0.81
相对平均功率 / (W·kg ⁻¹)	加压组	10.5 $\pm$ 1.27	10.7 $\pm$ 1.23*	0.18 $\pm$ 0.06	1.74
	对照组	10.4 $\pm$ 0.69	10.4 $\pm$ 0.67	-0.04 $\pm$ 0.09	-0.43

注:*表示组内训练前后比较差异呈显著性, $P < 0.05$; **表示组内训练前后比较差异呈非常显著性, $P < 0.01$

有所提升,提升幅度分别为 1.52%、1.64%、1.64%和 1.74%,且均较训练前呈显著性差异($P < 0.05$)。对照组 P_{peak} 与 P_{peak}/kg 较训练前稍有小幅提升,提升幅度分别为 0.80%和 0.81%,也均较训练前呈显著性差异($P < 0.05$); P_{mean} 与 P_{mean}/kg 较训练前稍有下降,下降幅度分别为 0.42%和 0.43%。以上各指标,训练

前和训练后两组运动员组间比较无显著性差异($P > 0.05$)。

比较组内个体间差异显示,加压组运动员训练后 P_{peak}/kg 和 P_{mean}/kg 均存在上升的现象,增加幅度分别在 0.06~0.66 W/kg (0.37%~3.79%) 和 0.11~0.26 W/kg (0.93%~2.56%)之间,平均增幅为 0.28 W/kg 和 0.18 W/kg。



对照组运动员 P_{peak}/kg 也均有小幅上升,增幅为 $0.08\sim 0.28\text{ W/kg}$ ($0.45\%\sim 1.61\%$)之间,增幅较加压组小; P_{mean}/kg 则有 4 名运动员下降,降幅为 $0.07\sim 0.20\text{ W/kg}$,2 名运动员上升,增幅分别为 0.02 W/kg 和 0.06 W/kg (见图 5、图 6)。

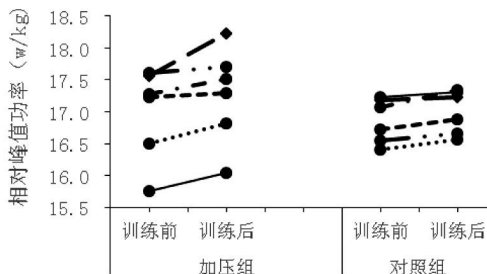


图 5 两组运动员训练前后 P_{peak}/kg 变化的个体差异
Figure 5 Individual Differences in P_{peak}/kg Changes between the Two Groups of Cyclists before and after Training

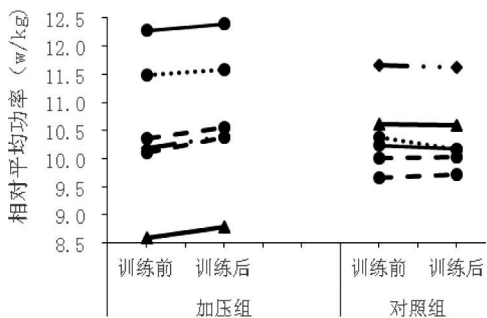


图 6 两组运动员训练前后 P_{mean}/kg 变化的个体差异
Figure 6 Individual Differences in P_{mean}/kg Changes between the Two Groups of Cyclists before and after Training

3 分析与讨论

近年来,SIT 训练作为一种经济、高效的训练手段,可在较短时间内,在较小的负荷量和消耗较少能量的前提下提高运动员亚极限和极限强度运动能力。同样,加压训练以“低强度、短时间、短期间”的特点,在竞技体育训练领域也得到了大力的推广和普及。然而,在加压训练应用于公路自行车运动员的专项训练,特别是加压训练结合 SIT 训练时,这种训练手段对公路自行车运动员有氧运动能力、无氧能力等的训练效果如何,还未见相关报道。基于此,本研究尝试比较分析赛前 3 周加压训练结合 SIT 训练与单纯 SIT 训练对公路自行车运动员有氧运动能力和无氧做功能力训练的影响,进一步探索该训练手段的有效性和科学性。

3.1 加压训练结合 SIT 训练后身体成分变化分析

Pearson 等研究认为,训练引起肌肉肥大的机理主要是通过机械应力和代谢应激两种途径来实现^[19]。研究表明,传统高强度抗阻训练主要是通过机械应力来引起肌肉肥大和肌力的增长,主要是通过肌肉形态学(肌原纤维数目和大小)和神经学的适应来促进肌肉的增长。而低强度加压抗阻训练则主要通过代谢应激来引起肌肉肥大。加压训练可以起到受试者肌肉肥大、肌肉横截面积增大和肌力增加的作用在相关研究中已被证实。李志远等对我国男子手球运动员的研究报道也发现,4 周加压训练后运动员体重、大腿围、臀围均明显增加($P < 0.05$),肌肉量、体脂量也呈上升趋势^[11]。值得注意的是,之前所有关于加压训练可引起肌肉肥大和肌力增长的研究报道所采用的训练强度均为低强度($< 50\% 1RM$),且运动方式均为抗阻训练。

本研究中,赛前 3 周的加压训练结合 SIT 训练与单纯 SIT 训练后,两组受试者体重、骨骼肌含量、体脂率等指标均呈现无变化甚至有小幅的下降趋势,这与之前的研究结论均存在不同,其原因可能有以下三方面:(1)从能量代谢方面来看,本研究所采用负荷强度较大,运动时机体以无氧代谢供能为主,肌糖原酵解加快,导致蛋白质分解代谢供能,运动员肌肉量下降;(2)从肌纤维的损伤修复方面来看,本实验负荷强度较大,造成肌纤维的微损伤,骨骼肌蛋白质降解;(3)从氧供条件来看,本实验在 1 900 m 海拔的低氧环境下进行,低氧环境会促进肌蛋白的分解,在此环境下再进行加压训练,相当于增加了肢体的低氧刺激,从而导致肌肉蛋白质的分解加速。以上三方面可能是导致在此期间运动员体重,特别是肌肉量下降的主要原因,具体机制还需在以后的研究中进行深入的针对性研究。

从两组运动员肌肉量和骨骼肌含量的下降幅度比较来看,加压组下降幅度小于对照组,提示加压训练对肌肉的增长有正向的作用,只是在本实验中,蛋白质的分解大于合成。因此,在进行加压训练结合 SIT 训练时更应注重营养的补充,特别是训练后蛋白质的补充,以避免蛋白质的流失过多。

3.2 加压训练结合 SIT 训练后有氧代谢能力变化分析

众所周知, VO_{2max} 是全球公认的反映运动员有氧能力的重要运动训练指标之一^[20],其大小取决于氧的供给和利用两方面因素,包括每分肺通气、肺扩散容量、心输出量、血红蛋白水平、毛细血管密度、线



粒体体积密度和氧化酶活性等^[20-21]。在屈成刚等之前的研究成果中,已证实 SIT 训练可有效提高公路自行车运动员的 VO_{2max} 水平^[16]。De Oliverira 等研究发现,加压训练、高强度训练与高强度加压训练 3 种训练模式均可促使 VO_{2max} 和最大输出功率增加,但 3 组之间没有明显差异^[22]。Abe 等研究同样发现,在为期 8 周的以 40% VO_{2max} 强度的自行车加压训练后,受试者的 VO_{2max} 和力竭时间分别提高了 6.4% 和 15.4%^[23]。在本研究中,两组运动员 VO_{2max} 水平均有不同程度的提升,加压组较训练前呈现非常显著性差异 ($P < 0.01$),提升幅度为 6.33%,比对照组提升的幅度更大。说明加压训练结合 SIT 训练较单独采用 SIT 训练更能在赛前训练阶段提升公路自行车运动员的 VO_{2max} 水平。

机体 VO_{2max} 水平的变化与氧(和 CO_2)的运输和氧的利用两方面因素密不可分,氧的运输主要由血液循环能力、肺换气能力及携氧能力相关。心输出量可作为评价血液循环能力的指标,主要由 HR 和 SV 决定^[24-25]。在本研究中,训练后两组运动员的 HR_{max} 和 SV 均有所提升,且加压训练结合 SIT 训练组增长幅度更大。可见,加压训练结合 SIT 训练与单独采用 SIT 训练均可在赛前训练阶段增强运动员的心肌力量,刺激运动员心脏泵血能力,提升运动员的心输出量;而且,加压训练结合 SIT 训练效果更明显。这主要是由于在进行加压训练时,由于上肢或下肢加压而导致血流被限制,在肢体形成静脉池样聚集(Pooling)的淤血作用,使回心静脉血流量减少^[26],迫使心脏必须加大收缩的力度,增加 HR,从而可以提高心脏泵血量,以供机体骨骼肌运动所需。同时,加压训练导致机体血液循环受到限制,肌肉内处于缺氧状态;而且由于训练地点地处高原,高原自然环境的缺氧和高强度训练所导致的三重刺激,使机体产生比普通高原训练更强的应激反应,更多依靠糖酵解供能,产生更多乳酸。由于静脉受阻,产生的乳酸因无法顺利排出而大量堆积,pH 值下降,而刺激一氧化氮合成酶(NOS)基因的转录和表达,促使一氧化氮(NO)的大量合成和释放。NO 具有扩血管、增加血流量的功能,使外周血管阻力减少,有利于血液的运输。

VE 可作为评价肺换气能力的指标,是影响 VO_{2max} 提升的另一个重要因素^[26]。在本研究中,两组运动员训练后 VE 水平均有小幅下降,下降幅度分别为 1.09% 和 2.26%,单独 SIT 训练组下降幅度更大。此现象与屈成刚等^[16]研究报道的 SIT 训练可显著提高优秀耐力性运动员的 SV 和 VE 两项指标有

所不同。这可能与实验的阶段不同有关,屈成刚等之前的实验研究是在冬训末期阶段,而本研究则是在赛前训练阶段,在本阶段运动员本身已具有较高有氧水平(实验干预之前,两组运动员 VO_{2max} 值均在 60 mL/kg·min 以上),欲再提升运动员的 VO_{2max} 水平,难度更大。

另一方面,从对氧的利用来看,Sloth 等研究发现,在 SIT 训练的最初几秒钟内产生 P_{peak} 比在短时间的运动中保持恒定的、高(但不是最大)的功率水平能诱导更多的生理适应(糖酵解和磷酸肌酸途径的使用增加)^[27]。SIT 训练时快速产生大功率的能力也与肌纤维的快速募集有关。由于间歇训练的强度高于 VO_{2max} ,需要募集更多的肌纤维,从而导致 II 型肌纤维的无氧代谢酶活性和有氧代谢酶活性均增强^[28]。因此,即使是高水平的运动员采用 SIT 训练也可显著提高其 VO_{2max} 和有氧运动能力^[27]。另外,Moritani 等研究证明,高阈值运动单位除了与肌肉收缩的力和速度相关以外,还与运动中的氧浓度有关^[29]。因此,在加压高强度训练状态下,加压肢体形成人为的低氧状态,促使 II 型肌纤维的无氧代谢酶活性和有氧代谢酶活性进一步增强。可见,赛前阶段采用 SIT 训练结合加压训练与单纯 SIT 训练引起运动员有氧水平提升,主要是由于运动员氧运输和利用能力得到提升的缘故。

还有研究表明,间歇训练不仅在提升 VO_{2max} 效率上优于传统的耐力训练,在输出功率的转化上也更优于传统耐力训练,如久坐人群间歇训练后 VO_{2max} 和输出功率的增长率分别为 11.1% 和 3.0%,对非运动人群间歇训练后 VO_{2max} 和输出功率的增长率分别为 10.1% 和 7.5%^[30-31]。在本研究中,两组运动员的无氧阈功率和 P_{max} 均有不同程度的提升,加压训练结合 SIT 训练组分别增加了 4.35% 和 4.57%,且较训练前呈现显著性差异 ($P < 0.05$);单纯采用 SIT 训练组此两项指标分别增长了 2.52% 和 1.09%。加压训练结合 SIT 训练组训练后输出功率增长幅度明显高于单纯采用 SIT 训练组 ($P > 0.05$),说明加压训练结合 SIT 训练在赛前训练阶段对增强运动员输出功率的效果也优于单纯采用 SIT 训练。这是由于加压训练可代偿性地增强多关节肌群的肌力和肌耐力有关^[32]。

3.3 加压训练结合 SIT 训练后无氧运动能力变化分析

据研究,运动员无氧代谢能力的强弱,除受年龄、性别、肌肉质量、肌肉形态、供能物质储量、代谢



途径的效率以及遗传因素以外,主要取决于肌肉中含无氧代谢酶活性较高的快肌纤维百分比^[18]。可见,运动员先天快肌纤维比例较大,或者运动过程中募集的快肌纤维较多,均可导致运动员无氧代谢做功能力较好。屈成刚等研究发现,SIT训练可明显提升公路自行车运动员的输出功率^[16]。Sloth等研究认为,SIT训练时快速产生大功率的能力与肌纤维的快速募集相关^[27],且由于SIT训练强度高于 VO_{2max} 需要募集更多的肌纤维,从而导致II型肌纤维的无氧代谢酶活性显著增强^[28]。McGawley等研究发现,2周SIT训练后受试者 P_{peak} 无改变,但 P_{mean} 提高了6.5%,而且功率衰减速度显著下降,下降幅度达40.3%,这可能与SIT训练带来的骨骼肌系统代谢适应性变化改善了大强度运动过程中骨骼肌肌力维持能力有关^[33]。有研究也发现,4周SIT训练后,柔道运动员 P_{peak} 和 P_{mean} 分别增加了16%和17%;8周后分别增加了17%和22%^[34]。Lunn等研究发现,4周SIT训练后自行车运动员 P_{peak}/kg 显著提高,且Wingate测试后血乳酸恢复速率明显提高^[35]。以上研究结论与本研究结果有所差异,在本研究中单纯采用SIT训练组,运动员仅 P_{peak} 和 P_{peak}/kg 稍有提高(提升幅度分别为0.80%和0.81%), P_{mean} 与 P_{mean}/kg 均较训练前有小幅下降(下降幅度分别为0.42%和0.43%),提示在赛前采用本研究SIT训练方案,可促进运动员爆发力水平的提升,但对运动员的无氧耐力水平无促进作用,主要原因可能与本实验的训练频率(4天/次)少和训练时间(3周)较短有关,运动员骨骼肌系统还未完全适应;通常情况下,大强度间歇训练一般持续4~6周、每周2~3次为宜^[36]。另外,在本研究中,对照组运动员肌肉量与骨骼肌含量均较训练前有小幅度下降,这也可能是导致运动员 P_{mean} 下降的原因之一。

同样,据研究报道,低强度加压训练和传统高强度抗阻训练在增加快肌纤维募集效果方面均可达到类似的效果^[29]。加压训练过程中可以募集更多的快肌纤维以维持肌肉力量,提高最大无氧输出功率^[37-39]。可见,低强度加压训练可增加快肌纤维的募集,增大肌力,提升功率的输出。但目前所发表的文献中鲜有发现有关加压训练对运动员无氧能力影响的直接研究报道,加压训练结合SIT训练对运动员无氧运动能力的报道也尚未发现。在本研究中,加压训练组运动员 P_{peak} 、 P_{mean} 、 P_{peak}/kg 与 P_{mean}/kg 均较训练前有所提高,提高幅度分别为1.52%、1.64%、1.64%和1.74%,且均较训练前呈显著性差异($P < 0.05$)。在赛前采用加压训练结合SIT训练这种模式,可在短时间内同

时有效提升公路自行车运动员的爆发力水平和无氧耐力水平。但从运动员训练前后肌肉量和骨骼肌含量变化来看,训练后加压组运动员的肌肉量与骨骼肌含量均存在小幅下降现象,可见运动员无氧运动能力的变化与运动员肌肉量无关,这可能是由于加压训练有效刺激III型和IV型传入神经,快肌纤维募集增多,从而提升了无氧输出功率。具体原因将在今后进行有针对性的研究。

综上所述,在赛前训练阶段采用加压训练结合SIT训练和单纯采用SIT训练均可有效提高公路自行车运动员的无氧运动能力;且加压训练结合SIT训练在峰值输出功率和 P_{mean} 方面均有正向结果。

4 结论

4.1 赛前3周加压训练结合SIT训练和单纯SIT训练均可引起机体蛋白质分解代谢和降解加速,而导致骨骼肌含量下降。

4.2 赛前3周加压训练结合SIT训练和单纯SIT训练均可有效提高公路自行车运动员的有氧运动能力,且加压训练结合SIT训练较单纯SIT训练的增长幅度更明显,训练效果更佳。

4.3 赛前加压训练结合SIT训练可增加快肌纤维募集,可有效提升公路自行车运动员爆发力和无氧耐力水平。

参考文献:

- [1] 徐本力,葵犁,马吉光,等.优秀运动员大赛前竞技状态调控的时间学规律研究(上)——赛前训练时间调控的科学意义及影响因素的分析[J].体育科研,2001,22(2):20-22.
- [2] 魏佳,李博,杨威,等.血流限制训练的应用效果与作用机制[J].体育科学,2019,39(4):71-80.
- [3] 吴旸,李倩,包大鹏.加压力量训练对下肢骨骼肌影响的Meta分析[J].中国体育科技,2019,55(3):20-26.
- [4] Daeyeol K., Singh H., Loenneke J. P., et al. Comparative effects of vigorous-intensity and low-intensity blood flow restricted cycle training and detraining on muscle mass, strength, and aerobic capacity[J]. J. Strength Cond. Res., 2016, 30(5):1453-1461.
- [5] Kacin A., Strazar K. Frequent low-load ischemic resistance exercise to failure enhances muscle oxygen delivery and endurance capacity[J]. Scand. J. Med. Sci. Sports, 2011, 21(6):231-241.
- [6] Martin-Hernandez J., Marin P. J., Menendez H., et al. Muscular adaptations after two different volumes of blood



- flow-restricted training[J]. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2013, 23(2):114-120.
- [7] 盛菁菁,魏文哲,孙科,等.加压状态下慢速下坡步行的生理负荷与增肌效果研究[J].*中国体育科技*,2019;55(3):13-19.
- [8] Mikako S., Michael J. P., Abe T. Legs and trunk muscle hypertrophy following walk training with restricted leg muscle blood flow[J]. *J. Sports Sci. Med.*, 2011, 88(10):338-340.
- [9] Ozaki H., Loenneke J. P., Abe T. Blood flow-restricted walking in older women: Does the acute hormonal response associate with muscle hypertrophy?[J]. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 2017, 37:379-383.
- [10] Park S., Kim J. K., Choi H. M., et al. Increase in maximal oxygen uptake following 2 week walk training with blood flow occlusion in athletes[J]. *Eur. Appl. Physiol.*, 2010, 109(4):591-600.
- [11] 李志远,赵之光,王明波,等.4周加压训练对男子手球运动员身体成分和最大力量的影响[J].*中国体育科技*,2019;55(5):37-43.
- [12] 王明波,李志远,魏文哲,等.高水平男子手球运动员下肢加压力量训练效果实证研究[J].*中国体育科技*, 2019;55(5):30-36.
- [13] 王岸新,宋吉锐,常波.限制肌血流量训练对速度滑冰运动员抗氧化能力影响的实验研究[J].*广州体育学院学报*,2007;27(3):86-88.
- [14] Yamanaka T., Farley R. S., Caputo J. L. Occlusion training increases muscular strength in division IA football players[J].*J. Strength Cond. Res.*, 2012, 26(9):2523-2529.
- [15] Manimmanakorn A., Hamlin M. J., Ross J. J., et al. Effects of low-load resistance training combined with blood flow restriction or hypoxia on muscle function and performance in netball athletes[J]. *J. Sci. Med. Sports*, 2013, 16(4):337-342.
- [16] 屈成刚,唐一丹.不同大强度间歇训练对优秀公路自行车运动员最大摄氧量和输出功率的影响[J].*首都体育学院学报*,2019;31(5):451-457.
- [17] Stringer W. W., Hansen J. E., Wasserman K. Cardiac output estimated noninvasively from oxygen uptake during exercise[J]. *J. Appl. Physiol.*, 1997, 82(3):908-912.
- [18] 李之俊.自行车运动的科学与实践[M].上海:上海科学技术文献出版社,2008:93.
- [19] Pearson S. J., Hussain S. R. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy[J].*Sport Med.*, 2015, 45(2):187-200.
- [20] Metcalfe R. S., Babraj J. A., Fawcner S. G., et al. Towards the minimal amount of exercise for improving metabolic health: beneficial effects of reduced-exertion high-intensity interval training[J]. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2012, 112(7):2767-2775.
- [21] Laursen P. B., Jenkins D. G. The scientific basis for high-intensity interval training: optimizing training programmes and maximizing performance in highly trained endurance athletes[J]. *Sports Med.*, 2002, 32(1):53-73.
- [22] De Oliveira M. F., Caputo F., Corvino R. B., et al. Short-term low-intensity blood flow restricted interval training improves both aero-bicfitness and muscle strength[J]. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 2015.
- [23] Abe T., Kearns C. F., Sato Y. Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, KAATSU-walk training[J]. *J. Appl. Physiol*(1985), 2006, 100(5):1460-1466.
- [24] Warburton D. E., Gledhill N. Comment on point-counterpoint: in health and in a normoxic environment, VO_{2max} is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow[J]. *J. Appl. Physiol*, 2006, 100(3):744-748.
- [25] Wagner P. D. Counterpoint: in health and in normoxic environment VO_{2max} is limited primarily by cardiac output and locomotor muscle blood flow[J]. *Appl. Physiol.*, 2006, 100(2):745-748.
- [26] Nakajima H., Takano M., Kurano H., et al. Effects of KAATSU training on haemostasis in healthy subjects[J]. *Int. J. KAATSU Training Res.*, 2007, 3:11-20.
- [27] Sloth M., Sloth D., Overgaard K., et al. Effects of sprint interval training on VO_{2max} and aerobic exercise performance: a systematic review and meta-analysis[J]. *Scand. J. Med. Sci. Sport*, 2013, 23(6):341-352.
- [28] Bailey S. J., Wilkerson D. P., Dimenna F. J., et al. Influence of repeated sprint training on pulmonary VO_2 uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans[J]. *Appl. Physiol.*, 2009, 106(6):1875-1887.
- [29] Moritani T., Sherman W. M., Shibata M., et al. Oxygen availability and motor unit activity in humans[J]. *Eur. J. Appl. Physiol. Occupational Physiol.*, 1992, 64(6):552-556.
- [30] Roxburgh B. H., Nolan P. B., Weatherwax R. M., et al. Is moderate intensity exercise training combined with high intensity interval training more effective at improving cardiorespiratory fitness than moderate intensity exercise training alone[J]. *J. Sport Sci. Med.*, 2014, 13(3):702-707.
- [31] Gibala M. J., Little J. P., Van Essen M., et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance[J]. *J. Physiol.*, 2006, 575(3):901-911.



- [32] Takarada Y., Sato Y., Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in[J]. Eur. J. Appl. Physiol., 2002, 86(4):308-314.
- [33] McGawley K., Taylor D. The effect of short-term sprint-interval training on repeated-sprint ability[J]. Sci. Med. Sport, 2010, 13(6):52.
- [34] Kim J., Lee N., Trilk J., et al. Effect of sprint interval training on elite judoists[J]. Int. J. Sports Med., 2011, 32(12):929-934.
- [35] Lunn W. R., Finn J. A., Axtell R. S. Effect of sprint interval training and body weight reduction on power to weight ratio in experienced cyclists[J]. Strength Cond. Res., 2009, 23(4):1217-1224.
- [36] 马国强,李之俊.速度型间歇训练的生物学效应研究进展[J].中国运动医学杂志,2014,33 (2):171.
- [37] Loenneke J. P., Wilson G. J., Wilson J. M. A. Mechanistic approach to blood flow occlusion[J]. Int. J. Sport Med., 2010, 31(1):1-4.
- [38] Meyer R. A. Does blood flow restriction enhance hypertrophic signaling in skeletal muscle?[J]. J. Appl. Physiol., 2006, 100(5):1443-1444.
- [39] Yasuda T., Fukumura K., Uchida Y., et al. Effects of low-load, elastic band resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults[J]. Journals of Gerontology, 2015, 70(8):950.
- (责任编辑:刘畅)

(上接第 81 页)

- faces on physical fitness in adolescents: a randomized controlled trial[J]. Sports Sci. Med. Rehabil., 2014, 6(1): 40.
- [24] 陈华伟,宸铮,文世林.核心力量训练研究现状与展望[J].哈尔滨体育学院学报,2012,30(3):5-10.
- [25] 温宇红,高捷,张志同,等.游泳运动教程[M].北京:北京体育大学出版社,2013:18-26.
- [26] Weston M., Hibbs A. E., Thompson K. G., et al. Isolated Core Training Improves Sprint Performance in National-Level Junior Swimmers[J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2015, 10(2):204-210.
- [27] 杨文学.瑞士球训练对男子短跑运动员功能性力量和专项成绩的影响[J].北京体育大学学报, 2013,36(5): 130-133.
- [28] 陈小平.竞技运动训练实践发展的理论思考[M].北京:北京体育大学出版社,2008.
- (责任编辑:刘畅)