



# 两种大强度间歇训练对优秀公路自行车运动员有氧能力的影响

屈成刚,唐一丹

**摘要:**目的:比较两种大强度间歇训练手段对优秀自行车运动员有氧运动能力的影响。方法:将15名备战全国“十三运”的云南省自行车队男子运动员随机分为3组,S组训练方案采用SIT/耐力训练,H组训练方案采用HIIT/耐力训练,C组为对照组,进行传统耐力性训练;训练持续3周。训练前后进行递增负荷测试和有氧运动能力测试,测试指标包括最大摄氧量绝对值( $VO_{2max}$ )、最大摄氧量相对值( $VO_{2max}/kg$ )、每分通气量(VE)、最大心率( $HR_{max}$ ),并通过公式计算每搏输出量(SV),以及测试递增负荷后即刻血乳酸(BLA)、最大有氧功率(P)和40 km个人计时成绩进行了测试。结果:(1)3周训练后,S组运动员VE、 $HR_{max}$ 、SV、 $VO_{2max}$ 、 $VO_{2max}/kg$ 、P和ITT<sub>40km</sub>均较训练前有显著性提高( $P<0.05$ );H组运动员VE、 $VO_{2max}/kg$ 、ITT<sub>40km</sub>较训练前有显著性增加( $P<0.05$ ),BLA有显著性的下降( $P<0.05$ )。(2)S组运动员 $\Delta VE$ 、 $\Delta HR_{max}$ 、 $\Delta SV$ 、 $\Delta VO_{2max}$ 、 $\Delta VO_{2max}/kg$ 、 $\Delta BLA$ 、 $\Delta ITT_{40km}$ 显著提升( $P<0.05$ ),且优于其余两组;H组仅 $\Delta ITT_{40km}$ 存在明显提升( $P<0.05$ )。结论:间歇训练结合耐力训练对优秀公路自行车运动员的呼吸系统、有氧供能系统可产生积极的影响;而且,SIT结合耐力训练较HIIT结合耐力训练或传统耐力训练更能提高公路自行车运动员的有氧代谢能力和有氧运动能力,训练效果更佳。

**关键词:**冲刺间歇训练;高强度间歇训练;公路自行车;有氧能力

中图分类号:G808 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2019)01-0064-08

DOI:10.12064/ssr.20190108

## The Effect of Two Different Interval Training on the Aerobic Capacity of Elite Road Cyclists

QU Chenggang, TANG Yidan

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

**Abstract:** The purpose of this study, we compared the effects of two high-intensity interval training on aerobic exercise ability of elite endurance athletes. Methods: Participants 15 well-trained road cyclists were divided into three groups. The first group trained using sprint interval training with endurance training; The second group trained using high intensity interval training with endurance training; the third group was the control group, which using traditional endurance training. Training duration was 3 weeks. The Graded exercise stress test and aerobic exercise ability test were conducted before and after training. The test indexes included  $VO_{2max}$ ,  $VO_{2max}/kg$ , VE, and  $HR_{max}$  and the stroke volume (SV) was calculated by formula, the BLA and ITT<sub>40km</sub> were tested. Results: After 3 weeks, VE,  $HR_{max}$ , SV,  $VO_{2max}$ ,  $VO_{2max}/kg$ , P and ITT<sub>40km</sub> in group S were significantly higher than those before training ( $P<0.05$ ); VE,  $VO_{2max}/kg$  and ITT<sub>40km</sub> in group H were significantly higher than those before training ( $P<0.05$ ), and BLA was significantly lower ( $P<0.05$ ). In group S,  $\Delta VE$ ,  $\Delta HR_{max}$ ,  $\Delta SV$ ,  $\Delta VO_{2max}$ ,  $\Delta VO_{2max}/kg$ ,  $\Delta BLA$ ,  $\Delta ITT_{40km}$  were significantly improved ( $P<0.05$ ), which was better than the other two groups. And only ITT<sub>40km</sub> in group H increased significantly ( $P<0.05$ ). Conclusions: Intermittent training combined with endurance training has a positive impact on the respiratory system and aerobic supply system of elite road cyclists. Moreover, SIT combined with endurance training can improve the aerobic metabolism ability and aerobic exercise ability of road cyclists than HIIT combined with endurance training or traditional endurance training is better.

**Key Words:** Sprint interval training; High intensity interval training; road cyclist; Aerobic capacity

收稿日期:2018-04-10

第一作者简介:屈成刚,男,副研究员。主要研究方向:运动人体科学。E-mail: ynsiqcg@126.com。

作者单位:云南省体育科学研究所,云南昆明 650041。



## 0 前言

大量研究证明,优秀耐力性项目运动员的耐力表现需要有强大的有氧基础<sup>[1-3]</sup>,其中最大摄氧量( $VO_{2max}$ )是最重要的指标之一。通常认为 $VO_{2max}$ 除受生理上的限制以外,在很大程度上受遗传因素的影响<sup>[2]</sup>。与此相反,也有研究提出,最大摄氧量仅在接受科学训练之前受遗传因素的影响<sup>[4]</sup>;在充分和有规律的训练后, $VO_{2max}$ 可能会显著增加50%<sup>[5]</sup>。长期以有氧代谢为主的中等强度持续训练(Moderate-intensity Continuous Training, MCT)已被证实是提高 $VO_{2max}$ 最有效的手段之一<sup>[6]</sup>,它可以提高氧化酶的活性、增加线粒体体积<sup>[7-9]</sup>和毛细血管密度<sup>[10,11]</sup>、改善心输出量和每搏输出量,以上因素对氧运输能力的提升起到至关重要的作用<sup>[12,13]</sup>。但对于高水平耐力性运动员,MCT对其有氧水平的促进有限。近年来研究热点集中在大强度间歇训练(Interval Training, IT)对 $VO_{2max}$ 的影响上<sup>[14]</sup>;根据训练强度的不同,又将IT分为高强度间歇训练(High Intensity Interval Training, HIIT)和冲刺间歇训练(Sprint Interval Training, SIT)。尽管目前有许多研究都证实了IT对 $VO_{2max}$ 具有较好的促进作用,但其研究对象绝大部分都是普通人群或非精英运动员<sup>[14]</sup>,未见针对优秀公路自行车运动员IT训练手段和不同的训练手段如何搭配的研究报道。本研究旨在探索适合公路自行车项目专项的IT训练模型,为公路自行车项目的训练计划制定提供实验依据,更有利于提升其专项能力和运动表现,提升该项目的训练效率,促进我国公路自行车项目在国际大赛中的竞争力。鉴于此,以优秀公路自行车运动员为研究对象,提出假设:IT能提高优秀公路自行车运动员的运动能力,且SIT结合传统耐力训练的训练效果更佳。

## 1 研究方法

### 1.1 研究对象

备战全国“十三运”的云南省自行车队男子运动员15名,其中健将级运动员8名,一级运动员7名。所有运动员均有5年以上的专业训练经历,每年参加全国比赛3~4场;身体健康,无影响正常训练的重大伤病。运动员随机分为3组,每组5人;S组进行耐力训练方案(SIT);H组实施耐力训练方案(HIIT);C组为对照组,进行传统耐力性训练。3组运动员身高、体重和体能状况无组间差异(见表1)。

表1 运动员基本情况一览表(N=15)

Table I List of Basic Information of Athletes (N=15)

组	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	训练年限/年
S	22.3±2.65	178.6±4.22	68.4±6.71	5.73±1.35
H	21.8±3.41	179.8±3.34	69.4±4.13	6.02±1.41
C	22.6±4.26	178.4±4.15	69.7±4.28	5.85±1.55

参与实验的运动员所属同一教练员,实验干预前均进行相同训练负荷结构的有氧训练;其训练强度大多采用中等强度(70%~80% $HR_{max}$ )或可变强度(高一中—低)的传统耐力训练。所有运动员均无高强度间歇训练经历。

### 1.2 训练方案设计

SIT训练:以最大强度冲刺骑行30s,间歇3min; HIIT训练:以90%~100%的最大有氧功率强度骑行4min;传统耐力性训练:以65%~75% $HR_{max}$ 的训练强度骑行4~5.5h,负荷量约160~220km。实验期间以4天为一个小周期(前3天为训练日,第4天为调整),每一个小周期进行1次IT训练;为保证训练质量,将SIT与HIIT训练安排在每一小周期的第一天下午进行(即第1、5、9、13、17和第21天,共计6次,训练负荷方案见表2),上午训练以60%~65% $HR_{max}$ 的负荷强度在公路上骑行3h(约100km);同日,C组以65%~75% $HR_{max}$ 的负荷强度公路骑行220km。其余3天内3组的训练计划相同(第2天与第3天均以65%~75% $HR_{max}$ 强度公路骑行150~160km和180~200km,第4天公路放松骑行2h),并以此方案进行周期训练。S组与H组每个小周期的负荷总量约占C组负荷总量的75%,骑行距离约在390~420km之间。

### 1.3 递增负荷测试

训练前后(训练前为IT训练3天前,训练后为IT训练后第2天)均进行递增负荷测试。测试地点为云南省体科所运动机能实验室,使用功率自行车(Lode Excalibur,荷兰)和肺功能测试仪(Cortex Metalyzer 3B,德国)进行测试;测试之前均按程序使用标准气体( $CO_2$ :5%, $O_2$ :16%, $N_2$ :79%)对仪器进行校准,并对实验室环境进行了控制(室温:22~25℃;湿度:60%~65%)。测试负荷由专业电脑软件根据预实验所定负荷方案控制递增负荷和运动时长。测试全程均佩戴心率表(Polar RS800 CX,芬兰),监控并记录受试运动员的心率(HR)。

测试方案为:在充分准备活动后,首先以80W的功率进行2min的适应,随后以100W为起始测



表 2 运动员训练负荷方案

Table II Training Load Scheme of Athletes (N=15)

组	周	课次 (次/4天)	组数 <sup>#</sup>	训练			间歇		
				时间	踏频/rpm	负荷强度	时间	踏频/rpm	间歇强度
S	1		10						
	2	1	12	30 s	105~115	全力*	3 min	90~100	60%~70% HR <sub>max</sub>
	3		8						
H	1		8						
	2	1	10	4 min	105~115	90%~100%	4 min	90~100	60%~70% HR <sub>max</sub>
	3		8						
C				以 65%~75%HR <sub>max</sub> 强度训练					

注:\*表示能保证规定踏频的最大阻力骑行,#表示每堂间歇训练课运动员训练的总组数,如S组运动员第1周的10组,表示进行10组30s的SIT训练。

试负荷,并以15W/30s的负荷递增,直至运动员力竭。在整个测试过程中,要求运动员踏频保持在80rpm左右;低于80rpm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汇报力竭,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<sub>2max</sub>:血乳酸≥7.00mmol/L、呼吸商≥1.10、HR<sub>max</sub>≥95%(220-年龄)。运动员自开始测试前3min至测试结束后3min均戴着呼吸面罩,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呼吸功能。

使用全自动血乳酸分析仪(BIOSEN C-line EKF Diagnostic,德国)对递增负荷测试结束即刻血乳酸(BLA)水平进行测试。每次测试前均对乳酸仪进行定标与质控测试,测试过程中仪器每60min自动质控一次;测试时使用20μL标准抗凝管采集手指末梢血20μL,进行BLA浓度测试,相关实验耗材均为EKF血乳酸仪原装耗材。

#### 1.4 40 km 个人计时测试

IT训练前后(训练前为IT训练2天前,训练后为训练后第3天)各安排1次40km个人计时(ITT<sub>40km</sub>)测试。测试时运动员使用个人计时车,在1km/圈的柏油路面场地上以原地启动的方式,最大能力独立完成40km的骑行,前后相邻两名运动员之间相距100m以上;前后两次测试使用相同的自行车、车轮,场地环境(温度和风力)大致相同。

#### 1.5 测试指标

心肺功能指标:每分通气量(Minute Pulmonary Ventilation, VE)、最大心率(HR<sub>max</sub>)及每搏输出量(Stroke Volume, SV)。SV基于Stringer等<sup>[15]</sup>提出的Fick方程计算得出,公式如下:SV(ml/b)=100×(VO<sub>2max</sub>/1622)/HR,其中HR是指递增负荷测试过程中达到VO<sub>2max</sub>时的

心率(b/min)。

有氧代谢指标:最大摄氧量绝对值(VO<sub>2max</sub>)、最大摄氧量相对值(VO<sub>2max</sub>/kg),以及递增负荷结束后即刻血乳酸值(BLA)。

有氧运动能力指标:最大有氧功率(P),在递增负荷测试中VO<sub>2max</sub>时所对应的峰值输出功率、40km个人计时。

#### 1.6 数据分析

所有测试结果以平均值±标准差( $\bar{X} \pm SD$ )表示,使用SPSS19.0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。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 结果

#### 2.1 心肺系统指标

如表3所示,对3组运动员进行3周训练前后心肺系统机能主要测试数据对比发现,3周训练后,3组运动员VE、HR<sub>max</sub>、SV均有不同程度的增加;S组各项指标均较训练前呈显著性差异(P<0.05);H组、C组各项指标有小幅度增加,均无统计学意义。组间同一阶段比较,3周训练后S组VE较H组与C组高,且呈现显著性差异(P<0.05);H组较C组稍高,但无统计学意义(P>0.05)。

从各组运动员3周训练后各指标增量情况来看,S组运动员心肺机能各指标增量显著高于H组和C组,其中S组中ΔVE、ΔHR<sub>max</sub>显著高于H组和C组,均呈显著性差异(P<0.05);H组ΔVE较C组稍高,但无统计学意义(P>0.05)。

#### 2.2 有氧代谢能力

如表4所示,对3组运动员3周训练前后有氧



表 3 3组运动员 3周训练前后心肺系统机能主要指标变化情况 (N=15)

Table III Changes of Main Indicators of Cardiopulmonary System Function of Athletes in the Three Hroups before and after 3-week Training (N=15)

	S组		H组		C组	
	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
VE(L/min)	148.2±10.80	163.9±9.77 <sup>**</sup>	145.7±4.96	159.3±4.78	147.9±15.15	157.5±14.12
HR <sub>max</sub> (b/min)	178.8±9.36	185.6±8.23 <sup>*</sup>	181.2±6.50	182.2±6.02	184.2±3.70	185.2±3.11
SV(ml/b)	145.3±19.01	151.9±22.69 <sup>*</sup>	148.4±13.88	149.4±11.40	153.0±22.25	153.8±21.67
ΔVE(L/min)	15.7±11.25 <sup>∗&amp;</sup>		1.8±2.02		1.3±2.85	
ΔHR <sub>max</sub> (b/min)	6.8±3.90 <sup>∗&amp;</sup>		1.0±1.41		1.0±1.58	
ΔSV(ml/b)	6.6±5.95		0.9±3.05		0.8±1.59	

注: \*表示组内训练前后比较 P<0.05; 组间同一阶段比较, #表示 S组与 H组相比较 P<0.05; ∗表示 S组与 C组相比较, P<0.05; 各组指标训练前后增量变化比较, +表示 S组与 H组相比较 P<0.05; &表示 S组与 C组相比较, P<0.05。

代谢指标测试数据对比发现, 3周训练后, 3组运动员 VO<sub>2max</sub> 与 VO<sub>2max</sub>/kg 均有不同程度的提升; BLA 均有所下降。S组 VO<sub>2max</sub> 与 VO<sub>2max</sub>/kg 均较训练前明显增长, 呈现显著性差异 (P<0.05); H组仅 VO<sub>2max</sub>/kg

较训练前增长明显 (P<0.05), 由于运动员体重无明显变化, 可排除由于体重变化所导致。S组与 H组 3周后 BLA 均显著下降 (P<0.05), C组无显著性差异 (P>0.05)。

表 4 3组运动员 3周训练前后有氧代谢指标变化情况 (N=15)

Table VI Changes of Aerobic Metabolism Indexes before and after 3-week Training of Athletes in the 3 Groups (N=15)

	S组		H组		C组	
	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
VO <sub>2max</sub> (L/min)	4.21±0.59	4.57±0.67 <sup>*</sup>	4.37±0.49	4.42±0.41	4.57±0.69	4.62±0.65
VO <sub>2max</sub> /kg(ml/kg.min)	62.6±7.80	68.8±7.22 <sup>*</sup>	59.8±5.02	63.6±10.92 <sup>*</sup>	61.4±3.21	63.2±3.77
BLA(ml/b)	11.59±2.84	10.42±2.39 <sup>∗&amp;</sup>	12.07±2.31	11.28±2.26 <sup>*</sup>	11.87±2.49	11.32±2.36
ΔVO <sub>2max</sub> (L/min)	0.35±0.17 <sup>+&amp;&amp;</sup>		0.05±0.12		0.05±0.05	
ΔVO <sub>2max</sub> /kg(ml/kg.min)	6.2±2.77 <sup>&amp;</sup>		3.8±1.30		1.8±2.68	
ΔBLA(ml/b)	1.17±0.25 <sup>&amp;</sup>		0.79±0.09		0.55±0.17	

注: \*表示组内训练前后比较 P<0.05; 组间同一阶段比较, +表示 S组与 H组相比较, P<0.05; &表示 S组与 C组相比较 P<0.05; &&表示 S组与 C组相比较 P<0.01。

从各组运动员 3周训练后各指标增量情况来看, S组运动员有氧代谢各指标增量显著高于 H组和 C组, 其中 S组中 ΔVO<sub>2max</sub> 显著高于 H组, 达到显著性差异 (P<0.05); S组与 C组相比, ΔVO<sub>2max</sub> 达到非常显著性差异 (P<0.01), ΔVO<sub>2max</sub>/kg 与 ΔBLA 达到显著性差异 (P<0.05); H组 ΔVO<sub>2max</sub>/kg 较 C组稍高, 但无统计学意义 (P>0.05)。

### 2.3 有氧运动能力

如表 5 所示, 对 3组运动员训练前后有氧运动能力测试数据对比发现, 3周训练后, 3组运动员 P与 ITT<sub>40km</sub> 成绩均有不同程度的提高。S组 P与 ITT<sub>40km</sub> 成绩较训练前均呈显著性差异 (P<0.05); H组仅 ITT<sub>40km</sub> 较训练前有显著性提高 (P<0.05); C组 P与 ITT<sub>40km</sub> 变化均无统计学意义 (P>0.05)。

表 5 3组运动员 3周训练前后有氧运动能力各项指标测试数据对比 (N=15)

Table V Comparison of Test Data of Aerobic Exercise Ability before and after 3-week Training Among the 3 Groups (N=15)

	P/W		ΔP/W	ITT <sub>40km</sub> /s		Δ ITT <sub>40km</sub> /s
	训练前	训练后		训练前	训练后	
S组	397±22.25	416±18.51 <sup>*</sup>	19.0±6.52	3211.30±45.63	3139.22±57.45 <sup>*</sup>	-72.08±17.19 <sup>##</sup>
H组	403±19.56	414±22.19	11.0±6.52	3216.30±47.83	3171.06±38.72 <sup>*</sup>	-45.24±10.81 <sup>*</sup>
C组	382±19.56	391±17.10	9.0±8.22	3215.44±42.63	3186.92±33.57	-28.52±21.22

注: \*表示训练前后组内比较 P<0.05; 训练前后组间各指标增量变化比较, ∗表示 H组与 C组比较, 呈显著性差异 P<0.05; ##表示 S组与 C组比较 P<0.01。



从各组运动员 3 周训练后各指标增量情况来看,  $\Delta P$  变化呈现 S 组  $>$  H 组  $>$  C 组, 但组间比较无显著性差异;  $\Delta ITT_{40km}$  变化同样呈现 S 组  $>$  H 组  $>$  C 组, 且 S 组较 C 组呈现非常显著性差异 ( $P < 0.01$ ); H 组较 C 组呈现显著性差异 ( $P < 0.05$ ); S 组与 H 组比较, 虽有提高, 但统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

### 3 分析讨论

目前, 大强度间歇训练对普通人群<sup>[16-18]</sup>、有训练经验受试者<sup>[19-22]</sup>和专业高水平运动员<sup>[23,24]</sup>有氧运动能力的积极作用已得到大量的研究证实; 针对高水平耐力项目运动员, 大强度间歇训练较 MCT 更高效、更经济<sup>[25]</sup>。那么, 不同高强度间歇训练对优秀公路自行车运动员有氧能力及其相关指标的影响有何差异, 值得我们进行深入研究, 因此, 本研究以备战十三运会的优秀公路自行车运动员为研究对象, 比较分析 SIT 与 HIIT 的训练效果, 以及对该项目运动员有氧运动能力影响的差异。

众所周知, 最大摄氧量 ( $VO_{2max}$ ) 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<sup>[26]</sup>, 其大小取决于氧的供给和利用两方面的诸多因素, 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<sup>[26,27]</sup>。

大量研究均证实, HIIT 或耐力训练均对久坐或未经训练个体具有改善  $VO_{2max}$  的效果<sup>[1,29]</sup>。Roxburgh 等研究发现, HIIT 结合耐力训练较传统耐力训练更能提高受试者的  $VO_{2max}$ , 前者提高了 10.1%, 后者仅提高了 3.9%<sup>[8]</sup>。Metcalf 等对久坐人群的研究同样观察到, HIIT 后男性  $VO_{2max}$  提升 15%, 女性提高 13%<sup>[29]</sup>。但文献资料表明, 对有多年训练经验的运动员并不能得到这样的训练结果; 尤其训练计划中仅有 MCT 或对优秀耐力性项目的运动员来说, 这样的训练计划很难提高其  $VO_{2max}$ <sup>[11,30]</sup>。这与本研究的结论基本一致, 在本研究中, H 组运动员  $VO_{2max}$  增长率为 6.9%, 远低于前者的 10.1%; 而 C 组  $VO_{2max}$  增长率更是仅有 2.9%。在本研究中, SIT 训练组运动员  $VO_{2max}$  增长幅度为 10%, 远高于 HIIT 训练组, 说明 SIT 训练对优秀公路自行车运动员  $VO_{2max}$  的提升效果更明显、更有效。

每分肺通气量 (VE) 是决定  $VO_{2max}$  大小的重要因素之一<sup>[27]</sup>。研究发现, SIT 比 MCT 更能明显地改善运动员的肺通气量<sup>[11,30]</sup>。马国强等研究证实, SIT 训练能有效提升场地短距离自行车运动员的 VE 水平<sup>[31]</sup>。同样, Riganas 等研究显示, 6 周的大强度间歇

训练使赛艇运动员吸气肌力和肺通气能力上升了 28%<sup>[32]</sup>。本研究也有相同的结论, 经过 3 周 6 次大强度间歇训练, SIT 组的 VE 增长率为 10.6%, 而 H 组和 C 组 VE 增长率仅为 1.24% 和 0.89%。这是由于血液中  $[H^+]$ 、 $PO_2$ 、 $PCO_2$  升高, 刺激了血液中化学感受器<sup>[33]</sup>, 反馈性地刺激了呼吸功能, 促使呼吸肌和通气能力提升。因此, 这种训练模式可通过增加训练后代谢物的积累而增强呼吸反应。

心输出量是影响  $VO_{2max}$  变化的另一个重要因素, 其大小主要由 HR 和 SV 决定<sup>[27,28,34]</sup>。研究证实, IT 比 MCT 对 SV 的影响更大, 因为回心血量的增加会在很大程度上舒张心室, 从而迫使心脏收缩更强烈<sup>[34]</sup>。在本研究中, S 组运动员训练后 SV 和  $HR_{max}$  均明显增加 ( $P < 0.05$ ), 分别增长了 4.5% 和 3.8%, 可确定 S 组运动员心输出量也明显增加; 而 H 组和 C 组 SV 和  $HR_{max}$  几乎无变化。可见, SIT 训练更能刺激运动员的心脏泵血能力, 对提升运动员的心输出量更有效。且  $VO_{2max}$  与 SV 呈显著相关 ( $r=0.95, P < 0.05$ ), 提示 SIT 训练对提升运动员  $VO_{2max}$  水平有明显的效果。

本研究显示, 3 周 6 次大强度间歇训练后, SIT 组  $\Delta VE$ 、 $\Delta HR_{max}$  均明显高于 H 组和 C 组 ( $P < 0.05$ ); SIT 组  $\Delta SV$  也较 H 组和 C 组有较大提高。可见 SIT 对运动员 VE、 $HR_{max}$  和 SV 的提升效果更优于 HIIT 和传统的耐力训练, 更有利于  $VO_{2max}$  的增加和提升运动员的有氧水平。

另外, 从对氧的利用方面来说, Sloth 等比较了各种间歇训练的研究结果后认为, SIT 提升  $VO_{2max}$  的效果要比单纯使用 HIIT 更好<sup>[11]</sup>。因为在冲刺训练的最初几秒钟内产生峰值功率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 (由于糖酵解和磷酸肌酸途径的使用增加)。冲刺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  $VO_{2max}$  强度, 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<sup>[35]</sup>。因此, 即使是高水平的运动员采用冲刺训练也可显著提高其  $VO_{2max}$  和有氧运动能力<sup>[11]</sup>。

其他的一些研究也提到骨骼肌氧化酶活性对  $VO_{2max}$  变化的作用, 如琥珀酸脱氢酶、柠檬酸合酶、毛细血管和线粒体密度的增加<sup>[36]</sup>。一些研究报道称, 2 周的间歇训练相当于耐力训练 10~12 周对骨骼肌氧化酶活性的增加效果<sup>[36,37]</sup>。Rodas 等研究发现, 2 周的 SIT 结合耐力训练课有效地提高了骨骼肌安静肌糖原含量<sup>[38]</sup>。Burgomaster 等研究同样发现, SIT 训练



可使机体丙酮酸脱氢酶和CS活性增强,运动中糖原的分解能力和乳酸产生明显减少<sup>[39]</sup>。也有研究认为SIT训练是提高骨骼肌有氧代谢功能能力更有效的训练手段。本研究未对该实验中两种间歇训练模式下运动员机体氧化酶活性进行测定,因此未比较两种训练模式对机体酶代谢的优劣,这需要在以后开展进一步的研究和证实。本研究对两组IT训练组运动员3周训练前后递增负荷测试后即刻BLA水平进行了测试,发现两组运动员BLA均明显下降( $P < 0.05$ ),提示相同负荷下运动员BLA积累减少,可能与3周IT训练后,在递增负荷测试过程中,运动员机体糖脂有氧氧化比例增加、无氧酵解供能比例减少有关。SIT训练组下降幅度更明显,提示强度更大的SIT可产生更大的适应性变化,对改善运动员有氧供能比例有更积极的作用。

另外,在已报道的所有自行车项目的相关研究中,均未对训练时的踏频作明确要求。大量研究<sup>[41-42]</sup>显示,自行车项目中踏频对输出功率、运动时间、肌肉疲劳方面有非常大的影响,其直接影响训练效果和运动表现,因此本研究根据前人的研究结论,对运动员训练时的踏频作了明确规定。这可能是本研究训练效果较好的原因之一,这需要在以后进行有针对性的专题研究。

有氧运动能力的提升状况是多数研究评估大强度间歇训练效果的重要参数。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,如间歇训练对久坐人群 $VO_{2max}$ 和输出功率的增长率分别为11.1%和3.0%,对非运动人群的增长率分别为10.1%和7.5%<sup>[8]</sup>。然而,一些研究表明高水平运动员通过间歇训练在输出功率上效果较小<sup>[11,30]</sup>。在本研究中,S组输出功率增长率为4.0%;虽然增幅不大,但也远高于H组和C组的2.7%和2.4%。S组与H组ITT<sub>40km</sub>成绩均较训练前有显著性的提高( $P < 0.05$ ),S组与H组之间虽无显著性差异,但S组成绩提升幅度明显优于H组,说明间歇训练不仅对优秀公路自行车运动员的有氧代谢系统有明显的改善,而且对有氧运动能力有提升作用,而且SIT训练效果较HIIT训练更佳。

综上所述,高水平自行车耐力运动员采用SIT训练能显著提高其有氧代谢系统和有氧运动能力。同时,由于SIT训练负荷量小、训练周期短,且训练效果显著,所以本研究认为这是一种省时且有效的训练手段。

## 4 结论

间歇训练结合耐力训练对优秀公路自行车运动员的呼吸系统、有氧供能系统可产生积极的影响;而且,SIT结合耐力训练较HIIT结合耐力训练或传统耐力训练更能提高公路自行车运动员的有氧代谢能力和有氧运动能力,训练效果更佳。

## 参考文献:

- [1] Le Meur Y., Hausswirth C., et al. Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition[J]. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2009,(106):535-545.
- [2] Lucia A., Hoyos J., Chicharro J. L. Physiology of professional road cycling[J]. *Sports Med.*, 2001,(31):325-337.
- [3] Martino M., Gledhill N., Jamnik V. High  $VO_{2max}$  with no history of training is primarily due to high blood volume [J]. *Med. Sci. Sport Exer.*,2002, (34):966-971.
- [4] Bouchard C., Sarzynski M. A., et al. Genomic predictors of the maximal O<sub>2</sub> uptake response to standardized exercise training programs[J]. *J. Appl. Physiol.*, 2011, (110):1160-1170.
- [5] Astrand P. O., Saltin B. Maximal oxygen uptake in athletes[J]. *J. Appl. Physiol.*, 1967, 23(3):353-358.
- [6] Warburton D. E., Haykowsky M. J., et al. Blood volume expansion and cardiorespiratory function: effects of training modality[J]. *Med. Sci. Sport Exer.*, 2004, (36):991-1000.
- [7] Burgomaster K. A., Howarth K. R., et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans[J]. *J. Physiol.*, 2008, (586):151-160.
- [8] Pilegaard H., Saltin B., Neufer P. D. Exercise induces transient transcriptional activation of the PGC-1 $\alpha$  gene in human skeletal muscle[J]. *J. Physiol.*, 2003, (546):851-858.
- [9] Russell A. P., Feilchenfeldt J., Schreiber S., et al. Endurance training in human leads to fibre type-specific increases in levels of peroxisome proliferator-activated receptor-  $\gamma$  coactivator-1 and peroxisome proliferator-activated receptor  $\alpha$  in skeletal muscle[J]. *Diabetes*, 2003, (52):2874-2881.
- [10] Fluck M., Hoppeler H. Molecular basis of skeletal muscle plasticity-from gene to form function[J]. *Rev. Physiol. Bioch.*, 2003, (146):159-216.
- [11] Roxburgh B. H., Nolan P. B., et al. Is moderate intensity exercise training combined with high intensity inter-



- val training more effective at improving cardiorespiratory fitness than moderate intensity exercise training alone? [J]. *J. Sport Sci. Med.*, 2014, (13):702-707.
- [12] Arbab-Zadeh A., Dijk E., Prasad A., et al. Effect of aging and physical activity on left ventricular compliance [J]. *Circulation*, 2004, (110): 1799-1805
- [13] Goodman J. M., Liu P. P., Green H. J. Left ventricular adaptations following short-term endurance training[J]. *J. Appl. Physiol.*, 2005(98): 454-460.
- [14] 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. Spor.*, 2013, 3(2):341-352.
- [15] 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.
- [16] Bayati M., Farzad B., Gharakhanlou R., et al. A practical model of low -volume high -intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out' sprint interval training[J]. *J. Sports Sci. Med.*, 2011, 10(3):571-576.
- [17] Talanian J. L., Galloway S. D., Heigenhauser G. J., et al. Two weeks of high -intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women[J]. *J. Appl. Physiol.*, 2007, 102(4):1439-1447.
- [18] Helgerud J., Hoydal K., Wang E., et al. Aerobic high-intensity intervals improve  $VO_{2max}$  more than moderate training[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2007, 39(4):665-671.
- [19] Lindsay F. H., Hawley J. A., Myburgh K. H., et al. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1996, 28(11):1427-1434.
- [20] Stepto N. K., Hawley J. A., Dennis S. C., et al. Effects of different interval -training programs on cycling time-trial performance[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1999, 31(5):736-741.
- [21] Westgarth -Taylor C., Hawley J. A., Rickard S., et al. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance -trained cyclists[J]. *Eur. J. Appl. Occup. Physiol.*, 1997, 75(4):298-304.
- [22] Weston A. R., Myburgh K. H., Lindsay F. H., et al. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high intensity training by well -trained cyclists[J]. *Eur. J. Appl. Occup. Physiol.*, 1997, 75(1):7-13.
- [23] Smith T. P., Coombes J. S., Geraghty D. P. Optimising high intensity treadmill training using the running speed at maximal  $O_2$  uptake and the time for which this can be maintained[J]. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2003, 89(3-4):337-343.
- [24] Smith T. P., Mc Naughton L. R., Marshall K. J. Effects of 4 - wk training using  $V_{max}/T_{max}$  on  $VO_{2max}$  and performance in athletes[J]. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1999, 31(6):892-896.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] Creer A. R., Ricard M. D., et al. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists[J]. *Int. J. Sports Med.*, 2004, (25):92-98.
- [29] Zoladz J. A., Rademaker A. C. Human muscle power generating capability during cycling at different pedaling rates[J]. *Exp. Physiol.*, 2000, 85(1):117-124.
- [30] Nielsen J. S., Hansen E. A. Pedalling rate affects endurance performance during high-intensity cycling [J]. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2004, (92):114-120.
- [31] 马国强,李之俊,蔡怀敬,等.两种速度型间歇训练对自行车运动员有氧能力的影响[J].*中国运动医学杂志*, 2016, 35(5):423-431.
- [32] Riganas C. S., Vrabas I. S., Christoulas K., et al. Specific inspiratory muscle training does not improve performance or  $VO_{2max}$  levels in well trained rowers[J]. *J. Sports. Med. Phys. Fitness*, 2008, 48(3):285-292.
- [33] Blomstrand E., Krustup P., et al. Exercise training induces similar elevations in the activity of oxoglutarate dehydrogenase and peak oxygen uptake in the human quadriceps muscle[J]. *Pflug. Arch. Eur. J. Phy.*, 2011, (462):257-265.
- [34] Henriksson J., Reitman J. S. Time course of changes in human skeletal muscle succinate dehydrogenase and cytochrome oxidase activities and maximal oxygen uptake with physical activity and inactivity[J]. *Acta. Physiol. Scand*, 1977, (99):91-97.



- [35] Burgomaster K. A., Hughes S. C. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans[J]. *J. Appl. Physiol.*, 2005, (98):1985-1990.
- [36] Perry C. G., Lally J., Holloway G. P., et al. Repeated transient mRNA bursts precede increases in transcriptional and mitochondrial proteins during training in human skeletal muscle[J]. *J. Physiol.*, 2010, (588):4795-4810.
- [37] 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):901-911.
- [38] Rodas G., Ventura J. L., Cadefau J. A., et al. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism[J]. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2000, 82(5-6):480-486.
- [39] Burgomaster K. A., Heigenhauser G. J., Gibala M. J. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance[J]. *J. Appl. Physiol.*, 2006, 100(6):2041-2047.
- [40] Bailey S. J., Wilkerson D. P., et al. Influence of repeated sprint training on pulmonary VO<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans[J]. *Appl. Physiol.*, 2009(106):1875-1887
- [41] Trilk J. L., Singhal A., Bigelman K. A., Cureton K. J. Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women [J]. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2011(111):1591-1597.
- [42] Kumar P., Bin-Jaliach I. Adequate stimuli of the carotid body: more than an oxygen sensor[J]. *Resp. Physiol. Neurobi.*, 2007, (1):12-21.

(责任编辑:刘畅)

(上接第50页)

- [3] NBA.com[EB/OL][2009-08-24]. <http://www.nba.com/2009/news/08/24/international.release/index.html?rss=true>.
- [4] NBA 新季赞助商扫描:火箭冠名费够买巨星太阳最亏[EB/OL][2009-10-27]. <http://sports.sina.com.cn/k/2009-10-27/17574666227.shtml>.
- [5] Jan Hubbard. *The Official NBA Encyclopedia*(3rd Edition)[M].Doubleday Publishing Group: New York, 2000: 178.
- [6] 林振华.NBA 海外市场拓展策略研究[D].苏州大学, 2009:176-179.
- [7] Mustafa R. Y. Patterns of NBA Team Performance from 1950 to 1998[J].*Journal of Applied Statistics*,2000:5.
- [8] 陈国强,汪小波,王会寨.上海大型国际体育赛事媒介服务研究[J].*上海体育学院学报*,2009(3):48-52.
- [9] 戴光全,保继刚.西方事件及事件旅游研究的概念、内容、方法与启发(下)[J].*旅游学刊*,2003(6):111-119.
- [10] 约瑟夫·派恩[美],詹姆斯·H·吉尔摩[美].*体验经济* [M].北京:机械工业出版社,2002:55-58.
- [11] 温朝林.电视媒体在体育赛事报道中的竞争力研究[J].*今传媒*,2009(9):88-89.

(责任编辑:晏慧)