

·运动人体科学·

短期冲刺间歇训练对青年男子篮球运动员 肌氧含量和运动能力的影响

张学领

(郑州大学 体育学院, 河南 郑州 450044)

摘 要: 观察短期冲刺间歇训练对运动员运动中肌氧含量以及运动能力的影响, 为科学合理制定训练计划提供依据。将 30 名青年男子篮球运动员随机分为实验组(EG, $n=15$ 名)和对照组(CG, $n=15$ 名)。CG 运动员正常训练, EG 在正常训练基础上每周进行 2 次冲刺间歇训练, 实验周期为 4 周。分别于实验前后利用递增负荷实验测定有氧运动能力; 30 s Wingate 实验测定无氧运动能力; 近红外光谱测定技术(NIRS)监测高强度间歇运动实验中(反复 5 次 30 s Wingate 实验, 间歇期 4 min)股外侧肌氧含量的变化。结果显示: 实验后, 组内与实验前比较, EG 受试者递增负荷实验时的最大摄氧量和最大有氧功率升高($P<0.05$), 1 次 Wingate 实验时的峰值功率和平均功率增加($P<0.05$), 间歇运动实验中氧合血红蛋白和氧合肌红蛋白、脱氧血红蛋白和脱氧肌红蛋白以及组织氧合指数变化量的绝对值均显著性升高($P<0.05$), 血红蛋白总量无显著性改变($P>0.05$); CG 受试者所有指标均无显著性变化($P>0.05$)。结果表明: 短期冲刺间歇训练改善了青年男子篮球运动员有氧、无氧运动能力以及间歇运动时外周骨骼肌的摄氧能力。

关 键 词: 运动生理学; 冲刺间歇训练; 肌氧含量; 运动能力; 近红外光谱术; 青年男子篮球运动员
中图分类号: G804.2 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2016)04-0122-05

Effects of short-term sprint interval training on the muscle oxygen content and athletic capacity of young male basketball players

ZHANG Xue-ling

(School of Physical Education, Zhengzhou University, Zhengzhou 450044, China)

Abstract: The author observed the effects of short-term sprint interval training on the muscle oxygen content and athletic capacity of young male basketball players, so as to provide a criterion for establishing training plans in a scientific and rational way. The author divided 30 young male basketball players randomly into an experiment group (EG, $n=15$) and a control group (CG, $n=15$), let the players in group CG have normal training and let the players in group EG have 2 times of print interval training a week on the basis of normal training for 4 weeks, and respectively before and after the experiment, measured their aerobic exercise capacity by means of progressively increased load experiment, measured their anaerobic exercise capacity by means of 30s Wingate experiment, monitored the changing of vastus lateralis muscle oxygen content during high intensity interval exercise experiment (repeated 5 times of 30s Wingate experiment, interval 4min) by means of near-infrared spectroscopy (NIRS), and revealed the following findings: after the experiment, as compared with those measured before the experiment, the maximum oxygen uptake and maximum aerobic power of the testees in group EG increased ($P<0.05$) during progressively increased load experiment, their peak power and mean power increased ($P<0.05$) during 1 time Wingate experiment, during interval exercise experiment, the absolute values of change in oxyhaemoglobin + oxymyoglobin ($HbO_2 + MbO_2$), de-

收稿日期: 2016-03-17

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(152102310366)。

作者简介: 张学领(1973-), 男, 副教授, 博士, 硕士研究生导师, 研究方向: 功能性身体训练。E-mail: 382438066@qq.com

oxyhaemoglobin + deoxymyoglobin (HHb + HMb) and tissue oxygenation index (TSI) increased significantly ($P < 0.05$), while total haemoglobin (tHb) had no significant change ($P > 0.05$); all the indexes of the testees in group CG had no significant change ($P > 0.05$). The said findings indicated that short-term print interval training improved the aerobic and anaerobic exercise capacities of young male basketball players as well as their peripheral skeletal muscle's oxygen uptake capacity during interval exercise.

Key words: sports physiology; sprint interval training; muscle oxygen content; athletic capacity; near infrared spectroscopy; youth's basketball player

篮球项目常需要运动员在比赛中做出加速、全力冲刺等间歇性动作,其强度往往超出最大摄氧量(超大强度)并持续数秒。据统计,篮球运动员在一场比赛中的超大强度运动可占到总移动距离的11.2%~18.8%^[1],因此从总供能比例上看篮球属于有氧运动,但短时间无氧供能占到近1/4的比例,且无氧能力是决定比赛胜负的关键因素。冲刺间歇训练(sprint interval training, SIT)是高强度间歇训练的一种模式,可同时发展运动员有氧和无氧运动能力,其特点是以接近或超过最大有氧能力的强度运动与一定间歇交替进行^[2]。SIT时运动员需要全力冲刺(跑步、蹬车、游泳等)以维持较高甚至最高的生理刺激和反应^[2]。SIT提高运动能力的机制与骨骼肌系统、心血管系统、呼吸系统结构与功能改善以及代谢适应有关^[3-4]。

研究证实,SIT能够改善骨骼肌氧化能力,但具体机制尚不清楚。近红外光谱测定技术(near infrared spectroscopy, NIRS)可通过近红外线的氧依赖特征获取骨骼肌中氧代谢的变化^[5]。NIRS在临床医学中已得到广泛应用,但在运动医学与运动训练中开展的研究较少^[6]。便携式肌氧测定仪的出现为观察运动中肌肉氧代谢的变化提供了便利。不论是实验室测试还是运动现场测试,NIRS均具有较高的信度,可提供运动中肌肉氧合水平、脱氧速率以及再氧合速率等信息^[6]。即使短时间运动(如持续数秒的冲刺训练),亦可通过NIRS快速获取运动中的肌肉氧代谢情况。由于通过NIRS可进行无创检测和无线遥测且结果信度高,因此将其应用于运动员可为个性化训练方案的制定以及训练调控提供保障。有关身体机能对SIT的急性反应业已明确^[7-8],但SIT诱导的慢性生理适应则鲜有关注。本研究旨在探讨短期SIT对青年男子篮球运动员运动中肌氧含量和运动能力的影响。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

选取30名青年男子(年龄18~22岁)篮球运动员,国家1级和2级水平。受试者身体健康,无心血管和肺脏疾病、代谢性疾病和运动系统疾病,无烟酒嗜好,

近期无急慢性感染、运动损伤以及使用药物和营养补剂。将受试者随机分为实验组(experimental group, EG)和对照组(control group, CG),每组15人。CG运动员正常训练4周,EG在正常训练基础上还需完成每周2次、共4周的SIT干预。

1.2 实验总体设计

实验前告知注意事项并签订知情同意书。受试者分3次进入运动生理实验室进行相关测试。第1次:熟悉实验流程与功率自行车的使用并进行预实验。第2次:间隔48h后,测定身体形态学、血液动力学参数,利用递增负荷实验测定有氧运动能力,利用1次Wingate实验测定无氧运动能力,利用便携式肌氧测定仪测定高强度间歇运动实验中肌氧含量的变化。次日开始进行4周实验干预。第3次:末次实验48h后再次进行上述各项测试,内容同第2次。嘱受试者实验前48h清淡饮食,避免剧烈运动,避免吸烟、饮酒和喝咖啡。

1.3 身体形态学、血液动力学测定

测定身高(m)、体质量(kg)并计算体质量指数(body mass index, BMI)。用身体组成分析仪(Inbody 520,韩国)以生物电阻抗法测定身体成分,包括脂肪质量(fat mass, FM)、去脂体质量(free fat mass, FFM)和体脂百分比(percent body fat, BF(%))。坐位休息5~10min后用标准台式水银柱血压计测量右上臂肱动脉血压,测量3次取均值(每次间隔5min),获得收缩压(systolic blood pressure, SBP)和舒张压(diastolic blood pressure, DBP)。计数3次(4×15s)脉搏取均值作为安静心率(heart rate, HR)值。

1.4 有氧运动能力测定

利用递增负荷功率车(Monark 839E,瑞典)实验测定有氧运动能力。测试方案:起始负荷90W,每2min递增30W,保持60r/min蹬车速度。用德国产Cortex II型运动心肺代谢系统测定摄氧量(VO_2)、 CO_2 呼出量(VCO_2)等通气指标,用遥测心率表(Polar S800,芬兰)记录HR,根据主观疲劳感觉(ratings of perceived exertion, RPE)量表(6~20级)记录疲劳程度。若出现以下4个标准中的3个即终止实验:(1)呼吸商($RQ = VCO_2/VO_2$)

超过 1.15; (2) 心率超过 180 b/min; (3) 出现摄氧量平台, 即 VO_2 的变化幅度不超过 150 mL/min; (4) 受试者主诉力竭。此时的 VO_2 值即最大摄氧量(maximal oxygen uptake, VO_{2max}), 记录最大心率(HR_{max})、最大血压值(SBP_{max} 和 DBP_{max})、最大有氧功率(maximal aerobic power, MAP)、最大 RQ(RQ_{max})和最大 RPE(RPE_{max})。

1.5 肌氧含量测定

使用无氧功率自行车(Powermax VII, 日本)进行一次高强度间歇运动实验(反复 5 次 30 s Wingate 实验, 间歇期 4 min)。受试者先进行 5~10 min 准备活动, 之后开始正式实验: 受试者尽全力蹬车, 同时阻力增大, 在 2~3 s 内达到规定负荷(阻力负荷为 0.075 kg/kg), 运动中不断给予受试者口头鼓励, 30 s 结束。间歇期受试者坐在功率车上安静休息 4 min。用便携式肌氧测定仪(ISAH-100, 中国)连续监测肌氧含量变化。选择人体最大且在该运动中作为主要原动肌的股四头肌外侧头即股外侧肌作为肌氧含量的监测点, 将探头纵向置于右侧大腿髌骨中点上 10~12 cm 处, 探头的轴线平行于大腿。为防止汗水的影响在探头与皮肤之间贴一层超薄透光塑料膜并用一特制遮光装置固定探头以防止漏光。以蓝牙方式连接肌氧仪与电脑, 每 0.1 s 采集一次数据并获取以下指标: 脱氧血红蛋白和脱氧肌红蛋白(deoxyhaemoglobin+deoxymyoglobin, HHb+HMb)、氧合血红蛋白和氧合肌红蛋白(oxyhaemoglobin+oxymyoglobin, HbO_2+MbO_2)、组织氧合指数(tissue oxygenation index, TSI)和血红蛋白总量(total haemoglobin, tHb)。用实验中的数据与安静基础值(测定实验前安静状态下 30 s 的平均值)的差值作为该指标的变化量, 分别记作 $\Delta HHb+HMb$ 、 ΔHbO_2+MbO_2 、 ΔTSI 和 ΔtHb 。TSI 单位为一, 其余均为 $\mu\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.6 无氧运动能力测定

利用 1 次 30 s Wingate 实验测定无氧运动能力。实际操作中, 取反复 5 次 30 s Wingate 实验中第 1 次的峰值功率(peak power, PP)、平均功率(mean power, MP)和疲劳指数(fatigue index, FI)作为无氧能力参数。具体流程见 1.5 节。

1.7 训练计划

CG 受试者进行常规训练(有氧训练和力量训练为主), EG 在正常训练基础上完成 2 次/周、共 4 周的 SIT。SIT 在功率自行车(Powermax VII, 日本)上完成, 5~10 min 拉伸后在功率车上进行 3~5 min(50 W)准备活动, 然后开始正式训练, 方案为: 以 PP 强度(30 s Wingate 实验测定的峰值功率)蹬车 60 s、间歇 75 s 为 1 组, 间歇期(4 min)进行积极性恢复(即以 50 W 负荷继续蹬车), 第 1 周重复 6 组, 第 2 周重复 8 组, 第 3~4 周重复 10 组。训练后进行 5~10 min 整理活动(50 W 继续蹬车以及牵伸练习)。

1.8 统计学处理

所有数据以“均数 \pm 标准差”($\bar{x} \pm s$)表示。用 SPSS 20.0 for windows 统计软件包进行数据处理, 组间比较使用独立样本 t 检验, 组内(实验前后)比较使用配对 t 检验。统计学差异定为 $P < 0.05$ 。

2 结果及分析

2.1 受试者的基线特征

所有受试者均按计划完成了全部实验, 无失访者。受试者基线特征见表 1, 两组运动员在年龄、训练年限、身体形态学(身高、体质量、BMI、FM、FFM、体脂百分比(BF)和血流动力学(HR、SBP 和 DBP)等变量间均无显著性差异($P > 0.05$), 组间具有可比性。

表 1 受试者的基线特征($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	年龄/岁	身高/m	体质量/kg	BMI/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$)	训练年限	FM/kg	FFM/kg	BF/%	HR/($\text{b} \cdot \text{min}^{-1}$)	SBP/mmHg	DBP/mmHg
EG	15	19.7 ± 1.9	1.86 ± 0.04	72.0 ± 5.1	20.9 ± 1.7	4.9 ± 0.8	9.8 ± 1.1	62.1 ± 5.1	13.7 \pm 1.7	68.1 \pm 7.3	118.1 ± 8.4	70.2 ± 3.5
CG	15	20.5 ± 1.7	1.88 ± 0.05	71.9 ± 8.4	20.3 ± 2.6	5.0 ± 0.7	10.0 ± 0.8	61.9 ± 8.4	14.1 \pm 2.2	66.7 \pm 8.0	113.6 ± 9.0	72.1 ± 5.5
t 值		-1.240	-1.561	0.360	0.754	-0.532	-0.499	0.160	-0.575	0.511	1.404	-1.164
P 值		0.225	0.130	0.971	0.457	0.599	0.621	0.916	0.570	0.614	0.171	0.254

2.2 实验前后身体形态学和血液动力学的变化

实验后, 两组受试者身体形态学和血液动力学各

参数均无显著性变化($P > 0.05$)(见表 2)。

表2 实验前后身体形态学和血液动力学的变化($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	体质量/kg		BMI/(kg·m ⁻²)		FM/kg		FFM/kg	
		实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后
EG	15	72.0±5.1	71.7±5.6	20.9±1.7	20.9±2.0	9.8±1.1	9.7±0.7	62.1±5.1	62.0±6.0
CG	15	71.9±5.1	69.6±6.7	20.3±2.6	19.7±2.3	10.0±0.8	9.9±0.8	61.9±8.4	59.7±6.7

组别	例数	BF/%		HR/(b·min ⁻¹)		SBP/mmHg		DBP/mmHg	
		实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后
EG	15	13.7±1.7	13.7±1.8	68.1±7.3	66.5±8.0	118.1±8.4	114.3±9.5	70.2±3.5	71.6±6.1
CG	15	14.1±2.2	14.3±1.8	66.7±8.0	67.2±7.6	113.6±9.0	115.6±8.8	72.1±5.5	71.7±4.6

2.3 实验前后有氧运动能力的变化

实验前, 两组有氧运动能力参数均无显著性差异($P>0.05$)。实验后, 组内与实验前比较, EG 受试者 VO_{2max}

和 MAP 升高($P<0.05$), CG 各指标均无显著性变化($P>0.05$); 组间比较, EG 受试者 VO_{2max} 和 MAP 高于 CG($P<0.05$)(见表 3)。

表3 实验前后有氧运动能力的变化($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	$VO_{2max}/(mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1})$		MAP/(W·kg ⁻¹)		HR/(b·min ⁻¹)		SBP _{max} /mmHg	
		实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后
EG	15	55.6±3.8	58.7±3.5 ¹⁾²⁾	3.85±0.37	4.12±0.41 ¹⁾²⁾	179.3±8.3	182.4±9.2	177.8±12.4	178.4±13.0
CG	15	53.2±3.1	54.1±4.2	3.91±0.56	3.90±0.45	181.4±7.9	180.6±10.3	179.7±11.1	182.0±14.4

组别	例数	DBP _{max} /mmHg		RQ _{max}		RPE _{max}	
		实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后
EG	15	68.5±7.7	66.7±10.5	1.15±0.22	1.12±0.27	17.8±3.1	18.1±3.7
CG	15	69.2±8.0	71.8±9.9	1.18±0.19	1.15±0.20	18.0±3.5	17.7±4.3

1)与实验前比较, $P<0.05$; 2)与 CG 组比较, $P<0.05$

2.4 实验前后无氧运动能力的变化

实验前, 两组无氧运动能力参数均无显著性差异($P>0.05$)。实验后, 组内与实验前比较, EG 受试者 PP

和 MP 升高($P<0.05$), FI 无显著性改变($P>0.05$), CG 各参数均无显著性变化($P>0.05$); 组间比较, EG 受试者 PP 和 MP 高于 CG($P<0.05$)(见表 4)。

表4 实验前后无氧运动能力的变化($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	PP/(W·kg ⁻¹)		MP/(W·kg ⁻¹)		FI/%	
		实验前	实验后	实验前	实验后	实验前	实验后
EG	15	8.67±0.72	8.98±0.98 ¹⁾²⁾	7.46±0.80	7.87±0.86 ¹⁾²⁾	43.5±5.3	45.6±6.0
CG	15	8.71±1.01	8.62±0.88	7.35±0.87	7.39±0.90	46.6±5.9	45.0±7.1

1)与实验前比较, $P<0.05$; 2)与 CG 组比较, $P<0.05$

2.5 实验前后高强度间歇运动实验中肌氧含量的变化

实验前, 两组高强度间歇运动实验中肌氧含量均无显著性差异($P>0.05$)。实验后, 组内与实验前比较, EG 受试者 ΔTSI 、 $\Delta Hb + HMb$ 和 $\Delta HbO_2 + MbO_2$ 绝对

值升高($P<0.05$), ΔtHb 无显著性改变($P>0.05$), CG 各参数无显著性变化($P>0.05$); 组间比较, EG 受试者 ΔTSI 、 $\Delta Hb + HMb$ 和 $\Delta HbO_2 + MbO_2$ 高于 CG($P<0.05$)(见表 5)。

表5 实验前后肌氧含量的变化($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	$\Delta TSI/\%$		$c(\Delta Hb + HMb)/(\mu mol \cdot L^{-1})$	
		实验前	实验后	实验前	实验后
EG	15	-7.89±1.36	-13.55±2.07 ¹⁾²⁾	-7.89±1.36	-13.55±2.07 ¹⁾²⁾
CG	15	-8.12±2.11	-8.20±1.89	-8.12±2.11	-8.20±1.89

组别	例数	$c(\Delta HbO_2 + MbO_2)/(\mu mol \cdot L^{-1})$		$c(\Delta tHb)/(\mu mol \cdot L^{-1})$	
		实验前	实验后	实验前	实验后
EG	15	-71.5±11.3	-109.4±21.2 ¹⁾²⁾	-71.5±11.3	-109.4±21.2 ¹⁾²⁾
CG	15	-73.6±12.5	-76.9±15.3	-73.6±12.5	-76.9±15.3

1)与实验前比较, $P<0.05$; 2)与 CG 组比较, $P<0.05$

3 讨论

本研究发现 4 周 SIT 后受试者运动中骨骼肌摄氧能力增强, 表现为实验后反复 Wingate 实验时 ΔTSI 、 $\Delta Hb + HMb$ 和 $\Delta HbO_2 + MbO_2$ 绝对值增加; 此外, EG 运动员有氧、无氧运动能力提高, 而 CG 则无显著性

变化, 提示短期 SIT 可有效改善优秀青年男子篮球运动员的运动能力, 其中有氧代谢改善对于降低由于过度训练引起运动损伤的风险具有重要意义。

在本研究中, EG 运动员 VO_{2max} 、MAP、PP 和 MP 升高, 说明短期 SIT 可同时改善有氧和无氧运动能力,

其机制在于 SIT 可同时刺激机体的有氧和无氧代谢系统(即混氧训练)。本研究采用的运动强度对应 1 次 Wingate 实验中的峰值功率,此强度已超过 VO_{2max} ,因此可造成机体的强烈应激。与本研究的训练方案相似且针对非运动员的研究发现^[9],2 周 SIT 即可改善受试者 Wingate 实验中的 MP 和 PP 以及运动表现。有氧运动能力改善的机制包括中枢适应和外周适应两方面。训练强度超过 $80\%VO_{2max}$ 即可诱导肌肉外周适应,包括毛细血管增多、线粒体增殖、氧化酶活性增强^[10]。Buchheit 等^[11]近期的一项研究显示,SIT(6×30 s 全力蹬车,间歇 2 min)时运动强度超过 $90\%VO_{2max}$ 并同时诱导心肺系统运氧能力和骨骼肌摄氧能力增强。

SIT 促进外周适应的机制尚不明确,可能与骨骼肌代谢能力改善有关。NIRS 是监测肌肉中氧代谢变化的无创手段,可对训练过程进行连续实时监控并及时反馈信息。Bailey 等^[12]对比了 2 周高强度间歇训练和持续有氧训练对全力蹬车时肌氧动力学的影响,结果发现,高强度间歇训练后 $\Delta Hb+Hmb$ 明显高于持续有氧训练。Neary 等^[13]研究发现,自行车运动员 3 周高强度间歇训练后 VO_{2max} 、20 km 计时赛成绩以及 $\Delta Hb+Hmb$ 均显著增加。本研究以青年男子篮球运动员为受试对象并发现,实验后 EG 受试者反复 Wingate 实验时 ΔTSI 、 $\Delta Hb+Hmb$ 和 ΔHbO_2+MbO_2 绝对值增加,而 ΔtHb 则无显著性改变,由于 TSI 、 $(Hb+Hmb)$ 和 (HbO_2+MbO_2) 不受血容量变化的影响,因此 4 周 SIT 改善了运动中骨骼肌的摄氧能力。由于线粒体是肌细胞利用氧的主要场所,并且研究证实肌肉反复收缩时募集的肌纤维中线粒体生物合成增加^[14],而与传统低强度耐力训练比较,高强度 SIT 可更为显著的促进 I 型和 II 型肌纤维产生结构与功能适应^[15],因此推测,线粒体生物合成增加是 SIT 改善骨骼肌摄氧能力的主要原因^[16]。

参考文献:

- [1] SCANLAN A, HUMPHRIES B, TUCKER P S, et al. The influence of physical and cognitive factors on reactive agility performance in men basketball players[J]. *J Sports Sci*, 2014, 32(4): 367-374.
- [2] 黎涌明. 高强度间歇训练对不同训练人群的应用效果[J]. *体育科学*, 2015, 35(8): 59-75.
- [3] FREESE E C, GIST N H, CURETON K J. Physiological responses to an acute bout of sprint interval cycling[J]. *J Strength Cond Res*, 2013, 27(10): 2768-2773.
- [4] 施曼莉,朱荣. 高强度间歇运动对骨骼肌糖原含量的影响及机制研究[J]. *体育科学*, 2015, 35(4): 66-71.
- [5] 赵军,丁海曙,阮曼奇,等. 利用频域近红外光谱仪和磁共振谱仪测量骨骼肌能量代谢[J]. *光谱学与光谱分析*, 2005, 25(6): 861-865.
- [6] 林红,习玉宝,於辉. 用近红外组织血氧参数无损监测仪进行运动人体研究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2014, 34(6): 1538-1541.
- [7] KILPATRICK M W, GREELEY S J. Exertional responses to sprint interval training: a comparison of 30-sec. and 60-sec. conditions[J]. *Psychol Rep*, 2014, 114(3): 854-865.
- [8] SCALZO R L, PELTONEN G L, BINNS S E, et al. Greater muscle protein synthesis and mitochondrial biogenesis in males compared with females during sprint interval training[J]. *FASEB J*, 2014, 28(6): 2705-2714.
- [9] JACOBS R A, FLUCK D, BONNE T C, et al. Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function[J]. *J Appl Physiol*, 2013, 115(6): 785-793.
- [10] STONE N M, KILDING A E. Aerobic conditioning for team sport athletes[J]. *Sports Med*, 2009, 39(8): 615-642.
- [11] BUCHHEIT M, ABBISS C R, PEIFFER J J, et al. Performance and physiological responses during a sprint interval training session: relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(2): 767-779.
- [12] BAILEY S J, WILKERSON D P, DIMENNA F J, et al. Influence of repeated sprint training on pulmonary O_2 uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans[J]. *J Appl Physiol*, 2009, 106(6): 1875-1887.
- [13] NEARY J P, MCKENZIE D C, BHAMBHANI Y N. Effects of short-term endurance training on muscle deoxygenation trends using NIRS[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34(11): 1725-1732.
- [14] HOLLOSZY J O, COYLE E F. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences[J]. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 1984, 56(4): 831-838.
- [15] HOOD D A. Invited review: contractile activity-induced mitochondrial biogenesis in skeletal muscle[J]. *J Appl Physiol*, 2001, 90(3): 1137-1157.
- [16] DIMENNA F J, WILKERSON D P, BURNLEY M, et al. Priming exercise speeds pulmonary O_2 uptake kinetics during supine "work-to-work" high-intensity cycle exercise[J]. *J Appl Physiol*, 2010, 108(2): 283-292.