

DOI:10.3724/SP.J.1008.2010.01104

## 湿热生理习服训练对运动后血清钾、钠浓度及白细胞计数的影响

房晓<sup>△</sup>, 张雷<sup>△</sup>, 邓元, 肖辉, 包瀛春\*

第二军医大学基础部军事体育学教研室, 上海 200433

**[摘要]** **目的** 测定湿热环境训练组与空白对照组运动后血钾、钠离子浓度和白细胞计数, 探讨运动后上述指标变化与机体对湿热环境习服的关系。 **方法** 选取某大学 59 名年龄 18~23 岁的男性健康志愿者, 随机分为训练组 30 人、对照组 29 人, 清晨空腹抽取上肢静脉血, 测定血中的钾、钠离子浓度和白细胞计数; 训练组进行为期 6 周的湿热环境体能训练, 对照组未进行任何训练, 随后对两组人员进行湿热环境下的踏步与负重跑运动测试, 并于次晨取上肢静脉血测定钾、钠离子浓度和白细胞计数。 **结果** 训练前两组人员的血中钾、钠离子浓度和白细胞计数均无统计学差异; 运动测试后, 对照组血钾浓度相比训练组较训练前的基础值升高 ( $F=9.27, P=0.0035$ ); 训练组、对照组的血清钠浓度在运动测试后均较训练前基础值升高, 而对照组升高则更明显 ( $F=366.46, P<0.0001$ ); 较训练前的基础值对照组白细胞总数相比训练组升高 ( $F=10.20, P=0.0023$ ); 在白细胞分类计数中, 运动后的中性粒细胞绝对数和比例升高 ( $F=12.25, P=0.0009$ ;  $F=9.45, P=0.0032$ ), 其他白细胞成分的变化不明显。 **结论** 湿热环境下体能习服训练有利于提高机体运动及调节能力。

**[关键词]** 湿热环境; 训练; 血钾; 血钠; 白细胞计数; 中性粒细胞计数

**[中图分类号]** R 122 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2010)10-1104-05

### Effects of humid heat environment conditioning on post-training serum K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> concentrations and blood leukocyte count

FANG Xia<sup>△</sup>, ZHANG Lei<sup>△</sup>, DENG Yuan, XIAO Hui, BAO Ying-chun\*

Department of Military Physical Education, College of Basic Medical Sciences, Second Military Medical University, Shanghai 200433, China

**[Abstract]** **Objective** To identify the effects of humid heat environment conditioning on the serum K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> concentrations and blood leukocyte count after weight-loading physical ability test (PAT), and to investigate the parameter changes with humid heat environment conditioning. **Methods** A total of 59 male healthy volunteers, aged 18-23 years old, were divided into two groups, with 30 in the training group and 29 in the control group. The fasting venous blood samples were taken in the morning in both groups for determination of serum K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> concentrations and blood leukocyte count. The subjects in the training group received physical training (weight-loading) under humid heat environment condition for 6 weeks, and those in the control group received no training. Then the serum K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> concentrations and blood leukocyte count were determined again the next morning after they had participated a weight-loading PAT. **Results** The serum K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> concentrations and blood leukocyte counts were similar in the 2 groups before training. The increase of electrolyte concentration after PAT was more prominent in the control group compared with the baseline level before training in the training group ( $F=9.27, P=0.0035$ ;  $F=366.46, P<0.0001$  for K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup>, respectively). Meanwhile, the control group also exhibited a significant elevation of total leukocyte count after PAT compared with the baseline level before training in the training group ( $F=10.20, P=0.0023$ ), mainly attributable to the increase of neutrophils ( $F=12.25, P=0.0009$ ). **Conclusion** The post-PAT serum Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> concentrations and white blood cell count, mainly neutrophils count, increase much more remarkably in the subjects undergoing no training in humid heat environment than those have been trained in humid heat environment.

**[Key words]** humid heat environment; training; serum potassium; serum sodium; leukocyte count; neutrophils count

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2010, 31(10):1104-1108]

**[收稿日期]** 2010-04-20 **[接受日期]** 2010-08-24

**[基金项目]** 新药创制重大专项课题(2008ZXJ09009-002). Supported by Major Drug Innovation Projects of China (2008ZXJ09009-002).

**[作者简介]** 房晓, 第二军医大学临床医学专业八年制 2005 级学员. E-mail: fxloveswing@126.com; 张雷, 第二军医大学临床医学专业八年制 2005 级学员. E-mail: ra\_eagle@hotmail.com

<sup>△</sup>共同第一作者(Co-first authors).

\* 通讯作者(Corresponding author). Tel: 021-81871066, E-mail: byc1958@yahoo.cn

湿热环境下运动后,血中钾、钠离子浓度及白细胞计数会出现一过性升高,且升高程度与运动强度有关。这一方面是机体对运动的一种适应性反应,但同时也反映了运动后个体的炎症与应激状态,并对机体产生诸多不利的影响,如胞内钾离子的释放引起肌肉疼痛<sup>[1]</sup>;当白细胞尤其是中性粒细胞计数升高时,其介导的非特异性炎症反应可能导致机体严重疲劳<sup>[2]</sup>。通过训练能显著提高运动能力及改善运动后的酸痛、疲劳等<sup>[3]</sup>。本研究以某大学59名年龄18~23岁的男性志愿者为测试对象,随机分为训练组30人和对照组29人,训练组予湿热运动生理习服训练6周,对照组未进行任何训练,观察两组人员运动后12 h内血中钾、钠离子浓度和白细胞计数及分类计数升高或降低程度的差异。

## 1 材料和方法

1.1 受试者的选择 选取某大学59名18~23岁的健康男性志愿者作为受试对象,所有对象均知情同意并签署知情同意书。

1.2 场地与设施 模拟环境实验室面积123 m<sup>2</sup>、层高3 m,可同时容纳40人训练。环境制热:采用地面、墙体电加热辐射与顶部光照的方法,设计最高温度46℃,多处分层温度探测器,可控制环境温度稳定在设定范围内。环境加湿:由电锅炉将蒸汽从管道输送至实验室,根据传感器显示的湿度,通过阀门调节可控制实验室湿度,设计最大湿度90%。常温环境由3台4匹空调将环境温度精确控制在20℃。测试设备为自行研制的吊转式模拟训练装置2套,每套可同时进行4人检测,在预先编程的控制下可产生顺时针匀速和变速多种旋转方法。实验室内安装有二氧化碳报警探测、环境气体交换和室内气体对流装置等,配有休息室和医疗护理室,训练过程中采取充分的水电解质补充措施,予医用口服补液盐溶液口服补液,以保证人员安全,防止脱水中暑等事故发生。

1.3 人员组织与测量方法 开始训练前,测定所有入组人员的血中钾、钠离子浓度和白细胞分类计数,标本为清晨空腹静脉血。开始训练后,训练内容为热习服与负重体能训练,包括踏步机徒手踏步和跑步机徒手跑、负重走或负重快走,负重质量为25 kg,并令受试者固定跑步机,每周一、三、五训练3次;环境温、湿度采取逐周递增的方式,首次训练的温、湿度分别为38℃/40%,随后以等差递增的方式,至第4周末次训练时升至40℃/85%,并按照此温湿度维持至训练结束。前3周人员着作训短袖,后3周人员着制式迷彩服训练;在整个训练过程中测量人员

的运动后肛温。训练后,组织两组人员均进行12 min负重跑测试,跑步时的环境温湿度为38℃/80%,并于次晨(负重跑测试后12 h内)空腹抽取静脉血,再次测定两组人员的血中钾、钠离子浓度和白细胞分类计数。

1.4 数据采集和统计学处理 本次试验全部血液标本均送第二军医大学长征医院实验诊断科检验,参与检测人员及数据录入人员均不参与实验组织与设计;对两组人员训练前的各组数据行 $t$ 检验;训练结束后对各组数据采用重复测量资料的方差分析。

## 2 结果

2.1 人员湿热环境习服的建立 每次训练均测定人员训练后肛温,以此为主要监控指标,结合询问受试者主观感受,保证人员的训练安全,掌握参训人员湿热环境习服的获得情况。训练组肛温变化趋势见图1。训练过程中的最高平均肛温为38.6℃,记录到的个人最高肛温为40.0℃,人员未诉特殊不适;在第6周末,训练人员的平均肛温为37.5℃,且平均肛温稳定在该点附近不再上升的时间大于连续3个训次,故可以认为,截至全部训练结束,训练的实施始终是安全的;训练6周后,人员的生理及体能状况稳定在习服状态。

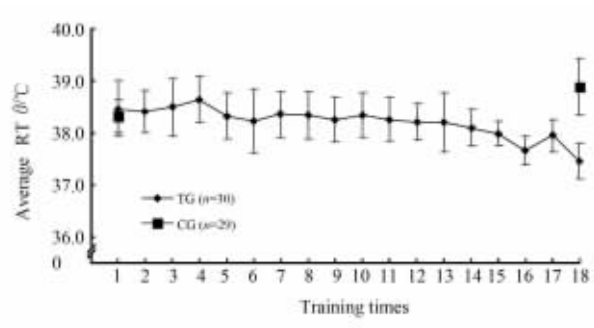


图1 受试人员运动后肛温平均值变化情况

Fig 1 Rectal temperature change trends of subjects after training

RT: Rectal temperature; TG: Training group; CG: Control group

2.2 湿热生理习服训练对运动后血清钾、钠浓度的影响 结果见表1、表2。表1中,两组训练前采用成组数据的 $t$ 检验, $P$ 值为0.9636,表明训练前两组血钾基础水平差异无统计学意义;湿热环境体能测试后两组均采用自身前后对照的配对 $t$ 检验,统计量 $t$ 分别为-0.40、3.75, $P$ 值分别为0.6920和0.0008,只有训练组运动后血钾浓度变化差异无统计学意义;对以上数据进行重复测量资料的方差分

析,统计量  $F$  为 9.27,  $P$  值为 0.003 5。两组运动后血钠水平较训练前基础值均有升高,对照组的升高更显著;经重复测量资料的方差分析得统计量  $F$  为 366.46,  $P$  值小于 0.000 1,说明在运动测试后 12 h 内,未经训练的对照组血钠浓度升高的程度高于已获得湿热生理习服的训练组,差异有统计学意义。

表 1 湿热环境体能训练对运动后血钾的影响

Tab 1 Effects of training in humid heat environment on post-PAT serum  $K^+$  concentration

Group	[ $\bar{x} \pm s, c_B / (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$ ]		
	Before training	After PAT	Increase
Training ( $n=30$ )	4.500 $\pm$ 0.219	4.472 $\pm$ 0.437	-0.028 $\pm$ 0.371
Control ( $n=29$ )	4.497 $\pm$ 0.330	4.783 $\pm$ 0.337	0.287 $\pm$ 0.419
$t$	0.05	-0.40	3.75
$P$	0.963 6	0.692 0	0.000 8

RM-ANOVA:  $F=9.27, P=0.003 5$ . PAT: Physical ability test; RM-ANOVA: Repeated measures analysis of variance

表 2 湿热环境体能训练对运动后血钠的影响

Tab 2 Effects of training in humid heat environment on post-PAT serum  $Na^+$  concentration

Group	[ $\bar{x} \pm s, c_B / (\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})$ ]		
	Before training	After PAT	Increase
Training ( $n=30$ )	141.66 $\pm$ 1.01	145.38 $\pm$ 1.29	3.72 $\pm$ 1.33
Control ( $n=29$ )	140.43 $\pm$ 1.14	145.27 $\pm$ 1.98	4.83 $\pm$ 2.02
$t$	4.36	15.04	5.26
$P$	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1

RM-ANOVA:  $F=366.46, P<0.000 1$ . PAT: Physical ability test; RM-ANOVA: Repeated measures analysis of variance

表 4 湿热环境体能训练对运动后白细胞分类计数的影响

Tab 4 Effects of training in humid heat environment on post-PAT blood leukocyte subgroup counts

Leukocyte differential count	Before training			After PAT				RM-ANOVA results	
	Average	$t$	$P$	Average	Increase	$t$	$P$	$F$	$P$
Neutrophil									
TruCount ( $\times 10^9/L$ )									
TG	3.46 $\pm$ 1.25	0.35	0.724 0	3.24 $\pm$ 0.84	-0.221 $\pm$ 1.359	-0.88	0.387 6	12.25	0.000 9
CG	3.35 $\pm$ 1.12			4.20 $\pm$ 0.98	0.850 $\pm$ 0.967	4.82	<0.000 1		
Percentage (%)									
TG	55.58 $\pm$ 6.81	0.79	0.433 5	54.13 $\pm$ 4.95	-1.45 $\pm$ 6.39	-1.22	0.231 5	9.45	0.003 2
CG	54.17 $\pm$ 6.94			57.95 $\pm$ 5.48	3.78 $\pm$ 6.68	3.10	0.004 3		
Lymphocyte									
TruCount ( $\times 10^9/L$ )									
TG	1.96 $\pm$ 0.42	-1.46	0.149 0	2.12 $\pm$ 0.49	0.164 $\pm$ 0.476	1.86	0.073 8	0.14	0.705 3
CG	2.13 $\pm$ 0.46			2.34 $\pm$ 0.54	0.210 $\pm$ 0.458	2.52	0.017 7		
Percentage (%)									
TG	34.15 $\pm$ 5.94	-0.43	0.671 7	35.93 $\pm$ 5.19	1.78 $\pm$ 5.84	1.64	0.112 0	6.28	0.015 1
CG	34.86 $\pm$ 6.85			32.50 $\pm$ 5.47	-2.36 $\pm$ 6.80	-1.90	0.067 2		

2.3 湿热生理习服训练对运动后白细胞计数的影响 结果见表 3、表 4。对表 3、表 4 中习服训练前的各组数据进行成组资料的  $t$  检验,所得到的  $P$  值均大于 0.05,说明训练前白细胞总数、分类计数及其比例的差异无统计学意义。随后对各指标采用自身前后对照的配对  $t$  检验和重复测量资料的方差分析,表 3 中,训练组白细胞计数自身前后对照的  $t = -0.45, P = 0.655 9$ ,而对照组  $t = 5.26$  和  $P < 0.000 1$ ;对以上数据进行重复测量资料的方差分析,统计量  $F$  为 10.20,  $P$  值为 0.002 3。结果说明在运动测试后 12 h 内,未经训练的对照组白细胞计数升高的程度高于获得湿热生理习服的训练组,差异具有统计学意义。类似地,在表 4 中,变化具有统计学意义的指标主要有中性粒细胞绝对计数和百分比、淋巴细胞百分比及单核细胞绝对计数,其中又以中性粒细胞的变化最有意义,另两项指标的改变则可能是由于中性粒细胞数量明显变化所造成的。

表 3 湿热环境体能训练对运动后白细胞计数的影响

Tab 3 Effects of training in humid heat environment on post-PAT white blood cell count

Group	( $\bar{x} \pm s, \times 10^9/L$ )		
	Before training	After PAT	Increase
Training ( $n=30$ )	6.107 $\pm$ 1.615	5.952 $\pm$ 1.310	-0.155 $\pm$ 1.855
Control ( $n=29$ )	6.110 $\pm$ 1.543	7.243 $\pm$ 1.469	1.133 $\pm$ 1.180
$t$	-0.01	-0.45	5.26
$P$	0.994 0	0.655 9	<0.000 1

RM-ANOVA:  $F=10.20, P=0.002 3$ . PAT: Physical ability test; RM-ANOVA: Repeated measures analysis of variance

(续表)

Leukocyte differential count	Before training			After PAT				RM-ANOVA results	
	Average	<i>t</i>	<i>P</i>	Average	Increase	<i>t</i>	<i>P</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Monocyte									
TruCount ( $\times 10^9/L$ )									
TG	0.45 $\pm$ 0.13	-0.17	0.864 5	0.46 $\pm$ 0.11	0.002 $\pm$ 0.141	0.08	0.937 4	5.52	0.022 3
CG	0.46 $\pm$ 0.16			0.54 $\pm$ 0.13	0.077 $\pm$ 0.103	4.10	0.000 3		
Percentage (%)									
TG	7.69 $\pm$ 0.74	1.78	0.081 1	7.67 $\pm$ 0.70	-0.02 $\pm$ 0.87	-0.11	0.916 1	0.39	0.532 3
CG	7.23 $\pm$ 1.21			7.38 $\pm$ 0.88	0.15 $\pm$ 1.15	0.72	0.479 8		
Eosinophil									
TruCount ( $\times 10^9/L$ )									
TG	0.17 $\pm$ 0.11	0.27	0.788 3	0.11 $\pm$ 0.06	-0.058 $\pm$ 0.094	-3.35	0.002 3	3.11	0.083 3
CG	0.16 $\pm$ 0.12			0.14 $\pm$ 0.11	-0.018 $\pm$ 0.083	-1.16	0.253 6		
Percentage (%)									
TG	3.01 $\pm$ 2.20	1.13	0.262 5	1.89 $\pm$ 0.95	-1.12 $\pm$ 1.76	-3.43	0.001 9	2.29	0.135 8
CG	2.44 $\pm$ 1.64			1.92 $\pm$ 1.37	-0.52 $\pm$ 1.23	-2.32	0.027 4		
Basophil									
TruCount ( $\times 10^9/L$ )									
TG	0.02 $\pm$ 0.02	-0.35	0.726 7	0.02 $\pm$ 0.02	-0.001 $\pm$ 0.017	-0.45	0.658 6	1.48	0.228 8
CG	0.03 $\pm$ 0.02			0.02 $\pm$ 0.02	-0.007 $\pm$ 0.021	-1.94	0.061 7		
Percentage (%)									
TG	0.39 $\pm$ 0.29	-0.05	0.959 3	0.37 $\pm$ 0.31	-0.02 $\pm$ 0.31	-0.30	0.768 9	3.32	0.073 6
CG	0.39 $\pm$ 0.26			0.23 $\pm$ 0.22	-0.17 $\pm$ 0.32	-2.88	0.007 3		

PAT: Physical ability test; RM-ANOVA: Repeated measures analysis of variance; TG: Training group ( $n=30$ ); CG: Control group ( $n=29$ )

### 3 讨论

本研究发现,经过一定训练的机体,血清钾、钠浓度在运动后变化的程度低于未经习服训练的对照组,白细胞计数的变化亦不明显。这种适应性改变对于机体改善运动能力、提高肌纤维功能、调节呼吸和心血管系统功能及修复运动损伤等方面作用重大;而揭示运动后血中钾、钠及白细胞计数的变化规律,对于研究运动与疲劳和肌肉组织损伤、训练与习服的规律及在训练安全监控等方面有着重要的意义。

湿热环境运动后,对照组的血钾浓度升高,其机制可能有:(1)高温、氧化应激和肌纤维强直收缩等因素对细胞造成直接损伤,使大量的胞内钾释放;(2)运动(尤其是无氧运动)后,局部组织酸性代谢产物大量产生,细胞动员氢钾交换机制导致胞外高钾;(3)剧烈运动时肾交感神经张力升高,血管紧张素 II 和血管加压素水平上升,导致肾血流量急剧减少<sup>[4]</sup>,肾排钾显著减少;(4)运动时大量消耗 ATP,并产生大量的活性氧(reactive oxygen species, ROS),导致细胞膜  $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{ATPase}$  功能障碍,使其不能有效地维持钾钠离子在细胞内外的正常分布<sup>[5]</sup>。同

时,对照组血钠也较训练组明显升高,这可能与湿热环境下运动导致大量排汗,低渗液体大量经由汗液排出体外或转移至细胞内<sup>[6]</sup>,导致了体内组织液和血浆的相对高渗状态,而训练习服后的个体在高温高湿环境中的无效排汗小于未习服个体有关,同时加强对水分的补充也可以减轻运动后高血钠的程度<sup>[7]</sup>;此外,全身心血管运动系统和肾功能的调节机制也参与其中。

运动导致白细胞一过性升高的可能机制主要是机体非特异性炎症反应的一种体现。在亚极限量、高强度的有氧运动条件下,氧自由基大量产生、能量供应的相对不足导致细胞膜功能暂时性障碍、收缩运动直接作用于关节与肌肉等,均可造成不同程度、不同范围的组织劳损,大强度的运动还可使机体处于系统性应激与炎症状态,这些因素均可导致白细胞水平的总体上升,但往往是非特异性的<sup>[8-10]</sup>。

肌细胞膜外高浓度的钾离子使肌细胞膜电位改变,肌纤维膜和 T 管膜去极化,从而抑制肌肉的强直状态、保护肌纤维不受过度机械损伤;胞外高钾能直接刺激分布于肌纤维的 C III、C IV 类传入神经,加快心率和呼吸频率,作用于收缩肌肉的血管床可使血管舒张<sup>[11]</sup>,有利于肌肉的供血供氧;在机体非特

异性炎症状态下,白细胞的局部趋化和浸润加速了坏死细胞的吞噬与代谢产物的清除。但在另一方面,这些保护机制也参与了肌肉疼痛、疲劳等不良反应的产生<sup>[12]</sup>,免疫系统被非特异性激活后,通过释放氧自由基、生长因子、各种趋化因子等介导肌肉等组织的损伤,中性粒细胞的局部浸润在横纹肌细胞膜碎裂崩解的过程中发挥重要作用<sup>[13]</sup>;这种炎症损伤对机体运动能力的伤害也是显而易见的<sup>[14]</sup>。

习服训练能够显著增强心血管功能和肌肉运动能力,增强肌纤维对钾钠离子的摄取调节能力,减轻肌肉的疲劳程度<sup>[15]</sup>,表现为血清相关离子浓度变化幅度减小。随着机体运动能力的提高和组织肌肉抗损伤能力的增强,免疫系统的清除和保护能力随之得到加强,而非特异性炎症反应则趋于降低,免疫激活对运动系统的附加损伤随着训练和习服的获取而越来越小,故与之有关的酸痛、疲劳等症状减轻甚至消失。

综上所述,湿热生理习服训练与常规训练方式相比,强调了高温、高湿的环境因素对机体的特殊影响,因此对环境因素的模拟更为真实,也更有针对性;但同时,环境高温与高湿叠加的训练方式不能有效地区分温度与湿度对机体的不同影响,也增加了训练相关性损伤发生的概率。此时,观测血中钾、钠浓度和白细胞计数在运动后的变化,对于评价机体对湿热运动的习服适应情况,了解运动后非特异性炎症反应发生的程度,以及评估运动能力等方面,可能具有重要的提示意义。

(志谢 本研究统计学处理由第二军医大学卫生勤务学系卫生统计学教研室陆健副教授完成,还得到基础部病理生理学教研室李忆东副教授的支持和帮助,在此一并表示感谢!)

## [参考文献]

- [1] Quiñonez M, González F, Morgado-Valle C, DiFranco M. Effects of membrane depolarization and changes in extracellular  $K^+$  on the  $Ca^{2+}$  transients of fast skeletal muscle fibers. Implications for muscle fatigue[J]. *J Muscle Res Cell Motil*, 2010, 31:13-33.
- [2] Cooper E S, Berry M P, McMurray R G, Hosick P A, Hackney A C. Core temperature influences on the relationship between exercise-induced leukocytosis and cortisol or TNF-alpha[J].

*Aviat Space Environ Med*, 2010, 81:460-466.

- [3] Zou J, Yuan J, Lv S, Tu J. Effects of exercise on behavior and peripheral blood lymphocyte apoptosis in a rat model of chronic fatigue syndrome[J]. *J Huazhong Univ Sci Technolog Med Sci*, 2010, 30:258-264.
- [4] Muñoz A, Riber C, Trigo P, Castejón F M, Lucas R G, Palacio J. The effects of hypertonic dehydration changes on renal function and arginine vasopressin in the horse during pulling exercises[J]. *Vet J*, 2010, Aug 4. [Epub ahead of print]
- [5] McKenna M J, Medved I, Goodman C A, Brown M J, Bjorksten A R, Murphy K T, et al. N-acetylcysteine attenuates the decline in muscle  $Na^+$ ,  $K^+$ -pump activity and delays fatigue during prolonged exercise in humans[J]. *J Physiol*, 2006, 576(Pt 1): 279-288.
- [6] Rosner M H. Exercise-associated hyponatremia [J]. *Phys Sportsmed*, 2008, 36:55-61.
- [7] Schenk K, Gatterer H, Ferrari M, Ferrari P, Cascio V L, Burtscher M. Bike Transalp 2008: liquid intake and its effect on the body's fluid homeostasis in the course of a multistage, cross-country, MTB marathon race in the central Alps[J]. *Clin J Sport Med*, 2010, 20:47-52.
- [8] Tidball J G. Inflammatory processes in muscle injury and repair [J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2005, 288:R345-R353.
- [9] Costantini C, Cassatella M A. The defensive alliance between neutrophils and NK cells as a novel arm of innate immunity[J]. *J Leukoc Biol*, 2010, Aug 3. [Epub ahead of print]
- [10] Butterfield T A, Best T M, Merrick M A. The dual roles of neutrophils and macrophages in inflammation: a critical balance between tissue damage and repair[J]. *J Athl Train*, 2006, 41: 457-465.
- [11] Lindinger M I, Sjøgaard G. Potassium regulation during exercise and recovery[J]. *Sports Med*, 1991, 11:382-401.
- [12] McKenna M J, Bangsbo J, Renaud J M. Muscle  $K^+$ ,  $Na^+$ , and Cl disturbances and  $Na^+$ - $K^+$  pump inactivation: implications for fatigue[J]. *J Appl Physiol*, 2008, 104:288-295.
- [13] Pizza F X, Koh T J, McGregor S J, Brooks S V. Muscle inflammatory cells after passive stretches, isometric contractions, and lengthening contractions[J]. *J Appl Physiol*, 2002, 92: 1873-1878.
- [14] Toumi H, Best T M. The role of neutrophils in injury and repair following muscle stretch[J]. *J Anat*, 2006, 208:459-470.
- [15] Nielsen J J, Mohr M, Klarskov C, Kristensen M, Krstrup P, Juul C, et al. Effects of high-intensity intermittent training on potassium kinetics and performance in human skeletal muscle [J]. *J Physiol*, 2004, 554(Pt 3):857-870.

[本文编辑] 尹 茶