

## 优秀赛艇运动员免疫功能对2 000 m 模拟比赛的应答性反应和恢复特征

万文君<sup>1</sup>, 郝选明<sup>2</sup>

(1.暨南大学 体育部, 广东 广州 510632; 2.华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510006)

**摘 要:** 通过评价优秀赛艇运动员免疫机能对模拟专项比赛负荷的应答性反应与恢复特征, 为运动员免疫功能的调理提供科学依据。结果发现: (1)优秀运动员安静状态时的免疫指标明显低于正常值, 表明经过长期的大强度专业训练, 运动员的免疫功能明显降低; (2)在赛后即刻, 白细胞总数及各亚类均显著升高, 但各亚类升幅不等; (3)赛后3 h, 淋巴细胞、中间细胞、免疫球蛋白与补体水平均显著下降并接近或达到运动前水平, 但中性粒细胞则逆势大幅度上升, 白细胞总数略有降低, 各亚类再次显著改变; (4)赛后24 h, 绝大多数免疫指标均已基本恢复至赛前水平, 但中间细胞、淋巴细胞与C4却在赛后3 h已恢复的基础上发生程度不等的回升, 可能与白细胞3种亚类各自的移行方向、生物学作用及调节机制不同有关。

**关键词:** 运动生物化学; 运动免疫; 赛艇运动员; 模拟比赛

中图分类号: G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2010)04-0107-05

### Answering responses of the immune functions of excellent racing boat rowers to a simulated 2 000 m race and their recovery characteristics

WAN Wen-jun<sup>1</sup>, HAO Xuan-ming<sup>2</sup>

(1.Department of Physical Education, Jinan University, Guangzhou 510632, China; 2.School of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510006, China)

**Abstract:** By evaluating the answering responses of the immune functions of excellent racing boat rowers to a simulated 2000m race and their recovery characteristics, the authors provided a scientific criterion for the conditioning of the immune functions of the rowers. The author revealed the following findings: 1) in a calm condition, the immune indexes of excellent rowers were significantly lower than the normal values, meaning that the immune functions of the rowers decreased significantly after high intensity professional training over a long period of time; 2) immediately after the race, the WBC counts and subsets increased significantly, but the subsets had unequal increments; 3) 3 h after the race, all the levels of lymphocytes, intermediate cells, immunoglobulin and complements decreased significantly and got close to or reached the levels before the race, but on the contrary the level of neutrophilic granulocytes increased greatly, which promoted only slight decreases of the WBC counts and caused significant changes of the subsets once again; 4) 24 h after the race, most immune indexes had basically recovered to the levels before the race, but the levels of intermediate cells, lymphocytes and C4 had extent different increases on the bases recovered 3 hours after the race, which may be related to different moving directions, biological functions and adjusting mechanisms of 3 WBC subsets.

**Key words:** sports biochemistry; sports immunity; racing boat rower; simulated race

运动免疫研究业已表明,长期从事大强度运动训练可导致比较强烈的免疫抑制现象,使运动员身体承受负荷能力明显降低,对疾病的易感率上升,容易造成过度训练与过度疲劳,直接影响比赛成绩与训练效果<sup>[1]</sup>。科学的运动训练计划,需要以身体机能对训练比赛的基本应答及适应规律作为基础。现今,教练员在安排训练计划时,多考虑到呼吸系统、心血管系统、肌肉系统、能量代谢系统等机能对身体训练的反应、恢复及适应特征,很少考虑人体重要的保护防御机能——免疫系统对训练与比赛的应答、恢复与适应特征<sup>[2]</sup>。因此,了解免疫机能应答、恢复与适应特征的基本规律,对于科学安排训练与比赛,使运动员在承受最大负荷的同时保持身体健康,挖掘运动员的最大潜能,延长运动员的运动寿命,具有非常重要的理论与实践意义。

目前,国内外尚无有关优秀赛艇运动员急性运动前后免疫功能的应答性变化和恢复特征方面的研究。鉴于此,本研究希冀通过观察优秀赛艇运动员在划船计功仪上尽全力完成 2 000 m 模拟比赛前后免疫功能的变化和恢复特征,为结合运动员的免疫功能科学安排训练强度、训练量和恢复时间提供科学依据。

## 1 研究对象材料与方法

### 1.1 受试者

运动员组为陕西省赛艇队优秀运动员 14 人(包括亚运会冠军及全国冠军,男女各 7 人),平均年龄(23.6 ± 1.2)岁,平均训练年限(5.2 ± 1.4)年,平均身高(181.8 ± 7.4) cm,平均体重(77.4 ± 8.6) kg。对照组 14 名,性别、年龄、身高、体重与运动员相当。由于受测的免

疫指标男女之间没有性别差异,且研究目的主要在于观察免疫反应的基本特征,故男女没有单独分组。

### 1.2 免疫指标

白细胞(WBC)总数以及 WBC 各亚类的总数和百分比,包括淋巴细胞(LYMPH)总数和百分比,中性粒细胞(GRAN)总数和百分比,中间细胞(HID)总数和百分比,免疫球蛋白 IgA、IgG、IgM 以及补体 C3 和 C4。以对照组数据作为参照,评价运动员组的免疫功能状态。

### 1.3 测试方案、免疫指标与方法

采用 CONCEPT II 型划船测功仪作为负荷手段,令运动员尽全力完成 2 000 m 模拟比赛。WBC、GRAN 总数和百分比、LYMPH 总数和百分比使用 CD1600 全自动血细胞自动分析仪;IgA、IgG、IgM、C3 和 C4 使用放射状免疫单扩散法。

### 1.4 血样采集安排

分别于模拟比赛前、比赛后即刻、恢复 3 h 与恢复 24 h 共采集 4 次静脉血样进行免疫指标分析,以观察免疫应答及恢复特征。

### 1.5 数据统计处理

所有数据均利用“Microsoft office”中的“Excel”软件包进行常规统计处理。使用成对样本均值双尾 *t* 检验,并以  $P < 0.05$  作为差异显著性水平。

## 2 研究结果及分析

### 2.1 白细胞及其亚类在比赛前后的变化

如表 1 所示,运动员赛前安静状态的 WBC 计数及其各亚类计数普遍低于一般人正常值,并形成差异非常显著性( $P < 0.01$ )。

表 1 冬训第 1 阶段末运动员 WBC 及亚类( $\bar{x} \pm s$ )与对照组的比较

组别	n/人	$10^9 \times \text{WBC}/\text{L}^{-1}$	GRAN		LYMPH		MID	
			$10^9 \times \text{总数}/\text{L}^{-1}$	百分数	$10^9 \times \text{总数}/\text{L}^{-1}$	百分数	$10^9 \times \text{总数}/\text{L}^{-1}$	百分数
运动员组	14	4.05 ± 0.78	2.50 ± 0.63	61.12 ± 6.18	1.18 ± 0.25	29.97 ± 5.10	0.37 ± 0.16	8.91 ± 1.37
对照组	14	6.95 ± 0.64	5.22 ± 0.57	73.24 ± 2.05	1.25 ± 0.09	19.35 ± 1.42	0.48 ± 0.04	7.35 ± 0.77
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

而在表 2 中可以看到赛后即刻,WBC 及其亚类计数均明显上升。WBC 计数上升幅度高达赛前值的 2.27 倍。但 WBC 各亚类升幅不同步:LYMPH 升高 3.43 倍、

MID 升高 2.27 倍、GRAN 升高幅度最小(77%)。WBC、LYMPH、MID 与 GRAN 计数与赛前相比,差异均有非常显著性( $P < 0.001$ )。

表 2 优秀赛艇运动员 WBC 及亚类在 2 000 m 专项模拟比赛前后的变化( $\bar{x} \pm s$ )

检测时间	n/人	$10^9 \times \text{WBC}/\text{L}^{-1}$	GRAN		LYMPH		MID	
			$10^9 \times \text{总数}/\text{L}^{-1}$	百分数	$10^9 \times \text{总数}/\text{L}^{-1}$	百分数	$10^9 \times \text{总数}/\text{L}^{-1}$	百分数
赛前	14	4.68 ± 0.89	3.15 ± 0.80	66.69 ± 6.93	1.27 ± 0.28	27.85 ± 5.63	0.26 ± 0.07	5.45 ± 0.83
赛后即刻	14	10.64 ± 2.91	5.57 ± 1.58	52.18 ± 4.11	4.44 ± 1.22	41.06 ± 4.53	0.72 ± 0.42	6.74 ± 2.69
赛后 3 h	14	8.96 ± 2.52	7.50 ± 2.50	83.40 ± 5.24	1.18 ± 0.36	13.67 ± 4.46	0.26 ± 0.12	3.32 ± 1.95
赛后 24 h	14	4.90 ± 1.46	3.09 ± 1.22	61.80 ± 6.38	1.40 ± 0.30	29.37 ± 4.99	0.41 ± 0.12	8.79 ± 2.20

在赛后3 h, WBC各亚类变化趋势不一: LYMPH明显降低( $P<0.001$ ); MID也发生明显降低( $P<0.001$ ), 与赛前值已无显著性差异( $P>0.05$ )。而GRAN在赛后3 h不仅未见恢复, 反而逆势继续上升, 且差异具有非常显著性( $P<0.01$ )。3种亚类变化综合结果, WBC总数虽较赛后即刻有明显恢复(下降幅度16%,  $P<0.05$ ), 但此时距离赛前安静值尚有非常显著性差异( $P<0.001$ ), 表明在赛后3 h, WBC仍处于剧烈变化阶段。

在恢复24 h, 占WBC计数半数以上的GRAN发生急剧下降( $P<0.001$ ), 且已与赛前水平无显著性差异( $P>0.05$ ), 由此带动WBC总数明显降低且降至赛前水平( $P>0.05$ ); 但这并未表示WBC完全恢复, 因为LYMPH与MID在赛后3 h水平上又发生明显回升, 并显著高于赛前水平( $P<0.05$ 和 $P<0.01$ )。

## 2.2 免疫球蛋白及补体在比赛前后的变化

如表3所示优秀赛艇运动员赛前安静时免疫球蛋白与补体水平明显低于正常人( $P<0.05$ )。

表3 赛前运动员免疫球蛋白及补体与对照组的比较( $\bar{x} \pm s$ )

组别	n/人	IgA	IgG	IgM	C3	C4
运动员组	14	0.98±0.19	6.45±0.88	1.33±0.30	0.82±0.14	0.43±0.10
对照组	14	1.60±0.31	10.11±0.22	1.11±0.22	1.30±0.26	0.43±0.09
P值		<0.001	<0.001	<0.05	<0.001	>0.05

与WBC及其亚类对模拟比赛的应答性反应相比较, 免疫球蛋白与补体受比赛影响的反应程度明显要小。由表4可见, 赛后各种免疫球蛋白与补体均有程度不等的上升, 但上升幅度差异非常大: IgA、IgG、IgM与C3上升幅度均达20%以上, 且与赛前形成显著

或非常显著性差异( $P$ 分别<0.05、<0.001、<0.01与<0.01), 而C4仅有3%的升幅( $P>0.05$ ), 表明在免疫球蛋白与补体中, C4很少受剧烈运动的影响, 是在运动应答过程中表现最稳定的免疫指标之一。

表4 优秀赛艇运动员免疫球蛋白及补体水平( $\bar{x} \pm s$ )在2000 m专项模拟比赛前后的变化

检测时间	n/人	IgA	IgG	IgM	C3	C4
赛前	14	1.17±0.30	8.37±1.30	1.04±0.13	0.96±0.16	0.36±0.05
赛后即刻	14	1.48±0.43	9.74±1.33	1.31±0.28	1.16±0.11	0.37±0.07
赛后3 h	14	1.15±0.26	8.34±1.38	1.22±0.25	0.98±0.20	0.36±0.06
赛后24 h	14	1.13±0.27	8.44±1.31	1.19±0.24	0.90±0.13	0.32±0.06

在赛后3 h, 除C4继续保持稳定状态以及IgM下降幅度较小(与赛后3 h比较 $P>0.05$ )且继续与赛前安静状态差异有非常显著性( $P<0.01$ )外, 其余免疫球蛋白与补体IgA、IgG与C3均发生明显下降(与赛后即刻比较 $P<0.05$ 、<0.001、<0.01)并已基本恢复至赛前安静状态( $P>0.05$ ), 表明多数免疫球蛋白与补体恢复速度明显快于WBC及其亚类的恢复速度。

与赛后3 h值比较, IgM仅略有下降, 但下降幅度很小( $P>0.05$ ), 且仍明显高于赛前水平( $P<0.01$ )。有趣的是, 在整个应答性反应中表现最稳定的C4, 在赛后24 h却有轻微幅度的下降且与赛前安静状态差异显著( $P<0.05$ ), 表明IgM是在对比赛的应答性反应过程中恢复最慢的免疫指标之一, 而C4却是在比赛的应答性反应过程中最稳定的免疫指标之一。

## 3 讨论

### 3.1 赛艇运动员比赛后即刻GRAN升高的可能机理

赛后即刻GRAN总数由 $3.15 \times 10^9/L$ 升至 $5.57 \times 10^9/L$ , 升幅非常明显。这可能主要有两方面的原因。

第一, 运动时受肾上腺素与糖皮质激素分泌增多的影响。运动时肾上腺素与糖皮质激素分泌增多引起GRAN生成与移行受到调节; 运动时血流动力学变化导致粒细胞离开边缘池进入循环, 交感神经兴奋, 血液中的肾上腺素与糖皮质激素等应激激素明显上升, 以充分动员人体潜能完成比赛<sup>[3-4]</sup>。这样一方面会产生出非常有利于运动的变化, 如心脏活动加强、心输出量提高、全身血流重新分配、呼吸加强加快、最大摄氧量上升及能量代谢加强等, 另一方面会作用于造血系统与循环系统。肾上腺素可使得安静状态下处于边缘池的和循环池中适量的WBC动员进入循环以满足

机体的应激变化。

第二, 运动时血流动力学变化的影响。身体运动时由于交感神经兴奋性升高以及应激激素明显上升, 使得血压升高、心输出量显著加大(可达安静值的数倍), 这样, 会促使血流动力学发生明显变化, 促使安静状态下处于边缘池的 WBC(数量约等同于循环池)加速动员进入循环池, 从而使循环池中的 GRAN 显著升高<sup>[9]</sup>。

### 3.2 恢复 3 h GRAN 继续上升的可能机理

如前所述, 在比赛过程中, 主要由于血流动力学与应激激素的变化使 GRAN 发生显著升高。可在比赛后恢复期 3 h, 随应激激素逐渐降低及血流速度逐渐恢复正常, GRAN 却逆势继续上升, 可能主要是以下因素综合作用的结果。

第一, 赛后 GRAN 继续向循环池加速移行; 赛后即刻循环池 GRAN 上升主要受应激激素与血流动力学变化所影响<sup>[6]</sup>。其作用可分为两个成分: (1)快成分: 即肾上腺素与血流动力学变化, 快速动员边缘池 WBC 进入循环池, 从而可使循环池中的 GRAN 最多约可增加 1 倍。(2)慢成分: 储备池中的 GRAN 为  $2 \times 10^{11} \sim 3 \times 10^{11}/L$ , 可达循环池中的 15~50 倍左右, 故其动员入血可使血中 GRAN 更剧烈的增加。在比赛中, 循环池中 GRAN 升高主要是受快成分的影响, 而在比赛结束后, 在糖皮质激素后作用的缓慢影响下, GRAN 有很长一段时间继续由储备池大量迁移进入循环池。

第二, GRAN 在循环池中的堆积效应。依 GRAN 移行规律, GRAN 与别的 WBC 亚类不同, 它只能单向移动, 即只能由储备池进入循环池, 尔后进入组织池发挥作用。GRAN 平均在血中停留约 10 h, 即逸出血管进入组织池。依此, 在赛后 3 h, 除一部分 GRAN 重新回到边缘池(运动结束后血管中血液流速减慢)、一部分 GRAN 进入组织池从而成为循环池中 GRAN 减少的因素外, 由于激素所具有的动员慢、持续作用时间长等特点, 此阶段进入循环池的 GRAN 也许更多。这样, 大量的 GRAN 继续由储备池进入循环池, 不仅可抵消部分 GRAN 进入边缘池与组织池使循环池中 GRAN 降低的效应, 反而可使循环池中的 GRAN 继续大量地暂时性增加。

第三, 机体对 GRAN 的需求增加。作为对强烈的运动刺激发生应激的结果, 肌肉会产生微细结构(细胞水平)的损伤, 内环境会发生剧烈变化, 这一切均对 GRAN 提出更高的要求。这些效应, 一方面会反馈性地促使分裂池加速增殖反应, 另一方面则加速 GRAN 由储备池更多的经由循环池进入组织池<sup>[7]</sup>。这样, GRAN 大量进入循环池, 使得循环池中 GRAN 增

加的效应远远大于使得循环池中 GRAN 减少的效应(移行于边缘池与组织池), 从而造成循环池中 GRAN 一过性暂时堆积现象。

### 3.3 恢复 24 h GRAN 降低的可能机理

GRAN 于赛后 24 h 基本完全恢复。这仍然取决于循环池中 GRAN 升高的效应与降低的效应之间的平衡<sup>[8]</sup>。恢复期中使循环池 GRAN 降低的主要因素是: 组织池对 GRAN 的极高需求(抵御组织炎性, 并清除坏死或损伤的组织与肌细胞等), 使得循环池中 GRAN 加速进入组织池。另一方面, 在恢复期中, 体内促进 GRAN 分裂、增殖与促进其进入循环池的调节因素降低, 如此时组织池中 GRAN 大量增加所引起的负反馈效应会使得分裂池 GRAN 分裂减少, 并使得储备池中 GRAN 向循环池的移行减慢<sup>[9]</sup>。这样, 使得进入循环池的 GRAN 减少。两者平衡的结果, 循环池中 GRAN 在赛后 24 h 基本恢复至赛前安静水平。

### 3.4 LYMPH 对比赛应答与恢复的可能机理

循环池中 LYMPH 的来路与 GRAN 不同, GRAN 自储备池进入循环池后, 不能再作逆向流动, 而 LYMPH 则不同, 它自循环池中的移行方向具有双向性, 即在机体需要时可以从循环池进入组织, 也可以由组织地进入循环池。故其流动性较之 GRAN 明显要大。

在运动过程中, 循环池中 LYMPH 剧增, 其可能来源有 3: (1)边缘池中的 LYMPH 自血管内皮大量脱落进入循环池; (2)储备池中大量 LYMPH 进入循环池; (3)组织池中的 LYMPH 进入循环池。从而使得赛后即刻 LYMPH 迅速增加。LYMPH 之所以恢复速度较之 GRAN 明显要快, 可能与其在体内执行的免疫机能有关<sup>[10]</sup>。这也许是赛后 24 h LYMPH 回升的主要原因。

### 3.5 免疫球蛋白与补体对比赛应答与恢复的可能机理

免疫球蛋白与补体的变化幅度较之 WBC 及其亚类明显要小, 这与免疫球蛋白各自的生物活性与调节机制有关<sup>[10]</sup>。IgG 主要是脾淋巴细胞合成和分泌的, 它是血清中抗体的主要成分, 约占血清总 Ig 的 75%。IgA 是黏膜相关淋巴样组织产生, 占正常血清的 10%左右, 抗全身感染能力较强。它有较高结合价, 所以是高效能的抗生物抗体。IgM 在机体的早期防御中起着重要的作用。因此, 在对运动的应答性反应过程中, 3 种免疫球蛋白均明显升高<sup>[9]</sup>。但这种升高主要是一过性的, 因其升高并不是因特异性抗原所引起。但在运动后, 体内的变化却对 3 种免疫球蛋白产生了不同的影响。在机体对运动产生剧烈的应答性变化后, 必然会发生组织损伤、细胞变性等, 这些变化作为来自自身的抗原性刺激, 首先会作用于 IgM(IgM 是抗原刺激诱

导体液免疫应答中最先产生的免疫球蛋白),使IgM被高度激活。这也许是运动结束后IgM之所以居高不下的主要原因。

体内补体系统中,C3是其中含量最多、生物学作用最突出的一种<sup>[11]</sup>。C3的变化与主要免疫球蛋白的变化相一致。这主要与它的生物学作用有关。另一方面,免疫球蛋白要杀灭病原体,必须先行与补体C3结合才能发挥作用,因此,两者在体内变化趋势理应基本一致。

免疫机能是机体非常重要的防御机能,它的变化非常敏锐地提示着当时机体所处的状态如何,这对于我们科学地安排运动训练,有非常重要的价值。

本实验的运动负荷仅为一次持续时间约为7 min的2000 m模拟比赛,可是对免疫机能所造成的影响,在赛后24 h,有个别指标尚未完全恢复。而正常一节大运动量训练课,负荷总量达该负荷的几十倍之多,所造成的免疫抑制程度势必会深得多,所需要的恢复时间势必长得多。可以想见,赛后24 h可能有更多的免疫指标尚未完全恢复,机体也势必仍处于免疫抑制状态,换句话说,处于抵抗力低下状态。因此下一节训练课的安排一定要注意减量、降低强度,以利于机体从免疫抑制状态中得到恢复,使机体能够承受更大的运动强度和更大的运动量。

#### 参考文献:

[1] Nieman D C, Nehlsen-Cannarella S L, Fagoaga O R, et al. Immune function in female elite rowers and

non-athletes[J]. *Br J Sports Med*, 2000, 34(3): 181-187.

[2] 郝选明. 运动员免疫功能降低的机理及其调理措施[J]. *体育科研*, 2003, 24(4): 47-51.

[3] 尹海立, 乔柱, 翟寿涛. 赛前大负荷专项训练对男子散打运动员免疫机能的影响研究[J]. *山东体育学院学报*, 2007, 23(2): 71-74.

[4] 宋应华, 户向明, 周欣荣. 赛前强化训练和比赛对优秀女子赛艇运动员免疫系统机能的影响[J]. *天津体育学院学报*, 2006, 21(4): 349-351.

[5] 谢红, 郝选明. 不同免疫功能对有氧运动的反应[J]. *天津体育学院学报*, 2006, 21(3): 246-248.

[6] Bianchi M E, Manfredi A A. *Immunology [J]. Dangers in and out Science*, 2009, 323(5922): 1683-1684.

[7] 徐玉娥. 大强度运动对机体免疫功能的影响[J]. *山西师大体育学院学报*, 2006, 21(2): 123-124.

[8] Fischer C P. Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance?[J]. *Exercise Immunology*, 2006, 12: 6-33.

[9] 王家忠, 姜传银. 大强度训练对运动员NK、NKT免疫细胞的影响[J]. *天津体育学院学报*, 2007, 22(2): 137-139.

[10] Pedersen L, Lund T K, Barnes P J. Airway, responsiveness and inflammation in adolescent elite swimmers[J]. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 2008, 122(2): 322-327.

[11] Gleeson M. Immune system adaptation in elite athletes[J]. *Current Opin in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2006, 9(6): 659-665.