

# 中、高强度不同模式低氧训练 对大鼠白细胞及其分类计数的影响

王竹影<sup>1</sup> 姜文凯<sup>2</sup> 陈 龙<sup>3</sup> 孙福成<sup>4</sup>

(1. 南京师范大学体育科学学院 江苏 南京 210046)

(2. 江苏省体育科学研究所 江苏 南京 210014)

(3. 南京师范大学生命科学学院 江苏 南京 210046)

(4. 南京农业大学体育部 江苏 南京 210014)

**[摘要]** 目的: 研究不同强度、不同方式低氧训练后白细胞及其分类计数的变化, 探讨低氧环境和训练强度对机体免疫机能的影响. 方法: 200只大鼠按照氧环境(常氧、高住低练、高住高练)和训练强度(无训练、中强度、高强度)随机形成9种组合, 5~6周中, 高强度训练后于安静状态和定量运动后即刻取样, 共分15小组. Advia 120 Hematology System进行白细胞及其分类计数测定. 结果: 5~6周HiLo中, 高强度训练后基础状态下表现为低WBC血症和中性粒显著上调, 而且HiLo高训组在高强度定量运动后的WBC显著低于常氧和HiHi高训组; 5~6周常氧和HiHi中, 高强度训练对基础状态下白细胞及其分类计数无显著不良影响, HiHi中训组在中强度定量运动后甚至表现出白细胞免疫机能较常氧和HiLo中训组显著节省化现象; 常氧、HiLo和HiHi环境下, 高训组高强度定量运动后WBC变化均不显著, 而中训组中强度定量运动后WBC均显著下降, 提示中等强度大运动量运动后即刻可能存在白细胞免疫抑制现象. 结论: HiLo训练对白细胞免疫机能极为不利, 尤其是HiLo高强度训练; HiHi不仅没有表现出明显的不良症状, 且中训组在定量运动后甚至表现出白细胞免疫机能节省化现象.

**[关键词]** 训练强度, 常氧训练, 高住高练, 高住低练, 白细胞免疫

**[中图分类号]** G804.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1001-4616(2011)04-0142-06

## The Effect of Moderate and Heavy Intensity Hypoxic Training of Different Models on the Counting of White Blood Cells and Its Classification

Wang Zhuying<sup>1</sup>, Jiang Wenkai<sup>2</sup>, Chen Long<sup>3</sup>, Sun Fucheng<sup>4</sup>

(1. School of Physical Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(2. Jiangsu Institute of Sports Science, Nanjing 210014, China)

(3. School of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

(4. Department of Physical Education, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Objective: WBC and its classification of rats after hypoxic training of different intensity were studied to investigate the effects of different hypoxic environments and different training intensity on the immunity function of body. Methods: 200 rats were randomly divided into 9 combinations according to the oxygen concentration (normal O<sub>2</sub>, living high and training low (HiLo), living high and training high (HiHi)) and the training intensity (no training, moderate intensity training (MT) and heavy intensity training (HT)) and 15 groups including quiet and exercise states. The period of training was 5 wks (MT) and 6 wks (HT), respectively. WBC and its classification were measured by Advia 120 Hematology System. Results: 5 wks ~ 6 wks of MT and HT of HiLo led to not only the up-regulation of Neut and the down-regulation of WBC in basic state, but also the WBC in HT of HiLo being significantly lower than that in HT of normal oxygen and HiHi after high intensity regular exercise. 5 wks ~ 6 wks of MT and HT in normal oxygen and HiHi did not show obvious adverse effects on the WBC and its classification, and the group of MT in HiHi even showed economizes on WBC immune function after the moderate intensity of regular exercise. The WBC decreased significantly after moderate intensity regular exercise in various oxygen environments, but it was not decreased after high intensity of regular exercise, suggesting that the phenomenon of the impression in immune system exist after moderate intensity and large amount

收稿日期: 2011-09-22.

基金项目: 江苏省基础研究计划(自然科学基金)(BK2009405).

通讯联系人: 王竹影, 博士, 教授, 研究方向: 运动与健康促进. E-mail: wangzhuying2002@yahoo.com.cn

of exercise immediately. Conclusion: HiLo is harmful to the WBC immune function ,especially for the HT in HiLo. Hi-Hi did not show obvious adverse effects on WBC , and the group of MT in HiHi even show economize on WBC immune function after the moderate intensity exercise.

**Key words:** training intensity , training in normal oxygen environment , HiHi HiLo , immune function of WBC

当今世界竞技运动水平突飞猛进,传统的训练方法已经无法满足人们的需要.低氧训练利用低氧和运动的双重刺激,可以进一步挖掘人体的运动潜能,是一种提高竞技运动能力的有效训练方法,自本世纪初以来已成为国际、国内竞技运动训练中新兴的、常用的训练方法.

然而,目前关于低氧训练的理论研究尚不充分,这将极大地阻碍其在运动实践中的进一步应用.医学研究发现仅仅低氧环境就会造成免疫伤害<sup>[1-4]</sup>,而运动生理学的研究则证实低氧训练对免疫机能更为不利<sup>[5-9]</sup>.但目前这方面的研究显得十分薄弱,低氧训练中运动员免疫机能监控问题不仅是当今低氧训练理论中急待解决的问题,也是低氧训练实践所迫切需要解决的问题.

与常氧训练相比,高住低练(住在高原、训练在平原)、高住高练(在高原居住并训练)对白细胞及其分类计数的影响,以及不同强度低氧训练对机体免疫能力的影响有何不同等,这些内容国内外尚未见报导.本研究的目的在于探讨不同强度、不同低氧训练方式对白细胞及其分类计数的影响,据此对免疫机能做出初步的判断,以丰富低氧训练理论,并指导低氧训练实践中运动员的免疫机能监控,确保在运动员身体允许的范围之内最大程度地、可持续发展地提高竞技运动水平.

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

雄性SD大鼠200只,体重( $156.57 \pm 6.44$ )g,购自中国科学院上海实验动物中心.分笼饲养,每笼5只,自由进食、饮水,全价实验鼠颗粒饲料执行标准为GB/T14924.9-2001.实验期内,每日换水,隔日更换笼中的木屑垫料,以保持清洁.环境温度( $22 \pm 2$ )℃,相对湿度( $55 \pm 10$ )%.

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 动物分组

根据预实验淘汰率对200只大鼠进行分组.按氧环境分为常氧、高住低练和高住高练3大组,每一大组再按训练强度分为无训练、中强度训练和高强度训练组,共形成9种组合.3个氧环境的无训练组各8只,置于相应氧环境静养,与训练组同批取样.训练组部分鼠因不能按预定强度训练被淘汰,其余鼠取样前进一步分组:中训组分安静组和中强度定量运动组,高训组分安静组和高强度定量运动组,每小组7~8只,各氧环境相同.训练组中的安静组在末次运动后休息40h处死,定量运动组在运动前休息24h,运动后即刻处死.

#### 1.2.2 动物模型建立

训练组适应性训练2周后开始正式训练.中训组训练5周,每周6d,采用递增训练时间的方案进行.常氧和高住低练组均在常氧下训练,分别在跑台上持续跑40min(第1周)、50min(第2周)、60min(第3周)、70min(第4、5周);高住高练组在低氧环境居住并训练,1~5周分别跑30min、40min、50min、60min、70min.各组1~5周跑速相同,均为35m/min,准备活动3min.

高训组正式训练6周,每周6d,训练方式为间歇训练,采用前3周递增速度、后3周递减间歇时间的方案递增负荷.常氧和高住低练组均在常氧下训练,跑速从48m/min递增至60m/min(常氧组)和63m/min(高住低练组),间歇时间从5min缩短至2min,第6周运动方案为:60m/min~63m/min×2min×4bouts,间歇2min.高住高练组在低氧环境居住并训练,跑速从42m/min逐渐递增至57m/min,第6周运动方案为:57m/min×2min×4bouts,间歇2min.

训练过程中,断尾取血测定血乳酸,以监控训练强度.

#### 1.2.3 定量运动负荷实验方案

中强度定量运动方案:准备活动后,所有中训组以35m/min的速度跑70min.高强度定量运动方案:准备活动后,所有高训组完成60m/min×2min×4bouts,间歇2min的运动.各组的定量运动均在各自氧环境中进行.

### 1. 2. 4 氧环境的控制

正式训练开始前,采用 Hypoxic Training System 低氧仪,产生常压低氧混合气体,并将该气体输入密闭的帐篷内.通过调节低氧仪流量控制氧气浓度,用氧气检测仪监控氧浓度.

正式训练开始后,各组置于相应的氧环境中.常氧和高住高练组在常氧和低氧环境生活、训练 24 h;高住低练组于 17:00 时至次日 7:00 时置于低氧环境,其余时间在常氧下生活、训练,低氧暴露时间为 14 h.

每顶帐篷放入 5 笼(25 只)大鼠,隔日打开帐篷清扫后再重新输入低氧气体,以保证其中的温度、湿度等与常氧大致相同.各低氧帐篷内氧浓度为 12.5%~13.5%(相当于海拔 3 500 m~4 000 m).高住高练组训练时的氧浓度控制在 14.0%~15.5%(海拔 3 000 m 左右).

### 1. 2. 5 检测指标与方法

乙醚麻醉,摘眼球取 1.5 mL 全血,EDTA 抗凝,采用 Advia 120 Hematology System 及其配套软件进行白细胞(WBC)及其分类计数,包括淋巴细胞(Lymph)、单核细胞(Mono)、嗜中性粒细胞(Neut)、嗜酸性粒细胞(Eos)和嗜碱性粒细胞(Baso)的检测.

### 1. 2. 6 数据处理

数据以“平均数±标准差”表示,用 SPSS12.0 统计软件对数据作单因素方差分析, $P<0.05$  为显著性差异.

## 2 实验结果

### 2. 1 不同模式低氧训练后基础状态下白细胞及其分类计数的变化

从表 1 各氧环境组内比较可见,常氧组各指标无显著差异;高住低练组中,与无训组比,高训组的 WBC 和 Baso 显著减少,中训组的 WBC 有明显减少但不显著,高训组和中训组的 Neut 显著增多,表现出低 WBC 血症和中性粒显著上调的特征;高住高练组中,高训组的 Mono 显著少于无训组和中训组,而 Baso 显著多于无训组和中训组.不同氧环境相应组间比较,无训练组中,常氧无训组的 Baso 显著高于高住高练无训组;中训组组间无显著差异;高训组中,高住高练高训组的 Mono 显著低于常氧高训组和高住低练高训组,而 Baso 显著高于常氧高训组和高住低练高训组.

表 1 不同模式低氧训练后基础状态下白细胞及其分类计数的变化

Table 1 The change of the counting of white blood cells and it's classification in basic state caused by different models of hypoxic training

氧环境	组别(只)	WBC( $\times 10^3$ 个/ $\mu\text{L}$ )	Neut/%	Lymph/%	Mono/%	Eos/%	Baso/%
常氧组	无训组(8)	10.85 $\pm$ 2.16	20.07 $\pm$ 4.98	73.67 $\pm$ 5.58	2.22 $\pm$ 0.28	1.52 $\pm$ 0.50	0.95 $\pm$ 0.55
	中训组(7)	13.71 $\pm$ 3.89	20.23 $\pm$ 3.30	72.78 $\pm$ 4.90	2.28 $\pm$ 0.69	1.50 $\pm$ 0.56	1.70 $\pm$ 0.74
	高训组(8)	10.16 $\pm$ 1.54	20.06 $\pm$ 11.23	64.36 $\pm$ 11.20	1.89 $\pm$ 0.40	1.57 $\pm$ 0.40	0.88 $\pm$ 0.15
	组内比较	组内无显著性差异( $p>0.05$ )					
高住低练组	无训组(8)	14.72 $\pm$ 4.77	14.58 $\pm$ 3.76	78.98 $\pm$ 4.05	2.33 $\pm$ 0.06	1.55 $\pm$ 0.27	1.40 $\pm$ 0.10
	中训组(7)	11.91 $\pm$ 3.13	25.03 $\pm$ 9.31*	68.48 $\pm$ 12.00	2.95 $\pm$ 1.77	0.83 $\pm$ 0.24	1.43 $\pm$ 0.05
	高训组(8)	9.41 $\pm$ 2.46*	25.21 $\pm$ 7.53*	69.99 $\pm$ 7.16	1.54 $\pm$ 0.39	1.21 $\pm$ 0.46	0.91 $\pm$ 0.35*
	组内比较	★表示与无训组差异显著( $p<0.05$ ),表示与中训组差异显著( $p<0.01$ )					
高住高练组	无训组(8)	13.81 $\pm$ 2.60	18.04 $\pm$ 5.40	76.30 $\pm$ 6.26	2.31 $\pm$ 0.83	1.32 $\pm$ 0.42	0.53 $\pm$ 0.10 <sup>#</sup>
	中训组(8)	13.48 $\pm$ 1.56	21.32 $\pm$ 6.64	70.86 $\pm$ 7.94	3.60 $\pm$ 0.85	1.14 $\pm$ 0.45	1.16 $\pm$ 0.35*
	高训组(8)	10.86 $\pm$ 1.57	19.98 $\pm$ 12.72	68.50 $\pm$ 19.89	0.00 $\pm$ 0.00*●	9.86 $\pm$ 1.67	1.68 $\pm$ 0.41*●
	组内比较	★表示与无训组差异显著( $p<0.01$ ),表示与中训组差异显著( $p<0.05$ )					
不同氧环境相应组之间比较	无训组之间	#表示与常氧无训组差异显著( $p<0.01$ )					
	中训组之间	各氧环境相应组间无显著差异( $p>0.05$ )					
	高训组之间	●表示与常氧高训组和高住低练高训组差异显著( $p<0.01$ )					

### 2. 2 中训组中强度定量运动前后白细胞及其分类计数的变化

从表 2 组内比较可见,各氧环境中训组中强度定量运动后 WBC 均显著低于相应安静组,Baso 均减少,提示中等强度大运动量运动后即刻可能存在白细胞免疫抑制现象.组间比较发现,高住高练运动组的 WBC 显著高于常氧和高住低练运动组,表现出白细胞免疫机能节省化现象.

表 2 中训组中强度定量运动前后白细胞及其分类计数的变化  
Table 2 The change of the counting of lohite blood cells and it's classification in the group of moderate intensity training before and after the moderate intensity of regular exercise

氧环境	组别(只)	WBC( $\times 10^3$ 个/ $\mu$ L)	Neut/%	Lymph/%	Mono/%	Eos/%	Baso/%
常氧组	安静组(7)	13.71 $\pm$ 3.89	20.23 $\pm$ 3.30	72.78 $\pm$ 4.90	2.28 $\pm$ 0.69	1.50 $\pm$ 0.56	1.70 $\pm$ 0.74
	运动组(7)	5.51 $\pm$ 1.38★	23.30 $\pm$ 14.59	72.59 $\pm$ 11.34	2.00 $\pm$ 0.32	1.03 $\pm$ 0.67	0.62 $\pm$ 0.21★
	组内比较	★表示与安静组差异显著( $p < 0.01$ )					
高住低练组	安静组(7)	11.91 $\pm$ 3.13	25.03 $\pm$ 9.31	68.48 $\pm$ 12.00	2.95 $\pm$ 1.77	0.83 $\pm$ 0.24	1.43 $\pm$ 0.05
	运动组(7)	5.08 $\pm$ 1.02★	28.11 $\pm$ 7.39	68.23 $\pm$ 8.09	1.60 $\pm$ 0.72	1.42 $\pm$ 0.52	0.73 $\pm$ 0.44★
	组内比较	★表示与安静组差异显著( $p < 0.05$ )					
高住高练组	安静组(8)	13.48 $\pm$ 1.56	21.32 $\pm$ 6.64	70.86 $\pm$ 7.94	3.60 $\pm$ 0.85	1.14 $\pm$ 0.45	1.16 $\pm$ 0.35
	运动组(8)	7.53 $\pm$ 1.81★●	27.26 $\pm$ 4.61	69.93 $\pm$ 2.74	1.52 $\pm$ 0.25★	1.22 $\pm$ 0.34	0.80 $\pm$ 0.44
	组内比较	★表示与安静组差异显著( $p < 0.01$ )					
不同氧环境相应组之间比较	安静组之间	各氧环境安静组之间无显著差异( $p > 0.05$ )					
	运动组之间	●表示与常氧运动组和高住低练运动组差异显著( $p < 0.05$ )					

2.3 高训组高强度定量运动前后白细胞及其分类计数的变化

从表 3 可见,各氧环境高训组高强度定量运动后 WBC 虽未见显著变化,但与安静组比较,常氧运动组略升,而高住低练和高住高练运动组 WBC 均降低;组间比较发现,高住低练运动组的 WBC 显著少于常氧和高住高练运动组,高住高练运动组的 Baso 显著高于常氧运动组。

表 3 高训组高强度定量运动前后白细胞及其分类计数的变化  
Table 3 The change of the counting of white blood cells and it's classification in the group of high intensity training before and after the high intensity of regular exercise

氧环境	组别(只)	WBC( $\times 10^3$ 个/ $\mu$ L)	Neut/%	Lymph/%	Mono/%	Eos/%	Baso/%
常氧组	安静组(7)	10.16 $\pm$ 1.54	30.06 $\pm$ 11.23	64.36 $\pm$ 11.20	1.89 $\pm$ 0.40	1.57 $\pm$ 0.40	0.88 $\pm$ 0.15
	运动组(7)	10.95 $\pm$ 2.58	35.93 $\pm$ 17.11	56.95 $\pm$ 21.03	2.32 $\pm$ 1.18	1.36 $\pm$ 0.51	0.76 $\pm$ 0.23
	组内比较	组内无显著差异( $p > 0.05$ )					
高住低练组	安静组(8)	9.41 $\pm$ 2.46	25.21 $\pm$ 7.53	69.99 $\pm$ 7.16	1.54 $\pm$ 0.39	1.21 $\pm$ 0.46	0.91 $\pm$ 0.35
	运动组(8)	6.70 $\pm$ 1.23●	24.85 $\pm$ 5.04	70.37 $\pm$ 5.76	1.44 $\pm$ 0.21	1.22 $\pm$ 0.26	0.94 $\pm$ 0.09
	组内比较	组内无显著差异( $p > 0.05$ )					
高住高练组	安静组(8)	10.86 $\pm$ 1.57	19.98 $\pm$ 12.72	68.50 $\pm$ 19.89	0.00 $\pm$ 0.00	9.80 $\pm$ 1.67	1.68 $\pm$ 0.41
	运动组(8)	9.50 $\pm$ 2.00	21.59 $\pm$ 7.62	72.10 $\pm$ 8.06	2.16 $\pm$ 0.47★	1.80 $\pm$ 0.53	1.28 $\pm$ 0.43#
	组内比较	★表示与安静组差异显著( $p < 0.05$ )					
不同氧环境相应组之间比较	安静组之间	各氧环境安静组之间无显著差异( $p > 0.05$ )					
	运动组之间	●表示与常氧运动组和高住高练运动组差异显著( $p < 0.05$ ) #表示与常氧运动组差异显著( $p < 0.05$ )					

3 分析与讨论

免疫系统对运动应激的一个最重要特征就是外周血白细胞及其分类计数改变。由于各类白细胞的防御保护作用各不相同,因此可根据白细胞及其分类计数的变化对免疫机能做出初步诊断。由于该指标简便、准确,在运动员免疫监控中被广泛采用。

本研究中,从表 1 基础状态结果可见,与无训练组比较,各氧环境中训组 WBC 及其分类计数变化不大,常氧中训组 WBC 略增,高住高练(HiHi)和高住低练(HiLo)中训组略降,均不显著。各氧环境高训组 WBC 均降低,HiLo 高训组降低显著。HiLo 及 HiHi 中训、高训组白细胞分类计数发生变化,均出现中性粒细胞增加,HiLo 中训组和高训组增加显著;高训组均出现单核细胞降低的趋势,HiHi 高训组单核细胞降低显著,同时嗜碱性细胞显著增加。不同氧环境组间比较发现,HiHi 高训组单核细胞显著减少,嗜碱性细胞显著增加。

上述结果表明,不同氧环境下中强度训练对基础状态下 WBC 及其分类计数影响不大,HiLo 中训组 WBC 虽有所减少,但并不显著,但高强度训练有降低 WBC 的趋势,各氧环境高训组均出现了不同程度的 WBC 下降的趋势,其中 HiLo 高训组降低显著。本实验结果支持前人关于中等强度训练对基础状态白细胞影响不大<sup>[10]</sup>,而高强度训练后白细胞免疫功能受损的观点<sup>[11]</sup>。

3个氧环境相比,HiLo训练对白细胞免疫机能最为不利。HiLo中训和高训组WBC均明显降低,高训组降低显著。HiLo及HiHi训练后均出现中性粒白细胞增加的现象,但HiLo中训组和高训组增加显著,本结果与Niess<sup>[8]</sup>对运动员的研究结果一致。

HiLo训练组不仅出现中性粒细胞显著增加,而且出现低白细胞血症,尤其是高训组。其机制可能是HiLo训练组反复处于低氧—常氧—低氧环境的变换之中,机体始终不能较好适应,在一次大运动量或高强度训练之后,其免疫应激尚未解除就又要应对环境应激,导致其训练效应持续时间超过24h,往往未等机体完全恢复就开始下一次的训练,长此以往,不断累积,引起白细胞的损伤和凋亡,导致白细胞免疫机能的抑制效应。Hooper等<sup>[12]</sup>对高水平游泳运动员的研究表明,在为期6个月的赛季中,运动员在重大比赛前夕出现了WBC减少、中性粒细胞增多的现象,这是由于赛前维持高训练量而导致过度训练,其中一次训练的效应持续超过了24h。结果表明,长期的HiLo训练已经引起了机体的疲劳积累,高训组表现更为显著。

而HiHi组未见显著症状,是由于尽管处于低氧环境下训练,负荷较大,但机体逐渐适应后,其恢复期缩短,在24h内能基本恢复。常氧组训练后在常氧环境下休息,其恢复应该更快。在实验过程中,我们发现低氧组大鼠在实验的前2周对运动训练很难适应,死亡的3只鼠均发生在低氧组的这一阶段,其他组没有出现死亡现象。但随着对低氧环境和训练负荷的适应,其状态越来越好,递增负荷时也表现得更为轻松,能较快适应。而HiLo组在实验的开始阶段较好,在训练至4周左右开始显得疲劳,递增负荷较困难。该结果与本实验训练中观察到的情况是一致的,其详细机制有待进一步研究证实。HiHi组对WBC和中性粒细胞的影响比HiLo组小,并没有表现出明显的不良症状,对低氧环境下训练产生了良好的适应。但HiHi高训组基础状态下单核细胞的显著减少和嗜碱性细胞的显著增多,可能也对免疫机能有影响。因为单核细胞是巨噬细胞的前身,具有吞噬杀伤和抗肿瘤作用,也是体内重要的抗原提呈细胞,在特异性免疫应答中发挥调节作用,HiHi高强度训练后其数量降为零可能对免疫机能不利,其产生机制和后果尚不清楚。

从表2可见,各中训组定量运动后WBC均较基础状态显著降低,但HiHi中训组降幅最小,其数值显著高于常氧和HiLo中训组。各氧环境中训组在中等强度定量运动后均出现中性粒细胞增加和淋巴细胞降低的趋势。分析结果表明,中训组定量运动时间长达70min,各氧环境运动组白细胞锐减,提示长时间、大运动量训练后即刻可能出现免疫抑制问题。但Berk等<sup>[5]</sup>研究认为,中等强度急性运动对白细胞及其分类的影响持续时间不长,一般不超过几h。故中等强度运动后的免疫抑制是可以通过休息得到恢复的,并未导致长期训练后中训组WBC及其分类计数基础值的太大变化,但HiLo中训组的WBC已呈降低趋势(表1),表明运动后的恢复受到影响。

HiHi中训组定量运动后WBC降幅最小,提示HiHi环境下中强度运动时白细胞免疫功能较常氧和HiLo环境下运动节省化,这可能与HiHi中训组训练后期血液运氧能力增强导致有氧运动能力提高,定量运动时生理负荷相对较小引起的机能节省化有关。各氧环境中训组在中等强度定量运动后均出现中性粒细胞增加和淋巴细胞降低的趋势,本结果与Pedersen等<sup>[13]</sup>的研究一致,表明中等强度长时间运动主要诱导中性粒细胞增加。该变化可能与糖皮质激素水平升高有关<sup>[14]</sup>。

从表3可见,与各氧环境安静组比,高训组高强度定量运动后,常氧组WBC略增,但HiHi和HiLo组WBC减少,HiLo组降幅最大,均不显著。不同氧环境高训组之间比较发现,HiLo运动组WBC显著低于常氧和HiHi运动组。常氧高训组WBC略增,表明常氧高强度训练有利于提高白细胞免疫功能。在实验中,同期测量的血浆皮质酮水平表明,其机制可能是长期训练导致了高强度运动时免疫抑制激素水平降低,从而解除了对白细胞的抑制作用<sup>[15-18]</sup>。机体在高强度运动中仍能保持较强的恢复稳态的能力。但HiLo高训组却表现为白细胞大幅降低,不仅明显低于安静组,而且显著低于常氧和HiHi高训组,原因很可能是HiLo高训组同时承受高强度运动和低氧环境变化的双重应激,直到训练的后期都未能适应,同步测得的皮质酮也表明机体处于很高的应激水平。

因此,HiLo高强度训练时机体处于高水平的应激状态,引起了白细胞凋亡。结合HiLo高训组WBC基础值的显著降低,我们认为HiLo高强度定量运动对WBC损害的即刻效应持续时间已经超过24h,这样的高强度运动和反复的环境转换的刺激,使WBC难于恢复,不断累积导致了其长期训练后基础状态下的低白细胞血症。

## 4 结论

HiLo 训练对白细胞免疫机能极为不利,尤其是 HiLo 高强度训练; HiHi 不仅没有表现出明显的不良症状,且中训组在定量运动后甚至表现出白细胞免疫机能节省化现象。

### [参考文献]

- [1] Caldwell C C , Kojima H , Lukashev D , et al. Differential effects of physiologically relevant hypoxic conditions on T lymphocyte development and effectors functions [J]. J Immunol ,2001 ,167( 11) : 6 140-6 149.
- [2] 黄庆愿 ,张国斌 ,曾利飞 ,等. 急性低氧和腺苷对大鼠脾脏 T 淋巴细胞增殖的影响 [J]. 中国应用生理学杂志 ,2004 ,20 ( 3) : 214-216.
- [3] Fischetti F , Fabris B , Zaccaria M , et al. Effects of prolonged high-altitude exposure on peripheral adrenergic receptor in young healthy volunteers [J]. Eur J Appl Physiol ,2000 ,82( 5) : 439-445.
- [4] Knoferl M W , Jarrar D , Schwacha M G , et al. Severe hypoxemia in the absence of blood loss causes a gender dimorphic immune response [J]. Am J Physiol Cell Physiol ,2000 ,279( 6) : 2 004-2 010.
- [5] Pedersen B K , Steensberg A. Exercise and hypoxia: effects on leukocytes and interleukin-6 shared mechanisms [J]. Med Sci Sports Exerc ,2002 ,34( 12) : 2 004-2 013.
- [6] Pyne D V , McDonald W A , Morton D S , et al. Inhibition of interferon , cytokine and lymphocyte proliferate responses in elite swimmers with altitude exposure [J]. J Interferon Cytokine Res ,2000 ,20( 4) : 411-418.
- [7] 常芸 ,何子红 ,王莱芮 ,等. 高原训练对国家短道速滑运动员细胞免疫功能的影响 [J]. 体育科学 ,2002 ,22( 1) : 86-89.
- [8] Niess A M , Fehrenbach E , Strobel G. Evaluation of stress responses to interval training at low and moderate altitudes [J]. Med Sci Sports Exerc ,2003 ,35( 2) : 263-269.
- [9] 张纁. 4 周高住低练对外周血白细胞计数的影响 [J]. 北京体育大学学报 ,2004 ,27( 9) : 1 213-1 218.
- [10] Baum M , Klopping-Menke K , Muller-Steinhardt M , et al. Increased concentrations of interleukin-1-beta in whole blood cultures supernatants after 12 weeks of moderate endurance exercise [J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol ,1999 ,79( 6) : 500-503.
- [11] Lehmann M J , Lomes W , Opitz-Gress A , et al. Training and overtraining: an overview and experimental results in endurance sports [J]. J Sports Exerc ,1997 ,37( 1) : 7-17.
- [12] Hooper S L , Mackinnon L T , Howard A. Physiological and psychometric variables for monitoring recovery during tapering for major competition [J]. Med and Sci Sports Exerc ,1999 ,31( 8) : 1 205-1 210.
- [13] Pedesen B K , Bruunsgaard H , Klokke M , et al. Exercise-induce immunomodulation-possible roles of neuroendocrine and metabolic factors [J]. Int J Sports Med ,1997 ,18( 1) : 2-7.
- [14] Rincon E O , Marchena J M , Garcia J J , et al. Phagocytic function in cyclists: correlation with catecholamines and cortisol [J]. J Appl Physiol ,2001 ,91( 3) : 1 067-1 072.
- [15] Reichardt H M , Kaestner K H , Tuckermann J , et al. DNA binding of the glucocorticoid receptor is not essential for survival [J]. Cell ,1998 ,93( 4) : 531-541.
- [16] 周瑞祥 ,林建银. 胸腺 T 细胞分化发育的神经内分泌调控 [J]. 解剖科学进展 ,2006 ,12( 2) : 168-174.
- [17] Pedersen B K , Laurie H G. Exercise and the immune system: regulation , integration and adaptation [J]. Physiol Rev ,2000 ,80( 3) : 1 055-1 081.
- [18] Isowa T , Ohira H , Murashima S. Reactivity of immune , endocrine and cardiovascular parameters to active and passive acute stress [J]. Biol Psychol ,2004 ,65( 2) : 101-120.

[责任编辑: 黄 敏]