



# 一名优秀女子 3 000 m 障碍运动员低氧训练期间身体机能指标监测

李俊涛<sup>1,2</sup>, 周丽丽<sup>1</sup>, 伊木清<sup>1</sup>, 王海燕<sup>3</sup>, 方子龙<sup>1</sup>, 王启荣<sup>1</sup>, 许葆华<sup>1</sup>, 高红<sup>1</sup>, 邵晶<sup>1</sup>, 付劲德<sup>1</sup>

**摘要:** 通过监测备战 2008 年北京奥运会 1 名优秀女子 3 000 m 障碍运动员低氧训练期间的身体机能指标的变化, 试图为女子 3 000 m 障碍运动员低氧训练期间合理安排训练负荷提供依据。

**关键词:** 3000 m 障碍; 身体机能; 监测; 低氧训练

中图分类号: G804.3 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2012)05-0002-04

Monitoring of the Physical Function Parameters of an Elite Female 3000m Steeplechase Runner during the Period of Hypoxic Training

LI Jun-tao<sup>1,2</sup>, ZHOU Li-li<sup>1</sup>, YI Mu-qing<sup>1</sup>, et al

(Center for Sports Nutrition, National Institute of Sports Medicine; National Center for Testing and Research of Sports Nutrition; Key Lab of Sports Nutrition, General Administration of Sport, Beijing 100029, China)

**Abstract:** By monitoring the physical function parameters of an elite female 3000m steeplechase runner during the period of hypoxic training, the authors try to provide evidence for the reasonable arrangement of hypoxic training load of elite female 3000m steeplechase runners.

**Key words:** 3 000m steeplechase; physical function; monitoring; hypoxic training

模拟高原训练是目前世界上一种较新的训练方法, 许多国内外优秀运动员都通过模拟高原训练来提高自己的竞技水平和比赛成绩。为更好地备战 2008 奥运会, 国家女子 3 000 m 障碍运动队采用“高住高练低训”训练模式<sup>[1]</sup>, 帮助运动员提高机体血红蛋白含量和利用氧的能力, 提高有氧耐力和心肺功能, 同时, 最大限度地降低高原反应, 为运动员创造好成绩提供一定的辅助手段。本次机能监测针对女子 3 000 m 障碍优秀运动员的身体机能变化情况, 摸索新的训练方法和模式对运动员机能状态的影响规律, 为该项目运动员个性化的低氧训练提供参考依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

优秀女子 3 000 m 障碍运动员 1 名, 年龄 22 岁, 身高 173.0 cm, 体重 52.5 kg; 训练年限 10 年。

### 1.2 实验方法与指标测试

#### 1.2.1 实验方法

居住地点: 为北京体育大学科学研究中心低氧训练中心, 居住的等效海拔高度可以进行调节, 平均湿度 60%, 平均温度 22℃。每天 10 h, 低氧居住的条件控制如表 1 所示。

周训练计划: 在 4 周的低氧训练中, 除第 1 周前 3 天的低氧暴露外, 各周的训练节奏大致相同, 各周之间仅有细微

表 1 低氧暴露天数和平均血氧饱和度 (SpO<sub>2</sub>)  
Table 1 Days of Exposure in Hypoxia and the Average SpO<sub>2</sub>

	常氧	2500m	3000m	3300m	3400m	3000m	2300m	共计
天数	1	3	5	6	4	3	6	26
SpO <sub>2</sub>	100	94.3	93.8	92.2	91.3	93.0	96.0	

差别。每周 3 次低氧仓跑台跑 (模拟海拔 2 300~2 800 m, 速度 14~18 km/h; 8~10 min/组×3~5 组); 常氧训练包括场地障碍跑 (1 000~3 000 m)、场地 50 m 变速跑与场地 4 km 跑等, 注重身体素质训练和力量训练。训练节奏和个体完成的负荷量由教练员及科研人员综合控制。

#### 1.2.2 指标测试

低氧训练前、低氧训练过程中每周一清晨、低氧训练后共计 5 次采取血样。每次早晨 7:30, 空腹、安静状态下, 肘前静脉取全血及血清。EDTA 抗凝血, 用 Bayer ADVIA 120 全自动血细胞分析仪测定血常规及血细胞五分类指标。主要指标有: 红细胞数 (RBC)、血红蛋白 (Hb)、红细胞压积 (HCT)、网织红细胞百分比 (RET%)、高荧光网织红细胞百分比 (HFR%)、中荧光网织红细胞 (MFR%)。同时用贝克曼-库尔特 DxI 800 化学发光仪检测血清中睾酮 (T)、皮质醇 (C)、睾酮/皮质醇比值 (T/C)、血清铁蛋白 (FER) 等指标。用贝克曼-库尔特 DxC 600 全

收稿日期: 2012-09-17

基金项目: 国家体育总局奥运攻关课题 (07018)

第一作者简介: 李俊涛, 医学硕士, 北京体育大学博士研究生。主要研究方向: 运动员机能监控、体能恢复与全民健身。

作者单位: 国家体育总局运动医学研究所运动营养研究中心, 国家运动营养测试研究中心, 国家体育总局运动营养重点实验室, 北京 100029



自动生化分析系统测肌酸激酶 (CK)、血尿素 (BU)。同时每天清晨监测晨脉、呼吸频率与空腹体重。

## 2 结果

低氧训练第3周和第4周运动员的周平均晨脉变化值较低氧训练前2周提高约1.60次,低氧训练结束后较前一周降低2次左右,低氧训练期间体重变化不大,波动在1.20 kg以内,晨起呼吸频率低氧训练期间较平时提高1次左右,低氧训练结束后恢复正常(见表2)。

表2 低氧训练前后周平均晨脉、体重、呼吸频率的变化  
Table II Variation of the Average Morning Pulse, Weight and Respiratory Rate in the Weeks before and after the Hypoxic Training

日期	训练阶段	晨脉 /(次·min <sup>-1</sup> )	体重 /kg	呼吸 /(次·min <sup>-1</sup> )
6.16—6.22	低氧训练前三周	41.7	52.6	15
6.23—6.29	低氧训练前二周	42.1	52.7	15
6.30—7.6	低氧训练前一周	43.0	52.6	16
7.7—7.13	低氧训练第一周	43.0	52.2	16
7.14—7.20	低氧训练第二周	43.0	52.2	16
7.21—7.27	低氧训练第三周	44.7	51.9	16
7.28—8.3	低氧训练第四周	44.6	52.3	16
8.4—8.10	低氧训练后一周	42.6	53.1	15
8.11—8.15	低氧训练后二周	41.2	52.6	15

运动员低氧入住后体重有所下降,体脂增加,把低氧居住高度从3 300 m调整到2 300 m后体重稍有上升(见表3)。

表3 低氧训练过程中体成分的变化

测试时间	体重/kg	肌肉/kg	肌肉变化/%	脂肪/kg	脂肪变化/%
7.1	53.4	42.1		8.8	
7.14	52.2	41.3	-0.80	8.5	-0.30
7.21	51.2	39.9	-1.40	8.9	0.40
7.28	52.3				
8.4	53.1				

低氧暴露后Hb和HCT较低氧暴露前上升,两周后Hb值达到154.0 g/dl,同时RET%与HFR%低氧暴露后增加,7月21日低氧暴露高度调整后RET%与HFR%仍呈增加的趋势,8月4日出现下降。FER在进入低氧训练中心后有一个上升的趋势,随后在整个低氧训练过程中呈缓慢下降的趋势(见表4)。

低氧暴露过程中T基本稳定,7月28日T与T/C出现下降,为22.0 ng/dL和1.24,8月9日T恢复到41.4 ng/dL,T与T/C恢复到2.01。C在7月21日与8月9日稍有上升,分别为20.6 ug/dl与20.6 ug/dl。低氧训练过程中CK与BU较为稳定,7月7日CK稍高,为276.0 U/l,随后缓慢下降。7月21日BU为8.4 mmol/l,调整后恢复正常(表5)。

表4 低氧训练期间血常规及部分五分类指标的变化

Table IV Variation of Blood Routine and Some of the Five Classification Indices in Hypoxic Training

	6月30日	7月7日	7月14日	7月21日	7月28日	8月4日
RBC/×10 <sup>12</sup>	4.2	4.6	4.5	4.8	4.5	4.4
Hb/g/dl	133.0	141.0	153.0	154.0	141.0	134.0
HCT/%	37.5	40.8	43.3	42.3	40.7	39.4
RET/%		1.09	1.39	1.56	1.9	0.86
HFR/%		0	0.80	0.60	2.30	0.50
MFR/%			3.4	7.5	8.2	2.7
FER/(ng/ml)	60.28		88.6	78.2	70.2	67.5

表5 低氧训练过程中内分泌指标的变化

Table V Variation of the Endocrine Indices in Hypoxic Training

	6月16日	7月7日	7月14日	7月21日	7月28日	8月9日
T/(ng/dL)	37.0	39.0	40.0	37.0	22.0	41.4
C/(ug/dl)	15.6	15.7	13.9	20.6	17.8	20.6
T/C	2.37	2.48	2.88	1.80	1.24	2.01
CK/(U/L)	111.0	276.0	177.0	111.0	91.1	144.0
BU/(mmol/L)	5.1	7.2	5.6	8.4	6.8	4.0

## 3 分析与讨论

### 3.1 晨脉、体重、体成分和呼吸频率

晨脉是指在清晨清醒后未下床安静状态下计数的脉搏数,晨脉是反映运动员心脏机能的一项简单有效的指标<sup>[2]</sup>。运动员的晨脉越低体能状况越好,具有良好的纵向可比性。

低氧训练第3周和第4周运动员的周平均晨脉变化值较低氧训练前2周提高约1.60次,低氧训练结束后较前1周降低2次左右。在整个低氧训练过程中晨脉变化较为平稳,反映了该运动员对整个低氧训练过程基本是适应的。

体重在一定程度上能够反应人体骨骼、肌肉、皮下脂肪及内脏器官增长的综合状况和身体发育的充实度,可分为



瘦体重和脂肪重两部分。在训练课前后或某一训练周期前后测量体重,可以了解训练对机体的影响及机体对训练负荷的适应情况。一般来说,如果运动员体重进行性下降,有可能出现过度训练或患有某种疾病。近年来国外研究报道<sup>[3,4]</sup>高原低氧训练后骨骼肌蛋白质丢失,容易导致肌肉疲劳、肌力下降,较高海拔运动可导致肌纤维横径缩小、肌肉萎缩、肌肉有氧代谢酶系统蛋白质减少。低氧训练过程中,该队员的体重呈现下降的趋势,主要表现为肌肉重量出现下降,低氧训练第3周该队员脂肪含量与低氧训练前相比变化不大,本研究所观察的现象亦支持上述结论。根据这种情况,我们把低氧居住的高度由海拔3 300 m逐渐调整到2 300 m,适当增加力量训练,注意促合成营养成分补充和营养支持,该队员的体重逐渐恢复(未再进行体成分测试)。

高原低氧条件对肺的弥散过程及血液的氧运输等均有影响<sup>[5]</sup>。高原训练对呼吸系统的影响在高原训练期间由于缺氧与运动的双重刺激,运动员呼吸频率加快,出现明显的换气过度(hyperventilation),对呼吸肌训练比平原训练更加有效,相应地肺通气量与最大肺通气量增加<sup>[6]</sup>。本研究发现晨起呼吸频率低氧训练期间较低氧训练前提高1次左右,低氧训练结束后恢复正常(表2),亦支持上述结论。

### 3.2 血红蛋白、红细胞压积、血细胞五分类与铁蛋白

Hb数值的高低与运动员的身体机能和运动能力有较密切的关系,在低氧训练中是一个较重要的监测指标,一方面低氧环境可以刺激其增长,另一方面训练的消耗又可以使Hb下降。HCT是指每升血液中红细胞所占的容积,它的高低与红细胞的数量和大小有关,同时与血液浓缩程度有关。对耐力项目运动员的血红蛋白与红细胞压积监测可以进行个体纵向的系统跟踪。FER是人体内分子量较大的蛋白,它对体内铁的转运、贮存以及铁代谢调节有着重要的作用,是铁在人体内的主要贮存形式。该队员在整个训练过程中铁蛋白处于正常范围,反映该队员无铁缺乏现象。RET是有核红细胞刚刚失去核的阶段,属未完全成熟的红细胞,反映骨髓有效制造和释放红细胞的能力,其各项参数的变化均早于成熟红细胞参数。当骨髓增生状态发生改变时,在外周血中RET水平比RBC数与Hb水平的改变更为敏感。故通过检测运动员的RET,能够先于RBC计数和HB反映骨髓红系造血功能状态,传统的RET检测即RET%和RET#具有参数值单一,不能反映RET成熟度的缺点。近年来,国际上采用流式技术测定RET内RNA的含量,并根据RNA与荧光染料结合后荧光的强度,分为低、中、高3种荧光强度类型LFR、MFR、HFR,可以反映不同的成熟阶段<sup>[7-9]</sup>(见表2)。红细胞生成正常时,MFR、HFR的水平很低,但在生理或病理的因素以及造血因子动员的影响下,造血受到刺激,大量较为幼稚的RET从骨髓释放入外周血,使MFR、HFR的水平显著增高<sup>[10]</sup>。临床研究表明:MFR、HFR能反映红细胞生成的开始,是评价红系增生活跃的一项新的指标<sup>[11]</sup>。由于该运动员在低氧暴露两周后Hb值达到154.0 g/L,红细胞压积为42.3%,同时其RET%,尤其是HFR%增加,结合该队员的体重及肌肉质量出现下降的趋势,因此决定对其居住高度进行调整。根据个体对低氧的敏感性和其HB值,居住高度逐渐下调到2 300 m。调整前队员HB和RBC数持续增

加,调整后所有降低,HB均控制在141.0 g/L以内。HCT均处于正常值范围内。

### 3.3 睾酮和皮质醇

T是体内主要的雄激素,T能增加运动员肌肉蛋白质合成和肌肉力量,增加肌肉对葡萄糖的吸收和肌糖原合成,并且在一定条件下能增强运动员的运动能力和竞技能力。C是人体内重要的异化激素之一,能抑制蛋白质合成,抑制下丘脑-垂体-性腺系统和睾丸间质细胞分泌睾酮,加速糖原、脂肪和蛋白质的分解,有利于运动时的能量供应。T/C反映机体合成与分解代谢的平衡状态。T/C高时,合成代谢占主导地位,反之可能是过度疲劳的原因之一。运动实践发现,T存在较大的个体差异性,对运动员机能评定时,一定要进行自身前后比较。

如表5所示,该队员7月28日出现T的下降,同时T/C也出现一定程度的下降,可能与前期完成的训练负荷较大有关,对训练计划给予适当的调整,同时给予促合成营养品,该队员的T在赛前恢复到平均水平,T/C比值也出现一定程度的上升,机能状态逐渐调整到正常。该队员C在7月21日较前几周有一定程度的升高,这与体重和肌肉质量的下降表现一致,结合体成分变化,反映体内肌肉组织存在蛋白质分解现象,经调整后逐渐恢复,整个训练过程中保持基本稳定。

### 3.4 肌酸激酶与血尿素

CK是骨骼肌能量代谢的关键酶之一,其作用是催化三磷酸腺苷和磷酸肌酸之间高能磷酸键可逆性的转移。血清CK活性的变化可以作为评定肌肉承受刺激和了解骨骼肌微细损伤及其适应与恢复的重要敏感的生化指标。7月7日CK高于理想参考值,与近期进行的力量训练有关,经过调整及营养补充后恢复正常。在3 000 m障碍的训练中,由于比赛全程需要跨越28个栏架与5个水池,因此运动在整个训练过程中跳跃及跳深训练较多,对整个腿部肌肉的刺激较大,因此在训练过程中可以通过CK的变化了解整个机体对训练负荷的反应,对运动员肌肉微细损伤也可以起到有效的预警作用。

BU是评定训练负荷量和机能恢复的重要指标,BU对运动量更为敏感,运动量越大,BU增加越明显,次日晨起BU恢复也较慢。排除高蛋白饮食的影响,通过个体的纵向分析比较可以了解运动员对运动负荷的反应。7月21日BU超过正常范围的上限,反应这段时间的运动量稍大,经过调整后BU恢复到正常范围,在整个训练过程中,运动员BU指标维持基本稳定,结合其他指标的变化,反应运动员对整个训练负荷基本能够承受。

### 3.5 指标的综合分析

在低氧训练监控中,需要对运动员的身体机能做一个综合评定,可看到体重、体成分、BU和C的变化和整个训练计划的执行是相符合的,低氧训练第2周是低氧适应后运动负荷增加的阶段,上述指标的变化对运动负荷做出了合理的反应,也对低氧居住高度从3 300 m逐渐调整到2 300 m做出了很好的提示,保证整个低氧训练的顺利进行。

外周血中RET水平比RBC数、Hb水平的改变更为敏感,能够先于RBC计数和Hb反映骨髓红系造血功能状态,可作



为低氧训练中调节模拟海拔高度的一个有效指标。

#### 4 小结

4.1 对 T 与 T/C 的监控可以较好地了解运动员的机能状态。

4.2 体重、体成分、C、BU 可以较好地反应机体对低氧与训练双重负荷的承受情况,可作为调整模拟低氧训练高度及训练负荷的依据。

4.3 RET%与 HFR%可以作为调整模拟低氧居住高度的一个有效指标。

4.4 CK 与 BU 变化趋势与训练安排基本一致,反应运动员基本能够承受训练负荷。

4.5 对运动员的机能监控需要结合各种指标做一个综合评定。

#### 参考文献:

- [1] 胡扬. 模拟高原训练的新发展—从 HiLo 到 HiHiLo[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24 (1): 69-72.
- [2] 冯连世, 张漓. 优秀运动员训练中的生理生化监控实用指南[M]. 北京: 人民体育出版社, 2007.
- [3] Hoppeler H, Kleinert E, Schlegel C, et al.(1990). Morphological adaptations of human skeletal muscles to chronic hypoxia[J]. *Int J Sports Med*, 11.
- [4] Cerritelli, P. (1998). Muscle Function impairment in Human Acclimated to chronic hypoxia[J]. *In physiological function in special environment*. Springer.
- [5] 邓树勋. 运动生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005, 7.
- [6] Boning D . (1997). Altitude and hypoxia training--A short review [J] . *Int J Sports Med*, 18: 565-570.
- [7] 孙婷. 网织红细胞分类在临床疾病诊治中的应用[J]. 中国误诊学杂志, 2003, 3(4) :613-614.
- [8] 陈晓冰, 林希. 自动化网织红细胞分析技术及其相关指标的临床应用[J]. 国外医学·输血及血液学分册, 2002, 25(4) : 341-343.
- [9] 昌富. 网织红细胞自动分析与未成熟网织红细胞组分[J]. 上海医学检验杂志, 2002, 17(2) :119-121.
- [10] 陈则清. 网织RBC 四项检测指标的正常参考值调查[J]. 国外医学临床生物化学与检验学分册, 2001, 22(6) :325-326.
- [11] Brugnara C.(2000). Iron Deficiency and Erythropoiesis: New Diagnostic Approaches[J]. *Clinical Chemistry*, 37(2) : 93-130.

(责任编辑: 何聪)