

DOI:10.13718/j.cnki.xsxb.2018.06.026

高原递增性负荷训练对女子中长跑运动员 机体摄氧、运氧的影响^①

马欣, 张杰, 王丽洁

山东省体育科学研究中心, 济南 250012

摘要:目的: 探讨高原递增性负荷训练对女子中长跑运动员摄氧、运氧能力的影响。方法: 选取备战 2017 年全运会的 6 名山东省田径队优秀女子中长跑运动员为研究对象, 于冬训期间进行高原递增性负荷训练, 为期 5 周。于训练前后采用意大利柯世迈心肺功能测试系统测试运动员的心肺功能(经典的布鲁斯方案), 采用血常规测试运动员的红细胞(RBC)、血红蛋白(HB)、红细胞压积(HCT)。结果: 训练后, 运动员的 $VO_2\max$ 增大, 但无显著性变化($p > 0.05$)。但最大相对摄氧量、 VO_2/HR 高于训练前, $VO_2\max$ 心率低于训练前, 差异有统计学意义($p < 0.05$)。运动员的无氧阈(AT)、AT 心率高于训练前, AT 时间长于训练前, 差异有统计学意义($p < 0.05$)。运动员高原训练结束后的 RBC, HB, HCT 逐渐降低, 但与训练前相比无统计学意义($p > 0.05$)。运动员高原训练结束后 1 周的 RBC, HCT 高于训练前, 差异有统计学意义($p < 0.05$)。结论: 高原递增性负荷训练能够提高女子中长跑运动员的心肺适应能力, 增强机体摄取氧和运输氧的能力, 提高运动员的有氧代谢能力。

关键词: 高原递增性负荷训练; 女子; 中长跑; 摄氧; 运氧

中图分类号: G861.1

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2018)06-0160-07

需氧量增加是运动时最显著的变化之一, 长时间的剧烈运动, 例如中长跑, 可造成机体摄氧功能障碍以及供氧不足, 处于缺氧状态, 出现中枢性疲劳, 影响运动能力。高原训练是目前提高运动员运动成绩的有效手段之一, 主要原理是在高原环境所致的低氧和运动缺氧机体的双重刺激下通过生理代偿激发潜能^[1]。目前各国的教练员和运动员都将高原训练作为提高运动成绩的赛前训练手段。中长跑是以有氧代谢为主的耐力性和周期性运动, 近年来, 我国女子中长跑的运动成绩并不理想。提高女子中长跑运动员的世纪排名已经成为国内体育工作者和教练员亟待解决的问题。有研究显示^[2], 高原训练能够提高运动员的有氧代谢能力, 对最大摄氧量、血红蛋白、乳酸耐受力等指标产生有利影响。但不合理的高原训练也有可能降低运动能力的下降。递增负荷训练是指通过对初始负荷、每级负荷运动时间、负荷等级数等参数进行设计调整以达到目标的一种训练方案。目前递增负荷运动方式已经非常成熟, 可为监测运动员有氧能力和无氧能力提供科学依据。但有关高原环境下的递增负荷的研究还比较少。为了制定出科学的、符合运动员自身特点的运动训练方案, 本研究选取山东省田径队 6 名优秀女子中长跑运动员为研究对象, 分析高原递增性负荷训练对运动员机体摄取氧、运氧能力的作用, 以期个性化的指导运动训练提供实践依据。

① 收稿日期: 2018-01-22

作者简介: 马欣(1963-), 女, 学士, 副研究员, 主要从事运动训练。

1 资料与方法

1.1 一般资料

6名山东省田径队优秀女子中长跑运动员,年龄18.5~22.5岁,平均(21.23±1.85)岁.身高163~174 cm,平均(166.5±7.29) cm,体质量48~53 kg,平均(51.82±3.21) kg,训练年限3.5~7.5年,平均(6.21±1.53)年.其中2名为1级运动员,3名为运动健将,1名为国际健将.所有运动员健康状况良好,无不良嗜好.均自愿参与本研究,并知晓实验过程,既往均有高原训练经历,排除有心血管疾病及隐患者.于冬训期间进行高原训练.

1.2 方法

1.2.1 训练方案

该组队员在青海多巴训练基地(海拔2 366 m)训练,去高原以前在山东省训练中心田径管理中心训练.高原训练方案的设计以提高运动员的专项速度素质和有氧耐力能力为主,采用递增式负荷运动,共5周,运动负荷根据运动员测定的最大摄氧量的情况设定.其中第一周为适应周,运动内容主要是为了适应高原环境,训练强度偏小,训练负荷为45%~50%VO₂max强度(VO₂max强度为该队员出现VO₂max对应的运动负荷强度,结合训练前测定的运动员的VO₂max的情况),运动总量为150 km;第二周:在运动员逐渐适应后加大训练量和强度,训练负荷为60%~70%VO₂max强度,运动总量为180 km;第三周在第一周的基础上增加训练强度,训练负荷为70%~85%VO₂max强度,运动总量为200 km;第四周为提高成绩的最佳训练周,强度维持在较高程度,训练负荷为85%~95%VO₂max强度,运动总量为220 km;第五周降低训练强度,增加训练量,训练负荷为75%~90%VO₂max强度,运动总量为240 km.

1.2.2 测试指标及方法

1.2.2.1 心肺功能

1) 测试方法

分别于训练前、高原训练5周后上午8:30左右后采用意大利柯时迈(cosmed)心肺功能测试系统测试运动员的心肺功能,测试地点为运动机能实验室.测试前运动员进行低负荷的热身运动,约5 min.仪器使用前校准(标准气体及专用定标筒进行气体和流量定标),测试环境相对湿度为40%~60%,测试温度为19~21℃.空气中的氧含量维持在20.9%.将便携式机器打开预热成功后,执行周围空气测试,测试通过后,将机器佩戴于运动员身上,带好心率带,并帮助运动员带上面罩、头套以及涡轮等.运动员的测试方案为经典Bruce测试方案,使用HP专业运动跑台. Bruce方案:初始速度为2.7 km/h(2.7, 4.0, 5.4, 6.7, 8.0, 8.8, 9.6 km/h),坡度为10.0,每3 min增加1级负荷,视运动员的运动情况增加负荷.当运动员出现不步态不稳、极度乏力、气促、头昏等症状,且经反复鼓励不能完成负荷时终止测试^[3].分别于训练前、训练结束后进行心肺功能的相关测试,记录运动员的VO₂max、氧脉搏、相对VO₂max以及无氧阈等代谢参数.相关测试照片见图1.



图1 心肺功能测试图

2) $VO_2\max$ 的判定标准^[4]

出现任何以下 3 种情况时认为运动员达到了 $VO_2\max$: ①呼吸商 >1.1 ; ②心率 >180 次/min; ③摄氧量平台不再增加; ④运动员有力竭表现, 经反复鼓励不能保持规定负荷的运动。

3) 无氧阈的判定

测试结束后, 根据 MM3B 系统自带的对比分析系统, 综合各项数据, 寻找摄氧量的拐点即判定为无氧阈^[5]。

1.2.2.2 血常规

分别于训练前、训练结束后、下高原后 1 周测定运动员的清晨空腹肘静脉血 2~3 mL。使用全自动生化分析仪与其匹配的专用试剂进行相关指标的测试, 严格按照仪器操作说明进行。指标包括: RBC, HB, HCT。以上 3 项指标均在一定程度上反映血液运输氧的能力。

1.3 统计学分析

运动前后的摄氧量指标、血常规指标比较采用配对 t 检验, 利用 SPSS 统计软件(SPSS 10.0 for Windows) 进行数据处理。数据结果用(平均值 \pm 标准差)($\bar{x}\pm s$)表示, 显著性水平定为 0.05, 极显著性水平定为 0.01。

2 结 果

2.1 训练前后女子中长跑运动员机体摄取氧能力的比较

本研究发现, 训练后, 运动员的 $VO_2\max$ 增大, 但无显著性变化($p>0.05$)。最大相对摄氧量、 VO_2/HR 高于训练前, $VO_2\max$ 心率低于训练前, 差异有统计学意义($p<0.05$)。见表 1、图 2, 图 3。

表 1 训练前后女子中长跑运动员机体摄取氧能力的比较

时间	N	$VO_2\max$ /(L·min ⁻¹)	相对 $VO_2\max$ /(L·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	VO_2/HR /mL	$VO_2\max$ 心率 /(次·min ⁻¹)
训练后	6	3.79 \pm 0.33	68.82 \pm 6.18	20.21 \pm 3.72	189.25 \pm 6.86
训练前	6	3.32 \pm 0.25	65.02 \pm 6.45	17.62 \pm 1.84	193.85 \pm 6.71
T	2.74	3.25	2.53	-2.27	
P	0.012	0.008	0.025	0.034	

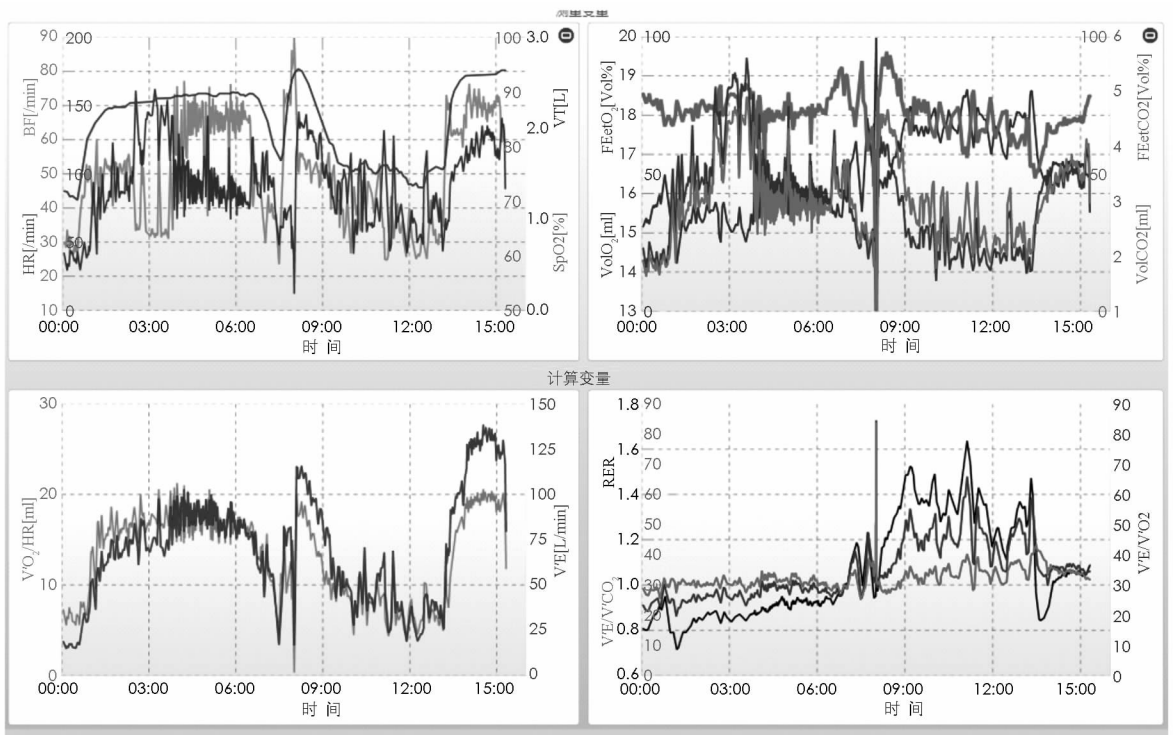


图 2 某队员训练前摄取氧能力相关指标情况

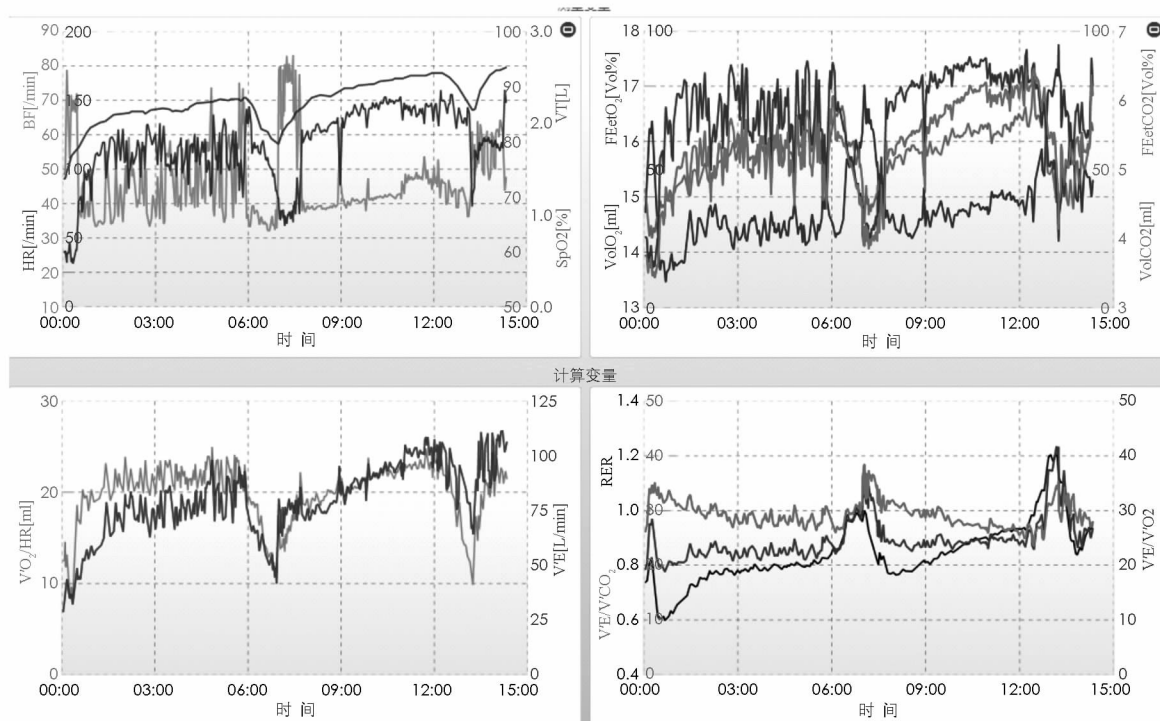


图 3 某队员训练后摄取氧能力相关指标情况

2.2 训练前后女子中长跑运动员无氧阈水平的比较

由表 2 可知, 训练后, 运动员的 AT, AT 心率高于训练前, AT 时间长于训练前, 差异有统计学意义 ($p < 0.05$) (图 4, 5).

表 2 训练前后女子中长跑运动员无氧阈水平的比较

时间	N	AT/(L · min ⁻¹)	AT 心率/(次 · min ⁻¹)	AT 时间/min
训练后	6	2.79 ± 0.74	170.26 ± 9.32	13.85 ± 1.82
训练前	6	2.36 ± 0.96	153.21 ± 23.58	11.26 ± 1.34
T		2.21	4.73	2.86
P		0.039	0.000	0.009

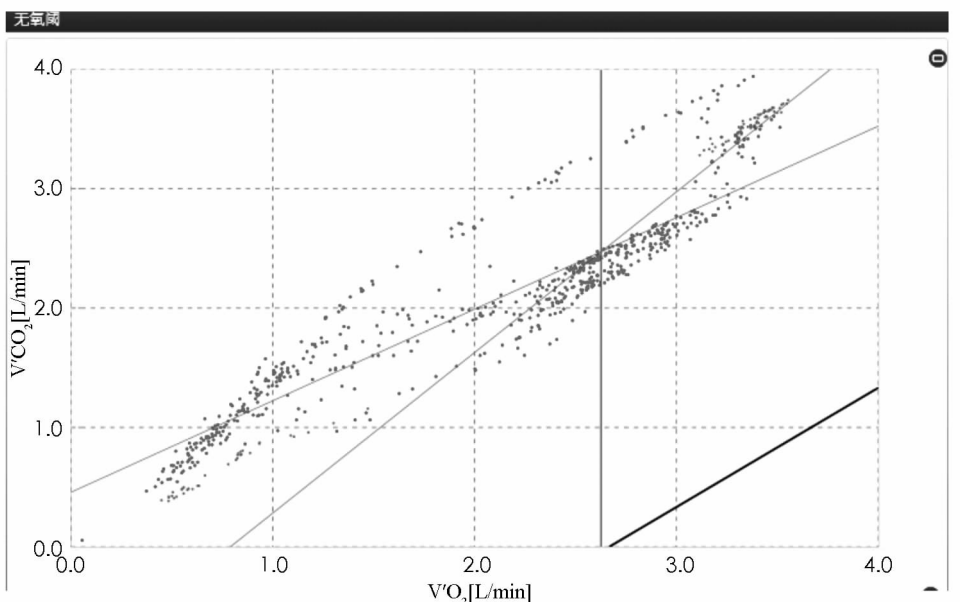


图 4 某队员训练前运动员无氧阈水平的比较

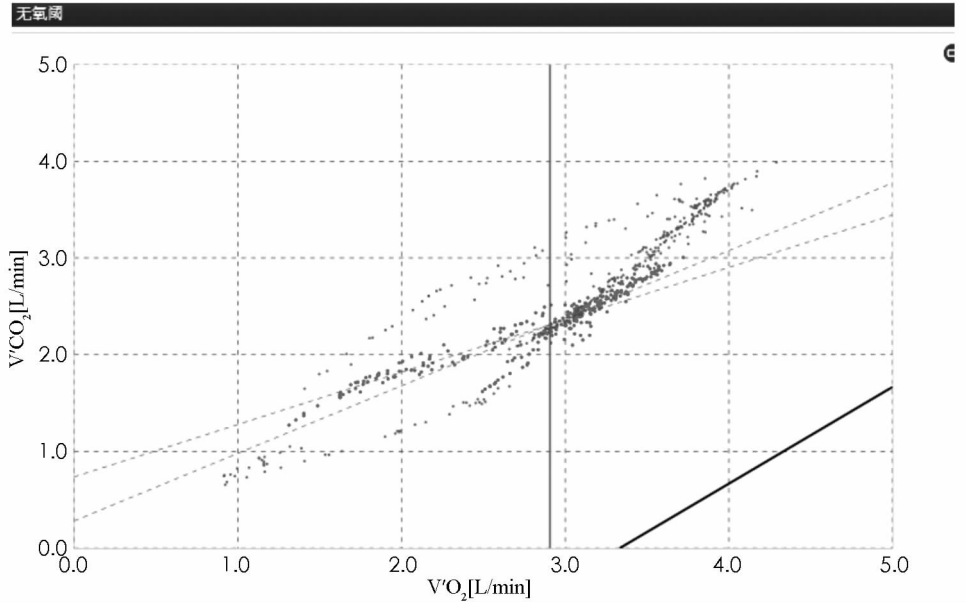


图 5 某队员训练后运动员无氧阈水平的比较

2.3 训练前后女子中长跑运动员机体运输氧能力的比较

由表 3 可知, 训练后, 运动员 RBC, HB, HCT 均有所下降, 但与训练前的差异无统计学意义 ($p > 0.05$). 下高原训练后的 1 周, 运动员的 RBC, HCT 均高于训练前, 差异有统计学意义 ($p < 0.05$). HB 高于训练前, 但差异无统计学意义 ($p > 0.05$).

表 3 训练前后女子中长跑运动员机体运输氧能力的比较

时间	N	RBC($\times 10^{12}$)	HB/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	HCT/%
下高原 1 周	6	4.55 \pm 0.21	141.32 \pm 2.56	42.85 \pm 0.59
训练后	6	4.34 \pm 0.16	139.25 \pm 2.65	39.14 \pm 1.31
训练前	6	4.46 \pm 0.13	140.23 \pm 3.21	40.41 \pm 0.56
T		2.05	1.87	2.17
P		0.045	0.052	0.041

3 讨 论

3.1 高原递增负荷训练对女子中长跑运动员最大摄氧量的影响

本研究结果显示, 经过 5 周的高原递增性负荷训练后, 运动员的最大相对摄氧量、 VO_2/HR 以及 VO_2max 心率均得到了明显改善, 差异有统计学意义。 VO_2max 是反应心肺功能整体储备和最大有氧代谢能力的客观指标。 相对摄氧量是每公斤体质量的最大摄氧量, 该指标消除了体质量的影响, 比 VO_2max 更加有意义^[6]。 6 名女子中长跑运动员经过 5 周的训练后最大相对摄氧量值较训练前显著提高。 高原与平原相比氧分压下降, 气体通过肺吸入机体后进入血液循环, 血液中的氧含量下降, 到达全身各组织、器官以及肌肉的氧分压下降, 影响肌肉对氧的摄取。 运动员在一段时间内在高原低氧的条件下训练, 运动员的心血管系统、呼吸系统、肌肉系统逐渐被动员^[7]。 随着每周运动负荷的增加, 为了适应高水平代谢的需求, 运动员的心率、 VE 、 $\text{O}_2\text{-pluse}$ 逐渐增加, 这必要导致机体的 VO_2 增加。 氧脉搏也是反映心肺功能的一项综合指标, 是心脏每次搏动输出的血量所摄取的氧量。 本研究中高原训练结束后运动员的氧脉搏和相对摄氧量都得到了明显提升。

但高原缺氧也会对运动能力造成一些不利的影 响, 如肌肉萎缩、应激激素分泌增多、训练强度下降等。 有研究认为^[8], 高原训练对运动能力的作用是正性作用和反性作用共同的结果。 减轻高原训练对运动训练的不利影响, 发挥有利影响是提高运动员运动能力的核心问题。 本研究所采用的高原递增负荷训练是符合运动员机体对高原环境适应的生理特点的。 随着运动员机体适应和训练的加强, 心输血量增加, 血液循环

中携带的氧气增多,相对以往每公斤体质量中的摄氧量有所增加.心率是运动员身体机能状态和承受负荷最直观的指标之一,一般而言,心率相对较低的运动员训练更系统,竞技水平更高.本结果还显示,高原训练后运动员的 $VO_2\max$ 心率这与以往有关高原训练对运动心率影响的研究结果基本一致^[9].这说明高原递增性负荷训练机体并未出现过度训练和过度疲劳的现象,运动员身体机能状态良好.

3.2 高原递增负荷训练对女子中长跑运动员无氧阈的影响

本研究结果显示,经过5周的高原递增性负荷训练后,运动员的AT,AT心率高于训练前,AT时间长于训练前,差异有统计学意义.无氧阈是反应骨骼肌对氧利用能力的指标,无氧阈出现越晚,表明人体氧的利用率越高.无氧阈相对于 $VO_2\max$ 更能反映人体的有氧耐力.中长跑运动是典型的有氧耐力性亚极量符合运动项目,运动员大部分时间是在低于 $VO_2\max$ 的负荷强度下运动,这也是本研究制定递增负荷运动的依据.对中长跑运动员进行无氧阈的测试,是了解运动员机体状况以及判定训练手法是否有效的重要依据.在经过高原递增性负荷训练后,运动员达到无氧阈的时间延长了约0.4 min,这说明运动员的有氧代谢能力向无氧大写过度的时间明显延后.有学者认为^[10]肌肉中的无氧酵解的供能能力、脑细胞对酸性环境的耐受能力、血液对乳酸的缓冲能力是决定无氧耐力高低的因素.经过高原递增负荷训练后,运动员AT时间明显延长,这有可能是当糖酵解功能产生的乳酸在体内得到很快的消除,此时的氧脉搏、通气量以及呼吸频率都会得到提高,脱酸脱氢酶活性、线粒体酶活性增强,机体能够充分利用所摄取到的氧气,以消除乳酸对机体的破坏,在高运动强度下能够维持较高的运动水平^[11].运动员达到无氧阈时心率明显增大,可能与运动时间延长以及运动负荷的增大有关.

3.3 高原递增负荷训练对女子中长跑运动员血液运输氧能力的影响

本研究结果显示,运动员下高原训练后的1周,运动员的RBC,HCT均高于训练前,差异有统计学意义.有研究显示^[12],高原训练的重要成效之一就是刺激促红细胞生成素的分泌,提供血红蛋白和红细胞的水平,进而改善机体携带氧的能力.红细胞系是比较容易受到高原低氧环境影响的.红细胞是人体数量最大的血细胞,其作用是输送 CO_2 和 O_2 .运动员初上高原后,机体在低氧的刺激性能激下促进储血器官释放红细胞,随着运动递增负荷的递增,进一步受到缺氧的刺激,促使肾脏生成EPO的能力增强,促进骨髓造血,增加血液中的红细胞数量.在高压低氧环境下血液中氧含量直接供组织细胞利用,改善重要脏器缺血缺氧区的氧供.随着高原训练时间的延长,EPO持续释放,机体逐渐适应高原环境和训练负荷^[13].HB是人体内含铁质的一种蛋白,由血红素和珠蛋白结合而成.本研究中高原递增性负荷后RBC,HB并未发生显著性变化,原因可能是整个训练期间训练量较大导致,而下高原训练后一周在高氧环境下,RBC明显上升.这主要是由于从高原到平原环境改变促进体内激素分泌改变,从而使诱导因子的mRNA增加,促进EPO增加.而HB未显著变化可能是由于长时间的耐力运动对运动员HB的增加不明显所致.HCT是反映红细胞在血液中所占容积,过高或过低都是影响血液运送 O_2 的能力.高原低氧环境下能够升高血HCT.高原低氧的环境能够促进RBC的升高,而这部分红细胞多处于聚集状态,血液浓缩,故HCT升高.运动员下高原后1周HCT显著升高,提示机体对高原低氧刺激所产生的适应性变化效应在此时间内发挥了效应,机体具备较好的有氧能力.

4 结 论

高原递增性负荷训练能够提高女子中长跑运动员的心肺适应能力,增强机体摄取氧和运输氧的能力,提高运动员的有氧代谢能力,可作为提高运动成绩的赛前训练手段.建议在高原训练前后对运动员的有氧能力指标,如最大摄氧量、无氧阈以及氧脉搏等进行监测,以掌握训练对有氧量的作用水平.

参考文献:

- [1] SON H J, KIM H J, KIM J H, et al. Erythropoietin 23 DPG Oxygen Transport Capacity and Altitude Training in Adolescent Alpine Skiers [J]. Aviat Space Environ Med, 2012, 83(1): 50-53.
- [2] 蒋 丽,王 迪,殷 劲.世居高原中长跑运动员高原-亚高原-平原和高原-平原训练模式的对比研究 [J]. 成都体育学院学报, 2017, 43(2): 67-71.
- [3] 苏青青,马福海,樊蓉芸,等.高原低氧环境增压辅助训练对世居高原中长跑运动员气体代谢水平影响 [J]. 青海体育

科技, 2013, 52(2): 3-7, 20.

- [4] 孟志军. 4周海拔1900~2600米交替训练对世居高原女子长跑运动员红细胞系和白细胞系相关指标的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2014, 33(9): 914-916, 922.
- [5] 宗磊, 赵晋, 徐杨. 高原和高高原训练对世居亚高原中长跑运动员促红细胞生成素的影响[J]. 四川体育科学, 2015, 5(5): 15-18.
- [6] 马海燕. 我国优秀竞走运动员高原训练生理生化指标监测和评价[D]. 长春: 吉林体育学院, 2014.
- [7] ZORETIC D. The Effects of Hypercapnic-Hypoxic Training Program on Hemoglobin Concentration and Maximum Oxygen Uptake of Elite Swimmers [J]. J Applied Physiol, 2014, 18(9): 99-101.
- [8] 甘春龙, 赵晋, 徐杨, 等. 高原-平原交替训练与高原-亚高原交替训练对运动员肺功能的影响[J]. 南京体育学院学报(自然科学版), 2013, 12(6): 56-60.
- [9] 董宏, 刘宝, 刘桦玮, 等. 间歇性低氧训练对运动员有氧能力影响的 Meta 分析[J]. 体育科学, 2016, 38(10): 67-73.
- [10] 王刚, 高炳宏, 高欢, 等. 亚高原训练对不同高原训练经历男子赛艇运动员有氧运动能力的影响[J]. 中国体育科技, 2015, 51(4): 42-48.
- [11] 李亚南, 余小燕, 贺颖英, 等. 高原低氧环境下增压辅助训练对运动员血液氧运输能力的影响[J]. 青海师范大学学报(自然科学版), 2016, 10(2): 76-79.
- [12] FAISSR GIRARDO MILLETGP. Advancing Hypoxic Training in Team Sports from Intermittent Hypoxic Training to Repeated Sprint Training in Hypoxia [J]. Br J Sports Med, 2013, 47(1): 45-50.
- [13] 武铁男, 范越, 方子龙, 等. 优秀男子青少年游泳运动员高原训练的血液指标变化[J]. 中国运动医学杂志, 2016, 35(10): 952-956.

Increasing Load Altitude Training Effects on Oxygen Uptake and Carrying in Female Middle and Long Distance Runners

MA Xin, ZHANG Jie, WANG Li-jie

Shandong Institute of Sport Science, Jinan 250012, China

Abstract: Objective: To investigate the effects of increasing load altitude training on oxygen uptake and carrying in female middle and long distance runners. Method: Select 6 elite female middle and long distance runners from Shandong Province Track and Field team, who were preparing for the 2017 National Games, they were given increasing load altitude training during winter training for a period of 5 weeks. Using cardiopulmonary testing system Cosmed to test the athlete's heart and lung function before and after the training (Bruce Classic), measured erythrocyte (RBC), hemoglobin (HB), hematocrit (HCT) by routine blood tests. Results: after training, the athletes' VO_2 max increased, but there was no significant change ($p > 0.05$). But the maximum relative oxygen uptake, VO_2/HR was higher than before training, and the VO_2 max heart rate was lower than before training, the difference was statistically significant ($p < 0.05$). The anaerobic threshold (AT) and AT heart rate of athletes were higher than before training, and the AT was longer than before training, the difference was statistically significant ($p < 0.05$). The RBC, HB and HCT decreased gradually after the altitude training, but there was no statistically significant compared with before training ($p > 0.05$). After altitude training, the 1 axis of RBC and HCT were higher than before training, the difference was statistically significant ($p < 0.05$). Conclusion: increasing load altitude training can improve the cardiopulmonary adaptability of female middle and long distance runners, enhance the ability of oxygen uptake and carrying, and improve the aerobic metabolism ability of the athletes.

Key words: increasing load altitude training; female; middle and long distance; oxygen uptake; oxygen carrying