



赛艇运动高原和低氧训练研究进展

王敬茹¹, 高炳宏²

摘要: 高原训练和低氧训练作为提高运动员运动成绩的手段已经广泛应用于诸多耐力项目, 赛艇运动也因合理地高原训练和低氧训练在一些国际大赛中取得了较为显著的成绩。本文综合各家赛艇运动高原训练、低氧训练研究成果进行综述, 为赛艇运动高原训练、低氧训练的进一步发展提供参考。

关键词: 赛艇运动; 高原训练; 低氧训练

中图分类号: G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2009)01-0065-06

Research Development of Altitude Training and Hypoxic Training of Rowing

WANG Jing-ru¹, GAO Bing-hong²

(Xi' AN Institute of Physical Education, Xi' An 710068, China)

Abstract: Altitude training and hypoxic training, as the means of improving athletes' performance, have been widely used in endurance training. Appropriate altitude training and hypoxic training of rowing have helped the rowers achieve excellent performance in some international competitions. The article summarizes the researches on altitude training and hypoxic training of rowing so as to provide reference to further application of altitude training and hypoxic training to rowing.

Key words: rowing; altitude training; hypoxic training

1 赛艇运动概述

赛艇运动根据艇种和人数的不同, 运动时间约为6~8 min, 运动员要完成220~240次划桨周期。赛艇运动在出发阶段前10桨内, 以无氧非乳酸代谢为主; 10桨后至60~90 s, 采用无氧乳酸代谢; 2 min后直到比赛结束, 有氧代谢居于主导地位, 但3种供能方式并非绝对独立^[1]。大量研究发现, 各种赛艇运动测试中, 有氧供能占绝大部分, 占总供能的70%~85%, 无氧酵解供能占20%~25%, 磷酸原供能约占5%。上述比例随运动员有氧能力水平的高低而略有变化, 水平高者有氧代谢供能可达80%以上, 水平低者多在75%以下。Hagerman FC的研究显示, 男子2 000 m赛艇运动中有氧供能比例占70%~75%, 无氧功能占25%~30%^[2], 可以说赛艇运动中有氧能力体现在训练和比赛的各个方面, 其水平的强弱直接影响着比赛时技、战术水平的发挥和运用, 也有学者认为在全部以有氧供能为主的项目中, 赛艇运动对人体有氧运动能力的要求排在首位。国内报道, 全年的有氧训练可提高最大摄氧量的6%~10%^[3], 因此, 通过科学合理安排训练内容, 充分利用在运动能力遗传度以外的空间, 获得个体最佳的有氧和无氧比例, 达到个人体能整体结构的有机整合尤为重要^[4]。

2 高原训练、低氧训练研究概述

2.1 高原训练

高原训练是利用高原低压、低氧的环境刺激激发运动员的补偿机制, 通过增加运动难度和负荷量, 在体能和生理上充分调动运动员运动能力的过程, 并刺激机体产生一系列抗缺氧反应的训练方法, 这得益于高原高海拔、低气压、低氧分压环境中运动员在高原缺氧和运动缺氧的双重刺激下机体

出现以下适应性改变: (1) 神经系统由欣快感、易激动、失眠、心烦意乱等兴奋状态逐渐转向适应, 对缺氧有了一定的耐受性, 并在习服过程中建立了代偿机制, 使缺氧症状得到缓解。(2) 心血管系统主要表现为心率明显加快, 心输出量也随心率增加而增加, 当机体逐渐习服低氧环境后一般会下降。动脉血压在中等海拔高度几乎没有什么特殊反应。(3) 血液成分的改变以红细胞系为主。随着氧分压降低和血氧饱和度降低, 为了保证机体组织的氧供应, 红细胞生成素增加从而刺激骨髓造血组织释放大量的红细胞, 使血红蛋白增加。(4) 呼吸系统主要表现为呼吸频率增快, 肺通气量、最大摄氧量增加, 运动时更为明显以满足机体需要。这些适应性改变为运动能力的提高奠定了生理基础, 在自行车、竞走、中长跑、赛艇、皮划艇、游泳等项目中广泛应用。

2.2 低氧训练

近年来, 人们利用高原训练的原理及科学的技术、设备, 摸索出一些模拟高原训练的手段, 先后出现了高住低练(HiLo)、低住高练(LoHi)、高住高练低训(HiHiLo)、间歇性低氧训练(IHT)等低氧训练模式, 为运动员创造了低氧训练的条件。根据2005年4月在北京召开的全国低氧训练研讨会与专家的讨论, 将低氧训练的概念定义为: 利用人工低氧环境进行训练, 提高运动员体能的方法。

大量研究表明, 科学合理的低氧训练能不同程度的提高运动员的有氧运动能力, 已被广泛应用于竞走、中长跑、赛艇、皮划艇、游泳、铁人三项、现代五项等多个运动项目, 其原理是: (1) 低氧的低 PO_2 环境可刺激促红细胞生成素(EPO)生成增多, 从而导致Hb、RBC及2,3-DPG(2,3-二

收稿日期: 2009-01-04

基金项目: 上海市体育局科技攻关项目(08JT028)

第一作者简介: 王敬茹(1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 运动员机能监控与评价。

作者单位: 1. 西安体育学院, 西安 710068; 2. 上海体育科学研究所, 上海 200030



磷酸甘油酸)含量增多。2, 3-DPG 增加, 又有利于氧合 Hb 释放氧。(2)低氧训练低 PO₂ 环境刺激使机体心脏功能得到提高。(3)模拟低氧训练可导致骨骼肌毛细血管数量增多, 使肌肉缓冲能力增强。(4)模拟低氧训练可增强骨骼肌线粒体的数量及其氧化酶的活性^[6]。利用低氧刺激配合运动训练来增加机体的缺氧程度以调动体内的机能能力, 从而达到提高运动成绩的目的, 尤其应用于以有氧耐力为主的运动项目。

2.3 高原训练和低氧训练的利与弊

由表 1 可以看到, 高原训练及低氧训练各有利弊, 但高原地区的温度、湿度、气压、风向、紫外线等自然因素对运动能力的影响有待探索。目前低氧训练研究的热点集中在训练模式的合理选择、个体差异的研究、免疫力的保持、心理学方法的介入、大众健身效果等方面。总之, 应该结合各队具体情况、各运动项目的不同特点选择适宜的训练方法以达到提高运动能力的目的。

3 高原训练和低氧训练在赛艇运动中的应用

3.1 有氧运动能力

诸多高原训练、低氧训练相关文献报道认为, 通过机体对运动相对缺氧、低氧绝对缺氧及混合缺氧刺激的适应, 高原训练及各种低氧训练模式均可以通过增强心肺功能、改善骨骼肌组织中有关氧化酶的活性、增加肌红蛋白浓度、增加线粒体体积和数量以及毛细血管密度等多方面因素来提高机体的有氧运动能力。

秦宇飞^[7]对北京女子赛艇队 18 名队员在海拔 1 500 m 的亚高原环境训练期间生理、生化指标的测试分析发现, 为期 18 周的亚高原训练能提高运动员的心肺功能和有氧能力。王道^[8]等对女子赛艇运动员进行为期 9 周的高原训练后发现, 运动员最大摄氧量、相对最大摄氧量、最大通气量等指标均有所提高, 但均无显著性差异; 无氧测试的瞬时最大功率、相对最大功率等指标均出现下降。由此认为, 长时间高原训练是否会对赛艇运动员的有氧能力有负面影响需要结合其他指标作进一步研究, 但长时间高原训练会负面影响无氧能力, 这可能与低氧暴露时间有关, 主要取决于高原训练的

内容, 建议赛艇运动高原训练的时间以 5~6 周为宜, 在高原训练中应以有氧训练为主, 但不能忽视速度、速度耐力和力量训练。张洪文^[9]的研究发现 10 周高原训练可以提高国家男子赛艇运动员载氧和利用氧的能力, 进而可以增加运动员的有氧运动能力。魏炜^[10]通过对陕西省男子轻量级赛艇运动员高原训练运动能力及相关生化指标的测试发现, 高原训练提高了运动员模拟 2 000 m 测功仪成绩和 3 000 m 跑成绩, 高原前后成绩分别提高了 6.6 s 和 9.5 s; 高原训练后心率值下降 5%; 训练后血乳酸下降了 11%。综合以上研究不难看出, 高原训练对提高赛艇运动员载氧和利用氧的能力较为有效, 但高原训练要根据训练阶段目的来安排训练期, 且应注意有氧、无氧训练比例。

GEISER J^[11]等的研究也显示低氧环境下结合进行高强度的训练可以有效提高肌肉的有氧氧化能力, 这种肌肉的适应性变化有利于运动能力的提高。高炳宏^[12]等对女子赛艇运动员 4 周 HiLo 后发现, 运动员同负荷时摄氧量、乳酸、心率均下降, 最大摄氧量、最大通气量等指标均有不同程度的提高, 为机体有氧能力的提高提供了依据; 在对女子赛艇运动员进行 5 周的 LoHi 和 HiHiLo 训练后发现, 运动员的心肺功能得到了提高, 氧运输、氧利用的能力得到了改善, 高强度运动阶段有氧代谢参与供能的比例相对提高, 同时机体对酸的耐受和缓冲能力有所增强, 还不同程度的提高了运动员的速度耐力和力量耐力水平^[13]。周志宏^[14]等对实验组 HiLo 和对照组 LoLo 对比训练的 20 名划船运动员 4 周训练后测试 2 000 m 和 5 000 m 成绩发现, 2 000 m 成绩与实验前比较无显著性差异, 但实验组的平均成绩提高幅度要大于对照组; 5 000 m 成绩两组与实验前比较都有明显提高, 但实验组出现十分显著的提高, 提高值显著高于对照组。以上研究主要集中在 HiLo、LoHi 和 HiHiLo 3 种模式上, 大多为 4~5 周的低氧训练提高了赛艇运动员氧运输、氧利用的能力, 为机体有氧运动能力的提高提供了依据。当然也有不同观点的研究出现。赵之光^[15]的研究发现, 与时间相对应的摄氧量、二氧化碳排出量、HR、氧脉搏变化曲线右移; 与时间相对应的通气量、呼吸商、主观疲劳度变化曲线左移; 在模拟海拔 1 500 m、2 000 m 和 2 500 m 环境与平原环境

表 1 高原训练及低氧训练利弊比较

Table 1 Advantages and Disadvantages of Altitude Training and Hypoxic Training

	高原训练	低氧训练			
		HiLo	LoHi	HiHiLo	IHT
利	改善呼吸系统机能; 提高心脏供血能力; 促进 EPO 分泌从而增加血液中红细胞数量及血红蛋白含量; 提高机体抗氧化能力; 提高骨骼肌代谢能力。	缺氧负荷与运动负荷能相互协调; 高度可调; 可保证正常训练量及强度。	训练高度和训练时长灵活可变; 能够保证训练强度; 低氧缺氧和运动缺氧双重刺激可有效提高机体运动能力; 不受气候等条件影响; 常氧睡眠利于恢复。	最大限度地扩大了低氧训练效果, 通过低氧缺氧和运动缺氧的合成作用有效提高运动能力和机能状态。	不干扰正常训练, 无需降低训练量及强度, 适宜任何强度运动; 避免长时间低氧刺激造成的一定损伤; 花费少, 易推广。
弊	高原训练强度小, 绝对运动量低; 运动后最大心率和最大乳酸浓度低; 蛋白质合成低下; 血粘度增加; 不利于疲劳恢复; 免疫力下降	对心肺功能刺激不足, 机体机能状态改善不大; 未解决低氧不利于休息和恢复的问题	较短的低氧暴露不利于抗缺氧能力的提高; 整个训练中低氧训练和专项的合理组合难掌控	不易合理安排高住、高练和专项训练的比例	低氧刺激时间较短, 机体接收低氧刺激强度不足; 训练不能多人同时开始, 耗时较长



下相比,最大摄氧量下降,其下降比例分别为:9.24±7.63%、13.09±3.63%和15.40±4.36%,较好地反映了不同模拟海拔高度下运动员有氧代谢运动能力的变化趋势。在模拟海拔1500 m下,VO₂、HR、VCO₂、RER等与有氧代谢运动能力相关的指标变化不显著,说明该环境下训练对运动员的刺激不大。这可能与各研究所选用的高原训练或低氧训练模式、训练强度和训练量安排、训练时间长短以及运动员个体差异有关,测试时段的安排等也可使得测试时得到受试者有氧运动能力的改善程度不一。

总结以上研究我们发现,高原训练时间多为10周左右相对低氧训练(4~5周)周期长,但诸多研究认为4周左右能更好的发挥高原训练效应,高度以1500~2200 m不等,低氧训练可灵活调节所需训练高度,多选择2000~2500 m,根据不同训练阶段训练目的安排的训练均可提高运动员有氧运动能力,提高幅度依各队具体训练计划不同而各异。

3.2 心血管系统

3.2.1 心血管系统机能

高原训练或低氧训练对心肌细胞的形态、心肌细胞分子结构和机能能力都有较大的影响,主要表现在离子通道的改变、线粒体及有氧代谢酶的活性、心肌微血管、冠状动脉血流量、心肌纤维形态机能、心钠素等方面的良好改变^[16]。

我国国家男子公路自行车运动员高原训练研究表明,运动员在海拔1890 m和2336 m进行为期3~4个月训练期间,初上高原时,晨脉和收缩压普遍上升,4~5天后开始下降,高原2~3周晨脉保持在平原水平,基本不受运动量和强度影响,但存在个体差异。返回平原后2~3周内晨脉和收缩压显著低于高原训练前水平,运动员左心室电压较训练前显著增高,x线心脏面积明显增大,两周后有所恢复。这可能与低氧环境下的大强度负荷引起心脏前后负荷增加有关,变化幅度随负荷量加大而增加。我国滑雪运动员经过高原训练后,左心室功能有明显提高,心搏量增加19.2%,心输出量增加9.6%,左室射血分数提高11.98%,左心舒张末期容积增加19.55%,收缩末期容积减少31.29%^[17]。可见高原训练对于提高和加强心血管功能有着较明显的作用,但这一研究在赛艇项目中研究很少。秦宇飞^[7]对北京女子赛艇队18名队员在海拔1500 m亚高原环境中训练18周后,运动员心脏在结构和功能上都发生了一些变化,主要表现在左心室舒张末期容积增大(P<0.05),反映心脏泵血功能的心搏量和心输出量也有显著性的提高(P<0.05)。随着高原滞留时间的延长,运动员的每搏输出量减少。但回到平原以后,每搏输出量会明显提高。其机制可能是由于低氧气体的吸入,引起交感-肾上腺素的活性反射性增强,从而使心肌收缩力增强,心率加快,外周血管舒张,降低了外周循环阻力,最终通过增加心输出量使血流速度加快,从而增强运输氧气的的能力。Gonchar OA等^[18]的研究也显示适度的低氧训练可以改善运动员的心肌、肺部形态和功能,并能提高这些组织的抗氧化能力。也就是说,经过一定时间的低氧刺激,可以提高运动员在平原上运动时心脏的供血能力,使心血管系统的结构和调节功能发生改变,提高抗缺氧能力,进一步提高运动员的耐力水平。

3.2.2 血液流变学

高原训练显著增加红细胞变形性,改善血液流变学特征,从而提高机体对低氧环境和大强度运动的耐受力。燕

小妮等^[19]发现高原训练可使血液流变学指标发生改变。在高原训练早期血液粘度无论在中切还是低切都呈显著性差异,低切非常显著性差异;高切有所升高,但无显著性变化;下高原前和刚上高原比较,低切有显著性差异,高切和中切有所下降,但无显著性差异;回平原后血液粘度有所改变,中切和高原前比较有显著性差异,高切和低切无显著性差异,但值有所下降。洪平等^[20]发现中长跑运动员高原训练期间机体血液流变特征也可得到改善,显著增加的红细胞数及较佳的血液流变性提高了机体对抗低氧环境的耐受力,且这一有利影响至少能维持到下高原4周后。血液流变学特征与血液粘滞度、血细胞的比积、切变率、血细胞的变形性等关系密切,通过对高原状态下运动员血液流变学指标的监控可以更好的评价低氧含量对运动能力的影响,这也许就是高原训练提高运动能力可能的机理之一,但这一研究在赛艇低氧训练中还未涉及。

3.2.3 红细胞系指标变化

高原训练或低氧训练对红细胞系指标变化情况的研究很多,结果发现高原或低氧训练可以对红细胞系指标产生影响,变化程度依训练时间长短、训练模式安排、训练负荷安排等各有不同。

研究显示高原训练期间红细胞、血红蛋白水平的起伏,除受高原缺氧刺激、红细胞生成发生变化外,还受高原脱水、训练量、持续时间及训练强度等因素的影响。张洪文^[9]在对国家男子赛艇队员的训练监控中发现运动员Hb、RBC明显升高。陈伟等^[21]以备战第10届全国运动会的辽宁女子公开级赛艇运动员为研究对象,通过高原(海拔2000 m)训练后测试运动员血红蛋白,结果发现血红蛋白浓度呈递增趋势,下山后与上山前对比显著升高(P<0.01)。魏炜^[22]发现陕西省男子轻量级赛艇运动员高原训练后血红蛋白水平有所升高,升高3%。可见,高原训练在提高赛艇运动员红细胞、血红蛋白水平方面效果显著。

低氧训练同样也能对运动员红细胞系指标产生明显影响。Levine BD等^[23]研究发现,HiLo后运动员的血红蛋白含量升高,且在2001年的研究中进一步证实经过4周HiLo,优秀耐力运动员平原有氧运动能力得到改善。AG Hahn等^[24]研究表明23天HiLo早期EPO的增长可达80%,从而使得RBC升高。James tray-Gundersen等^[25]对13名耐力运动员3周的HiLo后即发现红细胞的显著增多。雷雨晨等^[26]的研究显示高住低训过程中,Hb呈上升趋势,第4周时有所下降,且SpO₂与Hb的变化存在较大个体差异。高炳宏等^[12]的研究发现4周高住高练低训女子赛艇运动员的红细胞计数、血红蛋白和红细胞压积在训练中持续显著升高,升高出现早、幅度大,训练结束时达到最高值,训练后虽有下降但仍保持较高水平。秦宇飞等^[27]观察4周间歇性低氧训练后,男子赛艇运动员低氧组血红蛋白含量显著高于对照组。有关赛艇运动中网织红细胞变化规律的研究尚未见到,且其他项目低氧训练过程中的监测也很少,所以网织红细胞及红细胞、血红蛋白在高原训练及不同模式低氧训练中变化规律、相互间关系、影响因素等值得进一步研究。

以上研究显示高原训练或低氧训练均能提高运动员红细胞、血红蛋白水平,提高幅度因人因训练模式、训练计划安排而异。



3.3 免疫系统指标

高原或低氧环境对免疫功能的影响已引起诸多学者及科研人员的重视,监测高原训练或低氧训练过程中机体免疫能力对了解运动员的身体机能状态、判断疲劳程度、过度训练的早期诊断和调整训练计划都有重要意义。

赛艇运动高原训练中针对免疫系统指标的研究还未见到,其他项目略有报道。Baily对优秀中长跑运动员的研究发现,运动员经20天1 640 m高原训练后,血浆谷氨酰胺浓度显著降低,可导致免疫功能抑制和运动能力下降^[28]。卢铁元等^[29]研究了高原训练(海拔2 336 m)对优秀竞走运动员血5项的影响,研究发现,进入高原第1天与平原比WBC数升高,2周后与高原训练第1天比WBC下降,高原训练第3、4周白细胞的变化随训练时间的增加而增长,第5周回到平原恢复到原有水平。赛艇低氧训练中有关免疫系统指标已有研究报道。高炳宏等^[12]对12名女子赛艇运动员4周HiLo和LoLo后发现,HiLo和LoLo训练过程中不同免疫指标的变化规律和程度有所不同;4周HiLo训练使机体细胞免疫能力受到一定抑制,对体液免疫能力无明显影响。高炳宏等^[30]将女子赛艇队24名优秀赛艇运动员随机分为LoLo、HiLo、LoHi、HiHiLo组进行4周的低氧训练,训练过程中发现,HiHiLo训练模式使淋巴细胞数量小幅下降,粒细胞数下降的幅度较大,单核细胞数量呈现出明显上升趋势;HiLo训练模式使淋巴细胞和单核细胞的数量下降,而粒细胞却出现大幅上升;LoHi训练模式对白细胞系3种白细胞的影响较小。虽然不同模式低氧训练均能对白细胞及其分类造成一定规律性的改变,但各种训练模式间并无明显差异。王恬等^[31]在探讨HiHiLo和LoHi训练对女子赛艇运动员免疫机能变化影响时发现,模拟低氧训练过程中 CD_4^+/CD_8^+ 比值、NK细胞的变化不产生显著性差异;训练至第4、5周,NKT细胞与训练前比较明显下降,且HiHiLo组比LoHi组变化更为显著。

由以上各研究不难看出,高原训练、低氧训练均会对运动员的免疫能力产生一定影响,因训练模式不同而各异,并且在各模式低氧训练的不同训练时期也会表现出各自的特点,总体而言,部分免疫指标较为显著的变化多出现在低氧训练的后期。

3.4 相关激素

高原训练或模拟低氧训练状态下,由于低氧含量的刺激,下丘脑-垂体-肾上腺皮质轴产生应激反应,表现为这一应激轴的适应性运转,从而克服由于低氧造成的多器官高原适应不全。另外低氧应激能引起一系列神经内分泌反应,导致免疫功能降低,这可能与促肾上腺皮质激素对免疫细胞功能的调节有关。睾酮能加速糖原、蛋白质合成,提高红细胞数量和通气能力,加速身体的恢复过程,但在低氧条件下,由于环境缺氧和运动缺氧的双重刺激,运动员的消耗较平原更大。皮质醇能抑制蛋白质合成,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。有研究表明无论是急性还是慢性低氧暴露,皮质醇都有可能升高,并且有随海拔高度的增加和时间的延长而升高的趋势^[32]。

3.4.1 血清睾酮、血清皮质醇

运动员在低氧训练、大负荷运动训练过程中及恢复期,内分泌系统会发生明显改变,导致各内分泌腺体和细胞的分

泌水平出现相应的变化,进而各种激素在血液中的浓度也会有相应的改变。冯连世^[33]报道,皮质醇(C)在高原3周及5周后仍低于上高原前的水平,这暗示着运动员机能水平通过高原训练已经得到提高。赵晋等^[34]测定了国家赛艇运动员高原训练前后血清睾酮(T)、皮质醇(C)及血清睾酮/皮质醇的变化,结果表明,系统高原训练后,T和C的变化都较明显,其总体变化均趋于降低,T/C值有升有降,从一定意义上反映了机体的机能状况与疲劳积累程度。陈伟等^[35]发现高原训练期间赛艇运动员血清睾酮变化受运动负荷影响较大,受高原环境本身的影响不大;皮艇运动员高原训练第三周血清睾酮水平反而出现上升,分析原因认为,上高原前睾酮起始水平较低,且训练中强度负荷较大,量的负荷有所减弱,机体能量消耗较少出现T上升^[36]。葛新发等^[37]的研究还发现,运动员首次高原训练后,T、C均明显下降,这说明机体消耗增大,并发生应激反应;再次上高原训练时,运动员T无明显变化,C明显下降,从而使得T/C明显升高。

高原训练从不同监测角度描述了T、C的变化规律,低氧训练同样会对T、C变化产生影响。高炳宏等^[12]对女子赛艇运动员4周高住低练过程中测试血清睾酮、血清皮质醇发现,T水平先降后升,C水平降低,这可能与低氧刺激导致血液Hb和RBC逐渐升高以及机体合成代谢相对增强有关。

运动员血清睾酮、皮质醇水平与运动能力关系密切,但不同训练方法对运动员T、C的影响程度不一,取决于高原训练或低氧训练前后训练量、训练强度及训练周期安排等,且这两个指标均有个体差异存在,因此在评价时进行个人的纵向比较较为客观。

3.4.2 神经内分泌激素及相关指标

邱淑敏等^[38]在观察模拟低住高练对女子赛艇运动员神经内分泌功能影响时发现,5周低氧训练期间,受试者血浆糖皮质激素浓度改变不显著,实验第一周时受试者血浆促肾上腺皮质激素和 β -内啡肽明显增加,实验第四周后逐渐下降。虽然神经内分泌系统与运动能力、机能水平的关系逐渐受到重视,但在赛艇运动中相关研究还是比较有限。

3.5 血尿素氮和肌酸激酶

运动训练和环境变化都有可能引起血液中的肌酸激酶升高^[39]。魏炜^[22]发现陕西省男子轻量级赛艇运动员高原训练后血尿素值有所下降,下降12%。陈伟等^[40]发现高原(海拔2 000 m)训练后运动员整体晨起平均血尿素在刚上高原时维持在较高水平,浓度与负荷量变化一致,适应高原后血尿素变化保持平稳。不仅高原训练中BUN、CK变化明显,低氧训练中亦可观察到不同变化。高炳宏等^[41]发现女子赛艇队24名优秀运动员4周LoLo、HiLo、LoHi、HiHiLo训练结束后,4组运动员血清CK在低氧训练过程中的总体变化趋势表现为先迅速上升,而后逐渐下降,低氧训练结束后第二周又迅速上升;各组间变化趋势有所不同,且训练第二周末,LoLo组与HiLo组、LoHi组和HiLo组、HiHiLo组和LoHi组相比较均有显著性差异;4组运动员BUN在低氧训练开始后均呈逐渐上升趋势,达到峰值后逐渐下降,低氧训练结束后第二周基本恢复至训练前水平,整个训练过程中各组BUN无显著差异。秦宇飞等^[27]观察4周间歇性低氧训练后,男子赛艇运动员低氧组血尿素水平和肌酸激酶活性显著低于对照组。



血尿素、肌酸激酶活性的监控可以了解运动员高原训练或低氧训练过程中的疲劳程度和恢复情况,已在赛艇运动中广泛应用,连续系统的监控更能为教练员制定连续大强度训练计划提供参考,也可以预防出现过度训练和运动伤病。

3.6 抗氧化能力

机体的抗氧化系统主要包括抗氧化酶系统、非酶类抗氧化剂以及金属结合蛋白(如转铁蛋白)等。机体抗氧化酶系统中主要的抗氧化酶为超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)和过氧化氢酶(CAT)等。非酶类抗氧化剂主要包括维生素C、维生素E、 β -胡萝卜素、辅酶Q、尿酸、 γ -硫辛酸以及血浆铜蓝蛋白等。

Alina等人^[42]研究皮划艇运动员在2000m高原上训练发现低氧环境会使自由基生成明显增多,第10天有所下降,但仍明显高于平原水平;同时红细胞内SOD在刚上高原有所降低,适应后显著上升;而CAT活性显著升高,适应后有所下降,至第18天仍明显高于平原时的水平。而Nevin^[43]却发现上高原后,第1、7天红细胞内丙二醛生成显著减少,SOD活性明显升高。赛艇中有关抗氧化能力的研究仅在低氧训练中见到。干懿洁^[44]的研究显示,不同低氧训练模式的低氧刺激对高水平女子赛艇运动员机体抗氧化状态的影响有所不同。整个训练过程中HiHiLo组运动员抗氧化状态的变化情况要优于LoHi组。与LoHi训练模式相比,HiHiLo训练模式更能促进运动员机体抗氧化状态的正性变化。该结果提示从运动员抗氧化状态的考虑出发,赛艇项目运动员进行低氧训练时,HiHiLo训练效果更佳。

提高机体抗氧化能力,增强机体清除过量自由基的功能,对保护机体免受自由基的攻击,增强身体健康,延缓运动疲劳,提高运动能力有着重要的意义。随着低氧训练研究的深入,多种低氧训练模式之间存在着一定的差异。从运动员抗氧化状态方面出发,各种低氧训练模式之间有何差异?对于不同运动项目(如赛艇项目),哪一种低氧训练模式的低氧训练效果更好?这些都有待进一步研究探讨。

3.7 其他指标

20世纪60年代研究者就发现长期高原低氧暴露导致人体体重下降,随后关于低氧暴露及低氧训练引起人或动物体重改变的报道陆续出现。陈伟等^[40]的研究发现,在高原训练过程中,运动员体重呈下降趋势,去脂体重和体脂百分比在高原变化不明显。研究认为运动员在高原或模拟低氧环境下导致体重降低的原因可能为能量摄入减少、营养物质的消化吸收率下降、基础代谢率的改变、脂肪分解代谢的增加、机体合成代谢抑制或分解代谢增加等^[45]。

低氧训练中其他指标也有研究。秦宇飞等^[27]对男子赛艇运动员4周间歇性低氧训练后研究发现,低氧组在耐缺氧实验中血氧饱和度显著高于对照组,心率显著低于对照组,低氧组睡眠质量指标得分显著低于对照组。

诸多指标的研究为赛艇运动高原训练或低氧训练监控提供了参照和依据,不同角度不同方式方法将其中的机制进行不同侧面的剖析,为训练的科学进行奠定理论基础。

4 小结

随着高原训练或低氧训练方法在赛艇运动中的应用,一些针对赛艇运动的相关研究已逐步展开,如呼吸系统、心血管系统、神经免疫等,但对高原训练的研究尚停留在单一角度、单学科、在某一领域内进行的研究,未见到多学科论证高原训练机理的报道及高原科学训练方法的系统研究。因此有关高原训练的争论从未停止过,或者将长期存在下去。而低氧训练法的提出到现在仅十多年的时间,还有很多问题亟待解决。如:(1)低氧训练的理论研究还不是很深入,研究涉及到的范围还很局限。(2)低氧训练对运动员身体机能与运动能力的影响方面有不同的研究结果,并且已有负面报道。如低氧训练可能会降低机体的免疫能力等。(3)由于运动员个体差异的存在,低氧运动的形式、持续时间、运动强度、低氧暴露的时间、训练内容以及维持的时间等都需要进一步深入研究。(4)对于低氧训练提高运动能力的确切机制还不是很清楚,因为运动能力的提高受很多因素的影响,如训练时间和内容、经验、营养的补充等。尤其在微循环、细胞分子水平上的实验报道甚少,还需要更多的深入研究。

参考文献

- [1] 周思红. 赛艇运动的生理生化研究综述[J]. 绍兴文理学院学报, 2005, 12(10): 110-113.
- [2] Hagerman FC. (1984). Applied physiology of rowing[J]. *Sports Med, Jul-Aug*; 1(4):303-26.
- [3] 季健民, 肖国强, 黄佳, 等. 大强度训练对运动员有氧耐力影响的研究[J]. 现代康复, 2001. 5(6): 113.
- [4] 吴昊, 黄晓平, 路花丽. 优秀赛艇运动员有氧能力的再认识与实践[J]. 西安体育学院学报, 2005, 22(4): 70-73.
- [5] 马福海, 冯连世. 高原训练实用问答[M]. 北京: 人民体育出版社, 2008.
- [6] 石爱桥. 对中国女子皮艇队高原训练某些生理生化指标评定效果的研究[J]. 武汉体育学院学报, 2000, 34(2): 101-105.
- [7] 秦宇飞. 对女子赛艇运动员高原训练规律的研究[J]. 武汉体育学院学报, 1997, (1): 49-52.
- [8] 王道, 高炳宏, 高欢, 等. 9周高原训练对优秀女子赛艇运动员有氧和无氧能力的影响[A]. 第八届全国体育科学大会: 617.
- [9] 张洪文. 高原训练对国家赛艇男子队员载氧和利用氧能力的影响[C]. 第八届全国体育科学大会论文摘要汇编(二), 中国北京, 2007.
- [10] 魏炜. 高原训练对男子赛艇运动员运动能力的分析研究[J]. 北京体育大学学报, 2007, 12.
- [11] GEISER J, VOGTM, BILLETR R, et al. (2001). Training High-



- Living low: Changes of Aerobic Performance and Muscle Structure with Training at Simulated Altitude[J]. *Int J Sports Med*, 22 (8):579-585.
- [12] 高炳宏, 步振威, 王道, 等. LoLo、LoHi、HiLo、HiHiLo 训练过程中血象指标变化规律的比较研究[J]. 体育科学, 2005, 25 (10): 32-36.
- [13] 高炳宏, 王道, 陈坚, 等. LoHi 和 HiHiLo 训练对女子赛艇运动员运动能力影响的比较研究[J]. 体育科学, 2005, 25 (11): 33-39.
- [14] 周志宏, 谢敏豪, 廖永毅. 利用低氧帐篷进行“高住低练”对划船运动员运动能力影响的初探[J]. 中国运动医学杂志, 2003, 22 (3): 258-262.
- [15] 赵之光. 不同模拟海拔高度急性低氧暴露运动时优秀运动员有氧运动能力的变化[D]. 江苏: 苏州大学, 2005.
- [16] 张慧, 苏全生. 低氧训练对心血管系统形态结构和功能的影响[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11 (12): 2329-2332.
- [17] 刘学志, 彭兰玲. 高原训练对人体呼吸和循环系统的影响[J]. 天水师范学院学报, 2007, 27 (2): 100-102.
- [18] Gonchar OA, Rozova EV. (2007). Effects of different modes of interval hypoxic training on morphological characteristics and antioxidant status of heart and lung tissues[J]. *Bull Exp Biol Med*. Aug;144(2):249-52.
- [19] 燕小妮, 侯娜, 王华卫, 等. 高原训练对男子赛艇运动员运动能力及血液流变学的影响研究[A]. 第八届全国体育科学大会[C]:301.
- [20] 洪平, 冯连世, 宗玉芳, 等. 高原训练对中长跑运动员血液流变特征的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2004, 33 (3): 288-290.
- [21] 陈伟, 马琳. 高原训练对优秀女子赛艇运动员血红蛋白、血清睾酮、血尿素和身体成分的影响[J]. 中国体育科技 2008, 04.
- [22] 魏炜. 高原训练对男子赛艇运动员运动能力的分析研究[J]. 北京体育大学学报, 2007, 12.
- [23] BD Levine J. (1992). Stray-Gundersen. A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med*, October 1, 13 Suppl 1: S209-12.
- [24] AG Hahn, CJ Gore, DT Martin, MJ Ashenden, AD Roberts, and PA Logan. (2001). An evaluation of the concept of living at moderate altitude and training at sea level. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, April 1, 128(4): 777-89.
- [25] James Stray-Gundersen, Benjamin D Levine. (1999). “Living high and training low” can improve sea level performance in endurance athletes. *Br J Sports Med*, (33):150-154.
- [26] 雷雨晨, 胡扬, 田野, 等. 高住低训过程中血氧饱和度变化及其与血红蛋白变化的关联[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24 (2): 203-206.
- [27] 秦宇飞, 张华. 间歇性低氧训练对男子赛艇运动员大幅和训练期间生理机能的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2007, 26 (3): 321-325.
- [28] 胡杨. 关于高原训练中若干问题的思考[J]. 北京体育大学学报, 2006, 29 (7): 865-868.
- [29] 卢铁元. 高原训练对我国优秀竞走运动员血 5 项的影响[J]. 中国体育科技, 2001 (37): 34-35.
- [30] 高炳宏, 高欢, 陈坚, 等. 不同低氧训练模式对女子赛艇运动员外周血白细胞计数的影响[J]. 天津体育学院学报, 2006, 21 (1): 27-30.
- [31] 王恬, 陈佩杰, 高炳宏. 模拟低氧训练对女子赛艇运动员淋巴细胞亚群等指标变化的影响[J]. 体育科学, 2006, 26 (6): 59-61.
- [32] 罗荣保, 刘文锋, 汤长发. 低氧训练对下丘脑-垂体-肾上腺皮质轴内分泌相关激素的影响[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11 (52): 10682-10686.
- [33] 冯连世. 高原训练及其研究现状[J]. 体育科学, 1999(6).
- [34] 赵晋, 王庆君, 刘爱杰, 等. 高原训练对我国优秀赛艇运动员血清睾酮、皮质醇及血睾酮/皮质醇的影响[J]. 中国运动医学杂志, 1997, 16 (2): 137-139.
- [35] 陈伟, 李戴源, 任国都, 等. 国家皮艇队高原训练负荷生化指标特征[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2007, 11 (52): 10503-10505.
- [36] 陈伟, 马琳. 高原训练对优秀女子赛艇运动员血红蛋白、血清睾酮、血尿素和身体成分的影响[J]. 中国体育科技 2008, 04.
- [37] 葛新发, 罗鹰翔, 徐菊生, 等. 中国女子皮艇队高原训练的实验研究[J]. 武汉体育学院学报, 1998(4).
- [38] 邱淑敏, 陈佩杰. 模拟低住高练对女子赛艇运动员神经内分泌功能相关指标的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2007, 26 (1): 71-72.
- [39] 高颀, 刘海平. 高原训练期间运动员身体机能生理、生化指标的评定方法[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27 (1): 43-45.
- [40] 陈伟, 马琳. 高原训练对优秀女子赛艇运动员血红蛋白、血清睾酮、血尿素和身体成分的影响[J]. 中国体育科技 2008, 04.
- [41] 高炳宏, 陈坚, 王道. 女子赛艇运动员 HiLo, LoHi 和 HiHiLo 三种模式低氧训练前后血清 CK 和 BUN 的变化[J]. 中国运动医学杂志, 2006, 25 (2): 192-195.
- [42] Wozniak A G. (2001). Effect of altitude training on the peroxidation and antioxidant enzymes in sportsmen[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 33(7):1109-1113.
- [43] Nevin A G, Hale S, Deniz E. (2000). Effect of moderate altitude on exhaled nitric oxide, erythrocytes lipid peroxidation and superoxide dismutase levels[J]. *Japan J Physiol*, (50):187-190.
- [44] 干懿洁. HiHiLo 和 LoHi 训练对女子赛艇运动员机体抗氧化状态的比较研究[D]. 上海, 华东师范大学, 2007.
- [45] 黄徐根, 徐建方, 冯连世. 低氧暴露及低氧训练对体重的影响[J]. 体育科学, 2006. 26 (3): 86-90.

(责任编辑: 何聪)