



# HiHiLo 和 LoHi 训练对女子赛艇运动员机体抗氧化状态的比较分析

干懿洁<sup>1</sup>, 高炳宏<sup>2</sup>, 丁树哲<sup>3</sup>

**摘要:** 通过对上海市高水平女子赛艇运动员 5 周 HiHiLo 和 LoHi 低氧训练前后机体抗氧化状态变化的对比分析, 探讨两种低氧训练模式对运动员机体抗氧化状态的影响, 旨在选出能够反映和评价低氧训练中抗氧化状态变化的敏感指标, 以期作为今后低氧训练中了解抗氧化状态变化的监控指标。研究以 12 名上海市高水平女子赛艇运动员为研究对象。将运动员随机分成两组进行 5 周 HiHiLo 和 LoHi 训练。分别于实验前 (低氧训练前 1 天)、低氧训练 1 周末、4 周末、5 周末及低氧训练结束 2 周末测定抗氧化状态的相关指标。发现与 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阳性变化; 同时推荐可以将 MDA 和 GSH-PX 这两个敏感指标作为今后了解低氧训练中运动员机体抗氧化状态变化的监控指标。

**关键词:** 高住高练低练; 低住高练; 女子; 赛艇运动员; 抗氧化状态

中图分类号: G804.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2008)04-0074-04

## Effects of HiHiLo and LoHi Hypoxic Training on the Antioxidant State of Female Rowers

GAN Yi-jie<sup>1</sup>, GAO Bing-hong<sup>2</sup>, DING Shu-zhe<sup>3</sup>

(Zhiyuan High School, Fengxian District, Shanghai 201400, China)

**Abstract:** Through the comparative analysis on the changes of antioxidant state of Shanghai elite female rowers before and after five weeks' HiHiLo and LoHi hypoxic training, the article tries to find out the effects of the two hypoxic training modes on athletes' antioxidant state so as to select the sensitive criteria for reflecting and evaluating the changes of antioxidant state in hypoxic training. These criteria can be used to monitor the changes of antioxidant state. 12 elite female rowers were randomly divided into two groups for five weeks' HiHiLo and LoHi training. Indices relating to antioxidant state were measured one day before the training, at the end of the first, fourth and fifth weeks and at the end of the second week after the training. It is discovered that compared to LoHi training mode, HiHiLo training may accelerate the positive changes of athletes' antioxidant state. The two sensitive indices of MDA and GSH-PX are recommended for monitoring the changes of athletes' antioxidant state in hypoxic training.

**Key words:** HiHiLo; LoHi; women; rower; antioxidant state

## 1 前言

在低氧训练过程中, 运动员的抗氧化状态的变化规律是训练过程中关注的一个重要方面。运动员的抗氧化能力与运动员运动能力的提高有着密切的关系。由于现今已有多种低氧训练模式, 而各种模式之间存在着一定的差异, 所以本文的研究目的就是比较 HiHiLo 和 LoHi 两种低氧训练模式对运动员机体抗氧化状态变化之间的差异, 通过对上海市高水平女子赛艇运动员 5 周低氧训练前后机体抗氧化状态变化的对比分析探讨两种低氧训练模式对高水平女子赛艇运动员机体抗氧化状态的影响, 为两种低氧训练模式在运动实践中的运用提供理论和应用依据, 同时也旨在选出能够反应和评价低氧训练中抗氧化状态变化的敏感指标, 以期作为今后低氧训练中了解抗氧化状态变化的监控指标。

## 2 对象与方法

### 2.1 对象

以上海市赛艇队 12 名高水平女子赛艇运动员为研究对象, 其中国家健将级 2 名, 1 级运动员 10 名, 平均专业训练年限为 4~7 年, 身体健康。将运动员随机分成两组, 每组 6 名, 即高住高练低练 (HiHiLo) 组和低住高练 (LoHi) 组。实验对象基本情况见表 1。

表 1 受试运动员的基本情况  
Table 1 Basic Information of the Subjects

组别	人数	年龄 (岁)	体重 (kg)	身高 (cm)
HiHiLo	6	17.33 ± 2.66	70.33 ± 3.88	180.33 ± 2.58
LiHo	6	16.83 ± 2.14	73.33 ± 5.28	180.50 ± 1.97

收稿日期: 2008-04-21

基金项目: 上海市体育局重点攻关课题 (04JT006)

第一作者简介: 干懿洁 (1982-), 女, 汉族, 硕士, 主要研究方向: 人体机能评定. E-mail: ganyijie1982@126.com

作者单位: 上海市奉贤区致远高级中学, 上海 201400



## 2.2 低氧条件

本实验低氧训练的地点位于上海市青浦东方绿洲体育训练基地内的低氧训练实验室内。实验室拥有约 60 m<sup>2</sup> 的低氧训练房和可供 24 人在低氧环境中睡眠的卧房。低氧设备采用德国 TOSMA 公司的“模拟高原低氧训练系统”，低氧训练和睡眠时模拟的海拔高度为 2500 m，氧含量约为 15.4%，室内气压为常压，误差范围保持在 0.05%（体积）范围内，系统自动监测室内 CO<sub>2</sub>，防止其超过 0.1%（体积）的浓度。根据需要室内温度控制在 15~23℃，室内湿度稳定在 40%~60% 范围内。

## 2.3 实验设计及研究方法

高住高练低练(HiHiLo)组：即低氧训练+常氧训练+低氧睡眠；受试者连续训练 5 周，每周 6 天，每天自晚间 20 点至次日晨 6 点 30 分在低氧实验室中（周六除外）进行低氧睡眠。低住高练(LoHi)组：即低氧训练+常氧训练；受试者连续训练 5 周，在正常环境中睡眠。两组受试者由同一教练带训，训练强度、训练量和训练内容以及饮食条件基本相同。实验期间，两组运动员均采用常氧训练为主，低氧训练为辅的方式训练。每周在低氧训练房中训练 3 次，每次训练时间为 1.5~2 h，采用 0000000 II 型划船测功仪进行练习，低氧训练过程中以心率和血氧饱和度对训练强度进行全程监控，以便根据运动员的机能状态及时进行调整。除了低氧训练外，运动员在常氧环境下进行常规运动训练。

## 2.4 测试指标及其方法

分别于实验前（低氧训练前 1 天）、低氧训练 1 周末、4 周末、5 周末及低氧训练结束 2 周末清晨抽取两组运动员肘静脉血 2 ml，全血注入肝素抗凝试管。离心分离出血浆后，采用南京建成生物研究所提供的试剂盒测试抗氧化状态相关指标，即 MDA、CuZn-SOD、GSH-PX、GSH、GSSG。

## 2.5 数据处理

表 2 HiHiLo 与 LoHi 训练过程中 MDA、CuZn-SOD、GSH-PX、GSH/GSSG 的变化  
Table II Changes of MDA, CuZn-SOD, GSH-PX, GSH, GSSG and GSH/GSSG in HiHiLo and LoHi Training

指标	组别	训练前	1 周末	4 周末	5 周末	训练后 2 周
MDA	HiHiLo	9.143 ± 3.153	9.857 ± 4.086	8.215 ± 1.613 #	8.334 ± 1.500	13.310 ± 5.391 ※@
	LoHi	7.881 ± 2.726	9.286 ± 2.458	10.262 ± 3.506 #	8.667 ± 2.326	12.429 ± 4.425 ※
CuZn-SOD	HiHiLo	36.190 ± 2.294	37.413 ± 4.469	36.842 ± 7.311	33.863 ± 4.469	28.283 ± 5.058 ※
	LoHi	40.510 ± 16.787	41.243 ± 11.543	34.234 ± 11.482	39.450 ± 12.348	33.419 ± 8.542
GSH-PX	HiHiLo	169.381 ± 26.627	162.655 ± 17.286 @	181.549 ± 8.006 #	196.283 ± 20.684 ※	172.035 ± 30.968
	LoHi	196.637 ± 19.459	181.593 ± 12.601 &	137.508 ± 28.653 # ※@	197.876 ± 31.089	179.292 ± 22.209
GSH	HiHiLo	372.619 ± 29.073	346.429 ± 25.051 &	405.952 ± 30.445 ※@	359.524 ± 14.754	333.333 ± 25.422 ※
	LoHi	346.429 ± 73.783	378.572 ± 35.571	390.476 ± 34.602	371.429 ± 31.298	350.000 ± 30.971
GSSG	HiHiLo	31.034 ± 2.439	30.259 ± 3.314	31.322 ± 3.164 @	27.586 ± 3.271	29.598 ± 5.388
	LoHi	25.288 ± 7.762	25.575 ± 3.163 @	30.172 ± 1.808	33.046 ± 5.277 ※	31.035 ± 4.753
GSH/GSSG	HiHiLo	12.051 ± 1.168	11.595 ± 1.751	13.029 ± 1.172	13.226 ± 1.996	11.485 ± 1.661
	LoHi	14.861 ± 6.330	15.048 ± 2.688	12.989 ± 1.433	11.425 ± 1.726	11.504 ± 1.974

注：# HiHiLo 组与 LoHi 组比较有显著性差异，P < 0.05；※ 与训练前比较，P < 0.05；@ 与训练 5 周末比较，P < 0.05；& 与训练 4 周末比较，P < 0.05

对比研究发现，低氧训练前 HiHiLo 组和 LoHi 组赛艇运动员 MDA 的含量、CuZn-SOD 和 GSH-PX 的活性组间无明显差异

实验数据采用 SPSS13.0 统计软件进行处理，所有数据结果用均数 ± 标准差来表示，组间采用独立样本 T 检验、组内采用单因素方差分析，显著性水平为 P < 0.05。

## 3 结果与分析

研究表明<sup>[1,2]</sup>，利用缺氧作为运动员的一种机能刺激，控制低氧暴露的程度与时间，让运动员受到适度低氧刺激并结合低/高氧压下的训练，不仅可以避免长期严重低氧的副作用，改善机体机能，达到生理性适应的目的，还可以提高运动员低氧耐受能力及运动能力，对提高运动成绩是非常有益的。在低氧环境下，运动员机体的抗氧化状态与低氧诱导因子-1(HIF-1)存在一定关系。低氧环境下 ROS 对 HIF-1 具有重要的调节作用。研究指出<sup>[3]</sup>，低氧环境下 ROS 可以通过 HIF-1 氧化还原活性调节位点实现负向调节。氧化还原因子和硫氧还蛋白均可增强 HIF-1 的活性<sup>[4]</sup>。也有研究指出内源性谷胱甘肽抗氧化系统本身能提高 HIF 含量和活性，是稳定细胞内 HIF 含量和活性的重要条件<sup>[5]</sup>。总之，低氧条件下，运动员机体的抗氧化状态对 HIF-1 起着重要的调节作用，当运动员机体抗氧化状态增强时，会增强机体内 HIF-1 的活性，进而促使 HIF-1 通过一系列的调控作用（如使肌红蛋白、VEGF 和糖酵解酶 mRNA 水平等增加，促使肌肉线粒体和毛细血管的密度增加）提高运动员的携氧载氧能力，提高运动员的有氧能力<sup>[6]</sup>。此外，提高运动员机体抗氧化能力，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，提高运动能力都有着重要的意义。抗氧化物质可以改善自由基对机体的损伤，能清除体内因过氧化而产生的自由基，对维持细胞亚显微结构，保持细胞内容物和细胞器的功能有重大意义。反映到运动实践上，对训练所得成果的维持、抗肌纤维老损和促进疲劳的恢复有一定作用。因此，运动员抗氧化状态的变化情况是运动训练过程中关注的一个重要方面。

本实验通过对高水平女子赛艇运动员血浆抗氧化指标进行

(P > 0.05)，提示训练前两组赛艇运动员机体的抗氧化状态基本一致。进入低氧训练后，两种低氧训练模式对 MDA、



CuZn-SOD、GSH-PX 的影响都较为一致。MDA 均表现为先上升后下降的趋势。但 LoHi 组的上升幅度大于 HiHiLo 组。此时抗氧化酶也发生着相应的变化。CuZn-SOD 的活性在训练第 1 周时出现小幅上升,而后升高减缓。GSH-PX 的活性表现为先下降后上升的趋势。但 LoHi 组的下降幅度大于 HiHiLo 组(见表 2)。由此可能表明两组赛艇运动员刚进入低氧环境进行训练时,由于机体不适应双重缺氧刺激,造成组织缺氧,进而产生强烈的氧化应激反应,自由基不适当的堆积进而攻击生物膜中的多不饱和脂肪酸产生了脂质过氧化作用,从而引起了 MDA 含量的升高。此时,机体为保护自身免受自由基损伤,充分调动抗氧化防御系统,CuZn-SOD 和 GSH-PX 的活性升高,不断清除自由基,防止自由基对机体的损害。一段时间后,机体通过一系列的应答性和适应性变化适应了低氧环境,机体通过抗氧化酶的调节改善了氧化应激状态,可能是因为 CuZn-SOD 酶活性的首先升高激活了氧自由基的歧化反应,但之后 CuZn-SOD 升高减缓可能是由多种原因造成,其中之一可能是由于其生成的过氧化氢同样对其产生反馈抑制作用,开始抑制 CuZn-SOD 的活性致使其活性开始下降;而大量的过氧化氢激活 GSH-PX,使得其活性明显升高,从而抑制自由基的生成。此外,也可能是因为低氧训练过程中抗自由基生成能力的增加,增强了机体对脂质过氧化物的降解、转运和排出,从而使脂质过氧化反应减弱,提高了抗氧化系统的能力,有效地清除了运动中生成的自由基。因此 MDA 在低氧训练的后半期出现下降直到低氧训练结束。以上结果与一些研究报道相一致。欧明毫等(2005)<sup>[7]</sup>通过对划船运动员在相当于海拔 2 500 m 高度进行高住低练研究发现,在高住低练的初期,可能由于机体对缺氧的暂时不适应,抗氧化能力下降。但高住低练 4 周后,机体适应了低氧,抗氧化能力增强,产生了有利的代偿性变化。张爱芳等(2006)<sup>[8]</sup>对 16 名北京体育大学体育系男子足球运动员进行常氧环境和间歇性低氧暴露下训练后发现,10 h 急性低氧暴露后,血清 MDA 和红细胞 SOD 活性有升高趋势,红细胞 GSH 明显下降,GSH-PX 有下降趋势。而 4 周低氧暴露运动前与常氧相比,血清 MDA 无明显变化,红细胞 SOD、GSH-PX 有升高趋势,作者提示经过 4 周的低氧暴露,机体可能已逐渐适应了低氧环境。Charlene 等(2004)<sup>[9]</sup>对人体血浆进行研究后发现刚进入低氧环境时,机体会产生大量的活性氧,但经过一段时间的适应后,机体的抗氧化能力会增强,表现为清除活性氧的抗氧化酶作用增强,如 GSH-PX。他们认为低氧可以作为增加 GSH-PX 基因表达的一种调控条件。以上研究报道均表明了适宜的低氧刺激能提高抗氧化酶的活性、提高机体抗氧化能力,降低脂质过氧化水平。

除了抗氧化酶防御自由基外,谷胱甘肽防御系统也是机体内非常重要的抗氧化系统,其中起主要作用的是还原型谷胱甘肽(GSH)。GSH 能有效捕捉超氧自由基、羟自由基和单线态氧。GSH 氧化成 GSSG 是机体氧自由基增加的一种应激性反应。GSH 氧化还原系统的关键作用是保持机体内 GSH/GSSG 的稳态。稳定 GSH/GSSG 的正常比值是维持机体正常生理过程的一个关键指标,是机体重要的抗氧化系统之一<sup>[10~12]</sup>。本研究观察到,对于高水平女子赛艇运动员血浆中 GSH、GSSG 和 GSH/GSSG 比值变化的影响,两种训练模式之间并无显著性差异。原因之一可能是由于这两种低

氧训练模式之间本身差异不是很大,而 HiHiLo 训练模式晚间的低氧睡眠未能使谷胱甘肽系统有特别突出的变化;又可能是由于本次训练的赛艇运动员本身的差异不是很大,致使两组运动员谷胱甘肽系统的变化未出现显著性差异。

另外,本实验通过对 HiHiLo 和 LoHi 两种低氧训练模式的比较研究观察到 HiHiLo 组赛艇运动员 MDA 的含量在 1 周末后就开始下降,而 GSH-PX 的活性也在 1 周末后开始回升,反观 LoHi 组均是到了 4 周末后才开始发生变化。这可能暗示了与 LoHi 训练模式相比,HiHiLo 训练模式可能更快地对高水平女子赛艇运动员机体的抗氧化状态的变化产生有利影响。在运动员刚进入低氧环境训练时,由于机体对低氧环境的不适应导致机体产生大量自由基,致使抗氧化酶的活性下降,但是 HiHiLo 组运动员由于晚间有低氧睡眠,不断的低氧刺激使得机体快速产生一系列适应性应答反应,使机体尽快地适应了低氧环境,提高了机体的抗缺氧能力,抗氧化能力不断回升,所以从第 2 周开始 MDA 就开始下降,GSH-PX 的活性开始回升。而 LoHi 组可能由于低氧刺激的时间相对较短,直到低氧训练 4 周末机体的抗氧化能力才开始回升。因此在低氧训练 4 周末时,HiHiLo 组运动员由于经历了长时间的低氧刺激,其机体的抗氧化状态可能明显优于 LoHi 组,表现为 HiHiLo 组 MDA 显著低于 LoHi 组,HiHiLo 组 GSH-PX 的活性显著高于 LoHi 组。而在低氧训练结束时,两组运动员 MDA 的值与低氧训练前比较无显著性差异;HiHiLo 组 GSH-PX 的活性显著高于低氧训练前,而 LoHi 组基本保持在低氧训练前水平。提示:与 LoHi 低氧训练模式相比,HiHiLo 低氧训练模式由于其长时间的低氧刺激可能更能促进高水平女子赛艇运动员机体抗氧化状态的正性变化,增强机体的抗氧化能力,降低机体的氧化损伤程度。

## 4 结论

4.1 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。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 组运动员的训练效果更佳。

4.2 本研究观察到高水平女子赛艇运动员血浆中的 MDA 和 GSH-PX 这两个抗氧化状态的相关指标在整个训练过程中的变化最为突出,推荐可以将这两个敏感指标作为今后了解低氧训练中运动员机体抗氧化状态变化的监控指标。

## 参考文献:

- [1] 毛杉杉,潘同斌,王瑞元.低氧诱导因子-1 与低氧训练的调控机制[J].北京体育大学学报,2005,28(9):1227-1229
- [2] 熊正英,张怡,李峰.低氧训练与低氧诱导因子-1 的研究进展[J].四川体育科学,2006,6(2):37-41
- [3] Carrero P, Okamoto K, Coumilleau P, et al.(2000). Redox-regulated recruitment of the transcriptional coactivators CREB-binding protein and SRC-1 to hypoxia inducible factor 1alpha [J].*Mol Cell Biol*,20:402-415
- [4] Zhi-Zhang Yang, Andrew Y. Zhang, Fu-Xian Yi, et al.(2003). Redox regulation of HIF-1alpha levels and HO-1 expression in



- renal medullary interstitial cells[J].*Am J Physiol Renal Physiol*, 284:1207-1215
- [5] Belaiba RS, Bonello S, John Hess, et al.(2004). Redox-sensitive regulation of the HIF pathway under nonhypoxic conditions in pulmonary artery smooth muscle cells[J].*J Biol Chem*,385:249-257
- [6] Hoppeler H, Vogt M.(2001). Muscle tissue adaptations to hypoxia[J].*J Exp Biol*,204(18):3133-3139
- [7] 欧明毫, 周志宏, 黄金丽, 等. 高住低练对划船运动员血清氧化应激水平的影响[J]. 中国运动医学杂志 2005, 24(1) : 73-75
- [8] 张爱芳, 田野, 胡扬. 间歇性低氧暴露对足球运动员自由基代谢的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2006, 25(1) : 84-86
- [9] Charlene.(2004). Determinants of human plasma glutathione peroxidase expression[J].*The Journal of Biological Chemistry*, 279:26839-26845
- [10] Priscilla M. Clarkson, Heather S.(2000). Thompson. Antioxidants: what role do they play in physical activity and health[J].*Am J Clin Nutr*,72:637-646
- [11] Terry S. Legrand, Tak Yee AW.(1998). Chronic hypoxia alters glucose utilization during GSH-dependent detoxication in rat small intestine[J].*Am J Physiol*,274:376-384
- [12] 毛丽娟, 李传珠. 运动对大鼠心肌GSH、GSSG含量及GSH/GSSG的影响[J]. 成都体育学院学报, 2004, 30:75-78

(责任编辑: 何聪)

(上接 81 页)

- [21] A Legaz,R Eston.(2005). Changes in performance ,skinfold thicknesses, and fat patterning after three years of intense athletic conditioning in high level runners[J].*Br.J.Sports Med*,39: 851-856.
- [22] 高炳宏等. 中国优秀男子跆拳道运动员身体成份的研究[J]. 中国体育科, 2001, 37 (4): 21-24.
- [23] 冯连世等. 运动员减体重研究现状[J]. 体育科学, 2005, 25 (9): 59-67.
- [24] Lohman T G.(1992). Basic concepts in body composition assessment[M]. in: *Advances in body composition Assessment* champaign, Illinois:Human Kinetics Books,1-6.
- [25] SJ Fleck Body composition of elite American athletes[J]. *American Journal of Sports Medicine*.Vol 11,6 .398-403.
- [26] 段文杰. 不同项目女子优秀运动员身体成份的实验研究[J]. 西安体育学院学报, 2004, 21 (6): 11.63-64.
- [27] Filaire E, Masso F,et al.(2001). Food Restriction,Performance ,Psychological State and Lipid Vavues in Judo AthletesP[J].*Int J Sports Med*,22(6):454-459.

(责任编辑: 何聪)