

现代体能训练指导丛书  
北京市教育委员会科研共建项目

# 高原训练研究与应用

胡 扬 王瑞元 主编

北京体育大学出版社

现代体能训练指导丛书  
北京市教育委员会科研共建项目

# 高原训练研究与应用

胡 扬 王瑞元 主编

北京体育大学出版社

责任编辑 张清垣  
审稿编辑 熊西北  
责任校对 文华工作室  
责任印制 陈 莎

**图书在版编目(CIP)数据**

高原训练研究与应用/胡扬,王瑞元主编.-北京:北京  
体育大学出版社,2006.10  
ISBN 7-81100-657-X

I.高… II.①胡…②王… III.高原训练-研究  
IV.G808.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 122360 号

**高原训练研究与应用 胡 扬 王瑞元 主编**

---

出 版 北京体育大学出版社  
地 址 北京海淀区中关村北大街  
邮 编 100084  
发 行 新华书店总店北京发行所经销  
印 刷 北京雅艺彩印有限公司  
开 本 787×960 毫米 1/16  
印 张 22.25

---

2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 4300 册

定 价 50.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

# 编 委 会

主 编 杨 桦 池 建

副主编 王凯珍 蔡有志

编 委 (以姓氏笔画为序)

王卫星 王瑞元 阮云龙

刘爱杰 张英波 胡 扬

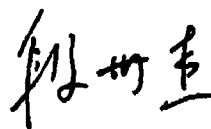
胡 斌 袁守龙

# 序

当今世界科学技术和体育运动技术的飞速发展对体育训练工作提出了更新、更高的要求，面对 2008 年北京奥运会中国体育军团备战参赛需求，使我们体育训练、管理等工作面临着前所未有的挑战和发展机遇。重视科学训练，依靠科技进步促进体育发展，已成为体育界的共识。体育科技工作必须面向体育运动实践，面向奥运备战主战场，千方百计地满足运动训练第一线的需要，努力提高运动训练的科学化水平。

现代运动训练科学指导丛书源于北京体育大学十几位科技工作者的积极探索和耕耘，其设计构思立足于满足我国高水平运动训练实践对体能训练、竞技体育实战制胜、高原训练等理论和方法的急需；其知识体系和技术路线，来自于对国内外高水平运动训练实践前沿科技信息的收集和引进，来自于对运动训练理论与方法的创新和应用。全套丛书由“体能训练专辑”和“专项训练与实战案例专辑”组成。“体能训练专辑”，以体能训练理论与方法为主，分别由《体能—力量训练指南》、《高水平竞技体能训练》、《现代体能训练方法》、《高原训练研究与应用》四册组成。该丛书的出版，对于提高我国竞技体育体能训练、高原训练的科学化水平和实战制胜指导水平，丰富运动训练理论知识体系，将起到良好的促进作用。

近年来，北京体育大学在调整办学思路，加强教育、训练、科研“三结合”基地建设，主动服务于体育运动实践，服务于奥运备战主战场等方面迈出了坚实的步伐。现代运动训练科学指导丛书的出版，是北京体育大学的科技工作者面向体育运动实践，主动服务于 2008 年北京奥运会的又一项积极尝试。随着国际体坛竞争的日趋激烈，为提高运动技术水平、不断增强我国竞技体育整体实力，体育科技还需要做大量的工作。希望广大的体育科技工作者要励精图治、积极创新、勤奋探索，坚持科学技术与体育运动实践紧密结合，针对体育运动实践中的关键领域和关键问题组织科研攻关，加强技术创新，提高体育科技解决体育运动实践问题的能力和水平。不断推出优秀的科技成果，更好地服务于体育运动实践，服务于 2008 年奥运备战。



2006 年 10 月

# 前 言

高原训练经过 40 年的应用与发展, 现已被广泛用于中长跑、马拉松、游泳、自行车、滑雪、滑冰、划艇、球类等各种运动项目, 以提高运动员的竞技能力, 并被认为是具有良好的提高耐力的效果。在高原训练的基础上发展起来的低氧训练, 是近年来兴起的一种新型的提高体能的训练方法。目前, 无论实践还是研究都已表明这种训练方法的有效性。美国、日本、德国、澳大利亚、新西兰、俄罗斯、芬兰、韩国、中国等许多国家的运动员都在利用人工低氧设备进行低氧训练。

北京体育大学十分重视高原训练的研究与应用。近年来, 先后投入了大量的人力和物力, 承担了包括国家自然科学基金、国家科技部奥运攻关、国家体育总局等数十项有关高原训练和低氧训练的课题。同时, 于 2002 年底建成了低氧训练实验室, 从运动员应用、机理、适应规律、免疫、个性化运动处方等多种角度进行了研究, 建立了相对成熟的低氧训练方法。目前, 北京体育大学又建成一座拥有低氧卧室、低氧训练室、低氧运动测试室的大型低氧训练中心, 并配有高氧恢复室、放松恢复室, 以满足 2008 年奥运会的需要。

本书汇编了我校近年来部分相关研究成果, 供国内同行在训练实践和科学研究中参考。

胡 扬

2006 年 9 月

# 目 录

<b>上篇 高原训练研究与应用</b> .....	(1)
关于高原训练中若干问题的思考	
胡 扬 .....	(1)
中长距离游泳运动员高原训练的基本框架	
陆一帆 .....	(12)
优秀竞走运动员的高原训练	
邱俊强 .....	(29)
皮划艇项目备战奥运会高原训练理论与实践研究	
袁守龙 刘爱杰 曹景伟 李海红 金绍辉 .....	(47)
<b>中篇 仿高原训练研究与应用</b> .....	(60)
耐力训练的新方法——高住低训(HiLo)	
胡 扬 黄亚茹 .....	(60)
模拟高原训练的最新发展——从 HiLo 到 HiHiLo	
胡 扬 .....	(73)
HiHiLo 与 LoHi 两种低氧训练对优秀女子长跑运动员运动能力的影响	
刘海平 胡 扬 田野 胡 荣 .....	(82)
HiHiLo 和 LoHi 两种低氧训练对现代五项运动员运动能力的影响	
刘海平 胡 扬 孔兆伟 .....	(91)



HiHiLo 对优秀男子中跑运动员有氧运动能力的影响	
包大鹏 胡 扬 曹振水 聂 晶 .....	(98)
21 天 HiLo 提高了高原训练后优秀中长跑女队员的运动能力	
孔兆伟 胡 扬 田 野 陈效科 .....	(107)
用低氧屋进行间歇性低氧暴露对足球运动员血象指标和运动能力的影响	
孔兆伟 田 野 胡 扬 陈效科 .....	(115)
高住低训对优秀跆拳道运动员运动能力的影响	
高 颀 田 野 胡 扬 赵杰修 .....	(127)
间歇性低氧暴露过程中运动对人体甲襞微循环的影响	
谌晓安 田 野 胡 扬 王 琳 .....	(138)
间歇性低氧暴露过程中运动对脑血流速度的影响	
梁丽娟 熊开宇 田 野 胡 扬 孔兆伟 陈效科 .....	(145)
高住低训中 EPO 变化规律的研究	
李晓霞 胡 扬 李卫平 田 中 .....	(156)
HiHiLo 对血液酸碱平衡及调控能力的影响	
杨 旭 冯美云 胡 扬 .....	(161)
HiHiLo 对国家女子中长跑运动员心功能的影响	
李俊涛 曾凡星 胡扬 田野 胡荣 刘媛媛 姚立芳 ...	(169)
高住低训对国家跆拳道运动员红细胞膜带-3 蛋白(band-3)基因	
表达的影响	
高 颀 田 野 胡 扬 赵杰修 .....	(181)
不同氧浓度的 HiHiLo 对血象指标的影响	
张 纓 胡 扬 .....	(191)
低氧运动对血清离子浓度的影响及电解质饮料干预效果的研究	
张海霞 胡 扬 田 野 许春燕 鲁 政 倘绍奎 .....	(199)
不同浓度氧暴露对运动后血液流变学及红细胞形态的影响	
包大鹏 胡 扬 .....	(206)

运动后低氧暴露对血液流变学及红细胞形态的影响	
包大鹏 胡 扬 田 野 雷雨晨 河春姬 .....	(213)
急性低氧运动对血液流变性和红细胞形态的影响及电解质饮料的 干预效果	
许春艳 胡 扬 田 野 刘海平 张海霞 鲁 政 .....	(221)
HIF-1 $\alpha$ 和 eNOS 基因多态性与低氧训练个体适应能力的关联性研究	
刘海平 胡 扬 .....	(228)
高住低训过程中血氧饱和度的变化及与血红蛋白的关联	
雷雨晨 胡 扬 田 野 孔兆伟 陈效科 欧文武 .....	(239)
网织红细胞血红蛋白与低色素红细胞百分比在低氧训练中的变化 及其应用	
刘媛媛 曾凡星 胡 扬 李俊涛 .....	(248)
高住低训对少年女性运动性低血色素运动员红细胞相关指标及 EPO 的影响	
许永利 田 野 .....	(258)
4 周高住低训对红细胞免疫功能的影响	
周帆扬 张 纓 胡 扬 陈效科 田 野 .....	(269)
HiHiLo 对红细胞 CD58、CD59 和 T 淋巴细胞 CD2 表达的影响	
朱 荣 张 纓 .....	(277)
HiHiLo 对红细胞 CD <sub>35</sub> 数量及活性变化的影响	
罗 琳 张 纓 .....	(283)
<b>下篇 高原训练基础研究</b> .....	(290)
MyoD 及 Myogenin 在低氧运动对肌球蛋白重链改变中的调控作用	
苏艳红 王瑞元 .....	(290)

低氧、耐力训练对大鼠代谢酶及肌球蛋白 $\text{Ca}^{2+}$ - ATPase 的影响	
苏艳红 王瑞元 .....	(302)
低氧力竭运动及恢复期间大鼠骨骼肌肌原纤维 ATPase 活性的动态 变化研究	
潘同斌 毛彬彬 王瑞元 袁建琴 .....	(309)
急性低氧及力竭运动对大鼠骨骼肌肌球蛋白重链(MHC)亚型 基因表达的影响	
潘同斌 毛彬彬 王瑞元 袁建琴 .....	(317)
慢性低氧及跑台训练对大鼠骨骼肌肌球蛋白重链(MHC)亚型 基因表达的影响	
潘同斌 王瑞元 袁建琴 毛彬彬 .....	(327)
慢性低氧及跑台训练对大鼠体重及骨骼肌组织蛋白酶 D 活性的影响	
潘同斌 王瑞元 毛彬彬 袁建琴 .....	(336)

# 上 篇

## 高原训练研究与应用

### 关于高原训练中若干问题的思考

胡 扬

2006年1月国家体育总局在昆明海埂高原训练基地召开了“备战2008奥运会高原训练工作会议”。这次会议是我国体育史上由国家体育总局召开的层次最高、规模最大的高原训练工作会议，在备战2008年奥运会的工作中具有重要意义。如何以科学求实的态度，以勇于创新的精神，在正确认识高原训练客观规律的基础上，提出备战2008年奥运会高原训练工作实施方案，充分发挥举国体制优势，整合好各方面资源，使高原训练成为119等项目取得突破的有力武器，是目前需要考虑的重要问题。本文从运动生物科学的角度就高原训练中的一些问题进行论述。



## 1. 高原训练的有效性

高原训练方法的建立虽已有 50 多年的历史，但高原训练能否提高运动能力在国际上还一直存在争论。有人认为高原训练可以有效地提高运动员，特别是耐力性项目运动员的运动能力；也有人认为高原训练不利于提高运动员回到平原的运动成绩。造成以上争论的原因可能与高原训练研究与实践中的受试者个体差异、运动项目之间的差异、高原环境间的差异、训练手段和方法上的差异有关，以至于得出的结果存在差异。

然而，通过对肯尼亚（海拔 2000m）、墨西哥（海拔 2300m）、埃塞俄比亚（海拔 2500m）等地进行高原训练运动员的调查，不难发现高原训练对运动能力提高的作用是不可否认的。例如，在 1992 年巴塞罗那奥运会上，共有 20 名来自肯尼亚（12 人）、墨西哥（4 人）、埃塞俄比亚（4 人）等国家的运动员在田径比赛中进入前 8 名；而在 1996 年的亚特兰大奥运会上，又有肯尼亚（17 人）、墨西哥（4 人）、埃塞俄比亚（4 人）等国家的 25 名运动员在田径比赛中进入前 8 名。并且，这些国家的运动员在上述两次奥运会上共获得 400m 跑、800m 跑、3000m 障碍跑、马拉松跑等项目中的 8 枚奖牌；到 2000 年悉尼奥运会，埃塞俄比亚运动员在包含 1500m 跑、5000m 跑、10000m 跑等比赛项目中获得 8 枚奖牌，肯尼亚获得 7 枚奖牌的好成绩，其中包括 6 枚金牌（埃塞俄比亚 4 枚，肯尼亚 2 枚）。在此届奥运会上，日本女运动员高桥尚子也是通过在美国克罗拉多高原训练基地（海拔 2300m ~ 2600m）进行 2 个月的训练获得马拉松跑冠军的。2004 年雅典奥运会，中国运动员邢惠娜通过在青海多巴进行高原训练取得女子 10000m 跑金牌。由此可见，在现代体育比赛中，高原训练已经成为一种重要的训练方式，许多运动员都是通过高原训练在世界大赛中取得了优异的成绩。



## 2. 高原训练的多样性

高原训练的实质就是利用高原低氧（而不是低压）环境加强运动员某些方面的生理机能，为运动能力的提高奠定生物学基础。因此，从理论上说只要是在低氧环境下训练均可达到高原训练的效果。

实际上，利用自然或人工低氧环境进行训练，提高运动员体能的方法均可称为低氧训练。从广义上看，低氧训练应包括高原训练（high altitude training）、高住高训（living high - training high, HiHi）、高住低训（living high - training low, HiLo）、高住高练低训（living high - exercise high - training low, HiHiLo）、低住高练（living low - exercise high, LoHi）、间歇性低氧训练（intermittent hypoxic training, IHT）等多种方式。由于高原训练有着雄厚的研究和应用基础，而且其他的低氧训练方法又是从高原训练发展而来的，因此，根据2005年4月在北京召开的全国低氧训练研讨会与会专家的讨论，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，范畴仅限于HiHi、HiLo、HiHiLo、LoHi和IHT。

低氧训练是在高原训练研究和应用的基础上发展起来的、既可以通过低氧暴露提高机体氧运输和利用能力，又可以通过低氧运动提高心肺功能的一种新型的训练方法，是高原训练多样性的具体表现。低氧训练与高原训练的差异主要在于高原训练利用的是自然低氧环境，而低氧训练利用的是人工低氧环境。由于低氧训练避免了高原训练时由于缺氧造成的训练强度和训练量的下降，疲劳恢复减慢及蛋白质分解代谢的加强等等弊端，保证了正常的训练，并且在低氧环境下可以获得有益的生理适应（诸如，血红蛋白提高）的情况下还可以增大训练强度和训练量。另外，低氧训练还可以根据个体低氧适应能力人为地调整低氧暴露环境，以达到更好的训练效果。因此，低氧训练不仅能达到高原训练的效果，而且避免了高原训练的不足，是一种更具个性化的提高运动员有氧和无氧运动能力的训练方法，可以作为整个训练系统中的一个环节应用



于平时和赛前的训练。

## 2.1 高住低训

HiLo 由美国学者 Levine 于 1991 年提出, 是英文 living high - training low 的缩写。直译过来就是高住低训。原意是让运动员居住在高原(高住), 训练在平原或较低高度的地方(低训)。让运动员“高住”的目的是通过低氧暴露提高机体运输和利用氧气的能力, “低住”的目的是为了解决运动员在高原训练中运动量和强度无法保证, 骨骼肌工作能力下降等问题。由于科学技术的进步, 现在已经可以用分子筛/膜制作人工常压低氧环境来替代高原环境, 运动员居住的是人工低氧环境(低住), 训练在平原(平练), 以这种方式进行的训练应该称为“低住平练”, 用传统的“高住低训”命名已不太准确。但由于“低住平练”实际是 Levine 提出的高住低训的具体应用, 其含义及原理是一样的, 因此国际上还是习惯于将利用高原或人工低氧环境进行的训练统称为“高住低训——HiLo”。

目前, 世界上已有许多著名运动员用 HiLo 提高比赛成绩。如美国著名女子中长跑运动员, 世界 1500m、3000m、5000m 跑记录创造者 Suzy Favor Hamilton; 美国优秀男子长跑运动员 For Salazar; 世界游泳记录创造者, 美国著名男子游泳运动员 Edmoses; 世界著名铁人三项运动员 Michellie Jones。

## 2.2 低住高训

LoHi 是让运动员在相当于 2500m 左右高度的低氧环境中运动数小时, 训练、居住在常氧环境, 如此连续进行数周。在 LoHi 实施过程中, 运动员既要接受低氧环境下空气中氧含量低引起的绝对缺氧刺激, 又要接受运动负荷时引起的相对缺氧刺激, 这种双重的缺氧刺激会导致机体产生强烈的缺氧应激反应, 有利于运动能力的提高。而且, LoHi 还能避免低氧环境不利于运动后疲劳恢复的缺点。

高原缺氧可以造成  $O_2\max$  降低。从训练角度看对运动员保持与平原相同的运动量和训练强度是不利的, 但从生理负荷角度看却有一定的



积极意义。浅野的研究表明,平地  $O_2\max$  为  $4L/\min$  的人到  $4300m$  处时  $O_2\max$  会下降到  $3L/\min$ , 如以平地  $50\% O_2\max$  所对应的物理强度运动时, 则此时的相对生理强度增加到  $70\% O_2\max^{(10)}$ 。其意义在于, 进行高原训练时只需较小的运动强度即可达到平地锻炼心肺功能的效果。若以平地同样负荷运动时, 则能进一步增加体内缺氧程度, 刺激人体产生更大的抗缺氧反应。LoHi 正是利用这点来达到提高体能的<sup>(12)</sup>。

### 2.3 高住高练低训

通过对高原训练与 HiLo 的比较, 可以发现 HiLo 的不足之处是缺乏低氧运动对心肺功能的强烈刺激。因此, HiLo 结合 LoHi 训练效果应该更好。HiHiLo 就是在上述认识的基础上提出来的一种新的、对运动能力的提高效果更显著的低氧训练方法。其做法是让运动员居住在人工低氧环境, 以常氧下的常规训练为主, 低氧运动为辅助。

HiHiLo 既可以通过低氧暴露改善运动员的氧气运输和利用能力, 又可以保持正常的运动强度进行训练, 而且还能通过低氧环境下的运动提高运动员心肺功能, 因此是一种较为全面地提高运动员体能的方法<sup>(9)</sup>。现在建设的低氧训练中心一般既有低氧卧室, 又设有专门的低氧训练室。如已建成的日本国立竞技体育研究中心“低氧训练旅馆”、北京市体育科学研究所低氧训练室、上海市体育科学研究所低氧训练中心, 以及北京体育大学低氧训练研究中心等。为了更好地进行 HiHiLo, 日本最近还将一段废弃的隧道改装成低氧跑道, 以便运动员进行低氧训练。

### 2.4 间隙性低氧训练

IHT 是上世纪 80 年代末开始流行的一种低氧训练的方法。该方法在实施过程中将缺氧负荷的总量划分为若干个独立的组别, 每组包括若干次, 在每两次低氧刺激的间歇时间内恢复正常大气压下的自由呼吸, 使低氧负荷训练表现出脉冲式或间歇性的特点, 因而被称为间歇性低氧训练。

IHT 的一般使用方法为, 给予受试者  $10\% \sim 12\% O_2$  的低氧刺激



5min, 然后正常呼吸(大气) 5min; 接着再给予 5min 低氧刺激, 如此循环(循环次数可根据训练目的和运动员个体情况而定)。每天进行 1~2 次, 持续 15~20 天。

IHT 作为一种辅助训练手段已被广泛运用到运动实践中, 并被证明可以提高机体摄取、运输和利用氧的能力, 从而提高有氧代谢能力。如, 马拉松世界纪录保持者 Alberto Salazar, 三项全能世界纪录保持者 Hamish Carter, 环法自行车联赛的冠军队, 日本、西班牙国家自行车队, 澳大利亚足球联赛的冠军昆士兰队, 新西兰橄榄球职业联赛冠军等都是在 IHT 的帮助下, 取得了个人或团体历史上的最好成绩。

### 3. 客观地认识高原训练

虽然高原训练现在已被广泛用于各种运动项目, 以提高运动员的竞技能力, 并被普遍认为具有良好的提高耐力的效果。但通过对现有的研究进行比较, 我们发现高原训练的效果并不尽如人意。例如, Peronnet 以 1968 年为限, 对 1956 年到 1991 年间的 1500m、5000m 和 10000m 跑的世界记录及每年这些项目世界前 10 名运动员的最好成绩进行了统计学处理, 发现从 1968 年正式展开高原训练以后, 其运动成绩的提高速率并不比 1968 年以前大。

此外, Baily 调查了 1984 年以后发表的有关高原训练方面的 22 篇论文, 发现其中只有 8 篇涉及到回平原后的运动能力, 并且这 8 篇里面报告回平原后运动能力有显著性提高的仅 2~3 篇论文。以后, Baily 又进一步调查了 1950 年以来所发表的有关高原训练对回平原后运动能力影响方面的 91 篇论文, 发现其中有 64 篇没有实验对照组, 而且即使有实验对照组的 15 篇论文中, 也仅有 4 篇论文报告了回平原后运动能力有显著的提高。上述研究表明, 高原训练可以提高运动能力, 但其成功率是有限的。我们不能盲目地认同高原训练, 以为只要进行高原训练就能提高运动能力。

问题是为什么有的研究证明了高原训练的有效性, 而有的研究不能