

间歇性低氧训练在运动实践中的应用研究述评

叶鸣¹, 李俊平², 王智强¹, 王煜³, 姜涛³

(1.首都体育学院 运动生理教研室, 北京 100088; 2.北京体育大学 运动解剖教研室, 北京 100084;
3.西安体育学院 运动人体科学系, 陕西 西安 710068)

摘 要: 间歇性低氧训练是利用低氧仪在平原条件下模拟不同海拔高度的高原低氧环境, 对运动员进行间歇性(脉冲式)的低氧刺激, 以提高运动员有氧代谢能力和抗缺氧能力的一种训练方法。20 世纪 90 年代由俄罗斯逐渐传到其他国家, 并应用到运动训练中。但是间歇性低氧训练实践一直存在争议: 多数受试者的运动水平并不高, 或者并没有设对照组, 真正运用到优秀运动员并设有对照组的研究并不多, 还有一些研究显示间歇性低氧训练不能提高运动能力。

关 键 词: 运动生物化学; 间歇性低氧训练; 综述

中图分类号: G808 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7116(2010)07-0100-05

Application of intermittent hypoxic training in sports practice

YE Ming¹, LI Jun-ping², WANG Zhi-qiang¹, WANG Yu³, JIANG Tao³

(1.Department of Sports Physiology, Capital Institute of Physical Education, Beijing 100088, China;

2.Department of Sports Anatomy, Beijing Sport University, Beijing 100084, China;

3.Department of Sports Science of Human Body, Xian Physical Education Institute, Xian 710068, China)

Abstract: Intermittent hypoxic training is a training method used to provide athletes with intermittent hypoxic stimulation by using a hypoxic instrument to simulate a highland hypoxic environment at different altitudes in a highland condition in order to enhance athletes' aerobic metabolism and hypoxic resistance capacities. It was gradually introduced from Russia to other countries and applied to sports training in the 1990s. However, there have been controversies about the practice of intermittent hypoxic training: the sports performance of most testees was not high, or a control group was not set up; it was not widely applied to researches on excellent athletes with a control group set up, and some researches showed that intermittent hypoxic training was unable to enhance sport capacities.

Key words: sports biochemistry; intermittent hypoxic training; overview

1 间歇性低氧训练定义及演变

间歇性低氧训练是 20 世纪 80 年代末, 由俄罗斯勃斯特列尔科夫教授在前人工作基础上创设的, 最初用于改善病人的体质。后来该国的卡尔琴斯卡娅结合运动训练, 在体育领域兴起一种模拟训练方法, 它是利用低氧仪在平原条件下模拟不同海拔高度的高原低氧环境, 对运动员进行间歇性(脉冲式)的低氧刺激, 以提高运动员有氧代谢能力和抗缺氧能力的一种训练方法。由于低氧刺激呈现间歇性或脉冲性, 而且研究表明可以作为一种训练方式提高生理功能和运动能力, 所以称为间歇性低氧训练(Intermittent hypoxic

training IHT)。

随着各种模拟高原训练方法的出现, 为了与传统的高原训练、高住低训、低住高训等其它低氧训练模式区分, 很多专家学者认为 IHT 使机体在安静休息状态下吸入一定浓度的低氧混合气, 而不是在低氧条件下进行运动训练, 所以称为间歇性低氧暴露(Intermittent hypoxic exposure IHE)。IHE 主要具备以下特点: IHE 是在白天安静休息时重复吸入低氧和常氧气体; 每次低氧刺激的时间很短, 仅持续几分钟, 低氧间歇常氧, 反复多次, 每天不超过 90 min; 低氧刺激的浓度比其它低氧训练模式(训练在低氧和(或)住在

低氧)都低,氧的含量相当于海拔4 000~6 500 m。

也有一些研究称间歇性低氧暴露为休息时进行短期间歇性低氧暴露(Short-term intermittent hypoxia at rest IHR)^[2]。也有文献认为间歇性低氧暴露广义定义的范围还包括在白天休息时低氧暴露几小时,称为PHE(prolonged hypoxic exposure),暴露时间通常是1~4 h。而且PHE的低氧程度相当于海拔4 000~5 500 m,时间再长的低氧暴露就相当于高住低训模式了^[3]。

2 间歇性低氧训练原理及方法

IHT的原理是当一定程度的短暂缺氧作用还不至于对机体形成损伤时,缺氧导致的代偿作用已经形成,在每两次低氧刺激的有限间歇时间内,已形成的代偿作用尚继续保持甚至不断加强,使呼吸、循环等系统一直保持较高活动状态直到下一次低氧刺激开始,并最终导致运动员抗缺氧适应能力的形成^[1]。大量研究和实践表明,低氧训练要取得理想的成绩并不依赖于低氧刺激的持续性和低氧暴露的时间长短,其关键在于多次由低到高、由高到低的转移,1~2 h的间歇性低氧刺激比更长时间持续的处于低氧环境更能有效地提高机体耐缺氧的能力。

IHT的使用范围是:吸入氧体积分数为9%~16%的低氧混合气4~15 min,间歇吸入空气2~10 min,在1 d中重复4~6个循环,5~25 d为1个疗程。通常氧体积分数越低则单个循环中吸入低氧混合气体的时间越短,重复次数可适当增多,保证每天接受低氧刺激的总时间为1~2 h。常见的IHT安排是:低氧混合气体的氧体积分数为9%~16%(大致相当于海拔2 000~6 500 m),给予5 min低氧刺激,然后正常呼吸大气5 min,接着再给予5 min低氧刺激,如此循环,每次持续1~1.5 h,每天进行1~2次,持续15~20 d为一个阶段,可根据个体情况和训练的不同目的对间歇性低氧刺激方式进行调整。

3 间歇性低氧训练在体育运动领域中的应用

IHT最初被认为是一种模拟高原训练方法,在体育领域的应用通常是在平原上借助低氧仪产生额定低氧分压的气体,通过面罩或特定容器(如帐篷、密闭舱等),供一个或多个运动员间歇性吸入低氧气体,造成体内适度缺氧,从而导致一系列有利于提高有氧代谢能力的抗缺氧生理和生化适应,以达到低氧训练的目的。

IHT通常与正常训练交替进行,运动员可在训练间歇或休息时完成低氧训练,而不需占用专门的训练时间,在运动训练对机体作用基础上,发掘机体最大

潜能,促进机体提高有氧代谢能力,不仅应用于耐力项目,也适用于一些需要进行技、战术训练的项目,如乒乓球等。

因IHT具有可提高人体耐力的功能,又具有无害、廉价、简单易于操作的特点,可以根据运动员情况适时调整,对运动员正常训练、生活影响较少,且训练效果不易消退,所以越来越多的国家将IHT运用到不同运动项目、不同水平的专业运动员运动训练中^[4]。

1) 俄罗斯。

俄罗斯、乌克兰对IHT在运动实践中的应用研究最多。国际低氧问题研究院会员Nudelman^[5]对IHT在运动实践中应用进行了大量的研究,研究成果连载于俄罗斯《运动理论与实践》杂志2006年第1~3期,综述了IHT对足球、排球、自行车、赛艇、皮划艇等项目的作用。

IHT可作为高水平足球运动员训练后的一种辅助性恢复手段,在5周IHT过程中,8名专业足球运动员各种距离的跑步成绩平均提高6%,功率自行车极限工作时间延长4.6%,最大摄氧量水平上升3.4 mL/(min·kg)。同时还表明,在比赛结束后的恢复期和重大比赛的备战期,1.5~2月IHT可以使足球运动员的身体机能保持在很高水平,从而促进比赛成绩提高。基辅-基纳摩足球队医生马柳塔认为3周IHT可以作为严重运动创伤且中止训练的高水平运动员预防运动能力严重下降的干预手段,结果表明尽管由于伤病或手术使身体活动减少,但IHT可促进足球运动员心肺机能保持在高水平的竞技状态。

基辅11名男子排球运动员随机分为2组:6名运动员训练后进行IHT,5名只进行正常训练作为对照组。14 d的IHT安排在年周期赛前训练阶段,结果发现IHT运动员功率自行车上负荷量增长36%,而对照组仅增加2.1%。运动员在IHT后进行最大负荷时每分钟呼吸量降低9%,心率从177次/min降至167次/min,耗氧量降低了约10%。IHT后穿梭跑测试时运行速度不变,但心率明显下降,由193次/min降至187次/min。血红蛋白水平由(140.8±0.26) g/L上升至(153±0.28) g/L,而对照组运动员血红蛋白水平没有变化。对IHT前后排球运动员的测试表明,IHT作为辅助训练手段有助于提高排球运动员的运动能力、呼吸机能节省化及血液循环水平,是提高排球运动员一般和专项运动能力的有效方法。

对乌克兰女子自行车运动员3周IHT后的机能能力进行检测,功率自行车最大负荷功率平均提高16.6%,最大摄氧量水平上升9.5%,20 km比赛专项能力测验平均速度由35.9 km/h提高至37.7 km/h。因

在赛前训练中经过 3 周 IHT, 乌克兰国家女子自行车队在捷克公路自行车赛爬山阶段, 始终处于领先地位。

俄罗斯国家队高水平专项赛艇运动员进行了 14 天 IHT 后, 所有运动员都感到睡眠明显改善, 训练后恢复加快, 运动能力提高。测功仪最后一级负荷时每升通气氧当量由 26 下降到 23.8, 每级负荷心率约降低 7~10 次/min。IHT 后最大摄氧量由 70.6 mL/(min·kg) 上升至 78.5 mL/(min·kg), 在进行 6 级负荷时, 乳酸由 12.5 mmol/L 降至 7.3 mmol/L。分析显示 IHT 和运动训练相结合可提高赛艇运动员呼吸系统和血液循环系统工作能力, 最终提高运动能力。

还有研究显示 14 d IHT 后皮艇运动员血红蛋白水平升高, 血乳酸降低。相反对照组运动员血红蛋白下降, 血乳酸升高。测功仪测试显示 IHT 前后划桨次数分别是 2 360 和 2 880 次, 负荷最后阶段划桨次数由 500 上升至 780 次, 最大速度平均由 82 次/min 增至 87 次/min。IHT 后船艇定距航道划行时间明显缩短, 心率降低、耗氧量下降、呼吸频率和心率恢复时间缩短。

还有 Bulgakova 等^[6]报道了与对照组相比, IHT 可提高游泳运动员在平原的运动能力。

2) 美国。

Glyde-Julian 等^[7]应用配对、随机和双盲设计探讨了间歇性低氧训练对美国国家长跑运动员的作用, 受试者在安静状态下每天进行 70 min IHT(低氧、常氧各 5 min 交替), 每周 5 d 持续 4 周。IHT 组逐渐递增暴露于模拟高原 4 000~5 000 m, 而对照组则暴露于模拟平原。IHT 组和对照组进行相同的长跑训练, 与对照组相比, 4 周 IHT 没有明显改变血清 EPO、sTfR、VO_{2max} 和平原 3 000 m 跑的测试成绩。

Gore 等^[8]探讨 IHT 对优秀游泳和赛跑运动员的作用, IHT 组渐进的暴露于模拟高原 4 000~5 500 m 的低压低氧环境中(低压低氧舱), 3 h/d, 每周 5 d, 共 4 周; 而对照组暴露于模拟高原 0~500 m。实验进行双盲设计, 对照组通过耳朵和个人封闭的空间感受到气压的变化, 但在经过 4 周 IHT 后, 未发现 RBC、Hb(一氧化碳重呼吸法和伊文斯蓝染料法测定)或其它红细胞生成指标的明显变化。

Rodriguez 等^[9]研究发现在 4 周 IHT 后的 1 周和 3 周, 在平原进行 100 m 和 400 m 游泳计时或 3 000 m 跑计时成绩测试, 与对照组比较没有显著性差异。

Wilber^[10]总结了 IHT 的作用: 没有研究显示 IHT 可以提高 VO_{2max}, 仅仅 31% 的研究报道显示经过 IHT 后提高了运动员平原的运动能力, 相反很多研究, 包括 Wilber 研究小组进行的研究, 均没有发现 IHT 明显红细胞生成、VO_{2max} 或平原运动能力等方面的变化。

3) 新西兰。

新西兰的 Alexei Korolev 博士将 IHT 引入新西兰的运动训练领域, 并在新西兰的克赖斯特彻奇 QEII 体育场安装了低氧仪。

Helleman^[11]第一个报道了新西兰关于 IHT 对运动能力和血液学指标作用的实验研究: 10 名运动员, 包括 4 名优秀游泳运动员, 2 名优秀的三项全能运动员, 3 名成年组三项全能运动员, 1 名跑项运动员。其中 4 女、6 男, 年龄 16~45 岁。运动员前 10 d 暴露于体积分数为 10% 低氧, 后 10 d 暴露于体积分数为 9% 低氧; 5 min 低氧, 5 min 常氧, 每次 1 h, 2 次/d, 持续 18 d。规定运动员每天训练结束至少 1 h 后再进行 IHT。实验结果显示 IHT 后平均运动成绩提高 2.9%, Hb 提高 4.3%, HCT 提高 5% 和网织红细胞提高 30.3%, 运动成绩提高与红细胞生成增多明显相关, 运动成绩提高最多的运动员显示了红细胞数量显著升高。本研究认为 IHT 明显刺激红细胞生成, 运动成绩提高明显与红细胞生成增多、氧运输能力提高相关, 发现 IHT 导致的 Hb 和运动成绩的提高类似, 甚至优于其他的模拟高原训练方法。仅 1 名运动员在测试时运动能力降低了, 这名运动员因为时间限制每天只进行 1 h IHT。

在 2004 年第 51 届美国运动医学学会年度会议上, 来自新西兰林肯大学的 M.J.Hamlin 和 J.Helleman^[12]报道了 IHT 对耐力运动员血液学参数和 3 km 运动能力的作用。实验结果说明 IHT 可提高 3 km 的运动成绩, 即使非优秀运动员也可通过 IHT 提高运动能力; 3 周 IHT 可能引起血液学指数的变化, 加速红细胞生成, 最终明显提高优秀运动员 3 km 的运动成绩。建议受试者在 IHT 期间, 运动员总的缺氧应激增加了, 应加强监控, 降低过度训练或运动成绩下降的危险性。

4) 澳大利亚。

澳大利亚学者 Sally^[13]的研究应用单盲法对 8 名优秀赛艇运动员进行 IHT, IHT 组在安静休息时吸入体积分数为 12.2% 的 O₂, 5 min 低氧, 5 min 间歇, 每天 1.5 h, 持续 14 d, 对照组吸入空气。与对照组相比, IHT 组动脉血氧饱和度降低 ($P < 0.05$), 心率上升 ($P = 0.06$), 但 IHT 组和对照组的 RBC、Hb、HCT、网织红细胞在实验前后均没有变化, 两组在赛艇测功仪上进行负荷实验时, 心率、次最大摄氧量、运动能力、乳酸水平和呼吸熵相比差异均没有显著性差异。研究认为 IHT 不会引起血液学参数适应性变化, 对 VO_{2max} 或测功仪成绩没有作用。IHT 如果不伴随在低氧中训练能否提高平原运动成绩还没有定论, 但是 IHT 可以提高对高原训练的适应性。

Roels 等^[14]将 33 名受过良好训练的自行车运动员

和三项全能运动员(年龄 (25.9 ± 2.7) 岁)随机分为3组: 间歇性低氧组(intermittent hypoxic IHT, $n=11$ 人, 吸入氧分压为 100 mmHg)、间歇性低氧间歇训练组(intermittent hypoxic interval training IHIT, $n=11$ 人)和常氧组($n=11$ 人, 吸入氧分压为 160 mmHg)进行7周的训练, 每周包括两个高强度(100%或90% 相对最大功率输出)间歇训练。每个间歇训练在实验室常氧或低氧的环境下骑自行车, 分别为常氧组和IHIT组。IHIT组完成热身和放松或恢复均在低氧条件下。结果显示: 在4周的训练后, IHIT、IHT和常氧组的10 min 自行车测试平均功率输出分别是 $(5.2 \pm 3.9)\%$ 、 $(3.7 \pm 5.9)\%$ 和 $(5.0 \pm 3.4)\%$, 各组之间比较没有明显差异。而且在随后3周的训练后, 3组平均功率输出没有明显的提高。IHIT 仅仅在训练期间升高了 $(8.7 \pm 9.1)\%$; $P<0.05$, 血液学指标均没有明显变化。4周间歇训练可提高耐力, 然而短期暴露在低氧环境下不能明显提高运动成绩和血液学指标。

5)中国。

西安体育学院雷志平教授在1997年首先将IHT引入我国, 利用先进的膜分离原理于1998年自行研制了ZL-I型低氧仪, 并进行了动物、普通人群、运动员等研究, 但并没有正式应用到运动实践中。

姜涛等^[15]以陕西省游泳队男运动员为受试对象, 适应性训练1周, 氧体积分数为16%~12%, 正式IHT时间3周, 氧体积分数为10%。每周训练6 d, 每天1 h(5 min 低氧、5 min 常氧)。结果显示血常规指标在IHT前后没有变化; 经过IHT后, 运动负荷实验力竭运动时间延长, 表明IHT可以提高机体的耐力水平; IHT后安静心率降低, 且同级负荷时训练后心率始终低于训练前, 表明心脏的输出功率增大; 乳酸阈强度提高显示IHT使运动员有氧代谢能力提高, 运动能力增强。

北京市体育科学研究所李强教授首先从国外购买了低氧仪, 并作了高水平运动员实验, 但没有进一步推广。李强等^[16]观察16名羽毛球运动员训练后进行IHT对运动能力的影响。结果提示, IHT可有效挖掘机体最大潜能, 提高极限做功能力、提高运动员有氧运动能力、提高定量负荷和最大负荷时的运动能力。

秦宇飞等^[16]利用GO2Altitude低氧仪探讨大负荷训练期间进行IHT对男子赛艇运动员生理机能的影响。12名男子赛艇运动员分为IHT组和对照组, IHT组运动员在赛前大负荷训练期间每天训练结束后2 h内在休息状态下进行IHT, 4周内氧体积分数由14%~12%逐步降低(5 min 低氧, 5 min 常氧), 每天1 h, 5 d/周, 共20 d。结果显示4周IHT后, IHT组运动员

血红蛋白含量显著高于对照组, 血尿素水平和肌酸激酶活性显著低于对照组; IHT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。提示IHT可以提高男子赛艇运动员大负荷训练期间的耐缺氧能力, 改善睡眠质量, 间接促进机体在承受大负荷训练期间的恢复能力。

本文总结了各国专家学者将IHT应用到运动训练领域的研究, IHT应用于受过训练的业余或优秀运动员(研究设计中设有对照组)。其中有11篇文献显示了IHT对运动成绩没有明显改变或下降^[7-9, 12-14, 16-18, 23, 25-26], 仅有6篇文献显示IHT可提高运动成绩^[4, 19-22, 24]。还有一些学者对IHT在运动实践中的应用进行了研究, 但是研究样本太少^[27-28], 或缺乏对照组^[11, 29-30]。总之, IHT应用到运动员的诸多报道显示: 多数受试者的运动水平并不高, 或者并没有设对照组, 真正运用到优秀运动员、并设有对照组的研究并不多, 还有一些研究显示IHT不能提高运动能力。

参考文献:

- [1] 雷志平. 间歇性低氧训练的临床应用研究[J]. 成都体育学院学报, 1997, 23(5): 65-68.
- [2] Heikkik R, Heikkio T, Juha E, et al. Altitude and endurance training[J]. Journal of Sports Sciences, 2004, 22(10): 928-945.
- [3] Bartsch P, Dehnert C, Friedmann B, et al. Intermittent hypoxia at rest for improvement of athletic performance[J]. Scand J Med Sci Sports, 2008: 18(Suppl.1): 50-56.
- [4] 李强, 高伟, 魏宏文. 间歇性低氧刺激对运动能力影响的实验研究[J]. 体育科学, 2001, 21(3): 62-65.
- [5] Nudelman L M. 间歇性低氧训练在运动实践中的应用及效果[J]. 韩佐生, 译. 中国体育教练员, 2006, 30(4): 60-62.
- [6] Bulgakova N J, Kovalev N V, Volkov N I. Interval hypoxia training enhances effects of physical loads in swimming[G]//Biomechanics and Medicine in Swimming VIII. Proceedings of the VIII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, 1999: 413-415.
- [7] Glyde-Julian C G, Gore C J, Wilber R L, et al. Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners[J]. J Appl Physiol, 2004, 96(5): 1800-1807.
- [8] Gore C J, Rodriguez F A, Truijens M J, et al. In-

- creased serum erythropoietin but not red cell production after 4 wk of intermittent hypobaric hypoxia (4000-5500m)[J]. *J Appl Physiol*, 2006, 101(5): 1386-1393.
- [9] Rodriguez F A, Truijens M J, Townsend N E, et al. Effects of four weeks of intermittent hypobaric hypoxia on sea level running and swimming performance[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(5): 338.
- [10] Wilber R L, Stray-Gundersen J, Levine B D. Effect of hypoxic "Dose" on physiological responses and sea-level performance[]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2007, 39(9): 1590-1599.
- [11] Hellemans J. Intermittent hypoxic training: a pilot study[C]//Second Annual International Altitude Training Symposium. New York, 1999: 145-154.
- [12] Hamlin M J, Hellemans J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes[J]. *J Sport Sci*, 2007, 25(4): 431-441.
- [13] Sally A C, Julie D, Christopher J G, et al. 14 Days of intermittent hypoxia does not alter haematological parameters amongst endurance trained athletes[J/OL]. <http://www.ausport.gov.au/fulltext/1999/triathlon/clark.dixon.gor.hahn.pdf>.
- [14] Roels B, Millet G, Marcoux C, et al. Effects of hypoxic interval training on cycling performance[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2005, 37(1): 138-146.
- [15] 姜涛, 叶鸣, 雷志平. 间歇性低氧训练对游泳运动员运动能力影响的实验研究[J]. *西安体育学院学报*, 2007, 24(4): 71-75.
- [16] 秦宇飞, 张华. 间歇性低氧训练对男子赛艇运动员大负荷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.
- [17] Bonetti D L, Hopkins W G, Kilding A E. High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia[J]. *J Sports Physiol Perform*, 2006, 1(3): 246-260.
- [18] Abellan R, Remacha A F, Ventura R, et al. Hematologic response to four weeks of intermittent hypobaric hypoxia in highly trained athletes[J]. *Haematologica*, 2005, 90(1): 126-127.
- [19] Hamlin M J, Hellemans J. Effects of intermittent normobaric hypoxia on blood parameters in multi-sport endurance athletes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(Suppl.5): 337.
- [20] Katayama K, Sato K, Matsuo H, et al. Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2004, 92(1-2): 75-83.
- [21] Stuke N, Hilbert M, Shushakov V, et al. Effect of intermittent hypoxia in rest on endurance performances[R]// Reported at the ECSS 2004 congress. London, 2004.
- [22] Katayama K, Matsuo H, Ishida K, et al. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency[J]. *High Alt Med Biol*, 2003, 4(3): 291-304.
- [23] Hinckson E A, Hopkins W G, Downey B M, et al. The effect of intermittent hypoxic training via a hypoxic inhaler on physiological and performance measures in rowers: a pilot study[J]. *J Sci Med Sport*, 2006, 9(1-2): 177-180.
- [24] Wood M R, Dowson M N, Hopkins W G. Running performance after adaptation to acutely intermittent hypoxia[J]. *Eur J Sport Sci*, 2006, 6: 163-172.
- [25] Tadibi V, Dehnert C, Menold E, et al. Unchanged anaerobic and aerobic performance after short-term intermittent hypoxia[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2007, 39(5): 858-864.
- [26] Hinckson E A, Hamlin M J, Wood M R, et al. Game performance and intermittent hypoxic training[J]. *Br J Sports Med*, 2007, 41(8): 537-539.
- [27] Terrados N, Melichna J, Sylven C, et al. Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 1988, 57(2): 203-209.
- [28] Vallier J M, Chateau P, Guezennec C Y. Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 1996, 73(5): 471-478.
- [29] Frey W O, Zenhausern R, Colombani P C, et al. Influence of intermittent exposure to normobaric hypoxia on hematological indexes and exercise performance[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2000, 32(Suppl.): 65.
- [30] Rodriguez F A, Ventura J L, Casas M, et al. Erythropoietin acute reaction and hematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2000, 82: 170-177.