



述评专家简介: 李之俊, 研究员, 博士生导师。现任国家体育总局竞技运动能力综合评定重点实验室主任, 中国体育科学学会运动生理生化分会常委, 《中国运动医学杂志》编委, 上海市自然科学基金系列高级专业技术职务任职资格评审委员会委员, 上海市学生健康促进工程指导委员会专家, 上海体育职业学院专家组成员。主要研究领域: 运动训练监控与机能评定, 高原训练与运动适应等。主持完成国家科技部重点科技攻关项目《重点体能项目运动员消除疲劳及综合体能恢复系统的研究》; 国家体育总局课题《长时间低氧和高原训练以及高原结合低氧训练方法的应用研究》; 上海市科委重大科研项目《自行车运动员专项体能测试评定系统的研究》等各级科研项目 30 余项, 发表学术论文 60 余篇。1996 年获原国家体委“备战 26 届奥运会科研攻关和科技服务一等奖”, 1997 年获“国家体委科技进步一等奖”; 2010 年获“上海市科学技术一等奖”。

评析文章: Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers

Paul Robach Laurent Schmitt Julien V. Brugniaux et al. (2006). *Eur J Appl Physiol.* 96(4):423-433

对 Paul 等“高住低练对高水平游泳运动员红细胞生成和有氧运动能力的影响”一文的述评

李之俊 (上海体育科学研究所, 中国上海)

关键词: 高住低练; 红细胞生成; 转铁蛋白受体

Comments on the Article “Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers” Written by Paul and the Others

Key words: living high & training low; erythropoiesis; serum transferrin receptor

提要: 高住低练指在运动员居住在相对较高的海拔高度, 接受低氧暴露, 同时在平原训练的一种科学化训练方法。多年来, 高住低练对人体机能和运动能力的影响一直是研究的热点。高住低练可以在一定程度上提高运动员回到平原后的运动能力, 创造好成绩, 也得到了广大教练员和运动员的认同, 高原低氧暴露对人体器官系统机能的影响也得到了更为深入的研究。发表在《Eur J Appl Physiol》2006 年第 96 卷第 4 期上 Paul Robach 等人的论文“高住低练对高水平游泳运动员红细胞生成和有氧运动的影响”探讨了优秀游泳运动员在高住低练期间血液红细胞系指标的变化规律, 以及对运动员有氧运动能力的影响, 为高水平游泳运动员进行高住低练提供了实验依据。

高住低练 (Living high-training low, LHTL) 是当前一种较为流行的模拟高原训练模式, 其基本理论依据是利用低氧暴露, 刺激促红细胞生成素 (EPO) 的分泌, 进而提高机体红细胞的生成和血红蛋白的合成, 从而提高机体运氧能力 (Klausen et al. 1966)。关于高原训练的相关研究结果存在着较大差异 (Stray-Gundersen et al. 2001; Ashenden et al. 1999a, b.), 高原训练就像一把双刃剑, 用得好, 运动员通过系统的训练, 效果显著, 甚至取得个人最好成绩; 而用得不好, 则效果不明显, 甚至受到负面的影响。LHTL 训练法克服了高原训练导致运动强度降低、肌肉力量下降等不利影响。LHTL 训练法与高原训练对血液成份的影响是一致的, 但是, LHTL 所引起的血液学方面的适应性变化是否可能有效地转化为机体最大摄氧能力和有氧运动能力的提高? 是否还存在其他的机制促进运动能力的提高? 提高的运动能力到底能维持多久? 《Eur J Appl Physiol》2006 年 96 卷第 4 期刊载了 Paul Robach 等的一篇文章, 题名为“高住低练对高水平游泳运动员红细胞生成和有氧运动的影响”, 探讨的正是这些问题, 该文是值得读得好的论文。

研究背景

理论背景

高原训练 (在中等海拔高度上居住和训练) 长期以来一直用于提高运动员下高原后的运动成绩。然而, 对于其效果却褒贬不一。因为, 低氧条件下的训练在实际的操作过程中是非常复杂的, 受多种因素的影响。1991 年, 美国学者 Livine 等首先提出了一种间歇性的高原训练模式, 即高住低练, 认为这种训练模式可以更有效地提高运动员返回平原后的有氧运动能力。一方面, 由于安静状态下接受低氧刺激同样可以促进红细胞的生成, 另一方面, 由于在平原或接近平原的高度上训练又可以保持较大的训练强度, 从而维持肌肉良好的功能状态。目前, LHTL 训练法已经广泛运用于各国的运动训练实践中。

研究表明, LHTL 训练确实可以提高运动员最大摄氧量及返回平原后的有氧运动能力 (Levine and Stray-Gundersen 1997; Stray-Gundersen et al. 2001), 并指出, 这种运动能力提高的主要机制是低氧诱导的红细胞生成方面的适应性变化, 进而提高机体最大摄氧量。然而, 这种“中枢效应”的观点却受到其他一些学者的质疑, 他们研究认为, 高住低练并不能



提高血液红细胞数量 (Ashenden et al. 1999a, b), 也不能提高机体最大摄氧能力 (Clark et al. 2004; Roberts et al. 2003), 甚至公认下降 (Gore et al. 2001), 他们更多地支持用一种“外周效应”的观点来解释高住低练后运动能力的小幅度提高 (Hahn and Gore 2001)。

关于运动机能, 高住低练的积极效应主要表现在肌肉缓冲能力的提高上 (Gore et al. 2001; Nummela et al. 2000), 而负面效应则主要表现在对 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性的影响, 从而加速肌肉疲劳 (Green et al. 2000)。然而, 有人认为, 高住低练过程中对 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ 酶活性的抑制并不能对运动能力产生较大影响 (Aughey et al. 2005)。总之, 不管是高住低练的主要适应性变化 (中枢效应或外周效应) 以及其结果 (有效或无效) 都仍然是一个需要继续探讨的问题。

实践背景

假设高住低练对运动能力起到积极的作用, 那么, 这种积极效应可以维持多久? 这是运动实践中亟待解决的问题。事实上, 先前的大量研究都更多地关注于高住低练的短期 (脱低氧暴露后 2~4 天) 效应 (Gore et al. 2001; Roberts et al. 2003; Stray-Gundersen et al. 2001)。在运动的实践中, 教练员和运动员更关心的是 LHTL 训练后得到相对较长时间 (数周) 的积极效应。因此, 1997 年首次报道了关于高住低练可以对有氧运动产生持续性的积极作用的研究报告 (Levine and Stray-Gundersen 1997) 具有重要的实践意义。普遍观点认为, 高住低练可以提高血液中红细胞数量及有氧运动能力, 从而使运动员在脱低氧暴露后几周内提高训练负荷。目前, 关于这方面的研究还较少, 具体机制还不清楚, 有待进一步的讨论。

该研究通过观察并对比分析 18 名 (对照组 9 名, 低氧组 9 名) 高水平游泳运动员 13 d (每天 16 h) 递增性高住低练 (从 2 500 m, 5 d 到 3 000 m, 8 d) 对运动员红细胞生成的影响, 以及红细胞生成与机体最大摄氧能力及有氧运动能力之间的关系, 进一步探讨低氧效应的保持等问题, 具有理论意义和实践价值。

成果意义

研究结果显示, 13 d 中等海拔高度递增性高住低练足以刺激高水平游泳运动员红细胞的生成。然而, 并未发现有氧运动能力有明显的提高。此外, 在脱离低氧暴露后 2 周时, 也未观察到低氧训练的持续性效应 (包括有氧运动能力和血液学指标等方面)。

(1) 每天的低氧暴露时间可能是决定高住低练过程中红细胞生成的一个关键因素。Ashenden (1999) 认为每天 8~10 h 低氧暴露并不能够刺激红细胞的生成, 而需要更长的时间 (16~20 h)。然而, 其它一些研究却发现, 每天低氧暴露较短的时间 (8~10 h), 同样可以刺激红细胞生成, 达到积极低氧效应 (孙兆伟 2003; 周志宏 2003)。这可能与低氧暴露的高度与不同研究对象之间个体差异有关。作者在本研究结果表明, 红细胞生成的增加并不伴随有造血系统指标的相应变化, 主要表现在两个方面: 一是在实验期间, 未发现血清 EPO 有明显的变化。作者解释为, 长时间持续地低氧暴露可能对 EPO 的分泌有抑制作用, 从而掩盖了低氧刺

激早期 EPO 水平的短暂升高; 二是高住低练组运动员可溶性转铁蛋白受体 (sTfR) 的变化情况与对照组极为相似, 而不是明显的高于对照组 (Robach et al. 2004; Stray-Gundersen et al. 2001)。作者认为, 这可能与低练的高度有关, 由于在 1 200 m 的高度上训练, 对照组也可能在一定程度上受到低氧的刺激作用, 从而产生一定的低氧反应。

目前, 对于低练的海拔高度是否影响高住低练效果的研究还较少见。有研究认为, 只有达到一定的高度才能对机体产生影响, 刺激 EPO 的分泌。对大多数运动员来说, 这个阈的高度应该是 $\geq 2\ 100\sim 2\ 500\ \text{m}$ (Ri-Li Ge. et al. 2002)。此外, 作者指出, 在该实验中, sTfR 的变化情况与前人研究结果不一致, 也可能是由研究对象的不同造成的, 并进一步指出, sTfR 并不能准确地反应中等海拔高度低氧训练过程中机体的造血功能状态, 这种发现对于低氧训练过程中的效果评定和机能监控具有重要的参考价值, 值得进一步的研究探讨。

(2) 该实验结果中红细胞生成明显增多, 最大摄氧量虽有一定的提高, 但不具有统计学意义。作者解释为, 这可能是由于样本量过小使统计误差增大造成的。同时认为, 最大摄氧量的提高与否并不完全取决于血液的运氧能力即红细胞数量, 可能机制是: 高住低练对骨骼肌功能有潜在的局部影响。有研究报道, 由于高住低练引起肌肉功能紊乱削弱了红细胞生成增多产生的积极效应, 从而不能提高最大摄氧量, 且产生了负面的影响 (Gore et al. 2001; Geen et al. 2000; Aughey et al. 2005)。

但是, 据文献报道, 大多数研究结果显示, LHTL 训练后, 运动员有氧耐力水平提高是肯定的, 是否 LHTL 训练法影响运动员运动过程中的情绪和精神状态, 有待进一步研究。本实验未得到 2 000 m 自由泳成绩提高的预期结果, 作者认为主要与最大摄氧量没有提高有关。这样一系列的问题将引起我们思考: 高住低练的一个最大特点是可以很大程度避免低氧刺激对肌肉功能的负面影响, 那么为什么会出现肌肉功能下降的问题呢? 到底是由低氧刺激造成的还是与训练有关, 亦或是这两种因素共同作用的结果? 最大摄氧量没有提高, 是由于肌肉功能下降? 还是因为没有有效地提高肌肉功能? 或是对红细胞生成方面的影响还不够大呢?

(3) 高住低练结束后两周时未发现有任何持续性的低氧效应, 即血液学指标都恢复到了训练前水平。作者分析认为, 这不是训练的负面影响造成的, 因为对照组最大摄氧量和 2 000 m 自由泳成绩反而有一定的提高, 说明训练的安排是合理的。作者认为一个可能的原因是由于总的低氧刺激时间较短 (13 d) 而没有对红细胞生成起到更深刻的促进作用, 使其不能维持较长的时间。新生红细胞免疫功能的下降也可能加速了出低氧后早期的去适应 (Rice et al. 2001)。

低氧训练积极作用的保持是低氧训练过程中追求的目标, 对推动 LHTL 训练法有现实意义。设计并做好这方面的研究, 将提高低氧训练的效率; 推广运用其成果, 节省人力物力, 是一个值得深入研究的课题。

值得学习的优点

该研究值得学习的优点主要有以下几个方面。

第一, 具有明确的科学价值。首先, 该研究采用每天 16 h 递增性高住低练模式在以往的研究中比较少见。这对于



探讨有效的高原训练模式有很好的参考价值。此外,该研究探讨高住低练过程中红细胞生成的变化规律,红细胞生成与最大摄氧量和运动能力的关系,以及低氧训练效应的保持等普遍关注的实际问题具有重要理论意义和实践价值。

第二,研究体现系统性和连续性。该研究在讨论高住低练的短期效应(即对红细胞生成及有氧能力的影响)的基础上,进一步探讨其长期效应(即各种生理性适应及运动能力提高的持久性),短期效应和长期效应相互连贯,在一定程度上表现了科学探索的系统性。

第三,实验设计合理,方法先进。该研究以高水平运动员为研究对象,并设立对照组,这在运动实践研究中是非常需要和困难的,对成果的价值和实际应用有较强说服力。采用水下测试的方法测定最大摄氧量,以及以2 000 m自由泳成绩作为评定游泳运动员有氧能力的指标,更具密切结合专项的特点,体现了实验设计的科学严谨。

值得改进的地方

该研究也有一些值得改进的地方,如,EPO是肾脏分泌的一种促进红细胞生成的激素,它对低氧的反应是十分敏感的,一般急性缺氧1~2 h循环系统中EPO含量即显著升高。多数研究表明,EPO峰值一般出现在上高原后的2~4 d,大约1周后逐渐下降。在上海体育科学研究所的一项研究中发现,每天10 h暴露于2 500 m的低氧环境中,5 d时EPO即达到峰值,与训练前相比升高了41.1%,具有显著性差异。此后,由于反馈抑制作用,EPO即开始持续下降。然而,在该研究中EPO的测定安排在低氧暴露一周时进行,此时的EPO水平可能正好处于反馈抑制引起的下降趋势中。因而,不能肯定地说,在高住低练过程中EPO水平没有提高。如果在LHTL训练期间增加检测EPO的次数,就能更准确、客观地对研究结果进行全面地分析。

展望

高住低练是一种新型的高原训练模式,可以解决传统高原训练的许多不足。随着模拟低氧技术的发展,高住低练将更加日常化,逐渐成为系统训练的有益补充。然而,由于受多种因素的影响,如缺氧刺激程度、持续时间、训练的强度和量、营养、遗传基因、年龄、性别等等,高住低练在具体的实施过程中是非常复杂,相关研究的难度也较大,这给我们提供了更多的研究空间和切入点。例如:如何选择更有效的高住及低练的海拔高度?如何确定适宜的低氧暴露时间(包括每天的暴露时间和总的持续天数)?如何更客观地评定训练效果,监控运动员机能状态?以及如何保持低氧训练效果?如何确定出低氧后的最佳比赛时机?

以上都是在研究和实施高住低练过程中需要研究和探讨的问题,需要对更多运动员采用LHTL训练法,研究运动员个体差异与训练反应的差异,去了解和掌握LHTL训练中个体适应性反应,从而调控在LHTL训练中个体化训练计划的实施。

参考文献:

[1] Ashenden MJ, Gore CJ, Martin DT, Dobson GP, Hahn AG(1999a). Effects of a 12-day “live high, train low” camp on reticulocyte

production and hemoglobin mass in elite female road cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 80:472-478

- [2] Ashenden MJ, Gore CJ, Dobson GP, Hahn AG (1999b). “Live high, train low” does not change the total hemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3000 m for 23 nights. *Eur J Appl Physiol*, 80:479-484
- [3] Aughey RJ, Gore CJ, Hahn AG, Garnham AP, Clark SA, Petersen AC, Roberts AD, McKenna MJ (2005). Chronic intermittent hypoxia and incremental cycling exercise independently depress muscle in vitro maximal $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ activity in well trained athletes. *J Appl Physiol*, 98:186-192
- [4] Clark SA, Aughey RJ, Gore CJ, Hahn AG, Townsend NE, Kinsman TA, Chow CM, McKenna MJ, Hawley JA (2004). Effects of live high, train low hypoxic exposure on lactate metabolism in trained humans. *J Appl Physiol*, 96:517-525
- [5] Gore CJ, Hahn A, Rice A, Bourdon P, Lawrence S, Walsh C, Stanef T, Barnes P, Parisotto R, Martin D, Pyne D (1998). Altitude training at 2690 m does not increase total haemoglobin mass or sea level VO_2max in world champion track cyclists. *J Sci Med Sport*, 1:156-170
- [6] Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, Martin DT, Ashenden MJ, Clark SA, Garnham AP, Roberts AD, Slater GJ, McKenna MJ(2001). Live high: train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand*, 173:275-286
- [7] Green H, Roy B, Grant S, Burnett M, Tupling R, Otto C, Pipe A, Mc KenzieD(2000). Down regulation in muscle $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ following a 21-day expedition to 6,194 m. *J Appl Physiol*, 88: 634-640
- [8] Hahn AG, Gore CJ (2001). The effect of altitude on cycling performance: a challenge to traditional concepts. *Sports Med*, 31:533-557
- [9] Levine B, Stray-Gundersen J, Duhaime G, Snell P, Friedman D (1991). “Living high-training low”: the effect of altitude acclimatization/ normoxic training in trained runners (Abstract). *Med Sci Sports Exerc*, 23:S25
- [10] Levine BD, Stray-Gundersen J (1997). “Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol*, 83:102-112
- [11] Levine BD (2002). Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Alt Med Biol*, 3:177-193
- [12] Roberts AD, Clark SA, Townsend NE, Anderson ME, Gore CJ, Hahn AG (2003). Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high: train low altitude exposure. *Eur J Appl Physiol*, 88:390-395
- [13] Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD (2001). “Living high- training low” altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol*, 91: 1113-1120
- [14] Eckardt. KU, et al. (1989). Rate of erythropoietin formation in



也反映出政府的社会形象。这就需要农村地区公共体育服务供给部门的工作人员,努力增强自身综合素质,包括业务能力、服务规范、服务意识等各方面。无论是体育主管部门的工作人员,还是公共体育场馆的管理人员、体育组织服务人员,都要不断加强服务意识,提高服务水平。对待农村居民都要耐心,要主动关心他们,积极指导科学健身,而不仅仅是被动地提供服务。要使广大农村居民感受人文关怀的温暖,从而首先在心理上获得与城区居民同样的待遇。

4.2 完善公共体育服务法律法规,保证公民平等享有公共体育服务的权利

政府提供公共体育服务的根本目的在于落实“人人享有体育的权利”,这是法律规定的目标。为了实现这一理想目标,需要不断完善法律制度,即从上海农村地区的实际出发,制定切实可行的制度或标准,并加以落实。以亲民、便民和利民为原则,构建一个面向全体市民的公共体育服务网络,使每一个市民时时能感受公共体育服务就在自

己的身边,并能自由地享受政府提供的公共体育服务。所以,地方政府应该以法规的形式,要求农村地区的乡镇政府努力建设与公共体育服务相关的农民体育健身组织网络、体育健身活动网络、体育健身设施网络、体育健身指导网络、体育信息咨询网络和体质监测服务网络,保障每一个农村居民体育权利的真正实现。

参考文献:

- [1] 解读《上海市市民体育健身条例(修订草案)》[EB/OL]. <http://tyj.sh.gov.cn/>
- [2] 社区体育配送服务网[EB/OL]. <http://typs.shsports.gov.cn/website/typs/>
- [3] 邹民生,乐嘉春.公共服务均等化:中央地方关系各就各位[N]. 上海证券报,2007-03-12

(责任编辑:陈建萍)

(上接第38页)

humans in response to acute hypobaric hypoxia [J]. *J Appl Physiol*. 66(2):1985-1988.

- [15] Berglund B. (1992). High-altitude training aspect of hematological adaptation [J]. *Sports Med.*, 14(5): 289-303.
- [16] Nummela A, Rusko H. (2000). Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci*. 18(6):411-9.
- [17] Ri-Li Ge. (2002). Determinants of erythropoietin release in response to short-term hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol*. 92(8): 2361-2367
- [18] 周志宏. 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.
- [19] 孙兆伟, 田野. 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[J]. 体育科学, 2003, 23(6): 127-131.
- [20] 冯连世. 模拟高原训练对大鼠促红细胞生成素(EPO)表达的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2001, 20(4): 358-360.
- [21] 冯连世. 高原训练及其研究现状[J]. 体育科学, 1999, 19(5): 64-66.
- [22] 胡杨, 黄亚茹. 耐力训练的新方法——(HiLo)高住低练[J]. 体育科学, 2002, 21(2): 66-70.
- [4] Levine BD, Stray-Gundersen J. (2001). The effects of altitude training are mediated primarily by acclimatization, rather than by hypoxic exercise [J]. *Adv Exp Med Biol*, 502:75-88.
- [5] Levine BD. (1998). Intermittent exposure to normobaric hypoxia may affect EPO production [J]. *Sports Science*, 95(3): 479-481.
- [6] P. U. Saunders, et al. (2004). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure [J]. *J Appl Physiol*, 96: 931-937.
- [7] Stray-Gundersen, J, and Levine BD. (1997). "Living high-training high and low" is equivalent to "living high-training low" for sea level performance (Abstract). *Med Sci Sports Exerc*, 29: S136.
- [8] Jedlickova K, Stockton DW, et al. (2003). Search for genetic determinants of individual variability of the erythropoietin response to high altitude [J]. *Blood Cells Mol Dis*, 31(2):175-182.
- [9] Chapman R F, Stray-Gundersen J. (1998). Individual variation in response to altitude training [J]. *J Appl Physiol*, 85(3): 1448-1456.

(责任编辑:何聪)