



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: 网织红细胞在低氧训练中变化规律的研究
刘媛媛, 曾凡星, 胡扬等, 体育科学, 2006, 26 (1): 49-52

对刘媛媛等“网织红细胞在低氧训练中变化规律的研究”一文的述评

李之俊 (上海体育科学研究所, 中国上海)

关键词: 低氧训练; 网织红细胞; 低住高练; 高住高练低训

Comments on the Article “On the Variation of Reticulocyte in Hypoxic Training” Written by Liu Yuanyuan and the Others

Key words: hypoxic training; reticulocyte; living low-training high; living- high-exercising high-training low

提要: 低氧训练指在平原地区采用人工的方法制造低氧环境或让机体吸入低氧气体来模拟高原低氧环境训练的一种训练方法。其根本目的是通过适度的低氧刺激, 使运动员机体产生强烈的生理生化效应, 以调动体内的机能潜力, 进而使运动员的有氧耐力水平提高。低氧训练研究是目前体育科研中的热点, 发表在《体育科学》2006年第26卷第1期上刘媛媛等人的论文“网织红细胞在低氧训练中变化规律的研究”探讨了两种低氧训练手段期间对优秀女子中长跑运动员网织红细胞参数及血红蛋白变化规律的影响, 为筛选低氧训练效果的评价和预测指标提供实验依据。

现代竞技体育竞争激烈, 无论体能类还是技能类项目, 都对运动员的体能水平提出了越来越高的要求。这就需要教练员和运动员在现有的训练方法外, 必须探求新的训练方法, 有所创新、有所突破, 才能进一步提高已有的竞技水平。高原训练作为一种特殊的训练手段, 可以产生一系列有利于提高运动能力的抗缺氧反应, 从而更大幅度地提高运动员的携氧能力, 受到了越来越多的关注。但十多年的应用研究发现, 高原训练本身存在着训练负荷难以掌握、身体机能不易恢复等难题, 需要进一步地研究和解决。

20世纪90年代以来, 随着科学技术的高速发展, 为了更好地发挥高原训练的优势, 避免不足, 国内外的体育工作者借鉴高原医学的研究成果, 开始探索一些新的低氧训练模式。近年来, 间歇性低氧训练法 (Intermittent Hypoxic Training, IHT)、高住低练 (Living High-Training Low, HiLo)、低住高练 (Living Low-Training High, LoHi) 和高住高练低训 (Living High-Exercising High-Training Low, HiHiLo) 等低氧训练方法应运而生, 不同低氧训练方法在各运动项目中的实际应用, 以及探讨不同训练方法的生理、生化机制也成为了体育科研的热点问题。《体育科学》2006年第26卷第1期刊载了北京体育大学刘媛媛等人完成的一篇论

文, 题为“网织红细胞在低氧训练中变化规律的研究”, 该研究探讨采用两种不同低氧训练手段期间, 优秀女子中长跑运动员网织红细胞参数及血红蛋白的变化规律, 并为筛选低氧训练效果的评价和预测指标提供实验依据。

研究背景

实践背景

竞技体育发展至今, 已逐渐成为国家之间科技水平的竞争。如何采用科学有效的训练方法来大幅度提高运动员的运动成绩, 是每一个优秀教练员追求的目标。由于1968年墨西哥奥运会的举办而兴起的高原训练, 至今已有几十年的发展史, 低氧环境对提高机体机能的作用已经得到了广泛的认可, 为了避免高原恶劣环境而发展起来的模拟高原训练正在逐步成为体育界关注的焦点。

目前, 国际上大多采用单纯的常压低氧训练, 低氧房建设相对简单、安全性高, 并且有利于运动员训练后疲劳的恢复。20世纪80年代初期, 东德就建立了大型的低氧训练场馆。1992年, 芬兰奥林匹克研究所的Rusko博士建成了著名的阿尔卑斯低氧屋, 模拟2 500 m高原, 供运动员进行高住低练及其它相关的模拟高原训练, 提高了滑雪和径赛运动员的运动成绩。

日本目前建有许多运动项目的低氧训练基地,如鹿尔岛的游泳训练基地、东京专修大学的速滑训练基地、文部省富士山登山研究所的田径训练基地、筑波大学的低压低氧舱以及东京奥林匹克中心低氧舱等。1998年,日本速滑选手在长野冬奥会前进行了低氧训练,队员在氧含量为16%的低氧训练房内进行了8 d,每天40 min的低氧训练,一周后参加奥运会,其中一名选手创造了他参赛所有项目的日本国内新纪录。日本著名游泳运动员北岛康介也把低氧训练作为主要训练手段贯穿于他的全年训练计划中。澳大利亚在首都堪培拉集训中心建成了面积达数百平方米的低氧训练房,里面装有先进的训练和测试设备,为备战悉尼奥运会的优秀运动员进行低氧训练。

国内模拟高原训练研究和应用是在最近十几年间开始逐渐发展起来,各省市体育科研机构、体育大学均建成了一批具有国际领先水平的模拟高原训练设备,开展了一系列的模拟高原训练基础理论与应用研究,取得了一些研究成果。如山东体育科学研究所的低压低氧训练、西安体育学院的间歇性低氧训练、北京体育科学研究所的低氧训练室、上海体育科学研究所的常压低氧训练中心以及北京体育大学的低氧训练研究中心。小型的低氧帐篷和便携式低氧发生设备更是得到了广泛的使用,已有部分国家队、省市运动队开展了形式多样的模拟高原训练,并取得了良好的效果。

理论背景

该文将13名国家女子中长跑运动员随机分为两组,探讨了HiHiLo和LoHi两种低氧训练手段对网织红细胞系诸参数的影响,研究对比两种低氧手段的区别,并初步筛选了网织红细胞系参数中能够预测和评价低氧训练效果的敏感指标。

LoHi训练法是由Hoppeler(2001)提出的一种新的模拟高原训练方法,是指运动员在相当于2 000~2 500 m高度的模拟缺氧环境中训练几个小时,而其它时间的训练和恢复均在常氧环境下进行。通过数周的LoHi,可以充分发挥低氧和运动训练双重刺激对机体产生的有益影响,同时又可避免传统高原不利于机体疲劳恢复的缺点。目前,国内外多数研究认为,LoHi对机体的有益影响主要通过骨骼肌毛细血管生成、骨骼肌结构改变、骨骼肌氧利用能力及相关的分子适应机制来实现。Hoppeler(2001)还指出,低氧环境下的训练,可以提高骨骼肌组织利用氧的能力。通过改善微循环,增加线粒体的数量、体积以及毛细血管密度,同时增加骨骼肌中肌红蛋白的数量,并在一定程度上改善机体多种有氧代谢酶的活性,从而有效增强骨骼肌的有氧代谢能力。Geiser(2001)研究也发现,LoHi训练可引起肌肉结构的改变,有效提高运动员的有氧能力。

HiHiLo训练法是近几年在HiLo和LoHi基础上发展起来的一种新的、对运动员运动能力提高效果更为明显的低氧训练方法。其方法是让运动员每天在低氧环境中睡眠6~8 h接受低氧刺激,而日常训练主要以常氧训练为主,并辅以每次1~2 h的低氧训练。HiHiLo除了可以充分发挥低氧训练对骨骼肌机能的有益作用外,还可以通过较长时间的低氧暴露来提高血液系统的运氧能力,从而更为有效地提高运动员的有氧能力。HiHiLo是一种新的低氧训练模式,国内已有一些相关的研究。北京体育大学的张纓(2005)探讨了不同

氧浓度的HiHiLo对红细胞等血象指标的影响,研究结果表明,氧浓度为14.2%的HiHiLo与15.4%相比,能更有效地提高红细胞和血红蛋白的生成。此外,上海体育科学研究所于2004年建成了国内先进的常压低氧训练实验室,可进行低氧睡眠和低氧训练。高炳宏(2005)对HiHiLo和LoHi两种低氧训练方法对女子赛艇运动员运动能力的影响进行了比较研究,5周HiHiLo和LoHi训练均有效提高了运动员的心肺功能和有氧代谢能力,并不同程度地改善了速度耐力和力量耐力水平。

网织红细胞(reticulocyte, Ret)是晚幼红细胞脱核后到完全成熟红细胞之间的过渡细胞,是没有完全成熟的红细胞。在临床检验的血液学指标当中,Ret反映了骨髓红细胞的增生,可间接反映骨髓的造血功能。该文中检测的Ret参数主要包括网织红细胞百分比、网织红细胞绝对值、高荧光网织红细胞、中荧光网织红细胞、低荧光网织红细胞和未成熟网织红细胞。通常Ret各项参数的变化均早于成熟红细胞参数,由于低氧可提高血液中红细胞和血红蛋白含量,从而有效增强血液运输氧的能力,故Ret参数被认为是评价低氧对机体刺激程度的敏感指标,但几种Ret参数在低氧训练期间的变化是否具有时间上的先后顺序是有待进一步研究的问题。

选题意义

成果价值

近些年,低氧训练由于具有自身的一些优势而正被逐渐运用到运动训练当中。HiLo、LoHi和HiHiLo等几种不同的低氧训练手段是否会对身体机能产生不同程度的影响?如何监控和评价低氧训练的效果?一直是体育科技人员和教练员感兴趣的话题。

作者通过研究得出3方面结论:第一,在HiHiLo和LoHi两种训练期间,女子中长跑运动员血液中的未成熟网织红细胞均出现了不同程度的升高,表明低氧刺激可有效增强骨髓红细胞系造血功能,提高血液运氧能力,这也是低氧训练影响人体机能的主要方面之一。国家体育总局体育科学研究所的冯连世(1998)曾对国家中长跑运动员高原训练期间红细胞系指标的变化情况进行跟踪研究,结果显示高原训练一周后就出现了红细胞和血红蛋白的显著升高,并可维持到下高原3周后。由于传统高原训练始终处于低氧暴露当中,因此红细胞系指标可在早期就出现显著升高,而低氧训练暴露时间相对较短,红细胞系指标的升高可能会稍有延迟。

第二,不同组合的低氧训练方法对人体器官系统机能影响的研究,为低氧训练手段应用到不同运动项目、不同身体特点的运动员提供理论依据。该文研究了两种低氧训练方法对骨髓红细胞系造血功能影响的差异,结果显示,在HiHiLo训练模式中未成熟网织红细胞开始显著增加的时间要早于LoHi模式,且增加的幅度也要大于LoHi,提示HiHiLo训练模式对刺激骨髓红细胞系造血活跃的效果要优于LoHi。在高炳宏等(2005)进行的两种低氧训练方法的比较研究中也发现,HiHiLo组对缺氧适应能力和运动能力的改善程度均高于LoHi组。

第三,如何在低氧训练期间对运动员的机能状态进行监控,以及如何评价低氧训练效果,是低氧训练实际应用时的难题之一。早期的高原训练和低氧训练主要将红细胞系作



为评价训练效果的主要指标。虽然应用简单，价格低廉，但其变化往往存在滞后，难以预测低氧对人体的早期影响。低氧训练引起网织红细胞的变化早于红细胞和血红蛋白，已经在理论和实践中得到验证。该研究的价值在于，在众多的网织红细胞参数中进一步筛选出了两个评价和预测低氧训练效果的最敏感指标，即未成熟网织红细胞（IRF-M+H）和网织红细胞成熟指数（RMI），从而将低氧训练效果的预测和评价研究向前推进了一步。

应用价值

探讨任何一种新的训练方法，都要具有实际应用价值，最终目的是提高运动员的运动能力，否则就是“纸上谈兵”，失去了研究的意义。低氧训练方法的研究要为实际使用提供客观依据，使低氧训练更科学、更有效地运用到运动训练中，提高运动成绩。

HiHiLo 和 LoHi 两种低氧训练手段，哪一种方法更能有效提高运动能力，各自如何对机体产生影响，如何安排低氧训练和常氧训练的比例等是实际应用中的难点。因此，对两种方法进行比较研究具有重要的应用价值。该研究指出，HiHiLo 和 LoHi 虽然都可以增强机体骨髓的造血功能，但 HiHiLo 无论在提高幅度还是出现的时间上较之 LoHi 都有十分显著的优势。实际上 HiHiLo 是在 LoHi 的基础上增加了低氧睡眠，从而显著延长了低氧刺激的时间，提高了低氧训练的效果。因此，该研究证明，在进行以提高运动员血液运氧能力为目的的低氧训练时，HiHiLo 应当是进行低氧训练的首选方法。

在低氧训练过程中，对运动员身体机能进行监控、对低氧训练效果进行预测和评价是十分重要的。因此，筛选敏感指标能尽早反映机体对低氧和训练的反应，为合理调整训练计划提供参考。研究证实，网织红细胞对低氧刺激的反应要早于红细胞系指标。该文在此基础上，对网织红细胞系参数的敏感性进行了探讨，对相关指标进行深入研究，结果发现了 IRF-M+H 和 RMI 两个最为敏感的指标，为低氧训练效果的评价和预测提供了新的参数。

课题设计

值得学习的优点

该文选题有现实意义，值得学习的优点主要包括以下 5 方面：首先，为了能够确定低氧训练的负荷强度，该研究在正式低氧训练前进行了递增负荷实验测定 VO_{2max} ，保证每个运动员能以个人 $VO_{2max}80\%$ 强度进行个性化低氧训练，保证了低氧训练的效果。

第二，在研究指标的选择方面，由于要筛选对低氧训练最为敏感的指标，该研究对网织红细胞参数进行了细化，除已有的 6 项指标外，提出了另外两个延伸指标，网织红细胞成熟指数和网织红细胞生成指数，从而增加了研究的深度和广度。

第三，该文对在两种低氧训练手段对运动员血液网织红细胞参数变化的影响进行对比分析时，由于两组运动员各指标的基础值有所不同，简单分析指标的高低往往缺乏可靠性和有效性。该文在以图表的形式表现两种低氧手段对同一指

标的影响差异时，选取了该指标的变化率而不是绝对值来说明指标的变化情况，从而较准确和直观地说明了两种低氧手段的区别。

第四，在运动训练实践中，血红蛋白被认为是评价运动员的机能状态的有效指标之一。该研究对与人体血液运氧能力密切相关的血红蛋白变化和低氧训练期间血液中的网织红细胞变化进行了关联性分析，为将低氧训练中的网织红细胞变化作为预测和评价指标的有效性和可靠性提供了依据。

第五，在低氧训练研究中，几种低氧训练方法效果的差异，一直是研究的热点问题。该文将 HiHiLo 和 LoHi 两种方法进行分组比较，实际上就是讨论了同样进行低氧训练的运动员，如果再辅以一定数量的低氧暴露，是否能够更加有效地增强血液运氧系统的机能，提高运动能力。这样不但比较了两种低氧训练手段的差异，为探索新的低氧训练手段提供了思路。

可以改进的地方

低氧训练是近几年逐渐开展起来的一种训练手段。在训练负荷安排、效果评价等方面都还存在许多的难题。有关低氧训练手段和效果的研究，由于在实际训练中受到许多客观条件的限制，而影响了研究的精度和对变化规律的发现。

该文值得改进的地方。首先，在该研究中，HiHiLo 和 LoHi 两组受试者平原和低氧训练的内容和强度均相同，低氧训练为每周一、三、五进行 3 次，每次 40 min，共进行了 4 周，总的低氧暴露时间为 480 min；HiHiLo 组在此基础上又进行了低氧睡眠，每晚在低氧房中暴露约 10 h，连续进行了 26 d。因此，HiHiLo 组在 LoHi 的基础上增加了 260 h 的低氧暴露，接受的低氧刺激的时间远远超出了 LoHi 组。目前多数研究发现，红细胞系相关指标的变化幅度与低氧暴露时间显著相关，低氧刺激的量越大，红细胞系指标的变化幅度越大。该研究主要目的之一是探讨两种低氧训练期间红细胞系相关指标变化的区别，但 HiHiLo 组的低氧暴露时间却远远大于 LoHi 组，LoHi 组接受低氧刺激的时间太短。因此，得出 HiHiLo 训练模式对刺激骨髓红细胞系造血活跃的效果优于 LoHi 这一结论，可能是由于训练时间安排上差异所致，并非两种低氧训练手段机制上的不同造成的。

其次，该研究的另一个主要目的是筛选出能够预测和评价低氧训练效果的敏感指标。因此，在低氧训练期间对网织红细胞参数及血红蛋白的测试应尽可能安排得密集一些，以便能够准确发现相关指标的变化规律。低氧训练期间的采血点过少且相邻两个采血点间隔时间太长，就很难准确发现相关血液指标的变化趋势和规律。该研究中，在 4 周的低氧训练期间仅安排了 5 次采血测试，测试次数相对较少，相邻两次测试的间隔时间在 5~7 d 左右，在这期间的指标变化情况难以得到体现，特别是低氧训练开始后第一周的红细胞参数的变化规律无法准确反映。因此，较少的测试频度得到的数据如何准确反映系统机能在低氧训练期间的变化规律还有待进一步的探讨。

展望

低氧训练是在传统高原训练基础上逐渐发展起来的新方

法,具有高原训练所没有的许多优势。低氧训练在理论上可以弥补传统高原训练的许多不足。但在实际运动训练中,单纯进行低氧训练由于低氧持续刺激时间较短,对机体心肺功能刺激和血液运输氧能力的改善方面明显不足。HiHiLo的出现较好地解决了这一难题,既保证了低氧训练对骨骼肌机能的有效影响,又增加了一定的低氧睡眠,延长了低氧刺激的时间,提高了血液运氧和肌肉利用氧的能力。因此,HiHiLo的训练普遍被认为是几种低氧训练手段当中最为有效的方法之一。

目前,几种低氧训练模式的异同和训练效果的研究已经成为体育科学研究的热点。不同低氧训练手段对不同性别、不同年龄、不同种族、不同运动项目、不同水平的运动员器官系统机能水平影响的研究正引起更多的关注,相关机制的研究也成为了热点。刘媛媛等对HiHiLo和LoHi两种低氧训练模式下血液运氧能力的变化规律及评价低氧训练的敏感指标进行了研究,在此基础上还可以进一步拓展相关研究内容,如该文对13名国家女子中长跑运动员进行了研究,不同低氧训练方法对男性运动员,以及其它项目的运动员的影响及其规律如何?可以进一步研究;其次,该文仅探讨了两种低氧训练方法对血液运氧系统相关指标的影响,认为HiHiLo的效果优于LoHi,但运动员在训练和比赛中需要的有氧能力与机体其它系统有何关系呢?因此,不同低氧训练模式对不同器官系统机能的影响及其机制的研究,有待进行深入探讨。

参考文献:

- [1] Hoppeler H, Vogt M. (2001). Hypoxia training for sea-level performance. Training high-living low[J]. *Adv Exp Med Biol*, 502, 61-73.
- [2] Hoppeler H, Vogt M. (2001). Muscle tissue adaptations to hypoxia. *J Exper Biol*, 204, 3133-3139.
- [3] Geiser J, Vogt M, Billeter R. (2001). Training high--living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int J Sports Med*, 22(8), 579-585.
- [4] 胡扬. 模拟高原训练的新发展—从HiLo到HiHiLo[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24(1): 69-72.
- [5] 张纛, 胡扬. 不同氧浓度的高住高练低训对红细胞等血象指标的影响[J]. 体育科学, 2005, 25(11): 29-31.
- [6] 高炳宏, 王道, 陈坚. 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.
- [1] 翁庆章, 钟伯光. 高原训练的理论与实践[M]. 北京: 人民体育出版社, 2002.
- [2] 胡扬. 模拟高原训练的新发展—从HiLo到HiHiLo[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24(1): 69-72.
- [3] 赵鹏, 冯连世(2005). 新的低氧训练模式研究及应用进展[J]. 体育科学, 2005, 25(6): 70-74.
- [4] 张纛, 胡扬. 不同氧浓度的高住高练低训对红细胞等血象指标的影响[J]. 体育科学, 2005, 25(11): 29-31.
- [5] 高炳宏, 王道, 陈坚. 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.
- [6] 张勇, 李之俊. 模拟低住高练(LoHi)对自行车运动员免疫功能的影响[J]. 体育科学, 2005, 25(11): 26-28.
- [7] Truijens MJ, Toussaint HM, Dow J. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. *J Appl Physiol*, 94(2), 733-743.
- [8] Geiser J, Vogt M, Billeter R. (2001). Training high--living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int J Sports Med*, 22(8), 579-585.
- [9] Roels B, Hellard P, Schmitt L, Robach P. (2006). Is it more effective for highly trained swimmers to live and train at 1200 m than at 1850 m in terms of performance and haematological benefits? *Br J Sports Med*, 40(2), e4.

(责任编辑: 何聪)