



运动、低氧训练与铁代谢

王道

摘要: 铁代谢的研究一直是运动科学领域的一项重要课题, 本文描述了运动与铁代谢的关系, 包括运动对铁代谢的影响, 运动引起铁缺失的可能机制以及缺铁对机体可能造成的影响。低氧训练作为一种特殊的训练手段在国内外正逐渐流行, 目前有关低氧训练与铁代谢关系的研究还比较少, 本文对低氧对铁代谢的影响以及低氧训练过程中铁的补充关系进行了简单的总结与分析。

关键词: 运动; 铁代谢; 低氧训练

中图分类号: G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2009)01-0062-03

Exercise, Hypoxia Training and Iron Metabolization

WANG Dao

(Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China)

Abstract: Research on iron metabolization is an important issue in the field of sports science. The article describes the relation between exercise and iron metabolization, including the effects of exercise on iron metabolization, the possible mechanism that causes iron absence and the influence iron absence may bring about to organism. Hypoxia training, as a means of specific training, has become more and more popular at home and abroad. At present, the study on the relation between hypoxia training and iron metabolization is insufficient. The article summarizes the effects of hypoxia on iron metabolization and the iron supplement in the course of hypoxia training.

Key words: exercise; iron metabolization; hypoxia training

运动与铁代谢的研究一直是体育科研工作者的一项热门课题, 长期剧烈的运动训练可以导致机体铁代谢紊乱, 从而引发机体缺铁的发生, 而缺铁又会影响机体的运动能力, 迄今为止, 有关运动与铁代谢方面的研究已经取得了一定进展, 但是关于其发生机制仍存在一定的争议。低氧训练是一种新兴的训练手段, 是一种特殊的运动, 目前很多国家的优秀运动员都在尝试低氧训练来提高运动能力和比赛成绩, 有关低氧训练对铁代谢的影响、低氧是否会造成机体缺铁以及低氧训练过程中铁的补充方面的研究很少, 但将是未来重要的一个研究方向, 本文试图将以上两方面内容作一概述。

1 运动与铁代谢

1.1 运动对铁代谢的影响

铁是人体内含量最丰富的必需金属元素。人体内的铁可以分为两类: 一类为功能铁, 主要是指组成机体血红蛋白、肌红蛋白、各类结合蛋白以及含铁酶、铁依赖酶等, 这些铁的量约占总量的80%以上; 另一类为储存铁, 约占机体铁总量的20%, 主要有铁蛋白和含铁血黄素等。运动可诱导低铁状态。研究已经表明, 运动(一般指长时间、剧烈的运动)可导致运动员或运动动物模型的血清铁、转铁蛋白饱和度以及铁蛋白浓度显著降低, 甚至引起血液红细胞和血红蛋白浓度降低^[1~3]。铁对于运动员极为重要, 运动员在运动训练和比赛中不断承受超负荷的刺激, 这就要求运动员必须具有高

水平的能量代谢速率以满足大负荷运动的需要, 而高水平的能量代谢速率与酶的活性、呼吸链的能量生成速率以及机体氧的供应能力密切相关, 而铁在机体中恰恰具有此生物学功能^[3]。当机体铁代谢紊乱(铁缺乏)时, 会导致蛋白质合成减少, 血红蛋白携氧能力下降以及能量代谢失调, 影响运动员的能量代谢水平, 从而使运动员的运动能力下降^[3~4]。

1.2 运动引起铁缺失的机制

近几十年来, 许多学者对运动与铁代谢的关系做了大量的研究, 也提出了许多假设。1959年日本学者Yoshimura首次提出大强度运动尤其是耐力运动可以导致“运动性贫血”。随着研究的逐步深入, 越来越多的研究者认为, 大强度运动可以引起铁缺乏甚至引起缺铁性贫血或者运动性贫血^[5]。目前, 根据已有的研究, 人们提出了不同的假设来解释运动引起的铁缺乏及贫血的机制: (1) 运动可引起血浆容量增加; (2) 运动可引起溶血; (3) 运动引起铁丢失增加; (4) 运动使铁吸收不良; (5) 运动可引起铁摄入不足; (6) 运动可引起一氧化氮增加, 加速铁从储存部位向一些重要的细胞转运。另外运动还可以引起铁在体内的重新分配。总之, 运动引起的铁缺失应该是多种因素共同作用的结果, 对于运动引起运动性贫血的发生机制、运动导致铁代谢紊乱以及反映铁代谢状况的指标之间的关系等方面, 需要做进一步的研究来探讨。

收稿日期: 2008-08-08

基金项目: 上海市体育局科技攻关项目(08JT028); 上海市体育局腾飞计划课题(KJTF0608)

作者简介: 王道(1978-), 男, 助理研究员, 主要研究方向: 低氧训练、训练监控。

作者单位: 上海体育科学研究所, 上海 200030



1.3 铁缺失对机体的影响

铁对血液运输氧和维持骨骼肌生理功能方面起着重要作用,铁缺失会影响机体的某些代谢过程,包括线粒体的电子传递、骨骼肌的有氧氧化能力、神经递质的合成以及蛋白的合成。

红细胞的细胞膜含不饱和脂肪酸较多,而且红细胞自身不能合成并补充被损伤的组分,所以特别容易受到自由基的攻击,造成氧化性损伤。发生缺铁性贫血时红细胞的VE、过氧化氢酶等含量降低,原卟啉及游离铁浓度高、血红蛋白减少,所以红细胞易被活性氧破坏,而且脂质过氧化产物MDA可以与磷脂缩合并出现蛋白质凝聚物,使胞膜变形能力降低,这些都会影响红细胞寿命。实验发现,运动所致缺铁性贫血大鼠的红细胞面积、周长和直径等缩小,这些变化与肝细胞线粒体MDA含量呈负相关,说明红细胞损伤与缺铁引起的自由基代谢有关^[6]。

铁缺失时血红蛋白和肌红蛋白减少,使血液中氧的运输和运动期间肌肉收缩时氧的传递和储存减少,组织中含铁有机物尤其是含铁酶减少或活性降低,限制了三羧酸循环的进行,而且血红蛋白或红细胞数量的减少会影响从肌肉中消除CO₂的能力,降低肌肉的PH值,限制骨骼肌的有氧氧化能力,降低耐力。John等(2001)研究报告,组织缺铁时骨骼肌肌红蛋白的含量会下降40~60%,细胞色素氧化酶活性及电子传递能力下降50%,而且耐力成绩的恢复与组织铁浓度的回升密切相关^[7]。

大量的研究表明,耐力成绩与血红蛋白及组织中铁的浓度密切相关,缺铁性贫血时,氧运输的减少限制了骨骼肌的氧化能力,降低了VO₂max和运动成绩^[5]。

2 低氧训练与铁代谢

2.1 低氧训练概述

低氧暴露是指有机体以任何方式暴露于高原自然低氧或人工低氧环境中。低氧训练是一种特殊的低氧暴露,特指在运动训练周期中持续或者间断利用高原自然低氧或人工低氧环境,配合运动训练来增加运动机体的缺氧程度,从而产生一系列有利于提高机体抗缺氧的生理反应及适应能力,调动体内的机能潜力,进而达到提高运动能力的训练方法^[8]。20世纪80年代开始至今,为更好地发挥高原训练的优势,同时避免其不足,体育科研工作者借鉴医学界对低氧的研究成果,提出并开始探索一些新的低氧训练模式^[9]。

20世纪80年代末前苏联斯特列尔科夫博士首创了“间歇性低氧训练”(IHT)。许多国家将间歇性低氧训练作为一种辅助训练手段,与常规训练穿插进行,运用到不同水平、不同运动项目的专业运动员,以使运动员机能潜力得到最大限度的发展,全面提高机体的代谢能力。

1992年Levine一经提出“高住低练”(HiLo),就引起了有关专家和学者的注意,他们做了许多实验来证明其有效性。但是实践表明,虽然HiLo可以解决传统高原训练许多弊端如肌肉因长期缺氧而萎缩,最大摄氧量下降造成的训练强度降低以及机体免疫能力低下甚至容易引起过度训练等,但是由于其缺乏对心肺功能的强烈刺激,因此,HiLo在提高运动能力方面作用有限。

LoHi训练法是由Hoppeler2001年提出的一种新的低氧训练方法,它既能发挥缺氧和运动双重刺激对机体的有益影响,又能避免传统高原低氧不利于身体恢复的缺点,因此,也受到不少研究人员的重视。虽然LoHi对提高运动员平原运动能力有良好的作用,但令人遗憾的是其训练模式的研究刚刚起步,相关研究报道太少。

最近几年,在HiLo和LoHi基础上发展起来的高住高练低训(HiHiLo)被认为对运动能力的提高有更加显著的效果。HiHiLo兼顾HiLo和LoHi的优点,是目前最被推崇的一种低氧训练方法,但是与LoHi一样,有关其具体训练模式的研究需要进一步论证^[10]。

2.2 低氧训练对铁代谢的影响

低氧训练是一种在特殊环境下的训练手段,低氧训练期间,运动员承受着低氧和运动训练双重刺激,都可能导致机体铁的缺乏,从而引起对机体的负面影响。目前,国内外关于低氧训练对运动员铁代谢指标影响的报道还十分有限。Ventura等(2003)让12名长距离自行车运动员分为LoHi(3 200 m)和LoLo(560 m)组进行了6周训练,结果发现训练后两组运动员的血清铁蛋白均下降,但是前者下降的更为明显^[11]。瑞士的Wehrlin通过对徒步越野运动员的HiLo(2 500 m生活,18 h/day;1 800 m中低强度训练,训练比例占85%;1 000 m大强度训练,占15%)研究发现,24天HiLo后运动员血液学指标改善的同时,转铁蛋白(Tf)和sTfR明显升高,铁蛋白(SF)下降^[12]。此研究说明HiLo时运动员有可能缺铁。周志宏等(2006)研究发现,血清转铁蛋白受体(sTfR)可能更能反映HiLo过程中红细胞的生成状况。该研究认为,sTfR与体内铁的状态有密切关系,在HiLo过程中sTfR的变化是否与血清铁与转铁蛋白水平有关需要进一步研究^[13]。由此提示HiLo可能会影响铁代谢。王道等(2005)探讨了HiLo(模拟2 500 m,4周,10~12 h/d)对女子赛艇运动员血清铁和总铁结合力的影响,结果发现,HiLo组血清总铁结合力在HiLo期间和HiLo后均高于HiLo前水平,其最大值出现在第12天,第26天血清总铁结合力降低,HiLo后第5天又开始回升,并且在HiLo后第12天显著高于同期的LoLo组;HiLo组血清铁在HiLo期间和HiLo后与HiLo前比较均无显著性差异。但研究认为模拟HiLo是否会造成功能铁缺乏还需结合其它敏感指标和有效手段进行深入分析^[14]。另外,刘明等(2004)并没有发现3周HiLo使游泳运动员血清铁蛋白降低^[15]。

2.3 低氧训练过程中铁的补充

在缺氧条件下,机体血红蛋白的合成以及RBC的生成增多,从而增加了对铁的需求量,主要表现为血清铁和血清铁蛋白数量的下降以及血清总铁结合力的提高和可溶性转铁蛋白受体的表达增加。因此充足的铁储备可能对于低氧训练的血液学适应是一个重要的环节。对潜在性缺铁,补铁可以促进血清铁、血清铁蛋白浓度的增加,从而促进血红蛋白浓度的提高,大量研究结果都证实了铁的补充可以有效地改善机体铁储备下降的状况,从而有利于运动能力的恢复^[16~18]。铁的补充主要有膳食和铁制剂两种方式。运动员铁的补充应以膳食为主,在必要的情况下进行适当地铁剂补充。研究结果表明血红素铁、有机铁由于其具有易于吸收、服用量少,无或副作用轻、受影



响因素少等有点,因此是运动员补铁的最好形式。目前,铁的补充在训练实践中应用比较普遍,虽然有研究者认为在高原易发生红细胞破坏的个体补充铁剂应谨慎,中度缺铁时补铁并未引起血红蛋白上升,只有机体发生运动性贫血时补铁才能改善铁代谢指标,提高运动能力^[19,20~23]。我国的高原训练专家冯连世建议高原训练期间,除在膳食中多吃一些含铁丰富的内脏、蛋黄、豆类和鱼类外,还应适量补充对胃肠刺激较小的铁制剂,一般每天的补铁量为18~24 mg,女运动员在高原上的月经期和月经后7天内,每天服用量应适当增加,同时辅以维生素B、C。低氧训练在承受运动负荷和低氧刺激方面不同于高原训练,因此,不能把高原训练期间铁的补充方式简单地移植到低氧训练过程中来。有研究认为,4周HiHiLo对青少年业余长跑运动员铁代谢指标无明显影响,笔者建议运动员在进行HiHiLo时补铁应谨慎^[24]。综上所述,低氧训练是否会造成铁缺乏,不同低氧训练模式过程中或低氧训练前是否应该补铁,何时开始补铁、补铁剂量和频率以及补铁的关键阶段等方面的问题将是今后低氧训练研究的一个重点,这对于深入理解和充分利用低氧训练过程中生物学的适应,提高机体的红细胞和血红蛋白,从而促进运动员运动能力的发展具有十分重要的意义。

3 小结

体育科研工作者在运动与铁代谢方面已经做了大量的研究,虽然运动导致机体铁缺失的机制还存在争议,但是可以肯定的是铁代谢紊乱不利于运动员机体能量代谢的发展和运动能力的提高。目前已经有研究开始探讨低氧训练是否会造成机体铁紊乱或者铁缺失,为补铁在低氧训练中的应用寻找理论依据。但是有关这方面的研究还只是冰山一角,不同模式低氧训练对机体铁代谢的影响、低氧训练前和低氧训练期间铁剂的补充及其对运动能力的影响将是今后研究的一个重要方向。

参考文献

- [1] 钱忠明. 铁代谢—基础与临床[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] 钱忠明, 肖德生等. 运动性铁缺乏研究进展[J]. 中国运动医学杂志, 1998, 17(2): 151-154.
- [3] Beard J, Tobin B. (2000). Iron status and exercise[J]. *Am J Clin Nutr*, 72(2 Suppl): 594-597.
- [4] Spodaryk K. (2002). Iron metabolism in boys involved in intensive physical training[J]. *Physiol Behav*, 75(1-2): 201-206.
- [5] 刘玉倩, 钱忠明等. 运动对铁代谢影响的研究[J]. 体育科学, 2004, 24(1): 27-30, 34.
- [6] 陈吉棣, 刘晓鹏, 陶祝良等. 缺铁性贫血和运动负荷对大鼠红细胞损伤的影响[J]. 中国运动医学杂志, 1995, 14(3): 129-135.
- [7] John L. B. (2001). Iron biology in immune function, muscle

- metabolism and neuronal function[J]. *Nutr*, 131: 568-580.
- [8] 冯连世. 高原训练与低氧训练. 体育科学[J], 2005, 11.
- [9] 胡扬. 模拟低氧高原训练的新发展——从HiLo到HiHiLo[J]. 中国运动医学杂志, 2005, 24(1): 69-72.
- [10] 高炳宏. 模拟低氧训练的新方法与新进展[J]. 体育科研, 2005, 26(2): 44-49.
- [11] Ventura N, Hoppeler H, Seiler R, et al. (2003). The response of trained athletes to six weeks of endurance training in hypoxia or normoxia[J]. *Int J Sports Med*, 24: 166-172.
- [12] Wehrli JP, Zuest P, Hallen J, et al. (2006). Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes. *J Appl Physiol*, 100(6): 1938-1945.
- [13] 周志宏, 刘建红, 石幼琪等. 高住低练对田径运动员血清转铁蛋白受体及促红细胞生成素水平的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2006, 25(3): 317-319.
- [14] 王道, 高炳宏. 模拟高住低练对女子赛艇运动员血清铁、总铁结合力及相关指标的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2008, 27(4)
- [15] 刘明, 张国庆, 马先英. 模拟高原训练对游泳运动员血液载氧能力的影响[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(6): 774-776.
- [16] 曹建民, 田野, 赵杰修等. 运动与铁代谢[J]. 北京体育大学学报, 2003, 26(3): 331-335.
- [17] Magazanik A, Weinstein J, et al. (1991). Effect of an iron supplement on body iron status and aerobic capacity of young training women[J]. *Eur J Appl Physiol*, 62: 317-323.
- [18] Pamela S H, Christina G, et al. Iron supplementation improves endurance after training in iron-depleted, nonanemic women.
- [19] Friedmann B, Jost J, Rating T, et al. (1999). Effects of iron supplementation on total body hemo-globin during endurance training at moderate altitude. *Int J Sports Med*, 20(2): 78-85.
- [20] Bartsch P, Mairbaurl H, Friedmann B. (1998). Pseudo - anemia caused by sports. *Ther Umsch*, 55(4): 251-255.
- [21] Hegenauer J, Strause L, Saltman P, et al. (1983). Transitory hematologic effects of moderate exercise are not influenced by iron supplementation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 52(1): 57-61.
- [22] Tsalis G, Nikolaidis MG, Mougios V. (2004). Effects of iron intake through food or supplement on iron status and performance of healthy adolescent swimmers during a training season. *Int J Sports Med*, 25(4): 306-313.
- [23] Haymes EM, Puhl JL, Temples TE. (1986). Training for cross-country skiing and iron status. *Med Sci Sports Exerc*, 18(2): 162-167.
- [24] 宋淑华, 曹建民, 胡扬, 等. 高住高练低训对青少年业余中长跑运动员铁代谢相关指标的影响. 中国运动医学杂志, 2007, 26(1): 63-65.

(责任编辑: 何聪)