

高原和低氧训练对促红细胞生成素影响的研究进展

孟志军¹, 高炳宏²

摘要: 高原和低氧训练已成为运动员训练的主要方式和手段, 其训练目的主要是提高氧运输和摄取能力。目前对促红细胞生成素在训练中变化的报道较多, 但在高原训练时间长短以及高原和低氧训练对促红细胞生成素影响异同等方面还没有报道。笔者通过查阅大量文献和对专家进行访谈, 对高原训练和低氧训练促红细胞生成素研究进展加以综述, 以便对高原和低氧训练过程中促红细胞生成素的影响规律有更加深刻和系统的了解。

关键词: 高原训练, 低氧训练, 促红细胞生成素

中图分类号: G804.5 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2010)04-0075-04

Effects of Altitude Training and Hypoxia Training on EPO

MENG Zhi-wei¹, GAO Bing-hong²

(Shanghai Institute of P.E., Shanghai 200438 China)

Abstract: Altitude training and hypoxia training have become athletes' main training means. The purpose of training is to improve the oxygen transport and intake capacity. Though there are quite a few reports on the changes of EPO in raining, yet few reports have been found on altitude training duration and the similarity and difference of the effects of altitude training and hypoxia training on EPO. By the methods of literature study and expert interview, the article laborates on the development of the researches on the effects of altitude training and hypoxia training on EPO so as to ave a deep and systematic understanding of the influence law of altitude training and hypoxia training on EPO.

Key words: High altitude training, hypoxia training, erythropoietin(EPO)

高原和低氧训练手段在多种项目中的运用越来越多, 高原和低氧训练的主要目的是提高运动员的有氧能力, 目前认为其主要原因是促红细胞生成素的增加, 有报道认为高原和低氧训练对于运动员的无氧能力和耐酸能力都有影响, Sakata S等报道, 4名没有训练经验的健康人在1 300 m和3 500 m的高度下生活两天, 促红细胞生成素和乳酸水平都显著提高, 并且其相关系数为0.86, 作者提示促红细胞生成素可以作为无氧能力的标志^[1], 但是目前还存在争议。促红细胞生成素能够提高运动员的血红蛋白和红细胞量, 从而提高运动员的运动能力, 但目前也有报道认为促红细胞生成素增加不是红细胞和血红蛋白增加的必需条件。

1 高原和低氧训练的研究现状

1.1 高原训练的研究现状

高原训练是指有目的、有计划地将运动员组织到具有适宜海拔高度的地区, 进行定期的专项运动训练的方法。大量研究表明^[2], 高原训练的双重缺氧刺激会产生一定程度的生理适应, 如使机体的最大摄氧量、通气量、乳酸阈、血清促红细胞生成素水平、血红蛋白含量、红细胞计数以及肌肉的毛细血管密度、肌红蛋白含量、线粒体数量和氧化酶活性都得到很大程度的提高, 从而提高血液运氧及肌肉利用氧

的能力, 促使运动能力或运动成绩得到明显提高。

1.2 高原训练的创新——低氧训练

自20世纪90年代以来, 高原训练方法以及对高原训练认识上有了许多新的突破。一是在传统高原训练的方法上有了许多创新。即利用高原自然地理环境进行的“高平交替”训练、“高住低练”、“低住高练”以及从高原到更高海拔高度的“高高交替”训练等方法。二是模拟高原训练的研究和运用发展迅速。即国内外利用低压低氧、常压低氧的低氧舱、低氧房、低氧帐篷以及低氧呼吸仪等设备进行的模拟高原训练, 其方法有“高住低练”、“低住高练”、“高住高练低训”、“间歇性低氧训练”等。三是高原训练的训练理念上有了新的认识和提高。从近几年来的高原训练实践看, 无论如何安排高原训练, 均以提高和发展身体素质和专项能力为目的, 以提高运动能力为重点, 坚持大运动量练习, 取得了成功^[3]。

1.3 低氧训练和高原训练的区别

尽管高原训练和低氧训练都是在低氧的条件下进行, 目的也是为了调动机体的机能潜力。但是, 高原地区的温度、湿度、风向、气压等因素却无法模拟, 高原的阳光、强紫外线、低压、温度、湿度等环境因素对运动能力的影响研究较少。另

收稿日期: 2010-04-20

基金项目: 上海市体育局科技攻关项目(08JT028)

第一作者简介: 孟志军, 男, 在读硕士。主要研究方向: 高原训练在竞技体育中的应用。

作者单位: 1. 上海体育学院运动科学学院, 上海 200438; 2. 上海体育科学研究所, 上海 200030



外,高原训练的训练计划和低氧训练可能会有比较大的差异。因此,低氧训练并不能完全取代高原训练。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机能状态的改善方面不如高原训练明显,尤其是在提高血液运氧及肌肉利用氧能力等方面,与传统高原训练相比还是有一定差距。另外,在整个低氧训练实施过程中,低氧训练与专项训练尚难以有机融合。因此,在大部分教练员和运动员中还无法广泛推行此训练方法,他们还是以传统高原训练的模式来辅助训练。

2 EPO的生物学特性

促红细胞生成素-Erythropoietin(EPO)于1977年由Miyake从尿中分离纯化^[4]。EPO是由肾脏近球细胞产生的红细胞生成酶作用于血浆中的由肝脏合成的EPO原,使之降解而成(现在也有人认为EPO由肾脏直接产生)。它是一种含165~166个氨基酸残基的肽类激素。EPO的生物学效应主要是促进骨髓造血祖系细胞分化,有核红细胞分裂,巨幼红细胞成熟并释放,加强铁的摄取,加快血红蛋白的合成。正常血浆中EPO约为10~30 mIU/ml。当缺氧和贫血时可上升100~1 000倍。影响EPO生成的因素有缺氧、贫血、激素、嗜烟习惯、PH值、昼夜节律等。

现在对EPO影响因素的研究中,缺氧是EPO的主要影响因素。急性缺氧1~2 h,循环EPO即显著升高。雄性激素、甲状腺素、生长激素可加强EPO的分泌而雌性激素、糖皮质激素相反。PH值下降,抑制EPO的分泌。耐力运动员EPO比其他运动员高且血睾酮也高。这说明长期耐力训练可提高EPO的水平。急性运动是否可引起EPO分泌,尚有争论。认为能引起EPO分泌的理由,是运动也可引起肾脏血流量减少。有人认为单纯运动使EPO分泌需要具备一些条件,如运动时间大于4 h,距离大于38 km,血氧饱和度<91%等。Max Gassmann和Jorge Soliz报道,通过对哺乳动物的研究,机体暴露在低氧环境中时,EPO可以影响呼吸中枢和颈动脉体^[5]。

3 EPO与运动能力的关系

最近几年,EPO与运动能力的研究比较多,更多的是关注在EPO促进红细胞和血红蛋白的生成。EPO对体内红细胞和血红蛋白的含量具有调节作用,当机体内红细胞数量增加或减少时,体内EPO的合成也相应的增加或减少,以维持体内红细胞和血红蛋白的平衡。EPO通过促进骨髓造血系统造血,从而加快红细胞的生成,提高红细胞的生成率,使幼稚红细胞数量及血红蛋白含量增加,可能通过以下两个方面来影响运动能力:1)由于幼稚红细胞比老化红细胞更易变形,携带氧到工作肌的工作效率比老化红细胞更高,使氧离曲线右移,机体供氧能力得到提高;2)血红蛋白的增加使机体运输氧的能力提高,进而提高机体的运动能力。

国内外的一些研究证实了EPO促进红细胞和血红蛋白生成的作用。Savourey G等报道,在3周居住安第斯山前4 h的低氧(4 500 m)适应既能提高平原上的EPO水平也能提高随后高原上的EPO水平^[6]。田中等人的实验证实了这一点^[7],他们研究了模拟高住低练对促红细胞生成素和血红蛋白的影响,指出模拟高住低练训练可以提高血清促红细胞

生成素和血红蛋白,并具有明显的后效应,对运动能力可产生良好的影响。Sanchis-Gomar F等报道,通过rHuEPO-alpha处理过的大鼠在低氧环境中(12%O₂,4 000 m)比处于常氧环境中的大鼠有更快的网织红细胞恢复率,内源性EPO水平也有显著的提高^[8]。值得注意的是,大多数研究指出,EPO的变化和血红蛋白的变化规律并不是完全一致,血红蛋白的变化有一定的滞后性,也就是说,EPO总是先于血红蛋白而表现出来。

4 高原训练与EPO适应的关系

高原训练对人体的影响主要是通过低氧和运动双重缺氧刺激促进体内EPO的分泌。在训练过程中血液指标主要测定红细胞、血红蛋白和红细胞压积,而这些指标又都是EPO生物学效应的外在表现。例如红细胞和血红蛋白在高原上会增加,而且红细胞压积也会增大。Nadarajan VS等报道,幼稚网织红细胞的比率可以作为优秀自行车运动员EPO水平在高原训练中提高和在返回平原后丢失的敏感标记^[9],这可能是由于幼稚红细胞有着更高的携氧能力和流动性。影响EPO生成的因素有很多,在高原上,低氧则是EPO的主要影响因素。海拔高度越高,缺氧程度越大,但EPO水平与海拔高度并不是呈直线关系,哈恩于1992年提出,EPO受海拔高度的影响,一般适宜的高度为海拔1 600~2 500 m^[10]。如果在高于6 000 m的高原上,EPO上升速度显著下降,原因可能是EPO活性在血氧饱和度小于60%时显著降低,也可能是EPO受体饱和,抗体浓度上升,PH值降低造成的。当然,EPO的变化规律除了受高原缺氧环境的影响外,也受到运动员训练计划和内容的影响。

4.1 短时间(4周以下)高原训练对EPO的影响

短时间(4周以下)的高原训练具有自己的特点,在高原训练过程中容易控制训练强度,且现在更多的用来作为一种恢复性的高原训练。王晨报道^[11],游泳运动员3周高原训练过程中,初上高原EPO显著升高,一周后EPO恢复平原水平,第二周升高,第三周又恢复到平原水平,作者认为在初上高原时,为适应性训练,以中、小强度为主,在低氧分压的刺激下,肾脏分泌EPO迅速增加;随着对高原缺氧的适应,通过EPO与血红蛋白合成量的反馈作用,使EPO分泌减少。Ashenden认为在海拔3 500 m高原1~2天后,EPO增加大约3倍于基础值。上到4 500 m还有轻微的上升,但在此海拔22天后,EPO又逐渐回到基础值。在下到海拔1 200 m后,EPO平均为平原原始值的66%^[12]。Saltin认为,世居平原的运动员到高原训练3~4天,血清EPO浓度可达到最高水平,继而开始下降^[13]。Bergland(1992)研究发现,亚高原训练8~10天,红细胞(RBC)数达最大值,3周的高原训练可导致Hb升高1%~4%,但EPO水平在上高原后即升高,1周后下降,并认为维持高水平EPO并不是高原上RBC持续增加所必需的^[14]。可以看到,短时间的高原训练能够急性促进EPO的分泌,但下降得也较快,甚至有的研究发现在高原训练结束后EPO值低于高原训练前。

4.2 中等时间(4~6周)高原训练对EPO的影响

中等时间(4~6周)的高原训练是现在运用得最多的高原训练,所以对于此种高原训练的研究也比较多。樊小



兵报道^[15],长跑运动员在海拔2 366 m的高度进行一个月的高原训练后,EPO和红细胞都有显著的升高,在一个月的高原训练中,EPO也是在持续升高,没有出现下降的现象,这可能是跟作者的测试时间安排有关(第2天、第15天和第30天)。胡峰等报道^[16],优秀男子中长跑运动员在1 640 m的海拔高度进行一个月的高原训练中红细胞和血红蛋白显著升高,并且最高效应期在第14~22天,作者认为红细胞和血红蛋白的升高是EPO升高所导致的,但是只能维持23天左右,第23天后将会下降,直到下高原后第10天。燕小妮等报道,男子赛艇运动员在1 850 m进行35天的高原训练中,高原训练第4天红细胞和血红蛋白升高,在下高原前3天下降,但仍高于高原训练前水平^[17]。可以看出,虽然4~6周的高原训练研究比较多,但结果也并不相同,但大部分研究认为能够提高EPO水平,达到高原训练的效果和目的。

4.3 长时间(6周以上)高原训练对EPO的影响

关于6周以上高原训练对EPO影响的报道还很少,可能

是因为在研究上存在很多不便,例如高原训练高度的选择和高原训练负荷的控制等等都还在争议中。张志军报道^[18],男子赛艇运动员在2 200 m的高度进行8周高原训练中,血红蛋白水平并没有升高,而是下高原后开始升高,在3周后达到最高,笔者认为在高原的低氧环境使血液中红细胞平衡受到破坏,内代偿性增加,血红蛋白含量明显下降。经过一段时间对高原低氧环境的适应,血红蛋白(Hb)浓度又开始回升,说明运动员血液携氧能力提高。

如表1所示,综合以上研究,在不同时间长度的高原训练中,共同点是在高原训练的第一周,EPO含量会有较大的升高,而且EPO在第三周也有较高的水平,在下高原前EPO水平也比高原训练前高,但是高原训练过程中的变化比较复杂,报道也不一致,这可能是以下几方面原因造成的:1)高原训练的受试者个体差异和运动能力水平差异;2)各项目之间的差异;3)进行高原训练的地方和环境不同;4)训练的方法和手段以及训练计划的安排等不同;5)测定EPO的时间安排不同,这些因素都可能影响到研究结果。

表1 高原训练对EPO影响文献差异表

Table 1 Literature Difference of the Effects of Altitude Training on EPO

研究者	研究对象	高原训练高度	高原训练时间	EPO变化
王晨(1997) ^[11]	游泳运动员	1 891m	3周	升高37.46%
Saltin(1997) ^[13]	运动员	2 700m	3~4天	升高
Ashenden(2000) ^[12]	中长跑运动员	3 500m	1~2天	升高2倍
樊小兵(2008) ^[15]	中长跑运动员	2 366m	1个月	升高1倍

5 低氧训练和EPO适应的关系

模拟低氧训练是指在平原地区采用人工制造低氧环境或吸入低氧气体,来模拟高原低氧环境进行训练的方法。尽管低氧训练的模式很多,但低氧环境的本质是模拟高原的缺氧环境。目前的低氧环境主要有两种:低压低氧和常压低氧。这两种低氧环境在物理学上是不同的,低压低氧更接近于高原环境,而常压低氧是用氮气替代氧气把空气中的氧气浓度降低,而气压与大气压相同。两种不同的低氧环境对运动员造成的影响也是不同的。

5.1 在低压低氧舱中训练和EPO适应的关系

目前国内低压低氧舱还比较少,这种设备昂贵,且维护费用高。朱荣等报道^[19],优秀跆拳道运动员4周HiHiLo训练过程中,低氧组实验3周时红细胞数、血红蛋白浓度显著高于实验前,且血红蛋白浓度高于同一时间的对照组。低氧组实验4周血红蛋白浓度仍维持较高水平,显著高于实验前,而他们认为产生此实验结果的主要原因就是低氧实验组EPO的升高。冯连世等人对在不同模拟高度的低压氧舱中训练对大鼠EPO表达的影响进行了研究^[20],指出高原训练后大鼠EPOmRNA水平平均高于平原对照组,在2 000 m高原上训练1周及2周后EPO的表达较同等高度不训练组增加显著,但在3 000 m和4 000 m高原上训练1周及2周后EPO的表达较同等高度不训练组下降。这表明2 000 m的高度可能是运动员选择高原训练较为合适的海拔高度,如果高度过高,缺氧的刺激会很强烈,会使EPOmRNA在很短的时间内剧烈上升,而对后续的表达产生反馈抑制,不利于运动能力的提

高。李卫平等在低压氧舱中模拟3周高住低练对游泳运动员进行了研究,每天在2 800 m的低压氧舱中居留12~13 h,结果显示运动员红细胞和血红蛋白水平显著提高^[21]。

5.2 在常压低氧舱中训练和EPO适应的关系

目前我们国家体育科研的低氧设备大多是常压低氧舱。黄丽英等报道,大鼠在模拟海拔4 000 m的高度下训练4周,血清EPO水平出现升高现象^[22]。秦宇飞等对男子赛艇运动员5周间歇性低氧训练后研究发现,从第3周开始低氧训练组血红蛋白水平才显著升高,作者认为这可能是间歇性低氧训练改善了运动员的睡眠质量带来的间接效应^[23]。胡永欣等报道,男大学生在进行28天的模拟海拔3 000 m以上的间歇性低氧训练,EPO分泌显著增加,而且维持效应可达到15天^[24]。可以看出,目前关于常压低氧舱对EPO影响的研究中,设置的海拔高度比低压氧舱高,训练时间长,而且进行了大量的人体试验。

另外,并不是所有的低氧训练都能够达到预定的效果,也有一些低氧训练没有提高EPO水平的报道。Robach P等报道,高住(5天2 500 m+8天3 000 m)低练(1 200 m)没有能改变游泳运动员的血清EPO的水平,这提示可能刺激红细胞产生,但是对有氧能力没有作用,所以作者不建议高住低练作为一个长期的训练手段^[25]。Villa JG等报道,平均高度4 000 m,20 min的间歇性低氧训练提高了自行车运动员的EPO水平,但是没有对红细胞数目和网织红细胞造成影响^[26]。这可能是由于低氧训练时间过短,还没有对网织红细胞造成影响。



组内同伴的总体评价,与课堂学习过程中的互评成绩记录进行了对照,发现两者吻合度是比较高的,这说明学生对其组内同伴互评的态度是认真的、评判是中肯的,而非随意和随机的,这一点进一步坚定了我们对学生互评可信度的信心。

但从调查中也发现,有部分学生流露出对课堂互评的不满,认为开展课堂互评的做法耽误了运动技能的学练,影响了体育课堂的整体学习效果;有的学生则觉得评价是教师的事,互评有做“秀”之嫌,或有可能影响同学之间的情感;也有学生认为,互评只应该评价那些技能、体能等“通过学习能看出变化”的内容,对同伴的学习态度、情意表现与合作精神等的评价比较空洞。这些说明,一些学生对自身作为评价主体和对评价促进发展功能等认识上仍存在不足。

4 结论与建议

4.1 结论

(1) 高中学生经过适当的互评知识与操作技能的学练后,进行同伴间及学习小组间多形态的互评是切实可行的。

(2) 高中学生对其同伴体育学习态度、情意表现与合作精神、健康行为的互评是中肯的、可信的,尤其对组内同伴的互评是比较稳定的。同时,他们对其同伴的运动技能与专项体能有意互评的结果也是可信的、比较准确的,具有较好的可信度和实效性;而对组内同伴运动技能和专项体能的互评是准确的、稳定一致的。

(3) 互评过程对学生的体育学习态度、情意表现与合作精神、健康行为具有一定的促进作用或改善效果。而且,互评对高中学生学习态度与行为等的影响也不尽相同,可能对高中低年级学生的体育学习态度具有显著的改善效果;而对高中较高年级学生的情意表现具有更显著的促进效果。

4.2 建议

(1) 自评与互评是促进学生应用评价信息来管理自我学习、促进他人进步的有效方法,同时自评与互评是相伴

相生、相互促进的。建议在组织学生参与学习评价时,要重点培养学生的自评能力,并将自评与互评配合运用。

(2) 在体育学习评价中,互评虽然是值得大力提倡的一种评价方式,但也绝不能过分夸大其作用,更不能把互评作为唯一的形式。建议在开展课堂互评时,要进一步研究和确定互评在多元评价主体中的权重。

(3) 学生互评的效果与教师的评价设计能力、组织调控能力、评价指导能力等是密切相关的。建议在实施互评前,要提前有针对性地设计好互评的内容与方法及评价标准,并特别重视互评的诱导和过程的调控。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国教育部制订. 普通高中体育与健康课程标准(实验)[M]. 北京:人民教育出版社,2003.
- [2] 上海市教育委员会. 上海市中小学体育与健身课程标准(试行稿)[M]. 上海:上海教育出版社,2004.
- [3] 上海市中小学课程改革委员会. 九年义务教育《体育与健身》教材(各年级课本)[M]. 上海:上海教育出版社,2006.
- [4] 汪晓赞等编著. 中小学体育新课程学习评价[M]. 上海:华东师范大学出版社,2007.
- [5] 李建军编著. 新课程的学校体育评价[M]. 广东:广东高等教育出版社,2004.
- [6] 毛振明等编著. 体育教学评价技巧与案例[M]. 北京:北京师范大学出版集团,2009.
- [7] 王凯. 发展性校本学生评价研究[M]. 上海:华东师范大学出版社,2009.
- [8] 袁定才. 为有源头活水来——新课程理念下体育学习评价初探[J]. 教育·科研,2006,(8):59-60.
- [9] 高清伟等. 论大学生在体育教学中的自评与互评[J]. 成都体育学院学报,2005,(1):124-125.
- [10] 于志宏. 在体育教学中实施自评和互评的研究[J]. 体育成人教育学报,2004,(1):24-25.

(责任编辑:陈建萍)

(上接第78页)

- [15] 樊小兵. 高原训练对中长跑运动员血液携氧能力的影响[J]. 北京体育大学学报,2008,31(9):1223-1223
- [16] 胡峰,王春泉,孙学川. 1600米高原训练对我国优秀中长跑运动员血液等指标的影响[J]. 解放军体育学院学报,2000,19(4):23-27
- [17] 燕小妮,武小路. 高原训练对男子赛艇运动员运动能力及血液流变学的影响研究[J]. 首都体育学院学报,2008,(20)4:72-77
- [18] 张志军. 高原训练对男子赛艇运动员有氧能力的影响[J]. 湖北体育科技,2009,28(1):119-120
- [19] 高颀,朱荣,田野,等. HiHiLo 对国家跆拳道女运动员血像、红细胞2,3-DPG 和有氧能力的影响[J]. 北京体育大学学报,2008,31,(3):334-335
- [20] 冯连世,赵中应,洪平,等. 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] 李卫平,田中,郑蔓丽,等. 模拟高住低练对优秀游泳运动员红细胞生成作用和身体成分的影响[J]. 体育科学,2005,25(2):52-54
- [22] 黄丽英,温锡全,徐国琴,等. 低氧运动对大鼠促红细胞生成素的影响[J]. 广州体育学院学报,2006,26(1):44-47.
- [23] 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,2005,26(3):321-325
- [24] 胡永欣,云大川. 红细胞生成在间歇性低氧训练中的动态观察[J]. 广州体育学院学报,2006,26(1):48-51
- [25] Robach P, Schmitt L and Brugniaux JV.(2006).Living high-training low: effect on erythropoiesis and aerobic performance in highly-trained swimmers. *Eur J Appl Physiol.* Mar;96(4):423-33.
- [26] Villa JG, Lucia A and Marroyo JA. (2005). Does intermittent hypoxia increase erythropoiesis in professional cyclists during a 3-week race? *Can J Appl Physiol.* Feb;30(1):61-73.

(责任编辑:何聪)