



## 运动性贫血运动员血氧亲和力的变化 Changes of Blood Oxygen Affinity in Sports Anemia Athletes

赵杰修<sup>1</sup>, 田野<sup>1</sup>, 曹建民<sup>2</sup>, 金丽<sup>3</sup>, 谢敏豪<sup>2</sup>  
ZHAO Jie-xiu<sup>1</sup>, TIAN Ye<sup>1</sup>, CAO Jian-min<sup>2</sup>, JIN Li<sup>3</sup>, XIE Min-hao<sup>2</sup>

**摘要:**目的:观察运动训练对血液全血和红细胞2,3-二磷酸甘油酸(2,3-DPG)的影响,并探讨2,3-DPG与运动性贫血之间的关系;方法:国家跆拳道青年队和北京石景山运动技术学校中长跑28名运动员作为研究对象。根据运动员的性别和血红蛋白指标结果分为女性贫血组( $n=8$ )、女性对照组( $n=10$ )、男性贫血组( $n=4$ )和男性对照组( $n=6$ )。应用氯化高铁血红蛋白比色法(HiCN)和紫外测定法用于测定运动员血红蛋白和2,3-DPG水平;结果:运动性贫血男女运动员表现出血红蛋白水平显著低于运动组的特点(女性对照组 $134.40 \pm 6.74$  mmol/l,女性贫血组 $119.75 \pm 6.48$  mmol/l,男性对照组 $144.00 \pm 7.04$  mmol/l,男性贫血组 $109.75 \pm 11.50$  mmol/l, $P < 0.01$ )。无论是分性别还是不分性别,全血2,3-DPG和红细胞2,3-DPG均未表现出贫血组和对照组的组间显著性差异( $P > 0.05$ );结论:全血和红细胞2,3-DPG的研究结果显示运动性贫血运动员不比正常对照运动员具有更高的2,3-DPG水平,说明从氧分离曲线右移的适应性角度探讨运动性贫血的发生机理是不可行的。

**关键词:**运动性贫血;2,3-二磷酸甘油酸(2,3-DPG);红细胞

**Abstract:** Objective: To observe the changes of whole blood 2,3-diphosphoglycerate and erythrocyte 2,3-diphosphoglycerate after exercise training, and to investigate the relation between 2,3-DPG and sports anemia. Method: 28 members of the Chinese youth team of taekwondo and middle-distance race team of a sport school were the subjects. According to gender and results of hemoglobin (Hb), the subjects were divided into female sports anemia ( $n=8$ ), female control ( $n=10$ ), male sports anemia ( $n=4$ ) and male control ( $n=6$ ). Hemiglobincyanide method and UV-test method was used to measure the Hb and 2,3-DPG in blood research samples respectively. Result: there were significant decreases in serum Hb of subjects between sports anemia and control group (female sports anemia group  $119.75 \pm 6.48$  mmol/l, female control  $134.40 \pm 6.74$  mmol/l, male sports anemia  $109.75 \pm 11.50$  mmol/l and male control  $144.00 \pm 7.04$  mmol/l,  $P < 0.01$ ). Whether or not considering gender, there were not significant difference between sports anemia group and control group in whole blood 2,3-DPG and erythrocyte 2,3-DPG. Conclusion: Experimental result of 2,3-DPG in whole blood and erythrocyte showed that the 2,3-DPG in sports anemia group was not significantly higher than that of control group. Therefore, it is not possible to study the mechanism of sports anemia based only on the right shift in the oxygen dissociation curve of hemoglobin.

**Key words:** sports anemia; 2,3-diphosphoglycerate (2,3-DPG); erythrocyte

中图分类号:G804.7 文献标识码:A

2,3-二磷酸甘油酸(2,3-DPG)是红细胞糖酵解过程的中间产物之一。研究证实RBC中2,3-DPG是调节血红蛋白和氧亲和力的重要因素,它可使氧解离曲线右移,特别是当血液通过组织时RBC中的2,3-DPG就会显著增加氧的释放以供给组织氧代谢需要;在缺氧的情况下,人体即可通过RBC中2,3-DPG浓度的改变来调节组织的获氧量<sup>[1,3,4]</sup>。尽管诸多学者支持大运动量训练之后血液和红细胞中2,3-DPG浓度呈上升趋势的观点,运动训练对血液和红细胞2,3-DPG浓度的影响仍存在着争议。Hasibeder等<sup>[5]</sup>对12名优秀游泳运动员的血红蛋白和2,3-DPG进行了为期6周的实验研究,发现高强度的游泳训练可以升高2,3-DPG水平,但随着负荷的降低其水平也有下降的趋势。运动性贫血与2,3-DPG水平关系的研究仍然不

收稿日期:2008-10-13; 修订日期:2009-02-11

基金项目:国家自然科学基金(30270642),国家科技部奥运攻关基金(2002BA904B04-4)。

作者简介:赵杰修(1975-),男,山东人,副研究员,博士,主要研究方向为运动员机能提高的方法研究, Tel: (010) 87182523, E-mail: zhaojieshiu@yahoo.com.cn; 田野(1959-),男,山东人,教授,博士,主要研究方向为运动员疲劳恢复与健身方法;曹建民(1961-),男,吉林人,教授,博士,主要研究方向为运动员机能提高的方法。

作者单位:1. 国家体育总局体育科学研究所,北京 100061;2. 北京体育大学运动人体科学学院,北京 100084;3. 武汉体育学院 人体运动科学系,湖北 武汉 430079  
1. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China;  
2. Beijing Sport University, Beijing 100084, China;  
3. Wuhan Institute of Physical Education, Wuhan 430079, China

成熟,在运动性血红蛋白变化时 2,3-DPG 是否随之发生改变,2,3-DPG 水平的变化是运动性贫血的原因还是表现结果未能给出合理的解释。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象与分组

国家跆拳道青年队运动员 8 名和北京石景山运动技术学校中长跑运动员 20 名作为研究对象,年龄 12 岁~17 岁。所有研究对象均无肝、肾及内分泌疾病史,未服用过影响红细胞代谢的药物。根据运动员的性别和血红蛋白指标结果分为女性贫血组、女性对照组、男性贫血组和男性对照组(表 1)。

### 1.2 取样时间和方法

首先,在安静状态时对两队的运动员进行一次血红蛋白水平普查测试,方法为氰化高铁血红蛋白比色法(HiCN),结合运动员的身体健康状况,初步选取研究对象。运动员在清晨、空腹条件下肘静脉取血约 1 ml 入抗凝管,准备进行 2,3-DPG 测定。

表 1 本研究对象基本指标一览表

Table 1 Results of Basic Indexes in Subjects

组别 Group	n	年龄(岁) Age	体重(kg) Weight
女性对照组 Female control group	10	15.1±1.7	54.6±6.7
女性贫血组 Female sports anemia group	8	14.6±1.2	56.8±4.9
男性对照组 Male control group	6	14.6±2.0	63.1±5.3
男性贫血组 Male sports anemia group	4	14.8±1.1	61.2±8.1

### 1.3 2,3-DPG 指标测试方法

采用 2,3-DPG 试剂盒(试剂盒购自德国 Roche 公司),具体操作步骤依据说明书要求进行。

1. 除蛋白:取 1 ml 静脉血放入肝素化抗凝管中,加 0.6 N 高氯酸 5 ml 充分混匀,离心 10 min 后取上清液 4 ml 再加入 2.5 M K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.5 ml 混匀,冰浴 30 min 后以 4 000 转/min 速度离心 10 min,取 0.1 ml 作为检测样品。

2. 测定吸光度:取试剂盒的反应液与检测样品混匀,在紫外分光光度计  $\lambda=340$  nm 条件进行吸光度测定。反应液的成分和加入时间不同分别测定出吸光度 E<sub>1</sub> 和 E<sub>2</sub>(仪器为 Beckman Du 7400 Spectrophotometer)。

3. 结果计算: $\Delta E=(E_2-E_1)$  样品 - (E<sub>2</sub>-E<sub>1</sub>) 对照;全血 2,3-DPG(mmol/l)=11.70× $\Delta E_{340\text{nm}}$ ;红细胞 2,3-DPG(mmol/l)=11.70× $\Delta E_{340\text{nm}}\times 100/\text{Hct}$ 。

### 1.4 数据统计学处理方法

实验数据采用 SPSS 统计学软件包进行 one-way ANOVA 检验,显著性水平为  $P<0.05$ ,非常显著性水平为  $P<0.01$ 。实验数据由平均数±标准差表示。

## 2 实验结果

### 2.1 运动性贫血组和对照组血红蛋白水平的比较

女性贫血组与女性对照组比较,血红蛋白水平表现出显著性下降的特点( $P<0.01$ );并且,男性贫血组与男性对照组比较,血红蛋白水平表现出显著性下降的特点( $P<0.01$ )。

表 2 本研究运动性贫血组和对照组血红蛋白比较一览表

Table 2 Changes of Hemoglobin in Sports Anemia and Control Groups

	n	Hb(mmol/l) $\bar{X}\pm SD$
女性对照组 Female control group	10	134.40±6.74
女性贫血组 Female sports anemia group	8	119.75±6.48**
男性对照组 Male control group	6	144.00±7.04
男性贫血组 Male sports anemia group	4	109.75±11.50**

注:与同性别对照组相比, \*\*  $P<0.01$ 。

### 2.2 运动性贫血组和对照组 2,3-DPG 的比较

女性贫血组与女性对照组比较,全血 2,3-DPG 平均值前者稍低于后者而无统计学显著性,红细胞 2,3-DPG 表现出同样的规律。男性贫血组与男性对照组比较,全血 2,3-DPG 平均值前者稍低于后者且无统计学显著性,红细胞 2,3-DPG 也具有同样的变化特点(表 3)。

表 3 本研究运动性贫血组和对照组 2,3-DPG 比较(分性别)一览表

Table 2 Changes of 2,3-DPG in Sports Anemia and Control Groups(Considering Gender)

	n	全血 2,3-DPG (mmol/l) $\bar{X}\pm SD$	红细胞 2,3-DPG (mmol/l) $\bar{X}\pm SD$
女性对照组 Female control group	10	2.10±0.44	5.09±1.05
女性贫血组 Female sports anemia group	8	1.83±0.33	4.76±0.79
男性对照组 Male control group	6	2.09±0.49	4.88±1.29
男性贫血组 Male sports anemia group	4	1.53±0.54	4.44±1.75

### 2.3 运动性贫血组和对照组 2,3-DPG 的比较(不分性别)

运动性贫血组和对照组不分性别的比较结果与分性别结果有所不同,全血 2,3-DPG 表现出贫血组显著低于对照组的特点( $P<0.05$ ),而红细胞 2,3-DPG 只是表现出贫血组低于后者的趋势(表 4)。

## 3 分析与讨论

众所周知,红细胞在体内担负着运输氧的功能,血红蛋白是运输氧的物质基础。2,3-DPG 可改变血红蛋白的分子构型而直接影响血氧亲和力,被公认是调节血氧亲和力的重要因素之一<sup>[9]</sup>。血红蛋白与氧亲和力受 pH 值、2,3-DPG 和温度的影响。其中,红细胞中 2,3-DPG 是红细胞糖酵解代谢的中间产物,其浓度的高低是调节血红蛋白与氧亲和力的重要因素之一。Benesch 等<sup>[4]</sup>证明了红细胞中 2,3-DPG 与血红蛋白是等摩尔相结合,说明红细胞中

2,3-DPG 可以降低血红蛋白对氧的亲和力。当血液通过组织时,红细胞中 2,3-DPG 的存在能显著增加氧的释放以供组织的需要。在缺氧情况下,人体可以通过红细胞中 2,3-DPG 浓度的改变来调节组织的获氧量<sup>[2]</sup>。

表 4 本研究运动性贫血组和对照组

2,3-DPG 比较(不分性别)一览表

Table 4 Changes of 2,3-DPG in Sports Anemia and Control Groups(not Considering gender)

	n	全血 2,3-DPG (mmol/L)	红细胞 2,3-DPG (mmol/L)
对照组 Control group	16	2.10±0.45	5.01±1.11
贫血组 Sports anemia	12	1.73±0.41*	4.65±1.12

注:与对照组相比,\* P<0.05。

人体血液内 2,3-DPG 的水平与运动存在着一定的关联性,多数研究报告无氧运动后首先表现出 2,3-DPG 下降,然后表现出上升的特点,其原因为无氧运动使机体内血乳酸堆积和儿茶酚胺水平的上升抑制了作为糖酵解中间产物 2,3-DPG 的产生;但是,有氧运动后机体血液 2,3-DPG 水平既有上升的报道也有下降的报道。Meen 等<sup>[10]</sup>研究认为,短时间的无氧运动(平均血乳酸大约 12.7 mM)和长时间的有氧运动会引发 2,3-DPG 浓度在一定范围的升高,该趋势可以持续数小时。并且,此规律与运动种类也存在一定的关系,一次短时间、高强度运动结束 30 min 后会观察到 2,3-DPG 升高 8% 的现象,而间隔时间为 1 h 的两次训练结束 30 min 后会观察到升高 12% 的现象。剧烈运动后 2,3-DPG 水平的升高一方面表现出氧的解离曲线右移、促进氧的释放以供组织需求;另一方面,机体表现出反馈性抑制,即血红蛋白和红细胞的生成速率相对减少或破坏速度相对增加,缓和过多的氧释放入组织和器官。Brown 等<sup>[6]</sup>通过综述运动与 2,3-DPG 研究文献认为,最大强度的运动和超最大强度的运动能够刺激 2,3-DPG 水平或多或少的上升,而恒定强度(steady-state)的有氧运动并非是 2,3-DPG 产生的刺激因素。本研究结果与以前多数研究结果相反,运动后全血 2,3-DPG 水平显著下降而红细胞内水平无显著变化,这可能与运动强度和运动后采血的时间有关系。并且,此结论与现有关于运动性贫血发生的 2,3-DPG 假说观点不一致。Hallberg 等<sup>[7]</sup>提出自身适应假说以解释运动员血红蛋白浓度偏低的现象,认为每天持续几小时的高强度耐力训练会使红细胞内 2,3-DPG 浓度增加,氧传导能力的增强使运动员机体得到一种错误信息,误以为血氧传递能力的增强是由于血液中血红蛋白水平升高所致,因此,机体下丘脑-垂体-肾上腺轴调节促红细胞生成素(EPO)分泌相对减少,血红蛋白和红细胞的合成水平降低,外周血液中红细胞压积和血红蛋白浓度被控制在正常偏低水平或低于正常水平。长期耐力性项目运动易引发运动性贫血和运动性溶血,而后者作为红细胞破坏的现象又可以提高红细胞生成速率和红细胞 2,3-DPG

水平<sup>[5]</sup>。本实验结果中,2,3-DPG 水平的下降可能是运动性贫血的影响后果和表现特点。在生理上,2,3-DPG 作为红细胞供氧机器的细调节,当 2,3-DPG 在红细胞中含量降低时,Hb 会升高,Hb 降低时,2,3-DPG 水平会升高,运动性贫血发生后机体为了调节 Hb 水平恢复至正常水平或维持良好的身体机能状态,调节 2,3-DPG 水平下降以进一步改善贫血的状况。此研究结果与 Hasibeder 等<sup>[8]</sup>研究结果稍有差异,Hasibeder 等对 12 名优秀游泳运动员进行为期 6 周的实验研究,在实验前期、实验中期和实验后期进行了 3×50 m 的测试比赛,结果发现,安静时 2,3-DPG 水平表现出随着运动强度升高的特点(升高 0.82 mmol/l RBC),但随后 3 周表现出下降的趋势,而血红蛋白水平随着运动强度升高出现下降的特点,认为运动强度、2,3-DPG 和运动性贫血之间存在着密切的相关。本研究结果提示,从血液中氧分离曲线右移的适应性角度探讨运动性贫血的发生机理是不可行的。

#### 4 小结

全血和红细胞 2,3-DPG 的研究结果显示,运动性贫血运动员不比正常对照运动员具有更高的 2,3-DPG 水平,说明从氧分离曲线右移的适应性角度探讨运动性贫血的发生机理是不可行的。

#### 参考文献:

- [1] 加比,梅尔登. 血液呼吸功能[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [2] 吕永达,李开兴,尹昭云. 高原医学与生理学[M]. 天津:天津科技翻译出版公司,1995:145-149.
- [3] 杨伟宗,马蔚芸. 麦芽醇对红细胞 2,3-二磷酸甘油酸保护作用的实验研究[J]. 临床检验杂志,1996,14(2):78.
- [4] BENESCH R, BENESCH R E, YU C L. Reciprocal binding of oxygen and diphosphoglycerate by human hemoglobin [J]. PNAS, 1968,59:52.
- [5] BRODTHAGEN U, HANSEN K U, KUNDSEN J B, et al. Red cell 2,3-DPG, ATP and mean cell volume in highly trained athletes[J]. Eur J Appl Physiol, 1985,53:334-338.
- [6] BROWN S P, KEITH W B. The effects of acute exercise on levels of erythrocyte 2,3-bisphosphoglycerate: A brief review[J]. J Sport Sci, 1993,11:479-484.
- [7] HALLBERG L, MANGNUSSON B. The etiology of "sports anemia" [J]. Acta Med Scand, 1984,216(2):147-148.
- [8] HASIBEDER W, SCHOBERSBERGER W, MAIRBAURL H. Red cell oxygen transport before and after short-term maximal swimming in dependence on training status[J]. Int J Sport Med, 1987,8(2):105-108.
- [9] KAY F R. 2,3-diphosphoglycerate, blood oxygen dissociation and the biology of mammals[J]. Comp Bioche Physiol, 1977,57: 309.
- [10] MEEN H D, HOLTER P H, REFSUM H E. Changes in 2,3-diphosphoglycerate (2,3-DPG) after exercise[J]. Eur J Appl Physiol, 1981,46:177-184.