

# 大负荷跑台训练对大鼠血液流变学的影响

王海涛, 刘玉倩, 赵焕彬, 刘建国

(河北师范大学 体育学院, 河北 石家庄 050016)

**摘 要:** 研究大负荷跑台训练对大鼠红细胞的影响, 阐明运动性低血色素大鼠血液流变学的变化。12 只雄性 Wistar 大鼠随机分为对照组(CG)和运动性低血色素组(SG)。于运动后 5 周取材, 用血液流变仪测定血液流变学指标, 用血涂片观察红细胞形态学指标。结果显示: 运动性低血色素组全血黏度和还原黏度均显著低于对照组( $P<0.01$ ), 而红细胞刚性指数显著高于对照组( $P<0.01$ )。血浆黏度两组间无明显差异。血涂片显示运动性低血色素组有较多红细胞碎片。这说明红细胞数量降低和红细胞变形能力下降是引发运动性低血色素的重要原因。

**关 键 词:** 运动生化学; 运动性低血色素; 血液流变学; 大鼠

中图分类号: G804.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2010)02-0115-04

## Hemorheological effects of heavy load treadmill training on rats

WANG Hai-tao, LIU Yu-qian, ZHAO Huan-bin, LIU Jian-guo

(School of Physical Education, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China)

**Abstract:** The authors studied the effects of heavy load treadmill training on the erythrocytes of rats, and specified hemoreheological changes of rates with kinetic hypochrosis. The authors randomly divided 12 male Wistar rats into a control group and a kinetic hypochrosis group. After 5 weeks of training, the authors took samples, measured hemoreheological indexes of the rats by using a hemoreheological instrument, observed the morphological indexes of erythrocytes by using blood smears, and revealed the following findings: the whole blood viscosity and reduced viscosity of the rats in the kinetic hypochrosis group are all significantly lower than the same of the rats in the control group ( $P<0.01$ ), while the erythrocyte rigidity index of the rats in the kinetic hypochrosis group is significantly higher than the same of the rats in the control group; there is no significant difference in blood plasma between the rats in the two groups; blood smears indicate that there are more erythrocyte fragments in the rats in the kinetic hypochrosis group. The findings indicate that the decrease of the number of erythrocytes and the deterioration of the deformation ability of erythrocytes are important causes for triggering kinetic hypochrosis.

**Key words:** sports biochemistry; kinetic hypochrosis; hemorheology; rat

在周期性耐力运动中线粒体有氧化产生 ATP 为主要供能方式, 这需要有充足的血红蛋白和红细胞参与氧的运输及其他代谢产物的运送。然而营养学研究表明运动员中仍存在运动性低血色素的状况<sup>[1-2]</sup>, 这会影 响机体运送氧的能力, 进而影响有氧代谢及运动成绩。血液流变学是研究血液及其成分的流动性和变形性规律的科学, 机体血液流变学的变化与血液运氧能力密切相关<sup>[3]</sup>, 因此本研究探讨长期大强度跑台运

动所致的运动性低血色素大鼠血液流变学指标的特点, 为合理进行体育运动, 有效监测运动强度, 防治运动性低血色素提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物及运动模型

雄性 Wistar 大鼠 12 只, 体重( $300 \pm 10$ ) g, 购自河北医科大学动物养殖中心, 选用国家标准啮齿类动物

收稿日期: 2009-09-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30700390)。

作者简介: 王海涛 (1973-), 男, 高级实验师, 博士, 研究方向: 运动与铁代谢。

干饲料喂养,自由饮水。环境温度 22~24 ℃,相对湿度为 45%~55%。随机分为对照组(control group, CG)和运动性低色素组(Sports hypochrosis group, SG)每组 6 只。对照组大鼠不运动,运动性低色素组递增负荷跑台训练:跑台坡度为 0°,速度为 30 m/min,每周训练 6 d,前 2 周每天训练 1 次,后 3 周每天早晚各 1 次。第 1 次训练时间为 1 min,之后每次训练时间增加 2 min,最后 1 次训练时间为 95 min<sup>[4]</sup>。运动性低色素组体重在第 3 周开始下降,到第 5 周末体重与对照组相比下降了 19.18%( $P<0.01$ )。经过 5 周的跑台训练,运动性低色素组大鼠红细胞(RBC)、血红蛋白(Hb)和红细胞压积(Hct)与对照组比较分别下降了 32.39%、32.05%和 21.30%( $P<0.01$ ),说明长时间大负荷跑台运动后大鼠出现了运动性低色素,造模成功<sup>[5]</sup>。

### 1.2 取材

末次运动后 36 h 取材,以消除急性运动的影响。取材前禁食 16 h,降低肝糖元。大鼠称重后用质量分数 0.4%戊巴比妥钠麻醉(0.01 mL/g),右心房取血,注入肝素管,待测。

### 1.3 血液流变学指标测定

取抗凝血 4 mL,用悬丝血液流变仪(BV-100)测定不同切变率下的全血黏度、血浆黏度、全血还原黏度、红细胞刚性指数和红细胞聚集指数等血液流变学指标。

### 1.4 血涂片

取 3  $\mu$ L 抗凝血滴于载玻片一侧,用盖玻片与血

液相接触后拉成涂片,将瑞氏(Wright)染液滴满血膜染色区,染色 2~3 min,显微镜(Olympus)下观察。

### 1.5 数据统计

数据采用 SPSS11.5 进行独立样本  $t$  检验。

## 2 实验结果

### 2.1 大负荷跑台训练对大鼠血液流变学的影响

运动性低色素组大鼠 Hb 和红细胞压积显著低于对照组( $P<0.01$ ),而红细胞分布宽度显著高于对照组( $P<0.01$ )。运动性低色素组大鼠在 1.0、3.0、10.0、30.0 和 180.0  $s^{-1}$  5 个切变率下的全血黏度均显著低于对照组( $P<0.01$ )。运动性低色素组与对照组间血浆黏度的差异不具有统计学意义。运动性低色素组大鼠在 1.0、3.0、10.0、30.0  $s^{-1}$  4 个切变率下的全血还原黏度均显著低于对照组,而运动性低色素组与对照组间在 180.0  $s^{-1}$  切变率下全血还原黏度的差异不具有统计学意义。运动性低色素组大鼠的红细胞刚性指数高于对照组( $P<0.01$ ),红细胞聚集指数显著低于对照组( $P<0.01$ )(表 1)。

### 2.2 大负荷跑台训练对大鼠红细胞形态的影响

血涂片结果显示,对照组红细胞呈粉红色,边界清晰,细胞折光性好(图 1)。运动性低色素组红细胞边界模糊,有红细胞碎片,折光性差,红细胞大小不均一(图 2),这与血常规检测中红细胞分布宽度增加是一致的。

表 1 大负荷跑台训练对大鼠血液流变学指标 ( $\bar{x} \pm s$ ) 的影响

组别	n/只	$\rho$ (Hb) /( $g \cdot L^{-1}$ )	Hct/%	RDW/%	全血黏度/(mPa·s)				
					1.0 $s^{-1}$	3.0 $s^{-1}$	10.0 $s^{-1}$	30.0 $s^{-1}$	180.0 $s^{-1}$
CG	6	152.56 $\pm$ 5.46	45.11 $\pm$ 3.18	11.67 $\pm$ 0.25	20.13 $\pm$ 4.79	14.46 $\pm$ 2.71	9.71 $\pm$ 1.47	6.70 $\pm$ 0.92	4.10 $\pm$ 0.32
SG	6	103.67 $\pm$ 14.49 <sup>2)</sup>	35.50 $\pm$ 4.10 <sup>2)</sup>	16.27 $\pm$ 1.21 <sup>2)</sup>	10.22 $\pm$ 2.58 <sup>2)</sup>	8.27 $\pm$ 1.85 <sup>2)</sup>	6.01 $\pm$ 1.15 <sup>2)</sup>	4.66 $\pm$ 0.81 <sup>2)</sup>	3.33 $\pm$ 0.29 <sup>2)</sup>

组别	n/只	血浆黏度 (mPa·s)	全血还原黏度/(mPa·s)					红细胞感 性指数	红细胞聚 集指数
			1.0 $s^{-1}$	3.0 $s^{-1}$	10.0 $s^{-1}$	30.0 $s^{-1}$	180.0 $s^{-1}$		
CG	6	1.27 $\pm$ 0.08	29.52 $\pm$ 6.03	20.70 $\pm$ 3.35	13.25 $\pm$ 1.78	8.54 $\pm$ 1.07	4.46 $\pm$ 0.42	0.75 $\pm$ 0.04	15.82 $\pm$ 3.44
SG	6	1.33 $\pm$ 0.05	18.74 $\pm$ 4.13 <sup>2)</sup>	14.62 $\pm$ 2.51 <sup>2)</sup>	9.88 $\pm$ 1.67 <sup>2)</sup>	7.02 $\pm$ 1.13 <sup>1)</sup>	4.27 $\pm$ 0.47	0.87 $\pm$ 0.05 <sup>2)</sup>	7.74 $\pm$ 2.11 <sup>2)</sup>

1)与对照组比较  $P<0.05$ ; 2)与对照组比较  $P<0.01$

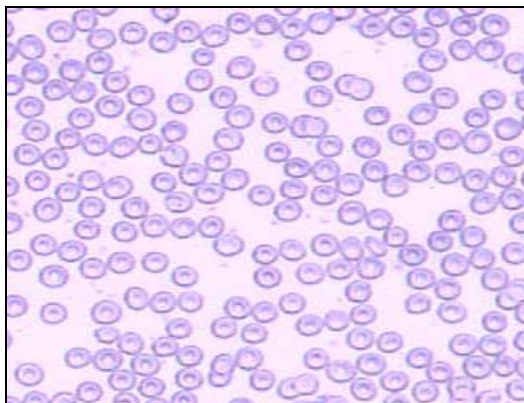


图 1 对照组血涂片 (20 $\times$ )

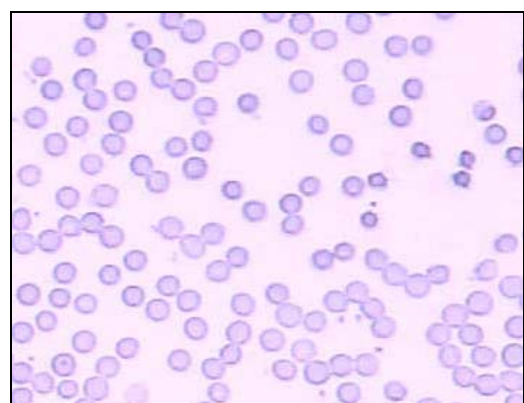


图 2 运动性低色素组血涂片 (20 $\times$ )

### 3 讨论

5周的大负荷跑台训练后,大鼠出现运动性低色素,全血黏度在各个切变率下均显著降低。血液属于非牛顿流体,全血黏度受剪切率、红细胞压积、红细胞聚集、红细胞变形性和血浆黏度等因素的影响,其中红细胞压积是影响血液黏度最主要的因素,红细胞压积越高血液黏度越大<sup>[6]</sup>。红细胞上的血红蛋白不断把氧运送到运动中功能活跃的组织 and 器官,使线粒体通过有氧氧化产生大量ATP,以供运动所需,血红蛋白质量浓度与运动能力呈正比,血红蛋白降低会使机体的运氧能力显著下降,使机体在运动中不能充分利用有氧氧化产生充足ATP,导致机体运动能力下降。同时,降低的血红蛋白不能把机体代谢产生的CO<sub>2</sub>通过血液循环尽快运出,易导致局部酸性物质堆积,诱发运动性疲劳。5周的大负荷跑台训练使大鼠红细胞聚集性降低。红细胞聚集状态受血浆大分子桥联力、细胞表面静电排斥和流场剪切应力等因素的影响。红细胞聚集主要影响低剪切率下的全血黏度,红细胞聚集降低时,低剪切率下全血黏度下降。本研究大负荷跑台训练使红细胞数量减少、红细胞压积显著降低、红细胞聚集性降低,导致全血黏度降低,机体产生了运动性低色素,运动能力下降。关于运动引起的全血黏度变化及其对机体的作用还有一些不同的报道。Immanuel等<sup>[7]</sup>研究表明40~60岁受试者长时间中等强度有氧训练可以使全血黏度降低,而血浆黏度不变、红细胞数量变化不明显,这会降低发生冠心病的风险。说明不同的运动强度对全血黏度的影响机制存在差异,不能单纯地通过全血黏度变化来评价运动对机体的影响,而应与红细胞数量、血红蛋白浓度等指标综合分析。

5周的大负荷跑台训练使大鼠红细胞变形能力显著低于对照组。红细胞变形性是指红细胞能通过直径较小的微血管的能力,其影响因素有红细胞内黏度、红细胞的几何形状和红细胞膜的黏弹性。红细胞变形能力降低,使红细胞通过毛细血管能力下降,影响红细胞与组织间的物质交换,导致微循环障碍、供血供氧不足<sup>[8]</sup>。变形性低下的红细胞还易被网状内皮系统清除,而且大负荷运动使大鼠体内自由基产生数量大幅增加,引起细胞膜脂质过氧化损伤,红细胞寿命缩短,导致体内红细胞数量、血红蛋白含量和红细胞压积降低<sup>[5,9]</sup>,从而引发运动性低色素。Brzeszczynska等<sup>[10]</sup>研究发现过度运动降低红细胞膜的流动性,加剧膜蛋白质构象改变。本实验中血涂片显示有较多的红细胞碎片,这与其变形能力下降有关。此外,本研究的相关实验表明运动性低色素组红细胞膜上的MDA明

显增加。同时长时间大强度运动往往会降低大鼠红细胞的Na<sup>+</sup>K<sup>+</sup>-ATPase和Ca<sup>2+</sup>-ATPase活性<sup>[9]</sup>。ATP酶活性下降会影响红细胞膜的离子转运,细胞不能顺利地建立细胞内外离子梯度,使细胞内渗透压发生改变,导致红细胞膜变形能力下降,造成溶血,加剧运动性低色素的程度。全血还原黏度代表红细胞自身流变性质变化对血液黏度的影响<sup>[11]</sup>,本研究表明5周大负荷跑台训练后运动性低色素组红细胞变形性降低导致低切变率下的全血还原黏度降低。最近Cakir-Atabek等<sup>[12]</sup>的研究表明以70%的一次重复最大值(one-repetition maximum, 1-RM)进行6周抗阻训练对青年男性受试者红细胞变形能力的影响好于85%1-RM,说明运动强度和持续时间不同对红细胞变形性影响效果有一定的差异。

运动性低色素组与对照组间血浆黏度的差异不具有统计学意义。血浆属于牛顿流体,血浆蛋白的含量、分子的形状和大小是影响血浆黏度的主要因素,血浆蛋白的含量越高,血浆的黏度越高。链状蛋白分子比球形分子影响大,因此纤维蛋白原对血浆黏度的影响最大。实验结果说明长时间大负荷跑台训练大鼠血浆蛋白,尤其是纤维蛋白原的变化,不足以影响血浆的黏度。而研究表明短时大强度运动(110% VO<sub>2max</sub>, 运动1 min)使全血黏度、血浆黏度和红细胞压积增加<sup>[13]</sup>,说明血液流变学指标受运动强度及持续时间的影响。

### 参考文献:

- [1] 常翠青,陈志民,刘晓鹏,等. 中国优秀运动员的营养状况[J]. 营养学报, 2005, 27(5): 370-373.
- [2] 王海涛,刘玉倩,刘建国,等. 骨骼肌细胞铁代谢的研究进展[J]. 体育学刊, 2009, 16(3): 96-100.
- [3] Connes p, Tripette J, Mukisi-Mukaza M, et al. Relationships between hemodynamic, hemorheological and metabolic responses during exercise[J]. Biorheology, 2009, 46(2): 133-143.
- [4] 赵杰修,田野,曹建民,等. 不同运动方式对大鼠血红蛋白浓度的影响——大鼠运动性贫血模型建立方法探讨[J]. 中国运动医学杂志, 2004, 23(4): 436-440.
- [5] 刘玉倩,王海涛,赵斌,等. 不同强度运动对大鼠肝 hepcidin mRNA 表达和血清 IL-6、铜蓝蛋白(CP)含量的影响[J]. 体育科学, 2009, 29(5): 66-69.
- [6] 卢文彪,徐晓阳. 体育课中大学生补液对血液流变学的影响[J]. 体育学刊, 2007, 14(1): 60-64.
- [7] Immanuel S, Bororing S R, Dharma R S. The effect of aerobic exercise on blood and plasma viscosity on cardiac health club participants[J]. Acta Med Indones,

2006, 38(4): 185-188.

[8] Monchanin G, Connes P, Wouassi D, et al. Hemorheology, sickle cell trait, and alpha-thalassemia in athletes: effects of exercise[J]. Med Sci Sports Exerc, 2005, 37(7): 1086-1092.

[9] 张琳, 武胜奇, 能正英, 等. 白藜芦醇对运动大鼠红细胞膜抗氧化能力、ATP 酶活性和血浆 NO 的影响[J]. 体育学刊, 2008, 15(3): 101-104.

[10] Brzezczynska J, Pieniazek A, Gwozdziński L, et al. Structural alterations of erythrocyte membrane components induced by exhaustive exercise[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 2008, 33(6): 1223-1231.

[11] Nemeth N, Alexy T, Furka A, et al. Inter-species differences in hematocrit to blood viscosity ratio[J]. Biorheology, 2009, 46(2): 155-165.

[12] Cakir-Atabek H, Atsak P, Gunduz N, et al. Effects of resistance training intensity on deformability and aggregation of red blood cells[J]. Clin Hemorheol Microcirc, 2009, 41(4): 251-261.

[13] Connes P, Sara F, Hardy-Dessources M D, et al. Effects of short supramaximal exercise on hemorheology in sickle cell trait carriers[J]. Eur J Appl Physiol, 2006, 97(2): 143-150.

### 三家权威评刊机构共认的体育核心期刊

国内人文社会科学三家权威评刊机构(北京大学、中国社会科学院、南京大学所属相关机构)2009 年评定出共认的核心期刊(含 CSSCI 来源刊)342 种, 这些期刊是三家评价系统从不同角度评选出的, 是优质学术期刊的精华, 代表着公信度较高的引领学术繁荣发展的优秀期刊。《体育科学》、《体育与科学》、《体育学刊》等 9 种体育科技期刊, 同时被三家机构认定为核心期刊。

以下是名冠三家的体育类核心期刊:

序号	刊名	主办单位
1	体育科学	中国体育科学学会
2	体育与科学	江苏省体育科学研究所
3	中国体育科技	国家体育总局体育科学研究所
4	北京体育大学学报	北京体育大学
5	体育学刊	华南理工大学, 华南师范大学
6	成都体育学院学报	成都体育学院
7	上海体育学院学报	上海体育学院
8	武汉体育学院学报	武汉体育学院
9	天津体育学院学报	天津体育学院