

训练和停训对大鼠红细胞变形能力的影响*

崔振海¹, 曾 明²

(1. 盐城工学院 体育部, 江苏 盐城 224003; 2. 上海体育学院, 上海 200433)

摘 要:通过大强度训练及停训后大鼠红细胞变形能力 RCD (Red Cell Deformability) 在 1.0% NaCl 溶液中的动态观察, 探讨停训后运动能力与 RCD 的变化, 为科学地安排停训后的训练及其比赛提供理论参考依据。通过研究获得以下结果: 1. RCD 对运动训练能产生适应性变化; 2. RCD 的适应性变化并不持久。

关键词:大鼠 RCD; 训练; 停训

分类号:G804

文献标识码:A

文章编号:1008-5092(2000)03-0045-05

红细胞变形能力 RCD (Red Cell Deformability) 是指红细胞在外力作用下改变形态, 通过比自身直径更小的毛细血管的能力。它是红细胞的一个重要特征, 在决定血液的流动性、红细胞寿命以及微循环的有效灌注等方面起着十分重要的作用。

无论在临床医学和基础医学, 还是在体育运动的理论研究或在运动训练实践中, RCD 的重要性越来越受到人们的重视。在运动训练领域, 已有一些学者就 RCD 对运动能力的影响进行了初步研究, 表明 RCD 下降将导致运动能力降低。但现有的文献资料主要研究一次运动过程中影响 RCD 的因素, 就长期运动训练及停训对 RCD 的影响则报道较少。

本文在前人研究结果的基础上重点探讨训练和停训对大鼠 RCD 的适应性变化及其可能的变化机制。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

雄性 Sprague-Dawley (S.D) 大鼠 48 只, 体重为 180~200 g。由上海西普尔-必凯实验动物有限公司提供。常规饲料喂养, 自由饮水, 生活环境温度 (22±3) °C, 每天光照时间 12 h。

1.2 研究方法

1.2.1 实验仪器

DXC-400 型核孔滤膜 RCD 测定仪, 上海医科大学仪器厂生产。

循环流动水大鼠游泳水池^[1], 上海体育学院康复教研室自行设计(见图 1)。

其主要工作原理: 水面的落差作为水恒速流动的动力源。水自然溢出控制水面高度。

循环水的流动路线如下: 游泳池②内水从固定挡板 a 上自然溢出到溢水池①, 溢水池①④互相连通, 水经水泵 z 到蓄水池③, 由于蓄水池③水面与游泳池②水面存在落差, 水从喷水缝 x 水平喷出, 多余部份从活动挡板 d 上溢出至溢水池④。

固定挡板 a 的高度决定游泳池②水的深度, 一般 40~50 cm。

活动挡板 d 上下连续可调, 以调节蓄水池③水面的高度。

游泳池②内的水平流水遇到斜挡板 b, 水流顺板向下, 防止大鼠漂浮。

喷水缝 x 上下间隙 1 mm, 距游泳池②水面以下 1 cm。若蓄水池③与游泳池②水面落差为 ΔH , 由流体力学帕努利方程可得: 喷水缝水流速:

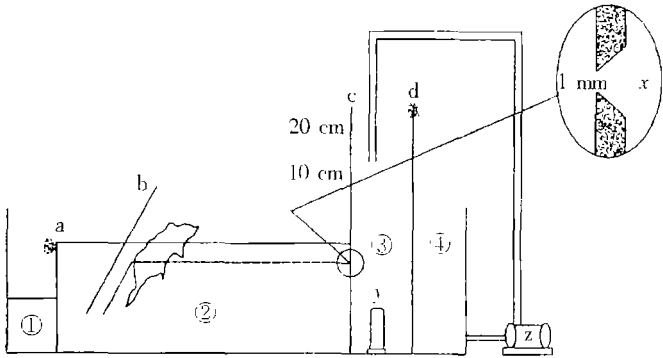
$$V = \sqrt{2G\Delta H} (G = 9.8 \text{ m/s}^2)$$

温度调节器以保持水温恒定。

1.2.2 动物的分组

* 收稿日期: 2000-01-19

作者简介: 崔振海(1966-), 男, 江苏建湖县人, 盐城工学院讲师。



a 固定挡板; b 斜挡板; c 刻度挡板; d 活动挡板; x 喷水缝; y 水温调节器;
z 水泵; ①④互相连通的溢水池; ②游泳池; ③蓄水池

图 1 循环流动水大鼠游泳水池示意图

Fig.1 Illustration of a circulating pool for rats

将实验用的大鼠在动物室适应性喂养 1 周后,按体重随机分为两组:对照组(CG)24 只,训练组(TG)24 只,训练周期为 6 周。6 周以后,再将训练组 16 只停训,成为停训组(DG),周期为 4 周。期间每天记录进食量,并观察大鼠在游泳前后的表现,每周称一次体重。

1.2.3 动物的训练

除对照组(CG)24 只常规喂养外,训练组(TG)、停训组(DG)共 24 只大鼠均进行 6 周的游泳训练。训练安排如表 1 所示。

表 1 TG、DG 6 周训练计划

Table 1 TG、DG six-week training program

周数	训练时间/min	训练强度/m/s
1	30	1.4
2	30	1.6
3	35	1.6
4	30	1.8
5	30	1.8
6	35	1.8

1.2.4 动物的处死时机、方法及取材

动物的处死时机分别为第 6 周、第 8 周、第 10 周最后一次训练后 30 h,安静状态下称重后将大鼠迅速断头处死,同时用肝素处理过的小烧杯采血 5 mL。

取材具体安排如表 2 所示:

表 2 CG、TG、DG 的取材安排

Table 2 Arrangements of materials of CG、TG、DG

时间	组别	数量	备注
第 6 周末	CG、TG	16	
第 8 周末	CG、DG	16	每组各 8 只
第 10 周末	CG、DG	16	

1.2.5 RCD 测定

采用 DXC-400 型核孔滤膜 RCD 测定仪,测定方法参见文献^[2,3],以滤过指数 IF 值为评价 RCD 大小的指标,其具体定义和计算方法如下:

$$IF = (t_s - t_b) / t_b \times 1/H$$

其中: t_s 为红细胞悬浮液通过滤膜的时间

t_b 为不含红细胞的溶液的滤过时间

H 为红细胞悬浮液的压积(此处为 5%)

通过测定得出的 IF 值越大,说明 RCD 越差。在实验中所用的滤膜为美国进口的聚碳酸酯膜,均为新膜。膜厚 10 μm ,孔径 5 μm ,孔密度 4×10^5 目/ cm^2 ,采用的负压为 1.9614 kPa(20 cmH_2O),最大切变应力为 25 Pa(2.5×10^2 dyn/ cm^2),时间精确到 0.1 s。

1.2.6 数据处理

本论文各组数据均以均值及标准差($\pm$ SD)表示,数理统计采用国际通用统计软件 SPSS for windows 的单因素方差分析(one-way ANOVA),组间相互比较采用 LSD(least-significant difference)法检验^[4]。

2 实验结果

2.1 训练与自然增长对大鼠 RCD 的变化

通过表 3,可以看出在 1.0% 的 NaCl 溶液中对对照组(CG)IF 值明显高于训练组(TG)($P < 0.01$),而对照组之间无显著性差异($P > 0.05$),这说明 4 周自然增长过程对 RCD 无影响。

2.2 停训 2 周对大鼠 RCD 的变化

通过表 4,可以看出在 1.0% 的 NaCl 溶液中停训组(DG)IF 值明显高于训练组(TG)($P < 0.05$),对照组(CG)IF 值明显高于停训组(DG)(P

表3 TG、CG1、CG2、CG3组IF值均数($\bar{X} \pm SD$)的LSD检验

Table 3 IF Average testing of groups TG、CG1、CG2、CG3				
组别	$\bar{X} \pm SD$	TG	CG1	CG2
TG	0.252 ± 0.013			
CG1	0.326 ± 0.011	*	*	
CG2	0.329 ± 0.020	*	*	
CG3	0.329 ± 0.017	*	*	

注: * $P < 0.05$ * * $P < 0.01$

表4 TG、DG、CG2组IF值均数($\bar{X} \pm SD$)的LSD检验

Table 4 LSD testing of IF Average of groups TG、DG、CG2				
组别	$\bar{X} \pm SD$	TG	DG	
TG	0.252 ± 0.013			
DG	0.299 ± 0.024	*		
CG2	0.329 ± 0.020	*	*	*

注: * $P < 0.05$ * * $P < 0.01$

<0.05),这说明停训2周后训练组所获得的RCD的改善开始下降,但仍高于对照组RCD。

2.3 停训4周对大鼠RCD的变化

通过表5,可以看出在1.0%的NaCl溶液中停训组(DG)IF值明显高于训练组(TG)($P < 0.05$),停训组(DG)IF值与对照组(CG)无显著性差异($P < 0.05$),这说明停训4周后训练组所获得的RCD的改善进一步下降,并与对照组RCD无差异。

表5 TG、DG、CG3组IF值均数($\bar{X} \pm SD$)的LSD检验

Table 5 LSD testing of IF Average of groups TG、DG、CG3				
组别	$\bar{X} \pm SD$	TG	DG	
TG	0.252 ± 0.013			
DG	0.315 ± 0.017	*		
CG3	0.329 ± 0.017	*	*	

注: * $P < 0.05$ * * $P < 0.01$

3 分析与讨论

3.1 6周耐力训练对大鼠RCD的影响

从本实验结果可以得出:经过6周耐力训练后,训练组大鼠红细胞在1.0%NaCl溶液中IF值明显低于对照组(TG = 0.252 ± 0.013, CG1 = 0.326 ± 0.011),两者之间具有高度显著性差异($P < 0.01$)。这表明经过6周耐力训练可提高红细胞在高渗环境中的变形能力。此结果在以前也曾有过报道^[5,6]。

RCD主要由三个因素决定:细胞内粘度,细胞几何形状,细胞膜的流变性^[7,8]。其中细胞内粘度及几何形状与变形能力有更重要的意义^[9]。因此,6周耐力训练对提高RCD与以上因素有密切关系。

经过长时间系统的运动训练,尤其耐力性训练,血液出现机能性适应变化:血容量增加,并且血浆容量增加相对更多^[10]。在训练最初的10d,血容量增加完全以血浆容量增加为主,而红细胞容量并无明显增加^[11,12];训练4周至4个月,血浆容量和红细胞容量以几乎相同的比例增多^[13]。Astrand等曾报道,耐力训练可以使血容量增加8%,其中血浆容量增加相对较多,红细胞容量增加相对较少。Elite等也报道,耐力项目运动员红细胞容积增加15%,但血浆容量增加得更多^[14-16]。可见,血容量增加主要以血浆容量增加为主,血浆容量增加又以白蛋白总量增多为主。白蛋白总量增多,使血液胶体渗透压升高,促使更多的水分贮留在血液循环之中,血液相对稀送。同时,单位容积红细胞、血红蛋白量不高,红细胞压积减少,使得红细胞内粘度降低,变形能力提高,利于运动时机体的机能需要,使运动能力获得提高^[5]。此外,长期运动训练还使血粘度下降,血液的纤溶能力提高^[5,17,18]。训练水平高的运动员安静状态血粘度及纤维蛋白原的浓度在正常值的低限范围。陈春富等发现,全血比粘度和血浆纤维蛋白原与RCD均呈负相关。血粘度下降的最主要原因是长期运动使安静状态血浆容量增加相对较多,使血液相对稀释,而血液稀释除了使红细胞积压减少外,更重要的是大多数血浆不对称蛋弊质,例如纤维蛋白原也得到了稀释。血液中不对称蛋白质的浓度对血粘度影响最大,在这些蛋白质得到稀释后血粘度较容易出现下降^[20]。

目前,就运动后血液流变性和细胞流变性改变的发生机理而言,自由基损伤学说已渐被接受。其损伤机制为:运动中产生的脂质过氧化物MDA进入膜水相,与膜脂及膜蛋白上的NH2交联后形成Schiff's碱,此外磷脂的过氧化反应还使多不饱和脂肪酸残基的衍生物如烷的交联剂增加,这些直接降低膜磷脂含量及膜的流动性,使红细胞膜及细胞刚性化,变形能力下降。此外,膜磷脂的过氧化能改变多种膜蛋白的脂微环境,ATP合成减少,造成膜上收缩蛋白以二硫键形式自身交联成多聚体,再与其它骨架蛋白结合形成不可逆的大分子复合物,红细胞形成棘状,变形能力下降;同时ATP减少使红细胞内失钾而钠量增加,水分进入细胞内使其变成球形,使红细胞变形与表面积比值增大,RCD也下降^[21]。另外,红细胞膜脂质过氧化还可改变膜的离子通透性,作为调节细胞

内能量转换的主要离子 Ca^{2+} 大量进入细胞,出现钙反常,使细胞磷酸化解偶联,ATP 产生下降,膜变僵硬,RCD 显著降低^[21-23]。耐力训练可提高红细胞膜抗自由基物质,如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)等抗氧化酶的含量和活性增强,红细胞抵御超氧自由基的能力提高,从而提高红细胞膜的流动性,增强 RCD^[16,24]。就其机制而言,长期运动锻炼加快了对衰老红细胞的淘汰,代替以更年轻的红细胞,降低了红细胞膜的刚性,增加了膜的弹性^[25]。Banter 报道,经过 9 周游泳训练的大鼠血液 SOD, CAT 和 GSH-PX 活性增加^[26]。曹国华报道,国家队运动员红细胞 SOD 和 GSH-PX 活力高于大学生运动员^[27]。

3.2 停训 2~4 周对大鼠 RCD 的影响

在本研究中,可以注意到在停训 2 周后,大鼠红细胞在 1.0%NaCl 溶液中 IF 值明显高于停训前($\text{TG} = 0.252 \pm 0.013$, $\text{DG} = 0.2999 \pm 0.024$),且两者之间具有显著性差异($P < 0.05$);但仍低于对照组红细胞($\text{DG} = 0.2999 \pm 0.024$, $\text{CG2} = 0.329 \pm 0.020$),两者之间也具有显著性差异($P < 0.05$)。这表明停训 2 周后训练组大鼠所获得的 RCD 的改善开始下降,但仍比对照组大鼠 RCD 强。随着停训时间延长至 4 周时,可以发现:训练组大鼠所获得 RCD 的改善进一步下降,并与对照组 RCD 无显著性差异($\text{DG} = 0.315 \pm 0.017$, $\text{CG3} = 0.329 \pm 0.017$, $P > 0.05$)。这表明停训 4 周后训练组大鼠 RCD 已恢复到训练前水平。其原因可能与以下因素有关:

停训 2~4 周后血容量,血浆容量,红细胞容量,血红蛋白含量均降至训练前水平或略低于训练前水平。停训后因血管内蛋白质含量丧失,特别是血浆蛋白含量的减少,造成血液胶体渗透压下降,贮留在血液中的水分外渗,引起血/血浆容

参考文献:

- [1] 任杰,陈佩杰,邓雪.新型循环水动物游泳水池的研制与应用[J].上海体育学院学报,1998,22(1):55~58.
- [2] 陈良钜.RCD 测定的核孔滤筛技术-介绍 DXC-400 型核孔滤膜 RCD 测定仪[J].老年学杂志,1993,13(1):57~59.
- [3] 金惠铭.DXC 型 RCD 测定仪核孔滤膜物理性能的研究[J].上海医科大学学报,1993,120(3):231~232.
- [4] 卢纹岱.SPSS for Windows-从入门到精通[M].北京:电子工业出版社,1997.
- [5] Yokose T. Effects of exercise on hemorheology in athletes and sedentary normal subjects[M]. Microcirc. Annu. 1987:7~8.
- [6] Guegue D M. Effects of maximal physical exercise on hemorheological parameters in top level sportsman[M]. Clin, Hemorheol. 1989,9:625~632.
- [7] 金永娟.血细胞流变性及其生化基础[J].微循环学杂志.1992, 2(3):47.
- [8] Mohandas N The influence of membrane Skeleton on red cell deformability, membrane material properties and shape[J]. Seminars in Hematology 1983,20(3): 225~242.

积减小血液相对浓缩,同时红细胞内部水分也丧失,细胞表面积与体积的比值改变,细胞内粘度增加,膜的弹性下降,导致变形能力下降^[22,28]。Coyle1986 的研究报道,耐力运动员停训 2~4 周后血容积下降 9%,血红蛋白丧失大致为血红蛋白总量的 3.5%^[28]。

停训 3 周后 ATP 含量较训练前下降 12%~28%,ATP 含量减少,可造成红细胞膜离子转运异常,当细胞内钠离子聚集超过钾离子丢失时,细胞内离子含量增加,水分随之进入细胞以维持恒定的离子浓度及渗透压强度,细胞体积涨大,变形能力下降^[29]。另外,若 ATP 含量缺乏,则钙泵功能失常,细胞排钙机能减低,同时钙-调钙蛋白复合物与细胞骨架蛋白相互作用可影响膜的硬度,钙含量增加可改变细胞骨架结构,引起细胞变形能力降低^[22,30]。

停训后血总胆固醇水平增加^[31],造成红细胞膜胆固醇增多,并分布于膜外层,使膜发生扭曲,引起膜酶蛋白、膜受体及离子膜通道、膜脂微环境改变,以及膜形状及表面积与体积之比的改变,从而使膜的刚性增加,流动性和变形能力下降^[32]。

4 结论

(1)6 周耐力训练可提高大鼠红细胞在 1.0 NaCl%溶液中的变形能力,表明 RCD 对运动训练能产生适应性变化。

(2)停训 2 周后通过训练所获得的 RCD 的改善开始下降,但仍高于对照组 RCD;停训 4 周后通过训练所获得的 RCD 的改善进一步下降,并于对照组 RCD 无显著性差异。表明 RCD 的适应性变化并不持久。

(3)以原有强度的 78%进行 2 周减量训练即可维持红细胞原有的变形能力。

- [9] 文宗耀. 激光衍射法及其在临床科研中的应用[J]. 中华物理医学杂志. 1987, 9(2): 117 ~ 121.
- [10] Green H J. Response of red cell and plasma volume to prolonged training in humans. J[J]. Appl. Physiol. 1991, 70(4): 1810 ~ 1815.
- [11] Lijnen, P P Hespel, Eynde E V., Amery A. Biochemical variables in plasma and urine before and after prolonged physical exercise [J]. Enzyme 1985. 33: 134 ~ 142.
- [12] Luetkemeier, M J. The mechanism of exercise-induced plasma volume expansion. Doctoral Dissertation[M]. The Ohio State University, 1988, 1 ~ 127.
- [13] Convertino, V A G W Mack, E R Nadel. Elevated central venous pressure: a consequence of exercise training-induced hypervolemia? [J] Am. J. Physiol. (Regulatory Integrative Comp. Physiol.) 29: R273 ~ R277, 1991.
- [14] 王步标等译. 运动生理学[M]. 长沙: 湖南师范学院出版社, 1991. 91 ~ 95, 158 ~ 160.
- [15] Gillen C M. Plasma volume expansion in humans after a single intense exercise protocol[J]. J. Appl. Physiol. 1991, 71: 1914 ~ 1920.
- [16] Davidson. R J. Hematological changes associated with marathon running[J]. Int. J. Sports Med. 1987, 8: 19 ~ 25.
- [17] Wood SC. Effects of endurance training and long distance running on blood viscosity[J]. Med. Sci Sports. Exerc. 1991, 23: 1265 ~ 1269.
- [18] 伊藤朗[日]. 从运动生化到运动处方[M]. 北京: 北京体育学院出版社. 1989, 123 ~ 126.
- [19] 陈春富. 高粘血症患者血液流变学与脑血流的相关研究[J]. 中国血液流变学杂志. 1995, 5(2): 38 ~ 39.
- [20] 翁维良. 血液流变学研究方法及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 10 ~ 24.
- [21] 黄益民. 运动延迟性损伤系列研究之二大负荷运动后大鼠血液流变学的动态研究[J]. 中国运动医学杂志, 1996, 15(3): 230 ~ 233.
- [22] 陈清. RCD的生理意义与影响因素[J]. 生理科学进展. 1991, 22(2): 142 ~ 145.
- [23] 陈文鹤. RCD对运动能力的影响[J]. 上海体育学院学报, 1995, 19(3): 69 ~ 72.
- [24] Conversion, V A. Blood volume: its adaptation to endurance training[J]. Med. Sci. Sport Exert. 1991, 23: 1338 ~ 1348.
- [25] Simchon S. Influence of reduced red cell deformability on regional blood flow[J]. Am. J. Physiol. 1987, 3: 163 ~ 166.
- [26] Kanter MM. J. Appl[J]. physiol. 1985, 59(4): 1298.
- [27] 曹国华. 运动锌铜营养与自由基代谢-IV 运动员体内的自由基水平与锌铜营养状态的关系[J]. 中国运动医学杂志, 1991, 10(3): 132 ~ 134.
- [28] 曲绵域. 实用运动医学[M]. 北京科学技术出版社. 1996: 402.
- [29] Smith JE. In: Agar NS, Board PG eds. Red Blood Cells of Domestic Mammals[M]. Amsterdam, 1983.
- [30] 吴其夏. 体液因素和血液循环病理生理学[M]. 北京: 北医大、中国协和医大联合出版社, 1991. 222 ~ 234, 160 ~ 170, 171 ~ 181.
- [31] Franco Giada, Giovanni B Vigna. Effect of Age on the Response of Blood Lipids, Body Composition, and Aerobic Power to Physical Conditioning and Deconditioning[J]. Metabolism, 1995, 44(12): 161 ~ 165.
- [32] 冷贵生. 脑梗塞患者 RCD 与红细胞膜微粘度、膜脂质及血浆脂质的关系[J]. 临床内科杂志, 1994, 11(3): 36 ~ 37.

The Effects of Training and Detraining on Red Cell Deformability of Rats

CUI Zhen-hai¹, ZENG ming²

(1. Teaching Group of Physical education of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC; 2. Physical education of Shanghai Institute, Shanghai 200433, PRC)

Abstract: This study mainly discusses the relations between red cell deformability and sport ability after detraining and training, through the dynamic survey of rats' red cell in 1.0% NaCl after intense training and detraining. The aim is to provide foundations during the training or matches after detraining. The following results have been drawn: 1. RCD can gain the adaptation in training; 2. The adaptation of RCD can not last long.

Keywords: Rat Red Cell Deformability (RCD); Training; Detraining