

运动后乳酸清除率与运动能力的关系

郭黎¹, 陈文鹤¹, 段子才²

(1. 上海体育学院 运动科学系, 上海 200438; 2. 阜阳师范学院 体育系, 安徽 阜阳 236032)

摘要:测定中跑运动员、足球运动员和常人在 800 m 全力跑后的血乳酸浓度、乳酸清除率和心率恢复率, 研究无氧运动能力与最高乳酸值、心率恢复率与乳酸清除率之间的关系。结果发现: 运动员的无氧耐力成绩和运动后 5 min 血乳酸值呈显著负相关; 中跑运动员较足球运动员和常人有更强的产生乳酸能力和更高的乳酸清除率; 心率的恢复速度较乳酸清除率更快。说明良好的产生乳酸能力是无氧耐力成绩的重要因素, 良好的乳酸清除率有利于乳酸的清除和运动后的恢复, 同时运动后的心率恢复率并不能反映体内乳酸的清除情况。

关键词:乳酸清除率; 心率恢复率; 运动能力

中图分类号: G804.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 5498(2005)02 - 0044 - 04

Relationships between Post-exercise Lactic Acid Clearance Rate and Exercise Performance

GUO Li¹, CHEN Wen-he¹, DUAN Zr-cai²

(1. Sports Science Dept., Shanghai Institute of P. E., Shanghai, 200438, China;
2. P. E. Dept., Fuyang Normal Institute, Fuyang, 236032, Anhui, China)

Abstract: In order to study the relationships between the anaerobic capacity and maximum lactate value, heart rate (HR) recovery rate and lactic acid (LA) clearance rate, this study measured the blood lactic acid (BLA) concentration, LA clearance rate and HR recovery rate of middle-distance runners, footballers and normal persons after an endeavored 800m running. The results show that the athletes' anaerobic capacity assessed by 800m running is significantly negatively related to BLA value at 5th minute after exercise, middle-distance runners have stronger lactate-producing capacity and higher LA clearance rate than footballers and normal persons, and their HR recovery velocity is faster than LA clearance rate. All these indicate that good lactate-producing capacity is an important factor that can directly influence anaerobic endurance performance, high LA clearance rate is good for the clearance of lactate and recovery after exercise, but post-exercise HR recovery rate can't reflect the clearance of lactate in the body.

Key words: LA clearance rate; HR recovery rate; exercise performance

血乳酸可以作为制订训练方法、掌握适宜运动强度和评定训练效果的重要手段。在运动中, b 型肌纤维是主要产生乳酸的肌纤维, 而乳酸的清除主要是通

过氧化成 CO₂ 和水进行的, 运动后通过此途径清除的乳酸大约占总量的 55% ~ 70%。^[1~4] I 型肌纤维的比例及其有氧代谢能力是决定有氧

收稿日期: 2004 - 11 - 18

基金项目: 上海体育学院院管课题

作者简介: 郭黎(1976 -), 男, 陕西西安人, 上海体育学院运动科学系讲师, 硕士。

耐力的重要因素; b 型肌纤维比例是决定无氧耐力产生乳酸能力的重要因素。^[5~7] 显见,运动中产生乳酸的能力和运动后消除乳酸的能力在不同项目的运动员中可能有所差别。测定运动后乳酸的清除率,不仅可以反映运动中产生乳酸的能力,还可以反映运动后清除乳酸的能力。本文旨在研究运动后心率恢复率和乳酸清除率的关系,以及乳酸清除率、血乳酸峰值与运动能力的关系,为运动训练实践和评价训练水平提供参考。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

上海体育学院中跑运动员 16 人,运动科学系本科生 24 人以及足球专项班学生 22 人,均为男性。其中,中跑运动员为国家二级以上水平,训练年限 6~8 y,足球运动员训练年限 7~12 y,运动员等级为国家二级。所有对象身体健康,无心脑血管、糖尿病、呼吸系统疾病。研究对象的基本情况见表 1。3 组对象在反映基本情况的各指标方面相匹配 ($P > 0.05$)。

表 1 研究对象基本情况(均 $\pm Sd$)

对象	例数	年龄 (y)	身高 (cm)	体重 (kg)	安静心率 (bs/min)	收缩压 (mmHg)	舒张压 (mmHg)	训练年限 (y)
足球运动员	22	20.2 \pm 1.51	176.5 \pm 4.10	68.3 \pm 5.28	70.5 \pm 8.68	117.7 \pm 6.80	71.9 \pm 8.83	7.5 \pm 1.1
常人	24	20.3 \pm 0.94	174.4 \pm 3.94	65.4 \pm 4.08	71.9 \pm 5.67	114.6 \pm 7.45	68.4 \pm 6.83	-
中跑运动员	16	20.3 \pm 1.03	174.9 \pm 3.09	64.7 \pm 2.50	68.5 \pm 6.35	109.9 \pm 9.42	69.6 \pm 6.12	9.4 \pm 1.3

1.2 研究方法

1.2.1 测试方法

所有实验对象尽全力完成 800 m 跑,测定运动后即刻心率、运动后恢复期 5 min、10 min 心率,同时测定运动后恢复期 5 min、10 min 的血乳酸值。

1.2.2 测试指标

(1) 血乳酸含量测定:酶法测定,试剂盒购自南京建成生化试剂公司。

指间采血,干肝素抗凝毛细管取全血 50~100 μl ,封口后于 1 000 rpm 离心 3 min,精确抽取 10 μl 血浆加入 1 ml 乳酸测定液,37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 5 min,空白管调“0”,500 nm 比色。血乳酸浓度按下式计算:测定管 BLA

$$\text{浓度 (mmol/L)} = \frac{\text{OD}_{\text{测}}}{\text{OD}_{\text{标}}} \times 4.4 \text{ mmol/L}$$

(2) 乳酸清除率的计算:运动后 10 min 乳酸清除

$$\text{率} = \frac{\text{运动后第 5 min BLA} - \text{运动后第 10 min BLA}}{\text{运动后第 5 min BLA} - \text{安静 BLA}} \times 100\%$$

(3) 心率恢复率的计算:运动后第 n min 心率恢复

$$\text{率} = \frac{\text{运动即刻 HR} - \text{运动后第 n min HR}}{\text{运动即刻 HR} - \text{安静 HR}} \times 100\%$$

(4) 其他指标测定:心率、血压、身高等常规指标按照确立方法进行。

1.2.3 数理统计法

所有实验测试指标均表示为 均 $\pm Sd$,采用 SPSS10.0 统计软件包对数据进行处理。具体方法为独立样本 t 检验和相关分析。显著性标准以 $P < 0.05$ 为有显著性差异, $P < 0.01$ 为有非常显著性差异。

2 结果与分析

2.1 组间运动后、恢复期血乳酸含量和乳酸清除率的比较(表 2)

表 2 组间 800 m 跑成绩、安静状态和恢复期血乳酸及乳酸清除率的比较(均 $\pm Sd$)

对象	800 m 成绩 (min)	安静 BLA (mmol/L)	恢复 5 min BLA (mmol/L)	恢复 10 min BLA (mmol/L)	乳酸清除率
足球运动员	2.75 \pm 0.18 *	1.42 \pm 0.32	16.83 \pm 0.93 *	13.5 \pm 0.91	0.191 \pm 0.050 *
常人	2.92 \pm 0.15	1.42 \pm 0.36	16.00 \pm 1.00	13.9 \pm 1.02	0.171 \pm 0.028
中跑运动员	2.55 \pm 0.25 #	1.48 \pm 0.33	17.50 \pm 1.11 #	13.6 \pm 1.16	0.240 \pm 0.064 #

注: * 为足球运动员与常人比较 $P < 0.05$; # 为中跑运动员与常人比较 $P < 0.05$; # 表示足球运动员与中跑运动员比较 $P < 0.05$,下表同

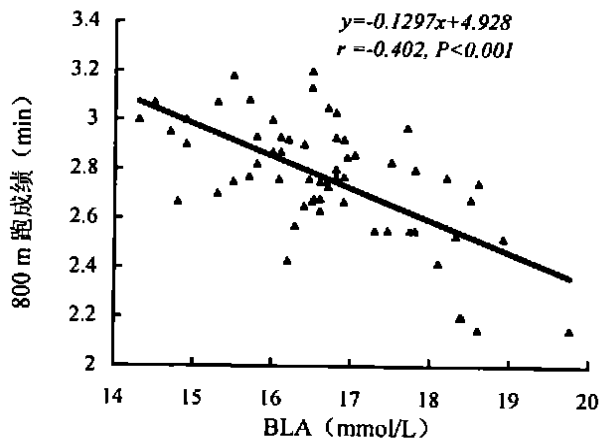


图 1 800 m 跑成绩与运动后 5 min 血乳酸的相关

由表 2、图 2 可以看出,3 组对象安静血乳酸和恢复 10 min 血乳酸无显著差别,而组间在 800 m 成绩、恢复期 5 min 血乳酸以及乳酸清除率方面有显著差异 ($P < 0.05$)。中跑运动员 800 m 跑成绩好于足球运动员,足球运动员好于常人 ($P < 0.05$);恢复期 5 min 血乳酸以中跑运动员最高,足球运动员次之,常人最低 ($P < 0.05$);运动后 10 min 乳酸清除率中跑运动员最高,优于足球运动员,足球运动员高于常人 ($P < 0.05$)。显示出中跑运动员和足球运动员较常人不仅有更好的无氧工作能力,而且有更高的清除乳酸的能

力。

800 m 跑是典型的糖酵解供能的项目,运动中能量来源于肌糖原分解为乳酸释放的能量,约占总能耗的 65% 左右。因而,限制 800 m 跑运动能力的一个主要因素是肌肉产生乳酸的能力。在 800 m 跑后,血乳酸最高值一般出现在恢复期 5 min,因而测定恢复期 5 min 的血乳酸可以代表最高血乳酸浓度。研究结果显示,800 m 跑成绩与恢复期 5 min 的血乳酸呈中度相关(图 1),也说明运动中产生乳酸的能力确实是限制无氧耐力成绩的重要因素。中跑运动员更高的 I 型肌纤维组成,其专项身体素质为无氧耐力,长期训练导致肌肉中无氧酵解酶活性提高,因此提高了运动中产生乳酸的能力,无氧能力强。研究发现,无氧耐力训练可以提高运动员肌细胞膜上 MCT 的数量,使得肌乳酸透过肌细胞膜的能力提高,有利于肌内乳酸的跨膜转运和清除,降低肌乳酸在肌细胞内的堆积。^[7] 乳酸透过肌细胞膜后,可通过各种途径进行处理,使得运动员肌肉中保持高的糖酵解速率^[1-3]。足球项目对无氧耐力要求较高,但同时也需要较强的清除乳酸的能力,其产生乳酸的能力低于中跑运动员但高于常人,有利于保持较高的无氧能力。

2.2 组间运动后、恢复期心率和心率恢复率的比较 (表 3)

表 3 组间恢复期心率和心率恢复率的比较(珞 ± Sd)

对象	800 m 跑即刻 心率 (bs/min)	恢复 5 min 心率 (bs/min)	恢复 10 min 心率 (bs/min)	心率恢复率	
				恢复 5 min	恢复 10 min
足球运动员	178.1 ± 12.22	116.5 ± 7.85 *	100.5 ± 7.44	0.533 ± 0.116 *	0.682 ± 0.112 *
常人	174.5 ± 5.67	124.0 ± 9.29	111.2 ± 9.27	0.488 ± 0.086	0.619 ± 0.087
中跑运动员	182.3 ± 8.51	112.8 ± 9.03 #	100.6 ± 9.27	0.609 ± 0.074 #	0.717 ± 0.112 #

由表 3 可以看出,800 m 跑后即刻心率中长跑运动员显著高于足球运动员和常人 ($P < 0.01$)。恢复期 5 min 心率中跑运动员低于足球运动员,足球运动员显著低于常人 ($P < 0.05$)。恢复期 10 min 3 组间无显著差异。以心率恢复率比较,恢复期 5 min 和 10 min 心率恢复率以中跑运动员最高、足球运动员次之,常人最低,组间 $P < 0.05$ 。显示在最大强度无氧耐力运动时中跑有更强的机能能力,恢复期有更强的恢复能力。

由于人体的骨骼肌是由不同类型的肌纤维混合组成,不同类型的肌纤维代谢特性不同,但肌纤维类型及其代谢特性可随运动训练改变。长期的耐力训练可以

引起 I 型肌纤维的适应性变化,提高其有氧代谢的能力,并增强心脏功能,提高肌肉的血流量;长期的速度训练可以提高肌肉产生乳酸的能力。因此,不同项目的运动员,运动中产生乳酸的能力不同,清除乳酸的能力也不同。中跑运动员 800 m 跑后的最高血乳酸高于足球运动员和常人,但恢复期 10 min 后,血乳酸组间并无差异 ($P > 0.05$),由乳酸清除率可见,中跑运动员高于足球运动员,而足球运动员高于常人。就专项身体素质而言,足球运动员往往需要进行较短段落的重复疾跑,在疾跑间隙将产生的乳酸进行清除,降低乳酸的积累以保持较高的运动能力。因此,足球运动员对

乳酸的清除率要求最高,在训练中要有意识地发展有氧能力,提高清除乳酸的能力。但结果也发现,足球运动员的乳酸清除能力确实高于常人,但低于中跑运动员(表1)。这可能显示足球运动员有氧能力训练不足,而中跑运动员可能过多地强调发展有氧能力的结果。对于中跑运动员,过多地发展有氧能力可能并不利于其专项身体素质的发展。

2.3 心率恢复与乳酸清除率的关系

调查显示:心率恢复率和乳酸清除率之间有显著性相关($P < 0.01$)。其中5 min 心率恢复率和10 min 心率恢复率与乳酸清除率呈低度相关, r 值分别为0.176、0.151。可能说明采用心率恢复率并不能反映乳酸清除的情况。由表3可以看出,心率恢复较乳酸清除的速度更快,两者的变化并不平行。

全力800 m跑后心率恢复率3组在恢复5 min 差异最大,恢复10 min 差异降低。其中中跑运动员心率恢复最快,足球运动员次之,但均高于常人。说明中跑运动员在进行最大强度运动时机能潜力强、机能恢复快,这与其运动能力相一致。比较心率恢复率和乳酸清除率,发现乳酸清除的速度与心率恢复的速度并不平行,心率恢复的速度显著快于乳酸清除的速度。而乳酸清除率和心率恢复率关系并不密切。因此,心率恢复的程度并不能真实反映体内乳酸的清除情况,这可能是由于乳酸通过各种途径进行清除需要更长的时间。^[9]

综上所述,良好的产生乳酸能力是无氧耐力成绩的重要因素,良好的乳酸清除率有利于乳酸的清除和运动后的恢复,同时测定运动后的心率恢复并不能真实反映体内乳酸的清除情况。

3 结论与建议

运动后血乳酸浓度与无氧耐力运动成绩有密切相关;运动后心率的恢复与乳酸清除率并不平行,心率恢复的程度并不能真实反映体内乳酸的清除情况;乳酸

清除率较心率恢复率更确切地可反映无氧耐力运动员运动后恢复的程度。

建议对于足球运动员,应在提高无氧能力的同时应加强其有氧能力,以提高其乳酸清除能力;运动后观察心率恢复情况并不能反映体内乳酸的清除情况,有条件的可直接测定乳酸清除率。

参考文献:

- [1] Book GA. Lactate production during exercise-oxidizable substrate versus fatigue agent[J]. *Physical training*, 1988, (8):1.
- [2] Brook GA. The lactate shuttle during exercise and recovery [J]. *Med Sci sports Exerc*, 1986, 16(3):360.
- [3] Hatta H, et al. Oxidation of lactate in rats after short-term strenuous exercise[J]. *Int J sports Med*, 1988, (9):249.
- [4] Kelly KM, Hamann JJ, Navarre C, et al. Lactate metabolism in resting and contracting canine skeletal muscle with elevated lactate concentration[J]. *J Appl Physiol*, 2002, (93):865.
- [5] Karl SKB, McCullagh JA, Bonen A. Training intensity-dependent and tissue-specific increases in lactate uptake and MCT-1 in heart and muscle[J]. *J Appl Physiol*, 1998, 84(3):987.
- [6] Pagliassotti MJ, Donovan CM. Role of cell type in net lactate removal by skeletal muscle[J]. *Am J Physiol*, 1990, (258):635.
- [7] Green H, Halestrap A, Mockett C, et al. Increase in muscle MCT are associated with reductions in muscle lactate after a single exercise session in humans[J]. *Am J Physiol*, 2002, (282):E154.
- [8] Pilegaard H, Domino R, Noland T, et al. Effect of high intensity exercise training on lactate/ H^+ transport capacity in human skeletal muscle[J]. *Am J Physiol*, 1999, (276):E255.
- [9] Prior BM, Ploutar Snyder LL, Cooper TG, et al. Fibre type and metabolism dependences of T_2 increases in stimulated rat muscle[J]. *J Appl Physiol*, 2001, (90):615.