

# 补充 L-苹果酸对竞走运动员做功能力的影响

李金兰<sup>1</sup>, 蔚兵<sup>2</sup>, 梅郁<sup>2</sup>

(1. 内蒙古财经学院体育部, 内蒙古 呼和浩特 010000; 2. 内蒙古体科所, 内蒙古 呼和浩特 010020)

**摘要:**对内蒙古竞走队的 20 名优秀运动员分别补充 L-苹果酸饮料和安慰剂, 观察其对有氧训练运动员做功能力的影响, 为苹果酸运动饮料用于实践提供实验依据。结果表明: 补充苹果酸饮料可使无氧运动做功能力明显提高, 使乳酸消除加快; 同时, 苹果酸饮料可加速消除有氧运动后产生的乳酸, 有利于延缓运动中的疲劳出现。

**关键词:** L-苹果酸; 竞走运动员; 做功能力

**中图分类号:** G804.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-2076(2009)04-0041-03

## Effect of the supplement of L-Malic Acid on the performance ability of walking racers

LI Jin-lan<sup>1</sup>, YU Bing<sup>2</sup>, MEI Yu<sup>2</sup>

(1. Inner Mongolia Finance and Economics College, Huhhot 010000; 2. Inner Mongolia Institute of Sports Science, Huhhot 010030, China)

**Abstract:** The purpose of this experiment is to investigate the effect of supplying Malic Acid(MA) on the performance ability of walking racers, and to provide the scientific basis for the application of MA. The result showed that adding MA can significantly improve the performance ability of anaerobic exercise. It can speed up the removal of HL. Furthermore, MA drinks can speed up HL produced after aerobic exercise. It will help to slow the emergence of exercise fatigue.

**Key words:** Malic Acid (MA); walking racers; performance ability

补充运动饮料可以不同程度地延长运动时间, 提高运动能力, 加速运动疲劳的恢复。目前, 低聚糖饮料因其低渗透压、甜度适中、补糖迅速而得以广泛使用。L-苹果酸作为人体代谢过程中产生的重要有机酸, 是三羧酸循环的中间代谢产物, 直接参与线粒体能量代谢; 同时又是苹果酸-天冬氨酸穿梭的组成部分, 对胞液和线粒体之间还原当量的转移起着重要的调节作用。苹果酸在人体代谢过程中的重要地位, 以及对代谢和运动能力的促进作用, 为其应用于体育实践提供了可行性。本研究通过观察补充 L-苹果酸饮料对竞走运动员做功能力的影响, 为运动员训练和比赛中合理运用运动饮料提供实验依据。

## 1 实验方法与对象

### 1.1 实验对象

内蒙古田径队竞走项目队男子队员 20 名, 全部为国家一级运动员, 随机分为实验组和对照组, 每组 10 人。受试者基本情况为: 身高  $181.0 \pm 5.21$  cm, 体重  $73.2 \pm 3.78$  kg, 年龄  $18.5 \pm 1.5$  岁, 专业训练年限  $4.8 \pm 0.75$  年。

### 1.2 研究方法

实验开始前, 向受试者介绍实验内容, 确保受试者自觉合并且可以按要求完成本实验内容。实验方法为:

1) 30 秒无氧功测试: 受试者提前到达实验室, 静坐 15 分钟后测定安静心率和安静时血乳酸值。实验开始受试者在 YEAGER ER900 功率自行车上尽力快骑, 同时阻力递增, 在 2~4 秒内达到规定负荷(阻力系数为 0.75, 单位为公斤体重)。达到规定负荷后, 开始计算骑行圈数, 并持续做 30 秒最快速度蹬踏, 每隔 5 秒记录骑速和功率。记录安静、运动后即刻、3 分钟、5 分钟的心率, 测定安静、运动后即刻、3 分钟、5 分钟的血乳酸值。

2) 定量逐级递增负荷实验: 该测试于第二天进行。受试者在功率自行车上完成, 起始负荷为 150 kg·m/min, 每 3 分钟增加 300 kg·m/min, 直到完成三个水平持续 9 分钟的负荷。记录安静、运动后即刻、3 分钟、5 分钟的心率, 测定安静、运动后即刻、3 分钟、5 分钟、10 分钟的血乳酸值。

受试者在完成上述实验后, 实验组每天分 2 次补充苹果酸饮料(L-苹果酸含量为 3 克/天), 对照组补充外观相似的安慰剂(成分为 Ca)。饮料补充总量为 600 ml/天, 补充时间分别为晨起安静和训练后即刻。补充共计 14 天, 饮料补充期间, 受试者每周进行常规训练 7 次, 每天训练时间为 2~3 小时, 作息规律。14 天营养补充后进行第二次测试, 测试内容及步骤同第一次测试。

### 1.3 实验仪器

- 1) 美国产 YEAGER ER900 功率自行车。
- 2) 美国产 YSI1500 血乳酸分析仪。

收稿日期: 2008-11-25

作者简介: 李金兰(1958-), 男, 副教授, 研究方向运动生物化学。

1.4 数据处理

实验数据采用 Excel 软件进行统计学处理和相关 T 检验。实验结果表示为平均数 ± 标准差, 显著性检验采用双侧 t 检验, 显著性标准为  $P < 0.05$ , 非常显著性为  $P < 0.01$ 。曲线拟合采用 SPSS11.0 统计学软件, 回归方程采用 Cubic 方法进行线性三次方程回归。

2 实验结果

2.1 补充 L-苹果酸对定量逐级递增负荷实验心率变化的影响(表 1)

表 1 实验组与对照组补充前后定量逐级递增符合实验心率变化

组别	安静	I 级负荷末	II 级负荷末	III 级负荷末	运动后 3 分钟	运动后 5 分钟
对照组补充前	64 ± 8	94 ± 9	125 ± 12	157 ± 14	104 ± 7	85 ± 9
对照组补充后	65 ± 6	95 ± 7	125 ± 10	156 ± 11	103 ± 4	84 ± 6
实验组补充前	64 ± 4	95 ± 6	126 ± 7	157 ± 9	104 ± 10	85 ± 7
实验组补充后	63 ± 8	92 ± 8	113 ± 9*	140 ± 10*	90 ± 7*	80 ± 4

I 级负荷为 150 kg. m/min, II 级负荷为 450 kg. m/min, III 级负荷为 750 kg. m/min。

\*表示补充后实验组与对照组同期比较有显著性差异( $P < 0.05$ ), 下同。

从表 1 可以看出, 实验组在各时间点的心率均低于补充前, 但没有显著性差异( $P > 0.05$ )。但与对照组相比, 实验组在补充后的 450kg. m/min 负荷末、750 kg. m/min 负荷末和运动后 3 分钟的心率明显降低( $P < 0.05$ ), 运动后 5 分钟心率与其他组别没有显著性差异。

2.2 补充 L-苹果酸对定量逐级递增负荷实验血乳酸变化的影响(表 2)

表 2 实验组与对照组补充前后定量逐级递增负荷试验血乳酸变化

组别	安静	即刻	运动后 3 分钟	运动后 5 分钟	运动后 10 分钟
对照组补充前	1.02 ± 0.30	5.54 ± 0.93	4.43 ± 1.04	4.01 ± 1.06	2.55 ± 0.84
对照组补充后	1.04 ± 0.51	5.69 ± 0.55	4.88 ± 1.10	3.94 ± 0.85	2.42 ± 0.53
实验组补充前	1.03 ± 0.58	5.59 ± 1.24	4.51 ± 0.75	3.98 ± 1.24	2.54 ± 0.61
实验组补充后	1.05 ± 0.29	4.92 ± 0.44	3.80 ± 0.65*	3.07 ± 0.87*	2.16 ± 0.88

\*表示补充后实验组与对照组同期比较有显著性差异( $P < 0.05$ )。

从表 2 可见, 营养补充前对照组和实验组在各时间点的血乳酸值没有明显差异, 补充后对照组和实验组的即刻值和运动后 3 分钟、5 分钟、10 分钟值与补充前比较没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 与对照组同时期相比, 实验组在补充后的运动后 3 分钟、5 分钟血乳酸值显著降低( $P < 0.05$ ), 即刻值和 10 分钟乳酸值与对照组相比较低, 但没有显著性差异( $P > 0.05$ )。

2.3 补充 L-苹果酸对无氧功的影响(表 3)

表 3 实验组与对照组补充前后无氧总功率变化

组别	补充前(W)	补充后(W)
对照组(N=10)	1724.48 ± 133.94	1796.66 ± 140.69
实验组(N=10)	1732.54 ± 119.67	1889.97 ± 188.23

对照组和实验组的无氧功都有所增加(见表 3), 但都没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 实验组的增幅大于对照组。

2.4 补充 L-苹果酸对无氧功测试心率变化的影响(表 4)

表 4 实验组与对照组补充前后无氧功测试心率变化

组别	安静	即刻	3 分钟	5 分钟
对照组补充前	64 ± 3	172 ± 7	104 ± 11	92 ± 12
对照组补充后	65 ± 6	166 ± 4	100 ± 14	90 ± 7
实验组补充前	64 ± 7	170 ± 6	102 ± 9	91 ± 5
实验组补充后	64 ± 2	153 ± 7*	93 ± 13	88 ± 11

\*表示补充后实验组与补充前比较有显著性差异( $P < 0.05$ )。

对照组和实验组在无氧功测试后即刻、3 分钟、5 分钟的心率均有下降趋势(表 4), 其中实验组的即刻心率与服用前相比有显著性差异( $P < 0.05$ ), 其余各点没有显著性差异( $P > 0.05$ )。

2.5 补充 L-苹果酸对无氧功测试后血乳酸变化的影响(表 5)

表 5 实验组与对照组补充前后无氧功测试后血乳酸变化

组别	安静	即刻	3 分钟	5 分钟
对照组补充前	1.05 ± 0.32	4.58 ± 0.84	6.58 ± 1.03	4.47 ± 0.53
对照组补充后	1.00 ± 0.57	4.96 ± 0.95	6.86 ± 1.24	4.50 ± 0.82
实验组补充前	1.04 ± 0.40	4.60 ± 0.46	6.60 ± 1.44	4.52 ± 0.47
实验组补充后	1.01 ± 0.36	3.52 ± 0.73*	6.52 ± 1.38	4.21 ± 0.33

\*表示补充后实验组与补充前比较有显著性差异( $P < 0.05$ )。

从表 5 可以看出, 对照组补充前后无氧功测试血乳酸变化没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 实验组补充前后 3 分钟、5 分钟相比没有显著性差异( $P > 0.05$ ), 运动后即刻补充前后血乳酸变化有显著性差异( $P < 0.05$ ), 而且实验组补充后 3 分钟后乳酸值下降趋势明显。

3 分析与讨论

从生物化学的观点分析, 运动能力的高低取决于运动过程中能量的供给、转移和利用的能力。本实验通过补充 L-苹果酸饮品来保证运动员承受更大的训练量和强度, 使他们在比赛中充分发挥运动能力。

3.1 苹果酸对有氧运动能力的影响

邱俊强<sup>[1]</sup>研究发现补充苹果酸 90 分钟定量负荷运动后小鼠的血尿素水平明显降低, 同时补充苹果酸可明显降低足球运动员赛后的血尿素值。王莹<sup>[2]</sup>对小鼠进行负重游泳实验, 发现苹果酸能明显延长小鼠游泳至力竭的时间, 提高其做功能力。Janeire<sup>[3]</sup>研究发现, 服用瓜氨酸-苹果酸盐有助于提高篮球运动员的有氧工作能力, 并且提高的幅度与服用剂量有一定的关系。邱俊强<sup>[1]</sup>的另一研究中通过 60% VO<sub>2</sub>max 功率自行车运动 45 分钟, 补苹果酸组运动 30 分钟时心率明显低于补充前。Bendahan<sup>[4]</sup>也发现苹果酸复合营养液可提高运动员有氧做功能力和抗疲劳能力。

本研究采用定量逐级递增负荷实验, 通过 14 天的训练和苹果酸补充, 实验组的心率有降低趋势, 运动即刻和运动 3 分钟心率明显低于对照组( $P < 0.05$ )(见表 1), 血乳酸值运动后 3 分钟、5 分钟明显低于对照组( $P < 0.05$ )(见表 2)。说明补充苹果酸饮料可以改善有氧运动能力。

其机理可能为外源性苹果酸的补充会提高细胞内苹果酸

的浓度,使三羧酸循环的底物水平上升从而加快三羧酸循环的速率,增强 ATP 供能。在有氧条件下,线粒体外 NADH 所携带的氢必须通过某种转运机制才能进入线粒体,然后再经呼吸链进行氧化磷酸化,这种机制主要由苹果酸-天冬氨酸穿梭等线粒体膜高能电子穿梭作用来实现 NAD<sup>+</sup>/NADH 浓度的平衡。研究表明,运动训练可以提高苹果酸-天冬氨酸穿梭相关酶的活性,同时外源性苹果酸的摄入也可以通过提高线粒体的苹果酸引起相应的酶的活性,从而加强穿梭作用。外源性苹果酸的使用,使得线粒体内苹果酸的浓度提高,这样既节省基质中原有的苹果酸,同时又提高了相应酶的活性,还促进了线粒体内的穿梭机制,从底物、调节和还原当量、能量的转移方面推动了线粒体的活动,提高了有氧供能。

### 3.2 苹果酸对无氧运动能力的影响

用功率自行车来评定受试者运动中摄氧量变化已经在很多研究中得到广泛应用。本实验通过功率自行车进行 30 秒无氧功测试,该运动方式的能量约 80% 为糖酵解系统提供。

Bendahan<sup>[4]</sup>的研究发现,补充苹果酸复合营养液可提高运动员无氧做功能力。谷忠德<sup>[5]</sup>的研究表明,有氧代谢能力的改善对提高无氧能力有积极的影响,有助于提高无氧代谢能力和综合供能水平。Kositin<sup>[6]</sup>发现在无氧运动后,机体仍保持较高等度的能量代谢,此时外源性苹果酸的摄入从底物和增强相关酶的活性两方面促进了线粒体的呼吸,加强了苹果酸-天冬氨酸穿梭机制,从而加强了乳酸的消除,减少了无氧运动引起的乳酸生成增多。本实验中,受试者无氧总功率有升高趋势,但没有显著性(见表 3)。

本研究中受试者的无氧总功率提高,但运动后即刻和 3 分

钟时血乳酸并没有明显升高(见表 4、表 5),这可能与外源性苹果酸加速乳酸消除有关,这方面尚待进一步研究。

## 4 小结

4.1 通过定时定量补充苹果酸,可降低定量逐级递增负荷实验中的心率反应,加速运动后心率和乳酸恢复,提高有氧做功能力,促进运动后恢复。

4.2 通过补充苹果酸,可降低无氧运动后即刻心率和即刻血乳酸值。

## 参考文献:

- [1]邱俊强. 苹果酸低聚糖饮料抗运动性疲劳的代谢机制研究[D]//北京:北京体育大学,2003.
- [2]王莹. 苹果酸营养液和游泳对小鼠心肌某些代谢酶活性的影响[D]//北京:北京体育大学,2000.
- [3]Janeira M A, Maia J R. Citrulline malate effects on the aerobic - anaerobic threshold and in post - exercise blood lactate recovery[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1998,30(5).
- [4]D Bendahan, et al. Citrulline/malate promotes aerobic energy production in human exercising muscle[J]. *Br J Sports Med*, 2002;36(4):282 - 289.
- [5]谷忠德,李珊秀,等. 优秀举重运动员有氧代谢对无氧代谢能力影响的研究[J]. *山东体育学院学报*,1999,15(1):21 - 27.
- [6]Kositin V. Effect of malate and NAD on local myocardial contraction during acute coronary occlusion[J]. *Biull Eksp Biol Med*, 1986, 102(9):303 - 305.