

低于 PR 的原因可能是, La 被继续氧化提供恢复期运动的能源, 或作为合成糖原的底物, 或被血流快速运向心脏清除或在肝脏被转化成葡萄糖。

Ahmaidi 等人认为, 反复加强训练后, AR 比 PR 能更快的降低 BLa 浓度, 从而提高机体的无氧工作能力。^[9]在 AR 与 PR 刚开始即运动刚完时, 检测 BLa 浓度二者间无差别。但恢复至即第 5 分钟时取血, AR 者的 BLa 浓度显著随乳酸量而下降, 无氧输出能力提高。随 AR 运动负荷的增加, BLa 浓度递减, 而高强度恢复运动会增加 BLa 产生, 因而不是恢复运动强度越大越好。他们还证实了在大毛细血管周围存在大量的 IIb 型纤维及高浓度 H- HDL 酶, 从而说明乳酸的转运、吸收和最终氧化在此发生。低强度运动时, 抽搐纤维利用乳酸作底物, 且血流速度增加, 加速肌乳酸向血中转运, 使 La 在其它部位被消耗。所以 AR 中的 BLa 下降速度快于 PR。

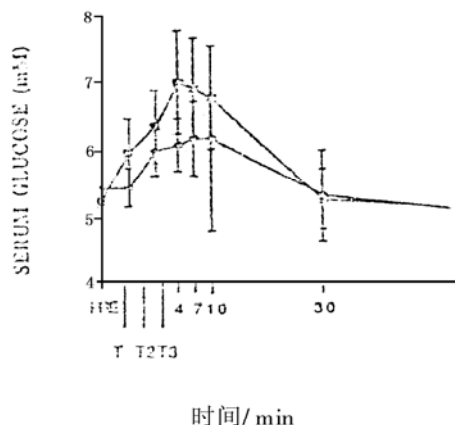


图 5 高强度运动中血浆葡萄糖的反应

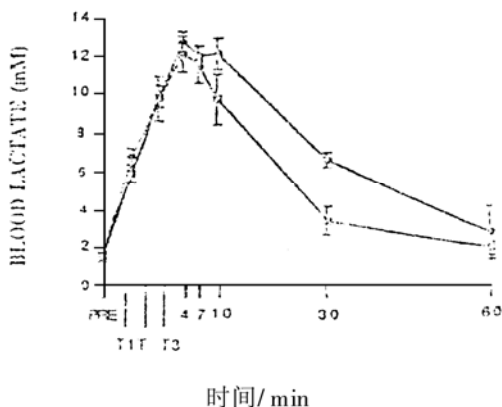


图 6 高强度运动中血乳酸的反应

在 AR 对血乳酸影响的研究中, 受检的试样仅是静脉血, 这样很难评价肌肉功能失调对乳酸清除的影响, 所以还需要有人用肌肉活检的生化检测或测定高能磷酸的代谢物, 用核磁共振测定肌肉内乳酸浓度,

以进一步完善此研究。目前, 血乳酸作为抗疲劳指标的研究越来越多地应用于动物实验中, 但对于不同运动强度时动物体内血乳酸的变化研究甚少。不同状态下, 不同取血部位对血乳酸测定值是否有影响, 国内未见报道。对肌乳酸与血乳酸的产生机制已研究的比较明确, 乳酸在体内的清除过程和各清除过程所占比例的研究也已比较透彻。有少数人认为血乳酸不能完全反映活动组织无氧代谢的情况, 但仍未找到能代替血乳酸评价运动强度、肌肉代谢情况的更好指标, 有待于今后对这一课题进行不断地深入研究。

3 参考文献

- 1 金宗濂, 等. 功能食品评价原理及方法. 1995, 10
- 2 Edwards R H T. Biochemical Bases of Fatigue. In: Knuttgln H G et al. Biochemistry of Exercise Human Kinetics Publishers, Inc, 1983, 3~ 28
- 3 Brooks G A. Anaerobic threshold: reiew of the concept and directions for future research. Med Sci Sports Exerc, 1985, 17(1): 22
- 4 Stainsby W N. Biochemical and physiological bases for lactate production. Med Sci Sports Exerc, 1986, 18(3): 341
- 5 Wasserman K, et al. Mechanisms and patterns of blood lactate increase during exercise in man. Med Sci Sports Exerc, 1986, 18(3): 344
- 6 Kinderman W, et al. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. Eur J Appl Physiol, 1979, 42: 25
- 7 Hermansen L. Lactate production during exercise. In: Pernow B et al. Muscle metabolism during exercise. Plenum Press, New York/London. 1971, 401
- 8 冯连世, 杨奎生. 运动时肌乳酸与血乳酸的关系. 山东体育科技, 1991, 6(2): 1~ 4
- 9 Ahmaidi S P, Granier Z, Taoutaou J, et al. Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. Med Sci Sports Exerc, 1996, 28(4): 450~ 456
- 10 Stainsby W N. Regulation of muscle lactate production. Med Sci Sports Exerc. 1991, 23(8): 907~ 911
- 11 Donovan C M, Brooks G A. Edurance training effects of lactate clearance, not lactate production. Am J Physiol. 1983. 244: E83~ E92

在 15 min 后迅速降至零水平, 在运动后 30 min 达到净吸收高峰, MLa 浓度降至最低点。

强直收缩中的 MLa

MLa 变化规律同反复收缩变化一样, 只是 MLa 浓度峰值要高于反复收缩。

渐进性收缩中的 MLa

本类型收缩产生的 MLa 随时间延长浓度逐渐升高, 但始终低于反复收缩, 即使在收缩 25 min 以后也是如此。这可能是由于最早收缩的肌纤维已不再释放 La, 而目前 MLa 反映的只是当前收缩了的纤维释放的乳酸的浓度。

间歇收缩中的 MLa

此过程变化形式同反复收缩一样, 且 MLa 峰值也与反复收缩相似。

1.1.2 运动时 BLa 增加的类型

恒定速率运动时 BLa 的增加

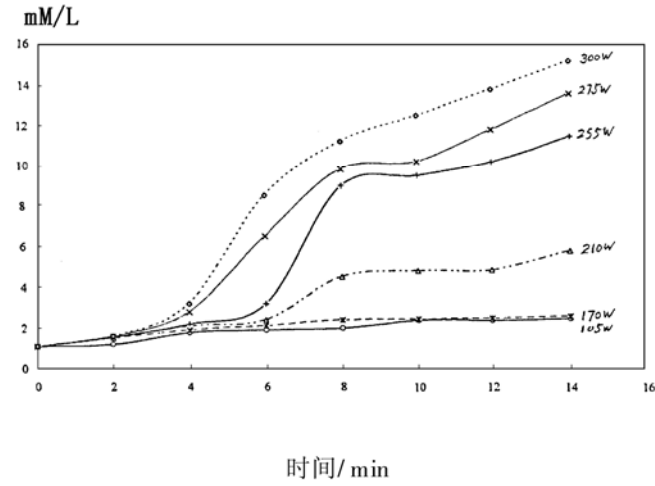


图 3 同一受试者在六天中于自行车功量计上完成六种恒定速率负荷时, 动静脉血中乳酸的增加

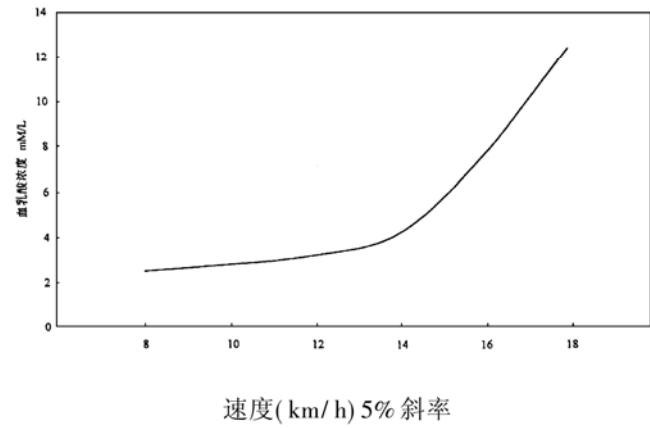


图 4 递增强度跑台运动对动脉血乳酸浓度的影响

如图 3, 同一受试者以相同时间完成 6 种不同的恒定运动速率负荷时, BLa 浓度随运动时间延长逐渐增加。运动速率低于无氧阈时, 乳酸变化很小, 提高运动负荷时, 乳酸生成速率超过乳酸消失速率, 血乳

酸持续增加, 当增至某一程度时, 受试者会表现为疲劳而停止运动。^[5]

递增强度运动时血乳酸的增加

Kinderman^[6]等把血乳酸约为 2 mmol/L 的浓度称为有氧阈; 2~ 4 mmol/L 称为有氧无氧代谢转移; 约 4 mmol/L 时为无氧阈, 在这以后血乳酸随运动强度增加而指数增加。大量研究结果证明, 无氧阈的存在是递增强度运动时乳酸生成速率增加大于乳酸消失速率的结果。Kinderman 等曾对七名世界水平越野滑雪运动员, 用递增负荷在跑台上运动时, 测定血乳酸变化。从图 4 可看出乳酸变化趋势。

间歇运动时血乳酸的增加

间歇运动时, 血乳酸浓度大大高于一次性运动,^[7]其原因是运动时骨骼肌细胞内氢离子向细胞外间隙弥散的速度比乳酸根快。因而在肌细胞内限制糖酵解的氢离子在休息期能很快转移到细胞外, 使细胞内糖原更多地被利用于酵解产生乳酸, 造成间歇训练时血乳酸浓度大大高于一次性力竭运动时的血乳酸浓度。

2 恢复过程与乳酸

运动过程中, 机体的内环境、神经、内分泌、免疫等系统的平衡被打破, 在恢复期内需得以恢复。恢复过程中, 由无氧糖酵解产生的乳酸被机体清除, 因而浓度会逐渐降低, 大约在运动停止后 50 min, 血乳酸水平恢复至安静状态。^[1]骨骼肌产生的乳酸代谢去路有三条: 在骨骼肌、心肌等组织中进一步氧化成水和二氧化碳; 在骨骼肌、肝中重新合成葡萄糖和糖原; 转变成脂肪酸、丙氨酸等其他物质。在这 3 条途径中, 前两条途径是主要的。训练后不同的恢复过程会影响运动员下一次训练的状态, 因而对恢复过程的研究也越来越多。恢复过程有主动恢复(AR)和被动恢复(PR)。前者是运动后以合适的强度运动至安静良好的状态, 后者是运动后立即安静地休息。

Peter R. J. 等人在研究年龄对游泳者的 AR 与 PR 中 BLa 的影响时发现, 所有年龄组的 AR 与 PR 过程的 BLa 都有显著差异, AR 运动后 BLa 的最大浓度低于 PR, 且达到最大 BLa 浓度的时间短, 半数浓度恢复的时间也缩短。

Dainyuk Choi 等人的研究认为 AR 与 PR 过程中 MLa 消失速率和肌糖原再生速率无显著差别。但 AR 过程中的 BLa 的下降速度高于 PR, BLa 浓度变化曲线也高于 PR(见图 5)。PR 过程开始 4 min 时的 BLa 浓度显著高于 AR(见图 6)。AR 过程中的 BLa

运动及其恢复过程中乳酸变化研究的进展(综述)

王红梅 姚小曼(审校) 北京市卫生防疫站 (100013)

1 运动过程与乳酸

多年来人们一直认为,剧烈运动导致肌肉缺氧使肌糖原被无氧糖酵解为乳酸(La)。实验证明,La生成的调节因素很多,^[4]即使在氧充足时也存在糖酵解过程。过去的研究已证实红细胞、神经、视网膜等细胞内糖酵解很活跃,机体处于有氧及安静状态时也有La生成。可见,细胞无论是在有氧还是无氧状态下,均可产生La。

1.1 运动时乳酸的产生

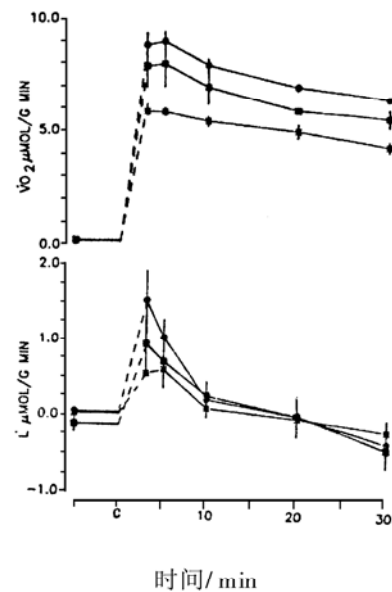
1924年Hill等人就已提出“运动过程中La的升高是氧供不足时机体提供无氧能源的结果”。运动时肌肉是乳酸生成最多的部位,肌乳酸(MLa)与血乳酸(BLa)均升高,特别是大强度运动时升高更明显。

MLa浓度增加通过两个机制:(1)糖酵解迅速增加,线粒体不能迅速地利用丙酮酸,从而不能充分地阻止丙酮酸在细胞浆中积累导致MLa增加。(2)线粒体穿梭作用受到限制(穿梭作用是指胞浆内NADH被氧化后将质子和电子传递给线粒体内的辅酶,最终与氧结合)。穿梭作用受限导致胞浆内NADH大量积累,使细胞内氧化还原态发生改变,从而使丙酮酸转化为乳酸并加速糖酵解。Donovan和Brooks认为,BLa的升高是由于乳酸清除能力降低的原因。

肌肉内La可通过肌细胞膜转运,以扩散,对输^[3]方式转运,造成La通过肌细胞膜要克服一定阻力,因而MLa向血液输送需一定时间。MLa向血中输出达到高峰的时间是反复肌肉收缩运动停止2~7min后,^[4]而在10min后,再无La输出变化。但此结论是在体外肌肉模型上进行的;BLa高峰出现时间不具有普遍性。有研究表明,测定BLa浓度高峰的最佳时间是运动停止后15min,^[1]此时基本上反映的是运动刚停止时的MLa水平。又有研究表明,MLa和BLa二者间浓度相对平衡所需时间长短还与运动强度的大小和运动持续时间的长短有密切关系。强度越大,BLa值越高,则BLa达到最高值就越晚;最大强度短跑后,BLa最高值出现在运动结束后10~20min;持续时间长、强度低的长跑或强度大但持续时间较长的间歇训练后,运动结束即刻BLa达最大值,原因是在多次重复跑或长时间跑的过程中MLa和BLa已达到相对平衡状态。^[4]这为取血时间提供了参考。

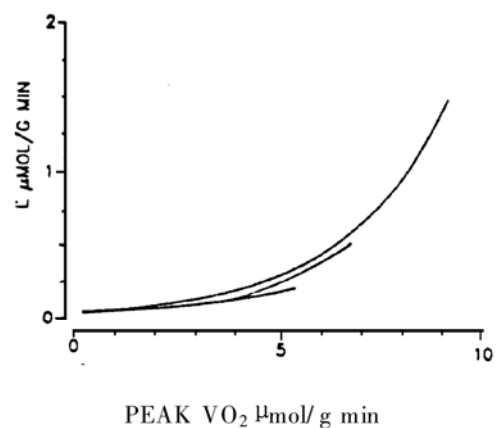
1.1.1 运动时MLa增加的类型^[10]

用频率为每秒5次,电压为4.0v的电流刺激狗的胃肠道平滑肌群,造成肌肉反复收缩模型,再以每秒50次的电刺激100或200ms造成肌肉强直收缩模型;25min内将电压从0变到4v刺激神经,造成渐进性收缩模型;以每秒2次的电压刺激神经,使肌肉收缩30s后休息3.5min后再重复上述收缩共四次,造成间歇运动模型。见图1,图2。



○—○反复恒定速率肌肉收缩; ■—■渐进性收缩; * —* 间歇收缩。

图1 不同运动中的耗氧量(VO_2)和乳酸浓度(L)



最高的曲线为图1中反复恒定速率肌肉收缩3~5min时的乳酸浓度;最低的为渐进性收缩中的MLa浓度;中间的为渐进性收缩中不断灌注肾上腺素时的乳酸浓度。

图2 耗氧量与乳酸浓度之间的关系

反复恒定速率肌肉收缩时MLa的增加

当肌肉收缩3~5min时,MLa浓度达高峰,然后