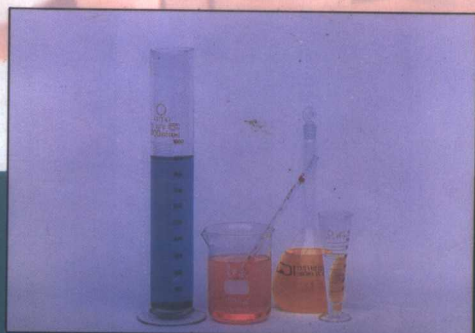
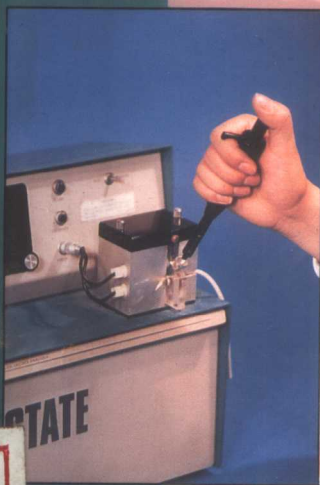




运动负荷 的生化评定

林文强 编著



广东高等教育出版社

运动负荷的生化评定

林文弢 编著

广东高等教育出版社

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

运动负荷的生化评定/林文茂编著. —广州: 广东高等教育出版社, 1996. 3

ISBN7-5361-1878-3

I. 运… II. 林… III. 负荷 (生物) —人体测量 (运动医学) IV. G804.49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 09016 号

广东高等教育出版社出版发行

(广州市广州体育学院 20 栋)

广东万象印务有限公司印刷 广东省新华书店经销

787×1092 毫米 32 开 8 印张 16 千字

1996 年 3 月第 1 版 1996 年 3 月第 1 次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 9.20 元

序 言

运动负荷的科学评定是科学训练中亟待解决但又难以解决的问题。运动训练的科学化在于运动负荷的适宜化。适宜的运动负荷，不仅提高训练效果，更重要的是提高人体身体机能。因此，运动负荷是目前科学训练的一个重要问题。

近几年来，有关运动负荷的研究较多，但对于科学评定运动负荷的指标选择与标准的确定却长期未能解决。目前评定运动负荷的方法常有教练员的经验法、生理学方法、心理学方法、教育学方法，这些方法虽能评定运动负荷，却存在某些方面的不足。随着体育科学的发展，从分子水平揭示运动训练规律的运动生化已用于评定运动负荷。近几年来运动生化评定运动负荷越来越显示它的潜力。运动生化在运动负荷以及身体机能的评定方面应用越来越多，越来越广泛。许多教练员、运动员都很熟悉血乳酸、血红蛋白、血睾酮等生化指标。但对这些生化指标的原理、与运动负荷的关系、评定的标准以及测试方法等却了解不够。因此，作者根据运动生化与运动训练的基本原理，查阅大量的文献资料，结合在运动队中多年的研究成果、体会与经验编著了《运动负荷的生化评定》一书。在书中既反映了当前国内外的研究动态，也有作者的研究成果，尤其是“训练效果的生化评定”和“运

动负荷的生化综合评定”两章，作者以多年研究的成果为主而写成，很有创新性。因此，本书既有编，又有著，但又不同于一般以编为主的著。

《运动负荷的生化评定》是以运动训练中能量代谢为中心，根据运动生化的原理分析运动负荷与某些生化指标的关系，重点介绍评定运动负荷的具体生化指标、评定的原理与方法、简单测试组织方法以及材料分析示例等。全书共分七章，第一章与第二章主要分析运动负荷的生化基础与原理；第三章、第四章与第五章分别分析负荷强度、负荷量和训练效果的生化评定；第六章介绍了运动负荷综合评定的特点以及典型例子；最后一章介绍了常用的生化指标简单的测试方法和测试时应注意的问题等。

《运动负荷的生化评定》为一部科学性与实用性较强的专著，是广大教练员、运动员、科研人员从事科学训练的参考书，也可供体育院校、师范院校教师、体育科研人员和学生学习与工作时的参考。

祝愿这本新作受到大家的欢迎。

冯炜权

1996年2月于广州

目 录

第一章 运动负荷的生化.....	(1)
第一节 运动负荷对人体的影响.....	(1)
一. 运动训练对机体化学组成的影响.....	(2)
(一) 运动训练对高能磷酸化合物的影响	(3)
(二) 运动训练对三大能源物质的影响	(6)
(三) 运动训练对酶的影响	(9)
(四) 运动训练对激素的影响	(12)
(五) 运动训练对自由基的影响	(15)
二. 运动训练对物质代谢的影响	(16)
(一) 无氧代谢训练对物质代谢的影响	(17)
(二) 有氧代谢训练对物质代谢的影响	(18)
(三) 力量训练对物质代谢的影响.....	(19)
第二节 运动负荷的一般原理	(20)
一. 运动负荷的组成因素	(20)
二. 运动负荷的分类	(22)
第三节 运动负荷对人体机能影响的生化原理	(24)
一. 运动应激学说	(24)
(一) 应激的研究和概念	(25)
(二) 运动应激的特点	(25)
(三) 应激学说在运动训练中的应用	(26)
二. 超量恢复的理论及应用	(31)
(一) 超量恢复的研究及概念	(32)
(二) 运动负荷对超量恢复的影响	(33)

(三) 能源物质恢复的特点	(35)
(四) 超量恢复的机理	(39)
(五) 超量恢复理论的应用	(40)
三. 运动性疲劳及生化特点	(42)
(一) 运动性疲劳的概念	(42)
(二) 疲劳的分类	(44)
(三) 中枢疲劳的生化特点	(44)
(四) 骨骼肌疲劳的生化特点	(45)
(五) 不同运动时间疲劳的生化特点	(48)
(六) 运动性疲劳的生化机理	(49)
第四节 运动负荷生化评定意义	(52)
一. 运动负荷生化评定能及早诊断过度疲劳	(53)
二. 生化指标能较为客观地评定运动负荷水平	(53)
第二章 运动负荷评定的生化基础	(55)
第一节 运动时肌肉的能量供应体系	(55)
一. 磷酸原供能系统	(56)
(一) ATP (三磷酸腺苷)	(56)
(二) CP (磷酸肌酸)	(57)
(三) ADP	(58)
二. 糖酵解供能系统	(59)
三. 有氧氧化供能系统	(60)
(一) 糖有氧代谢	(60)
(二) 脂肪分解代谢	(61)
(三) 蛋白质代谢供能	(62)
第二节 运动时各供能系统相互关系	(63)
一. 运动时能量供应顺序及过程	(63)
(一) 首先是 ATP 直接供能	(63)

(二) 磷酸肌酸的转化	(63)
(三) ADP 缩合生成 ATP 和 AMP	(64)
(四) 糖酵解供能	(64)
(五) 有氧代谢供能	(64)
二. 运动时各供能系统的关系	(65)
第三节 无氧代谢和有氧代谢与运动能力的关系	(67)
一. 有氧和无氧代谢能力的大小	(67)
二. 有氧和无氧代谢的功率	(69)
三. 有氧和无氧代谢能量利用的效率	(71)
第四节 运动负荷生化评定的基本原理	(72)
一. 评定运动负荷指标选择的原则	(73)
(一) 代谢产物对运动负荷的评定	(73)
(二) 血清酶与运动负荷的关系	(75)
二. 运动负荷的生化评定应采用多指标、系统性综合评定	(75)
三. 评定运动负荷的生化指标应注意其可测性与易测性	(76)
(一) 利用血、尿液生化指标评定运动负荷	(76)
(二) 评定运动负荷的生化指标应具有易测性	(76)
(三) 掌握适宜的测试时间	(77)
第三章 负荷强度的生化评定	(78)
第一节 血乳酸与负荷强度的评定	(78)
一. 乳酸的代谢	(79)
(一) 安静时乳酸的生成及生成量	(79)
(二) 乳酸生成过程及调节因素	(80)
(三) 乳酸的消除	(85)
二. 运动中乳酸的生成量	(91)

(一) 肌乳酸与血乳酸	(91)
(二) 运动时乳酸的生成	(92)
三. 乳酸测定应注意问题	(100)
(一) 安静时血乳酸测定的采血时间	(100)
(二) 运动后血乳酸测定的采血时间	(100)
四. 血乳酸在评定负荷强度中的应用	(104)
五. 血乳酸与负荷强度的控制	(104)
第二节 尿蛋白与负荷强度的评定	(109)
一. 正常人尿的成分	(109)
二. 运动性尿蛋白	(109)
三. 运动性尿蛋白的机理	(109)
(一) 尿蛋白的产生机理	(112)
(二) 运动性蛋白尿机理	(115)
四. 尿蛋白与运动负荷的关系	(119)
五. 影响运动性尿蛋白的因素	(122)
(一) 尿蛋白与身体机能	(122)
(二) 与某些训练手段的关系	(123)
(三) 年龄和环境的关系	(124)
(四) 情绪对尿蛋白的影响	(124)
六. 测定尿蛋白应注意问题	(124)
(一) 样品收集时间	(125)
(二) 系统测定尿蛋白	(125)
第三节 血清肌酸激酶 (CK)	(125)
一. 血清肌酸激酶正常值	(125)
二. 肌酸激酶和身体机能状态	(126)
第四章 负荷量的生化评定	(128)
第一节 血尿素与负荷量	(128)
一. 血尿素正常值	(129)

二. 血尿素与负荷量.....	(129)
三. 膳食对血尿素的影响.....	(133)
第二节 血红蛋白与负荷量.....	(135)
一. 我国运动员血红蛋白正常值.....	(135)
二. 血红蛋白与运动能力的关系.....	(137)
三. 血红蛋白与负荷量.....	(139)
四. 血红蛋白的影响因素.....	(139)
(一) 血红蛋白与身体机能的关系	(139)
(二) 大运动量训练的影响	(139)
(三) 高山环境的影响	(140)
(四) 膳食条件的影响	(140)
(五) 年龄的影响	(140)
第三节 血睾酮与运动负荷.....	(140)
一. 睾酮的特点与合成.....	(141)
二. 睾酮的生理功能及含量.....	(141)
三. 睾酮对运动能力的影响.....	(143)
四. 血睾酮与运动负荷.....	(145)
第四节 尿胆原与运动负荷.....	(147)
一. 尿胆原的生成与影响因素.....	(147)
二. 尿胆原与负荷量.....	(147)
第五章 训练效果的生化评定.....	(150)
第一节 力量与速度训练效果的生化评定.....	(150)
一. 磷酸原供能能力的间接评定.....	(151)
(一) ATP-CP 功率测验	(151)
(二) 尿肌酐评定法	(152)
二. 血乳酸评定方法.....	(159)
(一) AQ 的测定和评定.....	(159)

(二) 10 秒钟内快速运动评定方法	(160)
第二节 速度耐力训练效果的生化评定	(161)
一. 血乳酸最大浓度与速度耐力素质	(162)
二. 血乳酸评定速度耐力训练效果的方法	(163)
第三节 有氧耐力训练效果的评定	(165)
一. 乳酸阈评定有氧耐力	(165)
(一) 乳酸阈与有氧耐力	(165)
(二) 乳酸阈与有氧代谢能力的评价	(166)
(三) 乳酸阈的测定	(168)
(四) 个体乳酸阈的测定	(172)
二. 自行车功率计的评定方法	(175)
第六章 运动负荷的生化综合评定	(176)
第一节 运动负荷生化综合评定的特点	(176)
一. 运动负荷生化综合评定的意义	(177)
二. 运动负荷生化综合评定的特点	(178)
(一) 运动负荷与多项评定指标中单项生化指标的关系	(178)
(二) 评定运动负荷各生化指标的独立性	(178)
(三) 综合评定的方法及特点	(178)
第二节 运动负荷生化综合评定方法的设计	(182)
一. 评定运动负荷生化指标的选择	(182)
二. 进行准备实验, 确定指标测定的可靠性与客观性	(185)
三. 确定综合评定的各生化指标	(187)
四. 设计测试及评价的表格	(188)
五. 对测试结果作出综合评价	(188)
第三节 运动负荷生化综合评价举例	(188)

一. 训练后运动负荷的综合评定	(188)
二. 次晨生化指标与运动负荷综合评定	(190)
(一) 血红蛋白、血尿素评定身体机能	(190)
(二) 血红蛋白、肌酸激酶、血尿素三指标综合评定运动负荷	(193)
(三) 连续四个月追踪测试与运动负荷综合评价	(193)
第七章 评定运动负荷常用生化指标的测试方法	(198)
一. 血红蛋白的测定	(198)
(一) 氰化高铁血红蛋白法测定原理	(198)
(二) 实验试剂与仪器	(199)
(三) 实验操作过程	(199)
(四) 计算公式	(199)
(五) 注意问题	(200)
二. 血乳酸的测定方法	(200)
(一) 实验原理	(201)
(二) 实验试剂	(201)
(三) 实验操作过程	(202)
(四) 计算公式	(203)
(五) 测定血乳酸注意的问题	(203)
三. 血尿素的测定	(204)
(一) 实验原理 (二乙酰乙肼法)	(204)
(二) 实验试剂	(205)
(三) 实验器材	(205)
(四) 实验操作过程	(205)
(五) 计算公式	(206)
(六) 注意事项	(206)
四. 尿蛋白的测定	(207)
(一) 实验原理	(207)

(二) 实验试剂	(207)
(三) 实验仪器	(208)
(四) 实验操作过程	(208)
(五) 计算公式	(208)
五. 尿肌酐系数测定法	(209)
(一) 实验原理 (碱性苦味酸法)	(209)
(二) 实验试剂	(209)
(三) 实验操作过程	(210)
(四) 注意事项	(211)
六. CK 的测定	(212)
(一) 实验原理	(212)
(二) 实验试剂	(212)
(三) 实验仪器	(213)
(四) 实验操作过程	(213)
(五) 注意事项	(213)
七. 尿胆原测定方法	(214)
(一) 实验原理	(214)
(二) 实验试剂	(214)
(三) 实验仪器	(215)
(四) 实验操作过程	(215)
(五) 计算公式	(216)
(六) 注意事项	(216)
八. 血睾酮测定方法	(216)
(一) 实验原理 (放射免疫法)	(216)
(二) 实验试剂	(217)
(三) 实验操作过程	(217)
(四) 计算公式	(218)
主要参考文献	(219)

第一章 运动负荷的生化

在科学技术和竞技体育运动高度发达的今天，人们不得不争取一切有效的方法与手段，力图挖掘人类的运动潜力，以极大地提高人体的运动能力。众所周知，影响运动能力的因素是很多的，如遗传、营养、恢复手段以及训练等，在诸多影响因素中，除遗传因素是先天决定的之外，运动训练对改善人体运动能力是一个相当重要的因素，运动训练以其负荷强度、量等使人体稳定状态下的代谢系统的平衡打破。于是，在短暂的时间内，体内代谢系统产生相对的不平衡，但在恢复期，又自动恢复平衡，如此的平衡——不平衡——新的平衡，使代谢系统不断适应，从而提高运动能力，在运动训练实践中，最难掌握的是适宜的运动负荷，负荷过大，不仅不能提高运动能力，反而损害身体健康；负荷太小，运动能力提高不明显；因此，寻找适当的运动负荷以及科学评定运动负荷的方法，是当今运动训练科学化的一个重要问题，本章从运动生化的原理出发，分析运动负荷对人体相应的影响，以及影响人体运动能力的因素等。

第一节 运动负荷对人体的影响

任何生物，为了生存，为了适应周围不断变化的环境，其内部结构及人体机能总在不断地变化。人类也一样，在正常

情况下，人体各器官系统的活动相互制约、相互协调，处于一种相对平衡的状态，这种相对平衡是人体生命存在和人体机能正常活动的必要条件，当外环境发生变化时，机体内环境的相对平衡受到破坏，体内各种功能不得不重新进行调整，以维持机体内外环境的相对平衡。这在生物学上称为生物适应。

运动训练，是人们主动地通过某些训练手段与方法，力图改变体内某些方面的能力，因此，它是一个主动改造人体形态、结构及机能的过程。因此，它不同于人体的一般的适应。

一. 运动训练对机体化学组成的影响

在运动训练中，主要是采用施加运动负荷等方法，有意识地打破机体内环境的相对平衡，使之发生向较高机能水平的转化，从而在与施加的运动负荷相适应的水平上重新获得相对平衡。训练中人体各器官系统的形态、结构以及生理和心理等方面的良好变化，是在增加运动负荷的条件下进行多次的重复身体练习所产生的适应性反应的结果。我们把这种由于运动训练而产生的有机体与施加负荷的外环境不断取得平衡的过程叫做训练适应。然而，不同的运动训练对人体的影响是不同的。

人体的化学组成主要有水、盐类、糖类、脂类、蛋白质、核酸、维生素及激素等，在正常情况下，人体这些化学组成是相对稳定的。但在运动训练的影响下，可以发生相应的生化变化。如运动员进行三次1分钟短跑，间歇休息1分钟，当运动至力竭时，其糖原、ATP、CP等减少，而乳酸、IMP等

增多，详见表 1-1。

表 1-1 短跑力竭后骨骼肌能源物质和中间产物的含量

名 称	安静时 (微摩尔/克湿肌)	运动后含量 (微摩尔/克湿肌)	
		15 秒	30 分
糖原	88	58	70
6-磷酸葡萄糖	0. 35	2. 6	0. 84
乳酸	1. 1	30. 5	6. 5
磷酸甘油	0. 27	2. 23	0. 74
磷酸肌酸	17. 0	3. 7	18. 8
ATP	4. 6	3. 4	4. 0
ADP	0. 95	1. 00	1. 00
AMP	0. 105	0. 103	0. 100
IMP	<0. 1	0. 9	8
Pi	9. 7	22. 0	—
总腺苷酸	5. 7	4. 5	5. 1
PH	7. 1	6. 3	7. 0

引自 Hermansen, 1981, 1983

(一) 运动训练对高能磷酸化合物的影响

在运动生化中，凡是具有高能磷酸键的化合物统称为高能磷酸化合物，如 ATP, CP, ADP 等，这些高能磷酸化合物在运动中起到相当重要的作用，如 ATP 是肌肉收缩的唯一直接供能者，CP 是运动时能量贮存者和最易被动员的高能

磷酸化合物。运动时，ATP 浓度下降，就会快速动员 CP。CP 在肌酸激酶（CK）的催化下，把高能磷酸键转给 ADP，形成 ATP，以维持 ATP 浓度的相对恒定。

1. 运动训练对 ATP 的影响

ATP 是肌肉收缩时将化学能转化为机械能的唯一直接能源。运动时，ATP 转运率加快，其加快速度与负荷强度成正比。Newsholme（1983）研究表明，100 米跑时 ATP 转运率可以加快 1000 倍之多。骨骼肌消耗 ATP 速度为每千克肌肉 3 毫摩尔，由于肌肉中 ATP 含量极少，再加上种种因素的影响，实际上骨骼肌 ATP 只够最大强度运动一秒钟左右。

肌肉活检的研究结果表明，在生理条件下进行运动，骨骼肌 ATP 浓度的实际变化幅度较小。在中等强度运动达到疲劳时，骨骼肌中 ATP 浓度降低极少，即使在最大强度运动达疲劳后，骨骼肌中 ATP 浓度最多也只降低 30%—40%。

运动中骨骼肌中 ATP 浓度变化极少的原因是，ATP 的转换率很高，当 ATP 有下降趋势时，其他能源物质进行生化反应，源源不绝转化为 ATP。

2. 运动训练对 CP 的影响

骨骼肌的 CP 为每千克湿肌 15—20 毫摩尔，大约为 ATP 重量的三倍，人体全身的骨骼肌重量以 28 千克计算，总 CP 贮量为 506 毫摩尔。CP 的分解并不能直接供能，而是通过肌酸激酶反应将高能磷酸键转移到 ADP 分子上生成 ATP。在运动后的恢复期又通过线粒体的氧化产生大量的 ATP，再由肌酸激酶催化肌酸磷酸化而成为 CP。因此，CP 既是能量的贮存器，又是运动时最易被动员的高能磷酸化合物。

运动时肌肉中 CP 的变化与运动时保持在稳态状态时负