

运动生物化学指南

陈永清 王元勋 郝盛发 编著

人民体育出版社

运动生物化学指南

陈永清 王元勋 郝盛发 编著

人民体育出版社

责任编辑：骆勤方

运动生物化学指南

陈永清 王元勋 郝盛发 编著

人民体育出版社出版

定兴兴华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 8.625印张 135千字
1990年9月第1版 1990年9月第1次印刷
印数：2,000册

ISBN7-5009-0384-7/G·361

定价：4.50元

前 言

运动生物化学是研究人体的化学组成、代谢特点和规律及其与人体运动之间相互关系的一门基础学科。它的理论与方法业已广泛地应用于运动训练实践，并成为各项训练研究中的重要内容之一。教练员、运动员和体育教师必须懂得训练过程中人体内的代谢过程及其规律，并运用这些知识和方法来制订与实施科学的训练计划，以达到预期的训练效果。此外，运动生物化学在体育专业工作者的知识结构中也有相当重要的地位。

我们在多年的运动生物化学教学实践中，深感目前较多的学生对教科书中复杂的化学结构式和反应式不易掌握，特别是在职教练员和运动员在业余学习中更感到困难；而国内尚缺少一本为广大教练员、运动员和体育教师阅读的运动生物化学读物。为此，我们编写了这本《运动生物化学指南》。本书在编写过程中力图避免过多地出现化学结构式和反应式，文字叙述力求精练，内容尽量紧密结合运动实践。

本书主要内容以人体运动时的能量供应为主线，旁及探讨运动训练的生化适应、疲劳和恢复过程等生化问题。运动员机能状态的生化评定一章，选用了一些简易的血尿生化指标和评定方法，可供运动队选择采用。

通过本书的学习将有助于教练员、运动员和体育教师了

解和掌握运动生物化学的基本原理和知识，从而为科学地进行运动训练和体育教学提供生化依据。

本书由陈永清副教授主编。参加本书编著的有陈永清、王元勋、郝盛发三位副教授。由于编著者水平有限，书中存在不妥之处。谨请广大读者批评指正。

本书承蒙杭州大学华明教授鼎力支持并对书稿进行审定。撰写第一章时，得到全如璜教授的热情帮助，为本章提供了许多宝贵的材料。马永胜同志为本书绘图。在此，一并表示衷心感谢。

1988年9月

内 容 提 要

本书内容包括运动与骨的生物化学；骨骼肌的生物化学；酶与训练引起的酶适应；激素与训练引起的激素反应；运动时的能量供应；运动素质的生化基础；营养与运动能力；运动性疲劳和恢复过程的生物化学；运动员机能状态的生化评定，并附有运动生物化学名词解释等作为附录。本书密切联系运动实践，文字简明，通俗易懂。可供广大教练员、运动员、体育院系师生，以及其他从事体育工作的同志阅读参考。

目 录

第一章 运动与骨的生物化学	(1)
一、概述	(1)
二、软骨的生化特点	(2)
三、硬骨的生化特点	(4)
(一)骨的化学组成	(4)
(二)硬骨的形成	(7)
四、骨代谢及其调节	(8)
(一)骨代谢	(8)
(二)钙代谢及其调节	(9)
五、骨代谢与运动	(12)
(一)骨对运动的生化适应	(12)
(二)骨龄与运动	(13)
第二章 骨骼肌的生物化学	(17)
一、骨骼肌的微细结构和化学组成	(17)
(一)骨骼肌的微细结构	(17)
(二)肌肉的化学组成	(18)
二、肌肉的收缩蛋白和调节蛋白	(21)
(一)肌肉的收缩蛋白	(21)
(二)调节蛋白类	(23)
三、肌肉收缩与松弛的分子机理	(25)
(一)肌肉收缩的启动	(26)

(二)肌肉的松弛	(27)
四、骨骼肌纤维类型及其生化特征	(30)
(一)快肌纤维和慢肌纤维的生化特点	(30)
(二)肌纤维类型与运动能力	(32)
五、运动训练对两类肌纤维的影响	(33)
(一)训练能否使两类肌纤维互相转化	(33)
(二)训练对肌纤维横断面积的影响	(34)
(三)训练对肌纤维代谢特征的影响	(37)
(四)训练对两类肌纤维影响的专一性	(39)
(五)运动训练时两类肌纤维的动员	(40)
第三章 酶与训练引起的酶适应	(41)
一、酶的概述	(41)
(一)什么是酶	(41)
(二)酶的命名和分类	(42)
(三)酶促反应的特点	(43)
(四)同工酶在骨骼肌中的分布	(44)
二、酶的化学结构与功能	(45)
(一)酶的分子组成	(45)
(二)辅酶的结构与功能	(46)
三、酶的作用机理	(50)
(一)酶能降低反应的活化能	(50)
(二)酶的催化作用过程	(51)
四、影响酶促反应速度的因素	(52)
(一)温度对酶促反应速度的影响	(52)
(二)pH对酶促反应速度的影响	(52)
(三)酶浓度对反应速度的影响	(53)
(四)底物浓度对反应速度的影响	(53)

(五)激活剂与抑制剂	(54)
五、运动训练的酶适应	(54)
(一)训练对骨骼肌酶活性的影响	(54)
(二)训练对血清酶活性的影响	(56)
(三)酶适应的生化分析	(56)
第四章 激素与训练引起的激素反应	(60)
一、激素概述	(60)
二、激素作用的原理	(62)
(一)通过细胞膜受体作用的原理	(62)
(二)通过细胞膜内受体作用的原理	(63)
三、激素与运动	(63)
(一)甲状腺激素	(63)
(二)肾上腺皮质激素	(65)
(三)肾上腺髓质激素	(69)
(四)胰岛素和胰高血糖素	(72)
(五)生长激素(GH)	(74)
(六)性激素	(77)
第五章 运动时能量的供应	(82)
一、概述	(82)
二、肌肉活动的燃料	(84)
(一)糖	(84)
(二)脂类	(86)
(三)肌肉活动中蛋白质分解供能浅述	(89)
三、燃料中能量的释放	(89)
(一)糖分子中能量的释放与转移	(90)
(二)脂肪的燃烧(氧化)	(94)
(三)运动与蛋白质代谢	(98)

四、运动时的供能系统.....	(99)
(一)磷酸原(ATP—CP)系统.....	(100)
(二)乳酸能系统	(103)
(三)有氧氧化系统	(103)
(四)运动与能量连续统一体.....	(105)
五、无氧代谢和有氧代谢能力的训练.....	(108)
(一)各种运动项目与训练方法的供能代谢特点.....	(108)
(二)无氧代谢训练法	(109)
(三)有氧代谢训练法	(112)
(四)无氧代谢和有氧代谢能力的简易评定	(114)
第六章 运动素质的生物化学基础.....	(116)
一、力量训练对肌肉的生化影响.....	(116)
二、速度和速度耐力训练.....	(120)
三、一般耐力训练.....	(121)
(一)骨骼肌中肌红蛋白的含量增多	(121)
(二)肌肉中动用脂肪供能的能力增强	(122)
(三)肌糖原和甘油三酯贮量增加	(123)
(四)糖原无氧酵解能力降低.....	(125)
(五)高能磷化物的贮备量增加.....	(125)
(六)肌纤维类型的选择性肥大.....	(125)
第七章 营养与运动能力.....	(129)
一、运动员营养和营养素.....	(129)
二、运动员营养的基本要求.....	(131)
(一)满足运动员的热能需要.....	(131)
(二)营养素的摄入量要适量, 注意膳食平衡.....	(131)
(三)食物的体积要小, 而发热量要高, 营养素要全, 容易消化.....	(133)

(四)食物的烹调和保存方法要合理	(133)
(五)运动员膳食制度要合理	(133)
(六)食物应多样化	(133)
三、运动员的热能代谢	(133)
(一)人体的热能消耗	(134)
(二)热能消耗的测定	(135)
(三)热能供给标准	(151)
四、运动员营养的特点	(154)
(一)运动和蛋白质营养	(154)
(二)运动和脂肪营养	(155)
(三)运动和糖的营养	(158)
(四)水对运动员的重要性	(160)
(五)无机盐对运动员的重要性	(161)
(六)运动员对维生素的需要量	(164)
五、运动员饮食的合理安排	(167)
六、运动员比赛期的营养	(168)
(一)赛前饮食	(169)
(二)赛中饮食	(169)
(三)赛后饮食	(169)
七、某些运动项目的营养特点	(170)
八、运动员减轻体重时期的营养问题	(171)
(一)减轻体重的量不要过多或过快	(172)
(二)减重期间的饮食	(172)
(三)妥善处理减重后的饥饿感	(172)
(四)保证机体基本的水分需要	(172)
(五)减重阶段(赛前十天)	(172)
九、运动员的饮料	(173)

(一)运动员饮料的补充目的	(173)
(二)途中饮料配方	(173)
十、运动员膳食中应注意的问题	(174)
(一)运动员的食物要多样化	(174)
(二)要兼顾酸性与碱性食品的配合	(174)
(三)最大限度地保持食物中的营养素	(174)
(四)满足运动员合理饮食的各项基本要求	(174)
(五)一般情况下不用药物制剂补充营养	(174)
第八章 运动性疲劳的生物化学	(177)
一、概述	(177)
二、疲劳的分类方法	(178)
三、运动性疲劳的生化机制	(179)
(一)短时间剧烈运动中疲劳的生物化学分析	(179)
(二)长时间运动中疲劳的生物化学分析	(182)
四、消除和推迟运动性疲劳出现的方法	(185)
(一)消除运动性疲劳的方法	(185)
(二)推迟运动性疲劳出现的方法	(185)
第九章 运动后恢复过程的生物化学	(187)
一、概述	(187)
二、能源物质的超量恢复	(187)
三、肌肉中磷酸原(ATP-CP)贮备的恢复	(190)
(一)持续运动时ATP和CP的恢复	(190)
(二)间歇运动中ATP和CP的恢复	(191)
四、氧合肌红蛋白的完全恢复	(192)
(一)运动时肌红蛋白的作用	(192)
(二)氧合肌红蛋白恢复的特点	(192)
五、肌糖原贮备的恢复	(193)

(一)短时间、高强度间歇运动后肌糖原的恢复	(193)
(二)长时间运动后肌糖原的恢复	(194)
(三)肌糖原充填(超量恢复)	(196)
六、肌肉和血液中乳酸的消除	(199)
(一)乳酸消除的速度	(199)
(二)运动性恢复对乳酸消除的影响	(201)
第十章 运动员机能状态的生物化学评定	(204)
一、训练程度的生物化学评定	(204)
(一)人体在相对安静时身体机能的生化变化	(204)
(二)人体在定量负荷后的生化变化	(206)
(三)人体在极限强度负荷后的生化变化	(206)
二、运动后身体机能的生化评定	(208)
(一)血红蛋白(Hb)	(208)
(二)血尿素氮	(209)
(三)磷酸肌酸激酶(CPK)	(212)
(四)血乳酸	(213)
(五)尿蛋白	(214)
(六)尿胆元	(215)
(七)尿肌酐	(216)
附录一 常用运动生化名词解释	(219)
附录二 人体血液、尿液、汗液检验正常值	(235)
一、血液化学检验正常值	(235)
(一)全血	(235)
(二)血清	(236)
二、尿液化验正常值	(238)
附录三 常用食物成分表	(240)
附录四 常用生化名词缩写	(250)

附录五. 常用度量衡	(259)
一、国际单位制与统一公制计量单位对照	(259)
二、计量单位换算	(260)
主要参考书目	(261)

第一章 运动与骨的生物化学

一、概 述

如果说人体是一座宏伟的“大厦”，那么，人体的206块骨头就是这座“大厦”的支架，也是人体赖以运动的杠杆。骨具有保护中枢神经、感官（眼、耳等）和脏器的作用。就生命科学而言，骨是一种有生命的器官，始终不间断地进行着新陈代谢，一个人的身高主要取决于下肢骨的长度，儿童少年身高的增长是以骨的新陈代谢为基础的。骨骼的结构中有制造血液成分的工厂，如红骨髓每秒钟能生产大约200万至300万个红细胞。此外，骨还是人体内一些重要离子（如钙、镁、钾、钠等）的贮存库，组成骨的矿物质主要是钙盐。在正常条件下，骨钙和血钙处于动态平衡状态，钙代谢主要通过甲状旁腺素和维生素D的调节，从而得以维持细胞外液钙的浓度。

人体内有两类骨组织：即软骨和硬骨。在人的胚胎时期首先出现的都是软骨，以后在人体发育过程中，除了在某些部分终生保持软骨的形式外，大部分都逐步骨化而成硬骨。刚出生的婴儿长骨两端各有一段软骨，称为骺软骨，或简称骨骺，它是长骨向两端延长生长的部位。如因外伤而骨折

后，当其愈合过程中首先出现的也是软骨组织，以后才被硬骨所代换。软骨具有耐摩擦和防震作用，因而一切骨关节的摩擦面都是由软骨组织所覆盖的，各脊椎骨之间的椎间盘也是软骨组成的。软骨有一定弹性，从鼻腔、喉头，直至气管均有软骨成分，以保持呼吸道的扩张状态。相比之下，硬骨的特征是坚硬稳固，因此，人体承受负荷的部分都是由硬骨构成的。

骨组织包括细胞成分（软骨细胞和骨细胞）及由细胞分泌出来的大量有机分子（也称基质），在硬骨中还有大量无机盐沉积在这些大分子之上。软骨和硬骨的基质主要成分都是胶原纤维。在软骨基质中还富含蛋白聚糖，它们可以形成很大的聚合物，其上吸附了大量水分子，才使软骨具有一定的弹性。硬骨的基质中则沉积了大量羟磷灰石结晶，胶原纤维与羟磷灰石结晶间的关系恰似混凝土中的钢筋与水泥一样，所以硬骨具有强大的抗拉、抗压能力。

骨的发育生长一直进行到青春期终止之时。骨的生长受激素的调节。如腺垂体分泌的生长激素可促进骨的生长。甲状腺素也有刺激骨生长的作用。生长素和甲状旁腺素不足，均可造成骨的发育障碍。青春发动期性激素的分泌导致骨生长的又一次飞跃，随后由于骺软骨的骨化而使长骨的纵向生长停止。这时一个人的身高也就最后确定了。

二、软骨的生化特点

由成软骨细胞分泌出软骨基质，被包围在基质中的成熟细胞，则称为软骨细胞。软骨组织的特点是富有弹性，从生物学角度来看，软骨组织很特殊，它没有神经支配，也没有

血管和淋巴管的分布，这一切之所以可能，是由于软骨基质中蛋白聚糖的特殊性。如果将软骨组织除去水分，则干物质中一半以上的重量是胶原蛋白分子。但活体中的软骨组织重量的3/4都是水。有关胶原蛋白的结构将在后面介绍，这里着重介绍蛋白聚糖，因为大量的水分是吸附夹存于蛋白聚糖之中。

所谓蛋白聚糖是以一根长长的蛋白为核心，由其上向四周垂直伸出百余条葡氨聚糖链，形成一个试管刷样的结构。葡氨聚糖是和淀粉一样的多糖。淀粉是由大量相同的双糖单位（麦芽糖）连接而成。氨基聚糖也是由大量相同或相似的双糖单位聚合而成。这些双糖单位中的一个是氨基糖，而另一个糖大多是葡萄糖醛酸或其异构物，所以整个多糖分子就称为葡氨聚糖。软骨中的葡氨聚糖上还各结合有一个硫酸根，是硫酸软骨素和硫酸角质素的主要成分。

在软骨中许多蛋白聚糖又组成一个原子量可达几千万的太复合物。这个大复合物的核心是一条更长的透明质酸链，这条主链再向四周垂直伸出近百个蛋白聚糖。总体看来，整个复合物象一个更大的试管刷，其上每个刷毛（蛋白聚糖）本身又象是一个小试管刷。透明质酸也是氨基聚糖的一种，不过它与其他氨基聚糖都不同。其他氨基聚糖都是由不足300个单糖组成的链状分子，长度不超过1微米，再由百余个氨基聚糖结合到一根核心蛋白形成蛋白聚糖。透明质酸则常常是几千个单糖组成，长度可有好几个微米，而且它本身是作为核心结构把几十个蛋白聚糖结合到它的上面形成大的蛋白聚糖复合物（图1-1）。

氨基聚糖上的羧基和硫酸基使它带有大量负电荷，因而在其周围吸引了大量水分子，多糖链的直挺外形使整个复合物中充满空隙，就象海绵一样也容纳了大量水分，才使软骨