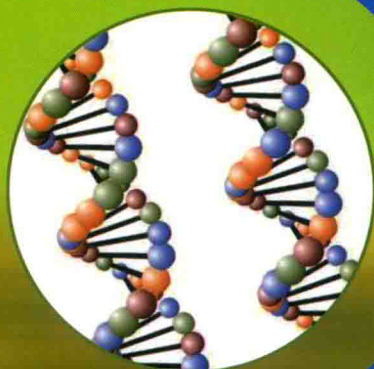


国家级精品资源共享课程系列教材

Biochemistry of Exercise Training

运动训练生物化学

主 编◎翁锡全



广东高等教育出版社
Guangdong Higher Education Press

国家级精品资源共享课程系列教材

Biochemistry of Exercise Training
运动训练生物化学

主 编◎翁锡全

编写组成员

主 编 翁锡全

编写人员 (按姓氏笔画排序)

李裕和	何晓墙	陈晓彬
林文毅	林洁如	孟 艳
徐国琴	翁锡全	黄丽英



广东高等教育出版社

Guangdong Higher Education Press

• 广州 •

图书在版编目 (CIP) 数据

运动训练生物化学/翁锡全主编. —广州: 广东高等教育出版社, 2016. 5
(国家级精品资源共享课程系列教材)
ISBN 978 - 7 - 5361 - 5555 - 8

I. ①运… II. ①翁… III. ①运动训练 - 生物化学 - 高等学校 - 教材 IV. ①G804.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 033270 号

YUNDONG XUNLIAN SHENGWU HUAXUE

出版发行	广东高等教育出版社 社址: 广州市天河区林和西横路 邮编: 510500 营销电话: (020) 87553335 http://www.gdgjs.com.cn
印 刷	广州市怡升印刷有限公司
开 本	787 毫米×1 092 毫米 1/16
印 张	13.25
字 数	320 千字
版 次	2016 年 5 月第 1 版
印 次	2016 年 5 月第 1 次印刷
印 数	1 ~ 1 000 册
定 价	29.00 元

(版权所有, 翻印必究)

前 言

运动竞赛项目繁多,不同运动项目除了其技术特点不一样外,就是运动负荷的差异,而恰好运动负荷大小决定了运动员运动时体内物质代谢和能量代谢的程度。因此,在运动训练中明确运动项目运动时机体的生化基础及其变化特点,是采取训练方法针对性、有效性和创新性,控制训练负荷适宜性和避免过度训练,提高运动能力、挖掘运动潜能的首要基础。但是,迄今为止,我国尚没有针对运动训练专业本科教学的《运动训练生物化学》教材,以往体育院校课程运动生物化学名称基本采用运动生物化学,教学内容体系也涵盖运动训练和健康促进两方面,但随着体育类专业设置和教学计划修改,教学时数削减和对专业教学内容要求更改,传统运动生物化学教材“全”“大”“深”的内容已无法适应教学的需要。有感于此,从2012年起我们开始筹划编写《运动训练生物化学》教材,并于2014年获得立项,成为广东省高等教育教学研究和改革项目(GDJG20142338),相信对于运动训练专业建设而言,《运动训练生物化学》教材的出版无论从学科理论还是运动实践指导都有重要的意义。

本书打破以往运动生物化学教材的“基础生化—运动生化—应用”为主线的内容体系,确立以运动时生化能力为核心,按照“运动素质生化基础—训练—监控—评定”主线进行编写,全书除绪论外,分为八章。编写内容充分体现基础性、先进性和实用性。第一章介绍人体运动时骨骼肌收缩与舒张的生化特征以及运动时骨骼肌能量供应系统特点,在此基础上提出运动训练生化原理;第二、三、四、五章重点介绍速度、力量、速度耐力(无氧耐力)和有氧耐力素质的生化基础及其训练方法和运动训练适应性生化变化;第六章介绍运动训练中生化监控原理和方法;第七章重点介绍运动训练以外提高运动能力的营养生化基础与方法;第八章重点介绍不同体能素质训练效果的生化评定。本书可作为体育院校和师范院校运动训练专业和民族传统体育专业的教材,也可供体育科研人员、教练员、运动员及相关人员研习和参考。

本书由翁锡全教授主编，具体各章节编写人员是：绪论、第一章（翁锡全教授）；第二章（孟艳副教授）；第三章（徐国琴副教授）；第四章（李裕和教授）；第五章（何晓嫒副教授）；第六章（林洁如助教、翁锡全教授）；第七章（黄丽英教授）；第八章（陈晓彬讲师、林文弢教授）。全书编写过程中经过多次研讨、修改，并经过两轮教学后最终审定，硕士研究生蓝道忠参与教学内容和教学模式创新实验研究。感谢全体编者的努力，他们倾注了大量的心血进行了撰写和修改，使书稿得以顺利完成。

当前，新理论和新问题不断涌现，尽管我们期盼能与时代同步，但限于编者的水平，书中的错漏和表达欠妥之处在所难免；同时，编写过程中，本书参考和引用了大量著作和研究成果，在书末尽量引注作者的名字，以表尊重，但由于种种原因，引注又不可能是完整和无遗漏；因此，期望同行和读者多提意见，以期再版时补充、修订。

主 编
2015 年 8 月

目 录

绪论	(1)
一、运动训练生物化学及其定义	(1)
二、运动训练生物化学的学习内容	(3)
三、运动训练生物化学的学习方法	(4)
本章小结	(5)
思考与练习	(5)
第一章 骨骼肌的生化与运动训练	(6)
第一节 骨骼肌的化学组成	(7)
一、水	(8)
二、蛋白质	(8)
三、脂质	(9)
四、糖	(9)
五、非蛋白氮物质	(9)
六、无机盐	(9)
第二节 骨骼肌收缩与舒张的生化特征	(9)
一、骨骼肌的收缩单位	(10)
二、骨骼肌收缩与舒张的生化本质	(14)
三、肌纤维类型及其生化特征	(17)
第三节 运动时骨骼肌的能量供应过程	(18)
一、运动时无氧代谢过程	(18)
二、运动时有氧代谢过程	(21)

第四节 运动时骨骼肌的能量供应系统	(22)
一、运动时能量供应系统	(22)
二、运动时能量供应系统的关系	(23)
三、不同运动项目的能量代谢特点	(24)
四、血乳酸浓度变化与供能系统关系	(27)
第五节 运动训练的生化原理	(28)
一、运动中物质恢复的生化特点与应用	(29)
二、运动训练计划制订的生化原则	(32)
本章小结	(33)
思考与练习	(34)
 第二章 力量素质生化基础与训练	(35)
第一节 力量素质的生化基础	(36)
一、力量素质的物质基础	(36)
二、力量素质与能量代谢过程	(37)
三、力量素质的影响因素	(40)
第二节 力量素质训练方法及其生化分析	(45)
一、力量素质训练的理论依据	(45)
二、力量素质训练方法的生化分析	(45)
第三节 力量素质训练适应性变化的生化特点	(49)
一、能源物质适应的生化特点	(49)
二、代谢调节适应的生化特点	(52)
三、神经肌肉系统适应的生化特点	(57)
本章小结	(59)
思考与练习	(60)
 第三章 速度素质生化基础与训练	(61)
第一节 速度素质的生化基础	(62)
一、速度素质的特点及能量来源	(62)
二、速度素质在运动时的能量供应过程	(63)
三、速度素质的影响因素	(66)
第二节 速度素质训练方法及其生化分析	(67)
一、速度素质运动时的供能特点	(68)
二、速度素质的运动训练方法	(68)

三、速度素质运动训练方法的生化分析	(70)
第三节 速度素质训练适应性变化的生化特点	(73)
一、肌肉适应性变化的生化特点	(73)
二、能源物质适应性变化的生化特点	(73)
三、代谢酶适应性变化的生化特点	(74)
四、神经系统适应性变化的生化特点	(74)
本章小结	(74)
思考与练习	(75)
 第四章 速度耐力素质生化基础与训练	(76)
第一节 速度耐力素质的生化基础	(77)
一、速度耐力素质的能源物质基础	(77)
二、速度耐力素质运动时的能量供应	(78)
三、速度耐力素质的影响因素	(80)
第二节 速度耐力训练方法的生化分析	(84)
一、乳酸耐受力训练	(84)
二、最大乳酸训练	(87)
第三节 速度耐力素质训练适应性变化的生化特点	(89)
一、速度耐力素质训练的能源物质适应	(89)
二、速度耐力素质训练的酶适应	(90)
本章小结	(91)
思考与练习	(91)
 第五章 有氧耐力素质的生化基础与训练	(92)
第一节 有氧耐力素质的生化基础	(93)
一、有氧耐力运动项目的生化特点	(93)
二、有氧耐力运动的能源物质基础	(94)
三、有氧耐力素质的影响因素	(97)
第二节 有氧耐力训练方法及其生化分析	(101)
一、间歇训练法	(101)
二、乳酸阈强度训练法	(102)
三、最大乳酸稳态训练法	(105)
四、高原(或低氧)训练法	(108)

第三节 有氧耐力训练适应性变化的生化特点	(112)
一、呼吸与血液循环系统功能适应	(112)
二、骨骼肌适应	(115)
三、神经调节能力适应	(116)
四、能量供应适应性	(116)
本章小结	(117)
思考与练习	(118)
第六章 运动训练监控的生化分析	(119)
第一节 运动训练的生化监控概述	(120)
一、运动训练生化监控的概念与内容	(120)
二、运动训练生化监控的作用	(121)
三、运动训练的生化监控原理	(122)
第二节 运动训练的生化监控常用生化指标	(125)
一、监控训练负荷强度与身体机能状态的常用生化指标	(126)
二、训练负荷量度与身体机能状态的常用生化指标	(134)
三、监控训练方法的常用生化指标	(145)
第三节 运动训练的生化监控方法与原则	(146)
一、一堂训练课的生化监控方法及原则	(146)
二、一个训练周期的生化监控方法及原则	(149)
本章小结	(150)
思考与练习	(151)
第七章 提高运动能力的营养生化分析	(153)
第一节 补糖提高运动能力的生化分析	(154)
一、补糖提高运动能力的重要性	(154)
二、补糖的种类	(155)
三、运动前补糖与运动能力	(156)
四、运动中补糖与运动能力	(157)
五、运动后补糖与运动能力	(158)
六、糖补充有关的营养物质	(159)
第二节 补充蛋白质提高运动能力的生化分析	(160)
一、运动员蛋白质需要量	(160)
二、补充蛋白质和氨基酸	(162)

三、补充肌酸与运动能力	(164)
第三节 补充脂肪酸提高运动能力的生化分析	(166)
一、脂肪酸类强力物质	(166)
二、肉碱	(167)
第四节 补充维生素、微量元素提高运动能力的生化分析	(167)
一、维生素和微量元素	(167)
二、维生素和微量元素与肌力增长	(170)
三、铁营养与运动性贫血	(171)
第五节 补液提高运动能力的生化分析	(172)
一、运动时补水的重要性	(172)
二、运动员补液的必要性	(174)
三、运动饮料的选择	(175)
四、运动员补液的原则	(176)
本章小结	(177)
思考与练习	(177)
 第八章 运动训练效果的生化评定	(178)
第一节 力量、速度训练效果的生化评定	(179)
一、理论依据	(179)
二、评定方法	(179)
第二节 速度耐力训练效果的生化评定	(186)
一、理论依据	(186)
二、评定方法	(186)
第三节 有氧耐力训练效果的生化评定	(189)
一、理论依据	(189)
二、评定方法	(190)
本章小结	(194)
思考与练习	(195)
 参考文献	(196)

绪论

运动训练的目的在于提高运动员的运动能力，那么，训练为什么能够提高运动能力呢？怎样训练才具有针对性并且效果更好呢？这些问题要先从影响运动能力的因素来解答（图0-1），也借此认识运动训练生物化学。

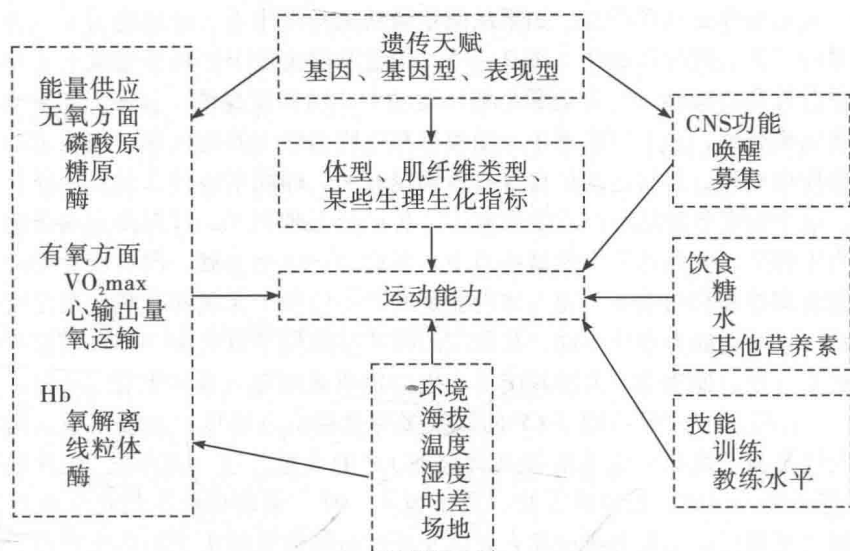


图0-1 影响运动能力的因素

一、运动训练生物化学及其定义

在所有影响运动能力的因素中，遗传是首要的因素，但不是决定因素。如男子100 m成绩始终比女子好（大约10%），因为男女运动能力的遗传特征存在差异；又如男子100 m跑成绩从现代首届雅典奥林匹克运动会的12 s到第30届伦敦奥运会的9.63 s，人类经历了116年，男子100 m跑成绩仅快了2.37 s，速度加快了近25%（图0-2）。这说明一方面人类遗传性特征限制了人的运动能力，且不同身体素质能力其遗传度不一样，因为人毕竟不是机器，如果是机器的话就不是这个速度了，因为与首届奥

运会同时代发明的飞机到现在其飞行速度已达超音速了。但另一方面更说明了运动能力除受遗传因素影响外,还特别受到外界环境因素对运动训练的影响,这也说明为什么通过运动训练可以提高运动能力的道理。

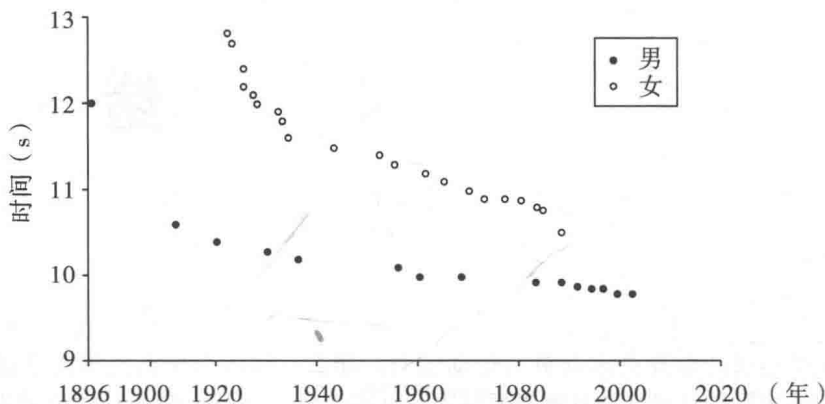


图 0-2 男女 100 m 奥运成绩变化特征

但是,无论是什么运动项目,如果从能量做功的角度来看,运动能力则取决于运动过程中能量的产生、控制和效率(图 0-3),能量效率决定于运动员完成运动专项的技术动作的规范性和合理性,不管是哪个项目运动中,动作越规范、合理,能量消耗就越经济,能量效率越高,这个问题属于专项教练和生物力学专家的问题;而在运动中怎样使能量效率使用更高,还与运动员自身心理调控有关,即能量该什么时候用就什么时候用的问题,这个也需要教练和心理学家对运动员进行心理训练,以提高运动员比赛时心理应激能力来解决。但在这三个能量环节中,能量的产生是基础,没有能量的产生就谈不上提高能量调控和利用效率。而人体内能量的产生依赖于无氧和有氧代谢是有一定的物质基础的,且运动能力素质不同,其相应的物质基础侧重点也不一样,其能量产生代谢特点也就不一样。如速度、力量其能量产生的物质基础是三磷酸腺苷(ATP)和磷酸肌酸(CP),骨骼肌中 ATP 特别是 CP 的储量多少直接决定速度、力量素质,同时必须进行短时间极量强度运动训练才能提高骨骼肌 CP 的含量,这一点早在 20 世纪初就为 G. Enbden 等证实。因此,其训练方法、要求也不一样,运动训练生物化学就是从物质和能量代谢角度探讨运动能力或运动素质以及运动员身体机能失调的生化特点,以此为运动训练计划制定、实施、监控提供理论基础和依据,所以,运动训练生物化学是运动医学、运动训练学基础学课程,是科学训练课程体系的重要组成部分。

从运动训练生物化学学科发展来看,它起源于生物化学,是从分子水平上研究生命本质的科学,与生理学、细胞学、遗传学等学科关系密切。从其萌芽产生至 1968 年在联合国教科文组织的国际体育科学和体育教育理事会(International council of Sport Sciences and Physical Education, 简称“ICSSPE”)的倡议下成立了国际运动生物化学研究组(The International Research Group on the Biochemistry of Exercise, 简称“IRGBE”,网址: <http://www.biochemistryofexercise.org/>)的学科确立为标志,至今也有 50 多年的历史,期间每隔三年举行了一次国际运动生物化学学术会议,其会议的主题可以成为学科领域研究动向的标杆。从其研究内容来看,虽然都是研究人体运动时的生物化学变化规

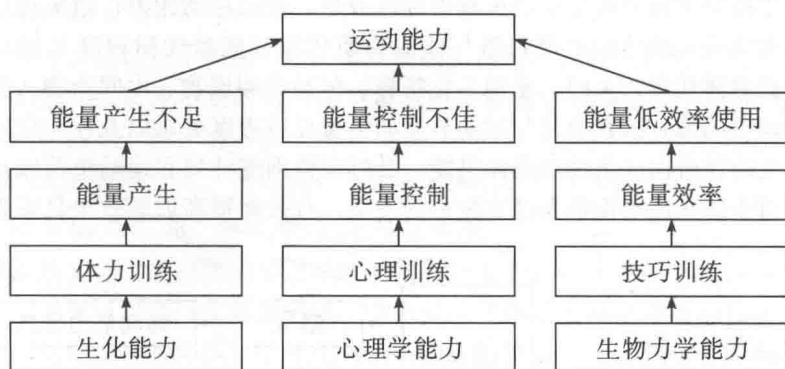


图 0-3 运动能力与能量产生、控制与效率的关系

律，但其目的却是有所不同：一是探讨运动对促进健康人群提高体能和预防、治疗慢性病以促进健康效应的生化研究；另一是针对运动员而言，主要围绕不同运动能力素质的生化基础及运动中的代谢能力、训练方法、机能监控和效果评定为研究内容，以提高竞技水平为目标的研究。以往体育院校课程运动生物化学名称基本采用运动生物化学，教学内容体系也涵盖运动训练和健康促进两方面，但目前随着体育类专业设置和教学计划修改，教学时数削减和对专业教学内容要求更改，传统运动生物化学“全”“大”“深”的内容已无法适应教学的需要，因此，对于运动训练专业学生而言，开设运动训练生物化学无论从学科理论建设还是学生实践方面来说，都更具应用价值。因而结合运动训练生物化学内容体系，可以将运动训练生物化学定义为从分子水平上研究身体素质（运动能力）的生化基础与运动训练中物质代谢和能量代谢特点、规律及其在运动训练中应用的一门学科。

二、运动训练生物化学的学习内容

以运动训练专业培养目标出发，以生物化学为基础，结合运动训练实践，本《运动训练生物化学》教材的主要内容包括以下三个方面。

（一）身体素质（运动能力）的生化基础及其训练

人体合理化学组成是健康的条件，更是各种身体素质能力的物质基础。根据各种运动项目对体能要求特征，可以将身体素质能力分为力量、速度、速度耐力（无氧耐力）和有氧耐力等四种，从能量代谢特点来看，不同身体素质能力运动时其能量物质和能量代谢特点不一样；同时，不同训练方法、不同负荷强度和量度运动时机体的物质代谢和能量代谢过程特点也不同，引起的运动效应也不一样。因此，只有掌握不同运动性质、运动过程的特点和规律才能进行科学训练，有针对性地提高不同素质能力要求的运动员的专项体能。

（二）运动训练监控的生化分析

挖掘运动员的运动潜能，最大限度地提高人体的运动能力是运动训练的任务。我们知道，在运动训练中运动量是基础，强度是关键，但是只有当训练负荷强度和训练负荷量最大限度地与运动员承受训练负荷的能力相适应时，训练刺激才会产生效果。因此，

在运动训练中控制适宜负荷是运动员取得训练效果,提高运动能力,避免过度训练的关键。由于运动负荷对机体的物理刺激与体内物质代谢和能量代谢程度是相对应的,因此,学习掌握身体代谢相关的一系列生化指标,包括代谢底物、中间产物、终产物或者是参与代谢调节的酶、激素变化与运动员运动负荷反应程度关系以及评定原理方法,是科学客观、准确评价运动负荷和身体机能,及时调整训练计划和运动负荷以及做到训练的个体化,对于防止运动损伤和过度疲劳的发生,有效地提高训练效果具有重要的意义(图0-4)。

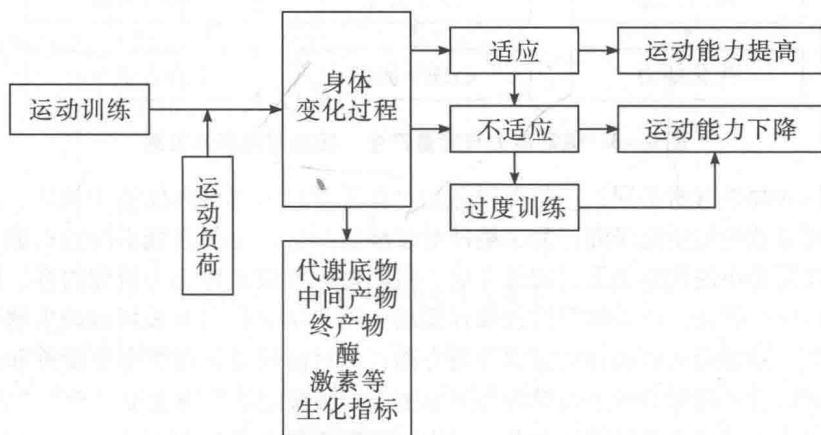


图0-4 生化指标在运动训练监控中的应用

(三) 运动训练效果的生化评价

在运动训练中,人体化学组成发生相适应的变化,不仅是运动效果的体现,也是竞技能力提高的生化依据。同时,由于获得运动训练效果是来自于机体对运动产生的适应性反应,因此,不同训练方法产生的运动适应性变化也不相同。因此,可从运动生化原理出发,学习并了解身体素质能力相应的供能物质储量或代谢产物的变化,或者测试在一定运动负荷时某些生化指标观察其供能能力大小,就可对不同运动训练效果进行评定,并为增强体质、提高竞技能力提供生化依据。

三、运动训练生物化学的学习方法

运动训练生物化学在内容上着重从能量代谢角度介绍人体不同运动能力素质生化基础,以及运动时物质代谢和能量代谢的特点与规律,并在此基础上探讨提高专项运动能力素质的训练方法、训练监控与效果评定。因此,全面了解和掌握不同运动能力素质的生化基础内容是学习运动训练生物化学的基础。

(一) 掌握课程知识点和基本原理

在学习方法上,首先,要掌握“知识点”,即先要掌握人体的化学组成,特别是能源物质与运动能力素质关系的基本知识;其次,要掌握不同运动能力素质或运动项目运动时物质和能量代谢的特点与规律,并以运动时能量代谢为主线,将各“知识点”贯穿起来,充分理解不同运动状态下能量代谢的联系性和主次性,以及以此制定的训练和锻炼计划,选择和发展不同性质运动项目和锻炼目的训练方法的理论。

（二）整体辩证学习与分析

当然在学习运动训练生物化学中，也要明确运动时不同运动能力素质的发挥与对应的能源物质基础的关系并不是绝对的，与其他能源物质的代谢也有一定的关系。因此，学习时就不能机械地、静止地和孤立地对待每个问题，而必须特别注意它们的相互联系、相互制约以及发展变化，自觉地运用辩证的观点来学习和分析问题。

（三）理论联系实际，参与运动探究性实践

要理论联系实际，通过实验与实践环节加强对理论的理解。因为运动时机体的物质变化特点和规律都可以通过实验来验证。学生可通过运动测试生化指标实验验证和应用运动训练生物化学的理论知识，使生化与运动实践相结合，达到强化理论联系实际，提高生化原理评价运动实践的应用能力。

（四）利用网络资源进行学习

在学习手段上要充分利用多媒体和网络资源，本课程为国家级精品资源共享课程（www.icourses.cn/coursestatic/courses_6988）和国家级精品课程（<http://jpkc.gipe.edu.cn/sh/index.asp>），其网络学习资源比较全面，包括教学大纲、教学进度、章节教学录像、授课教案、课堂课件、课程实验、学习指南、课外资源、在线测验、网上答疑等，学生可根据教学进度进行预习、自习和复习，并就学习中的问题通过网络与同学、老师进行交流和探讨。

● 本章小结

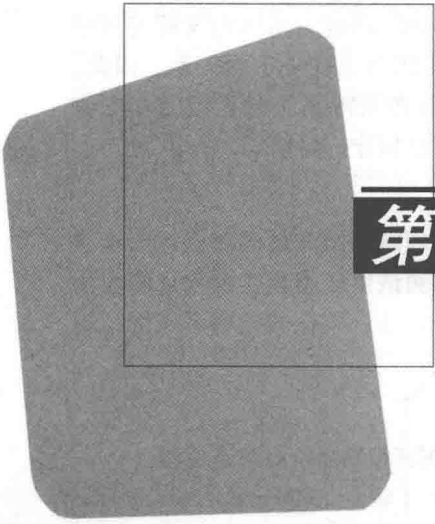
运动训练生物化学是从分子水平上研究身体素质（运动能力）的生化基础与运动训练中物质代谢和能量代谢特点、规律及其在运动训练中应用的一门学科。

本章主要介绍运动训练生物化学在科学训练中的地位和作用，并从运动生物化学学科发展及其内容体系说明运动训练专业学生学习运动训练生物化学的学科理论素养和运动实践价值。简要介绍了《运动训练生物化学》教材三方面的内容体系，包括：（1）身体素质（运动能力）的生化基础及其训练；（2）运动训练监控的生化分析；（3）运动训练效果的生化评价。

最后从不同层面提出运动训练生物化学的学习方法与要求：（1）掌握课程知识点和基本原理；（2）整体辩证学习与分析；（3）理论联系实际，参与运动探究性实践；（4）利用网络资源进行学习。

● 思考与练习

1. 解释运动训练生物化学的定义。
2. 谈谈运动训练生物化学对科学训练的指导作用。



第一章

骨骼肌的生化与运动训练

骨骼肌是属于运动系统的肌肉，骨骼肌提供了移动身体、完成运动所必需的动力。肌肉收缩的动力来源于能量。生物体内能量的产生、贮存和利用过程，称为能量代谢。从运动生化原理来讲，运动能力常指运动时能量供应及利用的能力。不同项目由于强度和运动持续时间不同，所以运动过程中骨骼肌的能量供应过程和特点也不一样，而且即使是相同项目，不同训练水平和机能状态的人，在运动训练过程中，其骨骼肌能量供应特点也不同。因此，在学习运动训练生物化学过程中，必须首先了解骨骼肌的化学组成及骨骼肌收缩与舒张的生化特征，并在此基础上深入掌握人体不同运动状态下或不同专项素质运动时的能量供应过程和运动后不同能源物质恢复的特点，为科学制订训练计划，合理选择适宜的运动负荷提供生化理论基础，从而最终达到发展机体各供能系统供能能力以及提高专项素质能力的目的。

第一节 骨骼肌的化学组成

肌肉是人体占体重百分比最大的组织，人体的肌肉分为平滑肌、心肌和骨骼肌三类。骨骼肌属于随意肌，其舒缩活动可由意识支配，体育运动中的每一个动作，都与肌纤维的收缩和舒张有关。因此，研究人体骨骼肌的化学组成及其在运动中化学变化特点和规律是十分重要的。依据国际辐射防护委员会（ICRP）提供的基准人体数据（表 1-1），不同年龄、性别其骨骼肌的质量不同，新生儿骨骼肌约占其体重的 23%，至 10 岁时增加到约 34%；健康的成年人，骨骼肌占体重的比例男性约为 40%，女性约为 30%。

表 1-1 全身骨骼肌含量基准值

	男 性				女 性			
	骨骼肌 (kg)	体重 (kg)	占体重 比例 (%)	占 ATFM 比例 (%)	骨骼肌 (kg)	体重 (kg)	占体重 比例 (%)	占 ATFM 比例 (%)
新生儿	0.8	3.5	22.9	31.1	0.8	3.5	22.9	31.1
1 岁	1.9	10	19.0	30.6	1.9	10	19.0	30.6
5 岁	5.6	19	29.5	41.5	5.6	19	29.5	41.5
10 岁	11.0	32	34.4	47.0	11.0	32	34.4	47.0
15 岁	24.0	56	42.9	54.5	17	53	32.0	49.6
成年	29.0	73	39.7	52.9	17.5	60	29.2	46.7

注：ATFM 为去脂肪组织身体质量。

（引自王自勉，2008）

骨骼肌是人体组成器官层次的组分，骨骼肌的元素、分子层次组成见表 1-2。在元素层次，骨骼肌中含量最丰富的元素是氧（约占骨骼肌总量的 75%）；在分子层次，骨骼肌中含量最多的化合物是水（约占骨骼肌总量的 78.6%），骨骼肌是体内最大的蛋白质库，全身的蛋白质约有一半在骨骼肌中，除此，骨骼肌中还含有其他重要的化学组分，如脂类、糖、三磷酸腺苷（ATP）、磷酸肌酸（CP）等。

表 1-2 骨骼肌的化学组成

元素组成			分子组成		
组分	质量 (kg)	含量 (%)	组分	质量 (kg)	含量 (%)
O	21.0	75.0	水	22.0	78.6
C	3.0	10.7	蛋白质	4.80	17.1