

普通高等学校体育教育专业主干课系列教材之一 ● 全国普通高等学校学校体育教学指导委员会审定 ● 高等学校教材

运动生物化学

张蕴琨 丁树哲 主编

Sports



高等教育出版社



运动生物化学

主编 王瑞 副主编 王瑞 王瑞



Sports

普通高等学校体育教育专业主干课系列教材之一
全国普通高等学校体育教学指导委员会审定

高等学校教材

运动生物化学

张蕴琨 丁树哲 主编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

运动生物化学/张蕴琨等主编.—北京:高等教育出版社,2006.7

ISBN 7-04-019138-5

I. 运... II. 张... III. 运动生物化学-高等学校-教材 IV. G804.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 032509 号

策划编辑	尤超英	责任编辑	尤超英	封面设计	刘晓翔
版式设计	范晓红	责任校对	杨凤玲	责任印制	韩刚

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 廊坊市科通印业有限公司

开 本 787×960 1/16
印 张 20.75
字 数 350 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006 年 7 月第 1 版
印 次 2006 年 7 月第 1 次印刷
定 价 26.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19138-00

编委名单

- 主 编** 张蕴琨(南京体育学院)
丁树哲(华东师范大学)
- 副主编** 张 林(苏州大学体育学院)
徐晓阳(华南师范大学)
林文骏(广州体育学院)
- 编写成员** (以姓氏笔画为序)
刘丽萍(河北体育学院)
张 纓(北京体育大学)
金其贯(扬州大学)
徐 明(成都体育学院)
徐 波(华东师范大学)
阎守扶(首都体育学院)
常 波(沈阳体育学院)
熊正英(陕西师范大学)
- 编委会秘书** 王 斌(南京体育学院)

目 录

绪论	1
第一章 物质代谢与运动概述	8
第一节 运动人体的物质组成	9
第二节 物质代谢的催化剂——酶	11
第三节 运动时物质代谢	18
第四节 运动时机体的能量代谢	28
第二章 糖质代谢与运动	39
第一节 糖质概述	39
第二节 糖的分解代谢	47
第三节 糖原合成和糖异生作用	55
第四节 糖代谢对人体运动能力的影响	58
第三章 脂代谢与运动	70
第一节 脂质概述	70
第二节 脂肪的分解代谢	75
第三节 运动时脂代谢的特点	84
第四节 运动、血脂代谢与健康	90
第四章 蛋白质代谢与运动	97
第一节 蛋白质概述	98
第二节 蛋白质和氨基酸的代谢过程	104
第三节 运动时蛋白质代谢	110
第四节 运动时氨基酸代谢	112
第五章 运动时骨骼肌的代谢调节与能量利用	120
第一节 运动时物质代谢的相互联系	120
第二节 运动时物质代谢的调节	122

第三节 运动时骨骼肌的能量利用	133
第六章 运动性疲劳及恢复过程的生化特点	145
第一节 运动性疲劳概述	145
第二节 运动性中枢疲劳的生化特点	147
第三节 运动性外周疲劳的生化特点	150
第四节 运动性疲劳的机制	151
第五节 运动后恢复过程的生化特点	155
第七章 运动与适应的分子调控	170
第一节 分子生物学基础	170
第二节 急性运动的分子事件	179
第三节 慢性运动的分子事件	183
第四节 运动适应的分子调控	189
第八章 运动人体机能的生化评定	195
第一节 运动人体机能评定的生化原则与意义	195
第二节 评定运动人体机能生化指标分析	200
第三节 运动训练效果的生化评定	206
第四节 运动人体机能的生化综合评定	214
第九章 儿童少年体育锻炼的生化特点与评定	220
第一节 儿童少年的化学组成与代谢特点	220
第二节 科学安排儿童少年体育教学与业余训练的生化 依据	231
第三节 儿童少年体育锻炼效果的生化评定	236
第十章 女子体育锻炼的生化特点与评定	244
第一节 女子身体的化学组成与代谢特点	244
第二节 女子不同生理时期的生化特点与体育锻炼	251
第三节 女子的特殊营养与运动	263
第十一章 中老年人体育锻炼的生化特点与评定	268
第一节 中老年人机体化学组成与代谢特点	268
第二节 人体衰老与体育锻炼	274
第三节 中老年人常见疾病的生化特点与体育锻炼	278

第十二章 提高运动能力方法的生化分析	292
第一节 影响运动能力的生化因素	292
第二节 提高机体代谢能力训练方法的生化分析	296
第三节 提高运动能力的物质手段及生化基础	304
附录 常用生物化学新旧标准对照表	320

绪 论

运动是生命机体不可或缺的表现形式,是人类生存精神的一种物化体现,也是人类实现挑战自我的一种重要方式。其伟大的精髓在于提高生命的质量、生存的质量和生活的质量。

为什么有的人能够跑得那么快、那么久?为什么有的人跳得那么高、那么远?为什么经过科学系统的训练能使运动能力得到提高?为什么长期合理的身体锻炼可以增强体质?这些运动能力的外在表现都有着内在的坚实的物质基础。为探究其中物质变化的奥秘,运动生物化学作为新兴学科应运而生并迅速发展,显示了其强大的生命力。

一、运动生物化学的概念与任务

(一) 运动生物化学的概念

运动生物化学是生物化学的一个分支学科,生物化学是研究生命科学的科学,它从分子水平探讨生命的本质,即研究生物体的分子结构与功能、物质代谢与调节、及其在生命活动中的作用。生物化学的研究主要采用化学的原理和方法,同时与生理学、细胞学、遗传学等有着广泛的联系与交叉。随着科学的发展,人们又通常将研究蛋白质、核酸、聚糖等生物大分子的结构、功能及其代谢调控的学科称为分子生物学。分子生物学是生物化学内涵与外延的拓展,成为生物化学的重要组成部分。

运动生物化学是研究人体运动时体内的化学变化即物质代谢及其调节的特点与规律,研究运动引起体内分子水平适应性变化及其机理的一门学科。简言之,运动生物化学是从分子水平探讨运动人体的变化规律,并将这些理论应用于体育锻炼与竞技体育的实践。

生物化学研究所有的生命形式,人体是生物化学研究的重要对象。体育运动主要是人体的运动,因此,运动的人体自然就成为了运动生物化学的主要研究对象。从研究时空看,运动生物化学的研究贯穿整个人体运动的过程,包括运动前、运动中和运动后恢复期;从研究层面看,运动生物化学既

研究一次急性运动机体代谢的变化,也研究长期系统的运动,即慢性运动对机体化学组成和代谢的影响;从研究对象看,既涉及从事竞技体育的专业运动员,也更多地涉及进行体育锻炼的不同人群;从研究效应来看,运动生物化学的研究成果既体现了基础性,具有理论上的突破和原创意义,也更多地体现了实用性,在体育科学研究和运动实践有着广泛的应用价值。

(二) 运动生物化学的任务

运动生物化学的任务主要体现在:

1. 揭示运动人体变化的本质

运动生物化学从分子水平更微观、更透彻地揭示急性运动与慢性运动体内物质代谢及其调节的特点与规律,探讨人体化学组成与代谢能力对运动的适应性反应,分析改善和发展运动能力的分子机理,诠释与论证各种锻炼、训练方法的原理……从而阐明长期、系统的运动对于改善人体健康水平、提高竞技能力的机制。

在体育锻炼和竞技运动训练中,人体化学组成会发生相适应的改变,这不仅是运动效果的体现,也是增强体质、防治慢性疾病的生化依据。如有氧运动可减体脂、控体重;运动中不同代谢物质和酶活性可产生相应的变化;力量训练增加肌肉蛋白质合成,有助提高力量;耐力训练可增加骨骼肌糖原储量、提高血红蛋白水平等等。

2. 评定和监控运动人体的机能

应用运动生化理论和相应的生化指标对运动人体机能进行评价与监控,已广泛应用于体育实践中,作为监控运动负荷、合理掌握运动强度和运动量、了解疲劳与恢复程度、评定训练和锻炼效果等多层面、多视角评定运动人体机能状态的高效手段与工具,逐渐成为体育教师、健身指导员和教练员的科学助手。客观、准确的进行生化评定与监控的结果最终使运动更科学,更符合运动者的实际,更具有针对性和高效性。

3. 科学地指导体育锻炼和运动训练

以运动时机体物质代谢及其调节的特点、规律作为运动训练健身方法和恢复手段的理论基础及依据,指导人们怎样科学安排运动负荷和方式使机体的化学组成与代谢能力产生最佳的适应性变化,提高训练效果;如何采取合理的运动节奏和营养措施等加速运动疲劳的消除和机能的恢复;怎样进行适宜的锻炼防治慢性疾病的发生与发展。流行病学研究显示,一些慢性疾病如糖尿病、肥胖以及动脉硬化、高血压等心血管疾病的发病率急剧增加。缺乏运动是引发这些疾病的共同危险因素。从细胞和分子水平探讨这

些疾病的病因以及运动对这些疾病产生作用的原理及途径,能使我们更好地理解运动作为防治与这些疾病“特效药”的重要性。总之,应用运动生理理论指导运动,可提高运动的科学性和有效性,从而达到增强体质、增进健康、提高运动能力的目的。

二、运动生物化学的发展与展望

(一) 发展

生物化学的研究始于18世纪,但作为一门独立的学科是在20世纪初。运动生物化学是生物化学和体育科学发展的必然产物。19世纪初运动生物化学的研究萌芽已出现在基础医学和临床医学的研究中,如英国学者于1807年 Berzelius 最早报道了肌肉收缩产生乳酸,1887年 Chauveau 报道了运动时血糖代谢的特点。说明运动状态下体内物质和能量代谢的变化已开始引起研究者们的关注。进入20世纪后,生物化学的蓬勃发展加速了对运动机体的研究,1920年 Meyerhof、1923—1925年 Hill 相继大量报道了乳酸生成与缺氧的关系、糖原是乳酸的前体物质等。1928年 Lohmann 在肌肉的浸出物中发现了 ATP,1937年 Krebs 提出了著名的三羧酸循环的代谢理论。

20世纪50年代前后,建立了运动生物化学的专门研究机构,使研究从理论逐步于运动实践结合。1950年,苏联的 Ямпольская (译音亚姆波利斯卡娅) 根据电刺激肌肉时肌糖原消耗和恢复过程的特点提出了经典的超量恢复理论。1955年 Яковлев (译音雅科甫列夫) 编写出版了《运动生物化学概论》,是运动生物化学的首本专著。运动生化研究与竞技运动的联系也取得很大进展,20世纪60年代以来以物质代谢和能量代谢为理论基础将无氧代谢与有氧代谢理论引向深入。可以把供能系统分解为磷酸原系统、糖酵解系统、有氧代谢系统三个供能代谢系统。并根据此理论进行了运动项目分类,概括了各运动项目的供能特点。为不同运动项目、不同训练水平、不同训练周期如何提高物质代谢和能量代谢间协调性,进行科学训练、提高运动能力提供了科学基础。

一切生物化学的理论都来源于实验。先进的实验方法与技术的突破大大推进了运动生物化学的研究向纵深发展。比较生物学方法是经典的方法,大多采用动物实验。20世纪四五十年代,应用比较生化方法研究不同动物运动能力与化学组成的关系,如兔子肌肉中磷酸肌酸含量比龟多,兔比龟跑得快。50年代生物化学的先进方法如同位素示踪、组织化学、电泳、层

析、超速离心法、动静脉导管技术等得到广泛应用,一些学者相继通过动静脉导管技术研究了人体运动时糖质、脂肪、蛋白质代谢的特点和规律。1962年瑞典学者 Begerstrom 将组织活检技术运用到运动生化的研究中,直接对人体骨骼肌活检取样分析。以后又有许多学者对脂肪组织、肝组织进行活检研究,为加深对运动人体的了解取得了直接的测试数据。在逐步了解运动时不同代谢的代谢过程与特点的基础上,又进行运动时不同代谢基质的代谢动力学的研究如葡萄糖、乳酸,其中乳酸阈的理论已在运动训练中得到广泛的应用。

20 世纪下叶以来,生物化学发展的显著特征是分子生物学的崛起。这一阶段,细胞内两类重要的生物大分子——蛋白质和核酸成为研究的焦点。尤其具有里程碑意义的是,1953 年 James Watson 和 Francis Crick 提出的 DNA 双螺旋结构模型,为揭示遗传信息传递规律奠定了基础,是生物化学发展进入分子生物学时期的重要标志。

(二) 现状

进入 21 世纪以来,生命科学成为 21 世纪的主导科学,分子生物学是生命科学新的生长点。分子生物学的发展及其大量的研究成果已渗透到运动生物化学研究的所有领域,相互促进,融为一体。如细胞信号转导与运动适应的机理、运动代谢调节与神经—内分泌—免疫网络理论、基因多态性与运动员选材的研究等已成为运动生化基础研究的前沿热点。其研究成果为运动实践提供必要的理论基础。在后基因组时代,运动生物化学研究更注重从基因与运动能力的遗传角度研究人体运动时代谢变化、运动能力提高的分子生物学机制。

生物化学研究已经发生的巨大的进步影响着运动生物化学,分子生物技术的最新发展又进一步扩大了运动生物化学的领域,吸引我们向更微观的水平研究。应用生物化学、分子生物学和立体化学的新方法使对细胞膜和细胞质受体的特征性研究成为可能;激光扫描共聚焦显微镜技术、反转录-聚合酶链式反应方法(RT-PCR)的应用揭示了传递信息到细胞内、细胞内各信息的联系以及基因表达和调控等信号传导网络的复杂性;先进的克隆技术、转基因技术等让我们更好的理解遗传信息翻译成蛋白质的过程。

(三) 展望

当前及今后一段时间,运动生物化学的研究必定发展得更快、更深入。一方面,在研究单个化学成分作用的基础上,更深入探讨机体化学组成之间

的相互作用与运动能力关系,如糖、脂类、无机盐和水之间的关系;运动与内环境的酸碱平衡等。另一方面,更深入探讨运动时代谢基质间、运动时代谢过程之间的相互关系,如运动时供能物质磷酸肌酸、糖、脂肪和蛋白质间存在互补、互动和互抑的关系,不同项目、不同运动强度和运动量时各代谢基质间关系,有氧健身运动时的基质代谢特点等,这些都将成为重要的研究课题。运动时代谢调节尤其是分子网络调节将成为今后运动生化研究的重点。人体运动能力是整体高度协调的表现,是在神经支配下各种调节因素协同作用的结果。运动应激下机体存在着神经-内分泌-免疫与代谢网络的调节、神经-肌肉或其他内脏器官的代谢调节、分子网络调节等。构成网络调节的每一个生物活性分子只有高度协调与配合、共同作用才能发挥其功能。虽然其中的许多问题还不清楚,但已引起运动生物化学研究者的高度关注与兴趣,并显示出广阔的研究前景。

虽然人类基因密码的序列已经知道,但是还需要做很多工作以阐明其意义,其中包括功能基因组学、蛋白质组学,如单个基因的功能和调控的研究以及蛋白质怎样加工和调控的研究。蛋白质是人体功能的主要执行者,对运动能力十分重要。蛋白质组学就是要研究人体内蛋白质种类、结构与功能关系及各种蛋白质相互关系。人类蛋白质组学(Proteims)研究继人类基因组计划之后成为生命科学发展的先导。运动生物化学和分子生物学如何进入这个领域,是当务之急。目前生物界存在的蛋白质种类和数量远远多于研究所知的基因数,这就引发了我们的思考:一个基因在转录、翻译过程中究竟可能合成多少个蛋白质?蛋白质的生成是否还存在尚未被认识的新的机理?运动是否可诱发生成新的蛋白质?运动能力提高与蛋白质之间的关系及机理究竟如何?很多问题值得深入研究。

三、学习运动生物化学的意义与方法

(一) 运动生物化学的地位

21 世纪是生命科学的世纪。近 20 年来几乎每年的诺贝尔化学和生理学奖以及一些化学奖都授予了从事生物化学和分子生物学的科学家,如 2004 年诺贝尔化学奖授予以色列科学家 Aaron Ciechanover、Arram Hershey 和美国科学家 Irwin Rose。三人因在蛋白质控制系统方面的重大发现而共同获得该奖项。2003 年诺贝尔化学奖授予美国科学家 Peter Agre 和 Rodrick Mackinnon,以表彰他们在细胞膜通道方面做出的开创性贡献。阿格

雷得奖是由于发现了细胞膜水通道,而麦金农的贡献主要是在细胞膜离子通道的结构和机理的研究。他们的发现阐明了盐分和水如何进出组成活体的细胞。这些都足以说明生物化学和分子生物学在生命科学中的重要地位和作用。

运动生物化学是新兴的边缘学科,也是运动人体科学的重要组成部分。机体在运动时发生的一系列机能变化如肌肉收缩、神经冲动传导、激素分泌、耗氧量增加等都是以物质代谢和能量代谢为基础的,因此运动生物化学是了解运动时生命现象的重要环节,在体育科学领域的重要地位越来越凸显,与运动生理学、体育保健学、运动营养学、运动训练学、康复医学等的交叉渗透也越来越多。由于运动生物化学越来越多地成为运动人体科学的共同语言,当今已成为运动人体科学的前沿学科之一。在体育锻炼和竞技体育中,运动生物化学的理论和方法也已被广泛应用,因此,运动生物化学是体育专业一门重要的专业基础课。

(二) 学习运动生物化学的意义

体育专业的学生需要从不同的角度全方位地去认识、了解运动人体,如形态结构、生理机能、代谢变化及调节等等,真正掌握运动人体变化的生物学本质,以更好地指导不同人群的体育锻炼和运动训练。学习运动生物化学是体育专业的学生知识结构和能力结构的需要,是今后服务于体育实践的需要。通过学习,认识急性运动或长期系统的慢性运动对人体代谢及其调控规律及机制,懂得体育教学和运动训练过程的生物化学原理,掌握不同年龄、性别和训练水平的人群进行运动时的代谢特点,在实际应用中科学地指导体育锻炼和运动训练。

因此,关注生命、关注健康,合理科学地组织好体育课、指导体育活动和运动训练,都应了解运动人体变化的规律;掌握运动生化知识,也为进一步学习运动营养学、运动训练学、学校体育学等后续课程打下良好的基础。这些都应成为我们学习的动力。同时学习运动生物化学还可使我们扩展知识,开阔思维,在探索生命奥秘中激发学习的兴趣。

1. 树立整体观,动态观

人体是一个复杂、动态的有机整体。体内的物质处于不断的变化之中,新陈代谢是生命的基本特征之一。而运动人体内物质代谢速度更快,变化更复杂、更激烈。从人的整体观出发,运动对人体的影响是全面的,而非孤立的局限的。因此,学习运动生物化学一定要树立整体观,动态观,用辩证的思维去看待生命、看待运动人体。

2. 注重掌握基本原理

在运动生化学习过程中,要认真理解和掌握基本原理,这是学好课程的关键所在。既要有充满热情的想像和投入,又要有严谨的态度、严密的思维、严格的方法,要勤思考,多问为什么。知识之间是相互交叉与渗透的,在理解的基础上将知识点变成“线”和“面”,并将本课程与前面所学的运动解剖学、运动生理学等课程的知识融会贯通,培养发散式的思维和学习方式。同时不断地加以应用和实践。

3. 加强实验环节

科学实验是一切科学理论的源泉。运动生物化学是一门实验性学科,要认识理论来自于实践,要认真投入实验操作,一方面可以巩固和验证所学的理论知识,另一方面,通过实验操作,掌握基本技能,提高动手能力,并在综合性和设计性实验中培养思考、观察与创新能力。

4. 紧密结合运动实际

学习的目的在于应用。应用是知识转化的过程。在掌握运动生物化学基本知识和基本理论的基础上,要紧结合大众健身和竞技体育的实际,学会有针对性地分析解决体育实践中的问题,有的放矢、举一反三,并在实践中加深对理论的理解,理解得越透彻,就会更深刻地发掘这门课的实用价值,应用起来也就越自如。

(南京体育学院 张蕴琨)

第一章 物质代谢与运动概述

教学目标

掌握运动人体的物质组成、酶催化反应的特点、运动中生物氧化过程及ATP的合成;熟悉运动中机体物质代谢的基本知识;理解运动中引起人体物质组成及酶的适应性变化;初步学会用物质代谢的知识理解与分析运动过程中人体机能的变化。

相关概念

物质代谢 酶 能源物质 维生素 生物氧化 氧化磷酸化 呼吸链

新陈代谢(metabolism)是生物体生命活动的基本特征之一,也是人体内物质变化的过程。各种生理机能都是通过物质的新陈代谢实现的,人体运动能力也是生理机能的综合体现。

生物体内物质不断地进行着的化学变化称为新陈代谢。新陈代谢包括合成代谢(anabolism)和分解代谢(catabolism)两部分。合成代谢又称为生物合成(biosynthesis),是指生物体利用相对较小、较简单的分子构建成自身、更复杂的大分子的过程,这一过程需要消耗能量。分解代谢是指生物体自身具有的或者从外界环境获得的物质,经一系列反应转变成较小、较简单的物质的过程,这一过程常伴有化学键的断裂,是能量的逐步释放的过程。可见,新陈代谢是物质的化学变化,并伴有能量的释放或利用。因此,又可根据这一特点,将新陈代谢划分成物质代谢和能量代谢(图1-1-1)。这一划分的目的在于方便对某些问题的阐述和理解;而实际上,生物体内并没有脱离能量变化而独立存在的物质代谢,也没有独立于物质分子变化的能量代谢。

人体处于不同状态时,物质与能量变化的特点是不同的。从安静状态到运动状态,体内的生化反应也同时发生相应的变化,以适应运动状态下各种机能的需要。

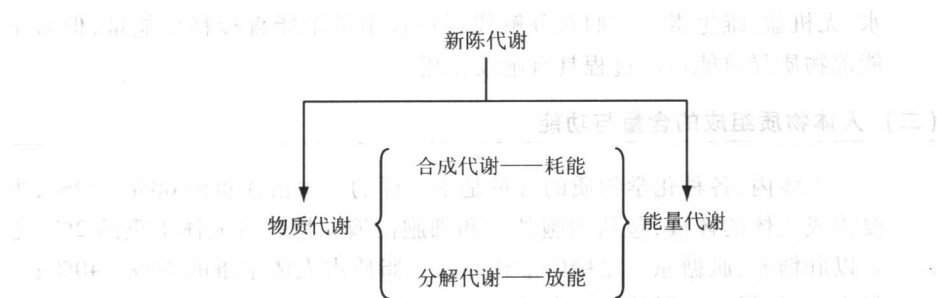


图 1-1-1 新陈代谢示意图

第一节 运动人体的物质组成

从形态学的角度看,组成人体的基本单位是细胞;而细胞又是由许许多多的分子组成的。因此,从生物化学的视角看,组成人体的基本单位是分子,包括有机分子和无机分子。这些化学物质的数量变化并不是一个简单的积聚或减少,而是有序的有机组合,是各种物质新陈代谢的综合结果,人的运动能力与之密切相关。人的运动能力不断变化的过程,实质是运动人体的物质组成及其代谢不断变化的过程。

一、组成人体的化学物质

自然界中多种多样、纷繁复杂的生物体——微生物、植物、动物,从单细胞生物到多细胞生物,从原核生物到真核生物,都有着相似的分子构成,人体也不例外,即都是由糖质、脂质、蛋白质、核酸、维生素、水和无机盐等 7 大类物质组成的。除水之外,其他的 6 大类物质中,每一类又可分为多种不同的分子。

(一) 人体物质组成的分类

根据分子结构特点和功能可将运动人体的物质组成进行如下分类:

(1) 根据分子结构特点分为有机分子和无机分子:糖质、脂质、蛋白质、核酸和维生素是有机分子;水和无机盐是无机分子。

(2) 根据代谢过程中的能量变化情况分为能源物质和非能源物质。能源物质包括糖质、脂质、蛋白质。这 3 类物质在分解代谢过程中释放的能量是维系人体各种生命活动的主要来源。其余的称为非能源物质,即核酸、