


上海市高校 085 内涵发展专业建设资助项目

运动生物化学

YUNDONG SHENGWU HUAXUE

左 群◎主编

 北京体育大学出版社

上海市高校 085 内涵发展专业建设资助项目

运动生物化学

左 群



北京体育大学出版社

策划编辑 木 凡
责任编辑 吴光远
审稿编辑 梁 林
责任校对 李志诚
版式设计 小 小

图书在版编目 (CIP) 数据

运动生物化学/左群主编. —北京: 北京体育大学出版社, 2015. 11

ISBN 978 - 7 - 5644 - 2120 - 5

I. ①运… II. ①左… III. ①运动生物化学 IV.
①G804.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 279633 号

运动生物化学

左 群 主 编

出 版: 北京体育大学出版社
地 址: 北京市海淀区信息路 48 号
邮 编: 100084
邮 购 部: 北京体育大学出版社读者服务部 010 - 62989432
发 行 部: 010 - 62989320
网 址: <http://cbs.bsui.edu.cn>
印 刷: 北京京华虎彩印刷有限公司
开 本: 710 × 1000 毫米 1/16
成品尺寸: 170 × 228 毫米
印 张: 16.75
字 数: 277 千字

2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定价: 45.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

编者的话

运动生物化学是在分子水平上研究运动与机体的化学组成、物质代谢、能量代谢的特点和规律及其相互关系的一门基础学科。运动生物化学是生物化学的一个分支，属于体育科学学科之一。目前运动生物化学的基本原理和技术广泛应用于运动实践中，在运动训练和体育教育专业学生的知识结构中占有重要地位。运动生物化学的基本原理和方法，以及在运动实践中的广泛应用，已成为广大体育工作者从事体育锻炼、体育教学或运动训练不可缺少的理论基础，对运动训练、体育教学、体育锻炼的科学化具有重要指导意义。作为一门直接为运动实践服务的专业基础课，运动生物化学教材的编写就应该强化与运动实践的紧密结合，突出运动生物化学理论知识为体育锻炼和运动训练服务的特点。为了适应这种要求，本书在编写思路、内容和风格上，力求通过案例分析、图文结合、拓展阅读等多种方式，体现和促进运动生物化学基础理论知识与运动实践的结合和运用。

全书共分为3大部分，第1部分运动生物化学的基础知识，主要介绍人体的基本化学组成，包括糖、脂类、蛋白质、核酸，以及水、无机盐和维生素，同时介绍酶和生物氧化过程；第2部分介绍运动时骨骼肌的物质代谢、能量代谢和利用，以及运动能力的生物化学；第3部分为运动训练和体育锻炼的生物化学，着重介绍运动生物化学知识在运动实践中的应用。全书编写分工如下：绪论和第8章（阎守扶教授，首都体育学院）；第1章（许春艳副教授，北京体育大学）；第2、3、4、7章（左群副教授，上海体育学院）；第5、11章（崔玉鹏教授，首都体育学院）；第6章（韩雨梅副教授，山西大学）；第9、10章（邱俊强教授，北京体育大学）；冯美云教授对本书在结构框架和撰写要求等方面给予了极大的帮助和指导。

本书适用于体育院校运动训练、体育教育、休闲社会体育等专业本科学子使用，同时也适用于运动人体科学、运动医学或相关专业学生使用，运动人体科学专业研

究生的教学也可参考使用。各专业学生在使用时，教学内容可按学生培养目标和学时情况加以选择利用。

教材编写过程中，全体参编人员认真负责，付出了大量心血。由于时间比较仓促，加上编写人员的水平和经验有限，书中尚存在许多不足之处，敬请批评指正。希望在今后的教学实践中，不断修正、完善和补充新的内容，使本书的质量得到进一步的提高。

本教材的编写和出版得到了上海体育学院的大力支持，教材在编写过程中参考和引用了其他教材和著作的研究成果，在此一并表示感谢！

目 录

绪 论	(1)
第一章 机体的化学组成	(15)
第一节 糖 类	(15)
第二节 脂 类	(20)
第三节 蛋白质和氨基酸	(23)
第四节 核 酸	(29)
第五节 水和无机盐	(33)
第六节 维生素	(38)
第二章 酶	(43)
第一节 概 述	(43)
第二节 同工酶	(52)
第三节 酶和运动	(54)
第三章 生物氧化	(60)
第一节 生物氧化	(60)
第二节 三磷酸腺苷	(67)
第四章 糖代谢和运动	(74)
第一节 糖的分解代谢	(74)
第二节 糖原合成与分解	(82)
第三节 糖供能与运动能力	(87)
第四节 乳酸和运动能力	(92)

第五章 脂代谢和运动	(101)
第一节 脂肪的分解代谢和运动	(101)
第二节 甘油、酮体和运动	(114)
第三节 血浆脂蛋白与运动	(118)
第六章 蛋白质、氨基酸代谢和运动	(123)
第一节 蛋白质代谢与运动	(123)
第二节 氨基酸代谢与运动	(134)
第七章 运动时骨骼肌的能量代谢和利用	(143)
第一节 运动时骨骼肌的供能系统	(143)
第二节 运动时骨骼肌的能量需求和利用	(150)
第八章 运动能力的生物化学	(161)
第一节 运动能力	(161)
第二节 能量供应与运动能力	(164)
第三节 运动性疲劳与恢复	(169)
第四节 影响运动能力的因素	(179)
第九章 运动训练的生物化学	(184)
第一节 训练原则与训练方法	(184)
第二节 运动训练效果的生物化学	(198)
第十章 运动训练的生物化学评定	(208)
第一节 训练监控的常用生化指标	(208)
第二节 代谢能力的评估	(221)
第十一章 运动健身的生物化学	(228)
第一节 不同年龄阶段的生物化学特点和运动	(228)
第二节 女子的生物化学特点和运动	(245)
参考书目	(253)

绪论

[本章要点] 客观认识什么是运动生物化学，是学好、用好本门课程内容的基础。本绪论主要介绍运动生物化学的概念、任务和历史；分析运动生物化学的特点、原理和短板。同时还将讲述如何学习运动生物化学、运动生物化学运用的基础和运动生物化学的文献资源。

[重点名词] 运动生物化学；课程；原理

一、什么是运动生物化学

（一）运动生物化学的概念

学习一门课程，通常是从对这门课程名称的理解开始的。

作为一门课程的名称既是对课程最本质的认识，也是对课程内涵和外延的确切而简要的说明。因此，对课程名称的理解不仅会影响到对该课程特质和边界的认知，而且还会影响到如何运用所学知识来思考问题。

课程从属于专业，课程主要是依据专业的培养目标而选定与之关系最为密切的知识，然后按照一定的排列组合形式和具体的教学要求而设定的。所以，对课程名称的解释，一方面会受到课程为谁而设、目的是什么的限制，另一方面也明显地受到人们认知的限制，带有明显的主观色彩。由此，我们会看到，同样是“运动生物化学”，在不同的教科书或学术专著中存在有不同的解释。但在涉及“运动生物化学”最本质的核心词语方面却是一致的，例如分子水平、代谢、运动和规律等(表0-1)。

表 0-1 部分作者对运动生物化学的解释

序号	作者	书名	定义	出版社	时间
1	冯炜权等	运动生物化学原理	运动生物化学是从分子水平上研究人体在运动时人体化学组成以及物质和能量代谢的规律, 特别强调, 在掌握运动对身体化学变化的理论基础上为训练科学化、锻炼科学化、康复科学化等提供科学的手段、评定指标及运动处方的依据等……	北京体育大学出版社	1995
2	许豪文等	运动生物化学	运动生物化学着重于研究生物体在进行运动时体内发生的化学变化(代谢反应)以及在在进行体育锻炼引起体内分子水平上适应性变化的一门学科	高等教育出版社	1998
3	谢敏豪等	运动生物化学	运动生物化学是生物化学的分支, 是从分子水平研究运动人体的变化规律的学科	人民体育出版社	2008
4	张蕴琨等	运动生物化学	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	高等教育出版社	2006

那么, 什么是我们所说的运动生物化学呢?

(1) 我们可以从对运动生物化学这个词的构成来理解。运动生物化学由运动、生物和化学 3 个词组成, 其中, 化学是整个词语的核心。生物修饰化学, 运动修饰生物化学。因此, 化学既是运动生物化学最本质的特征, 也是我们认识运动生物化学的基础, 且涵盖面最宽。生物是将“化学”限制在有生命的物体中, 而运动则是把生命体中的各种化学变化内容抑或研究限制在运动的范畴。因此, 运动生物化学是生物化学的分支, 生物化学是在化学的基础上演变而来。

(2) 对化学、生物和运动 3 个词语内涵的理解, 既是我们建立运动生物化学思维方式的基础, 也是运用运动生物化学理论与方法进行评价的依据。目前, 人们对化学的解释, 认为化学是研究物质的组成、结构、性质和变化规律的学科, 例如水的分子结构、乳酸的化学性质、葡萄糖分子的分解与合成的规律等。生物是指“自然界中所有具有生长、发育、繁殖能力的物体。生物能通过新陈代谢作用与周围环境进行物质交换。动物、植物、细菌、病毒等都是生物(引自《现代汉语词典》第 5 版, 商务印书馆, 2005)”。生物化学是人们主要运用化学的原理与方法, 研究各种生命物质的变化及变化规律的一门学科, 简称生命的化学。运动有 2 层含义: 一层是指人们的体力活动, 特别是指人的各种体育运动; 另一层是指竞技运动, 如运动员在训练、比赛和恢复等过程中发生的变化。因此, 运动生物化学所关注的问题,

既有普通人在体力活动，特别是体育锻炼中的机理是什么，也有运动员的训练、比赛的理论基础和评价手段。

(3) 本教材对象主要是以体育教育、运动训练和休闲社会体育专业本科学生为主体。虽然3个专业的培养目标各不相同，但总体上可以划分为2方面的内容：一方面是普通人，特别是儿童青少年体力活动及体育锻炼对身体健康的促进作用和运动习惯养成的理论与方法；另一方面是运动员或普通人在运动训练过程中的科学依据和评价手段。

因此，我们所说的运动生物化学主要是指运用生物化学的原理与方法，从分子水平上研究普通人体力活动和/或运动员训练、比赛中能量变化规律；评价身体适应性改变的程度或运动对机体产生的实际效应的一门课程。其中，能量变化的规律包括能量储备的变化、产物的变化和控制能力的变化；评价的部分包括评价指标的筛选、样品采集的手段、测试仪器工作条件的建立以及指标的数据处理等内容。

思考：

为什么说学习一门课程要从认识这门课程的名称开始？

(二) 运动生物化学的任务

从运动生物化学自身的发展来讲，主要有4个方面的任务：一是研究身体化学组成的相互作用与运动能力的关系；二是研究运动时代谢过程的相互关系及其调节；三是研究运用生物化学原理与方法控制运动训练过程的技术与手段；四是研究运动促进身体健康、增强体质、科学锻炼的生化规律和评价机制。

从专业培养的目标与要求来讲，通过学习运动生物化学这门课程，一方面可以使我们正确运用运动生物化学的原理与方法，认识普通人或运动员在运动中能量代谢的变化特点和基本规律，为体育教学、运动训练以及指导普通人进行体育锻炼提供理论依据和评价手段；另一方面与相邻学科，诸如运动生理学、运动营养学、运动训练学和医务监督等课程共同建构起作为体育教育专业、运动训练专业和休闲社会体育专业学生的知识架构。

（三）运动生物化学的历史

我们可以从2个方面了解运动生物化学发展的历史轨迹。

从研究的窗口看（图0-1）：首先，运动生物化学的产生滞后于生物化学。生物化学经历了3个阶段，即19世纪末以前的叙述生物化学阶段、20世纪上半叶的动态生物化学阶段和20世纪50年代生物化学发展的分子生物学阶段。从时间节点看，一方面运动生物化学的发展也经历了3个阶段，即运动生物化学的萌芽阶段、运动生理生化阶段和运动生物化学独立发展阶段；另一方面运动生物化学明显受到生物化学研究进程和研究成果的影响，例如酶的概念、三羧酸循环、DNA双螺旋模型和PCR技术的产生等都对运动生物化学的发展产生过巨大的影响。其次，就是人体生理学和运动生理学的研究进展也是运动生物化学发展的重要动力。例如人们在研究骨骼肌的结构与功能和运动能力的过程中，经历了从骨骼肌的解剖特征，到肌纤维的类型，再到骨骼肌的滑翔学说，最后过渡到骨骼肌收缩的分子机制。正是这一系列的研究使人们对骨骼肌的认识逐步从生理走向了生化。第三，运动生物化学的发展与体育科学的发展，特别是竞技体育以及竞技体育的商业化的发展也有着密不可分的联系。例如，在运动员运动水平不断提高的同时，运动成绩增加的空间也在日趋减小，运动员之间的竞争却愈演愈烈。因此，在运动员的选材、运动训练的控制、体能的恢复等方面，无论是对指标量化程度，还是综合评价的准确度都不断提出了更新、更高的要求。运动生物化学成为了竞技体育最为重要的理论基础和技术支撑之一。

知识库：

以史为鉴，可以明得失，以史为鉴，可以知兴替。

了解一门课程的历史轨迹是我们学好一门课程的重要基础。运动生物化学和我们学习的所有课程都一样，都有其自己发生、发展的缘由和脉络。其中，人的认知能力、思维方式和科学技术的发展水平都会直接、间接地影响到人们对物质世界的研究进程。有的时候是人们的研究促进了技术的发展，有的时候是技术的进步推动了研究的速度。

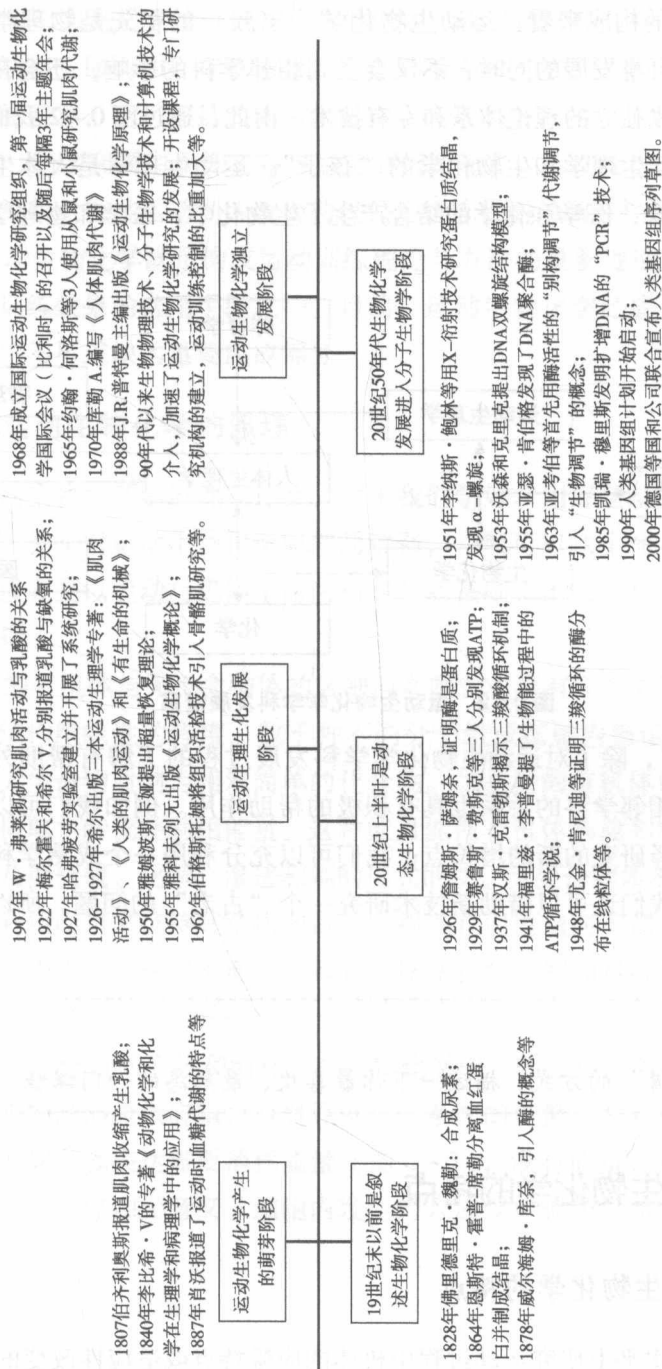


图0-1 生物化学和运动生物化学研究发展历史

从“家谱”的构成来看：运动生物化学“家族”的祖先是物理学、医学和化学。一个学科在自身发展的同时，不仅会受到相邻学科的影响，还会在共同发展的过程中，逐渐形成独立的理论体系和专有技术。由此，通过图0-2我们可以看到运动生物化学是运动生理学和生物化学的“孩子”。运动生理学是人体生理学和体育学“联姻”的结果，医学和化学的结合产生了生物化学，医学和物理学的结合产生了人体生理学。

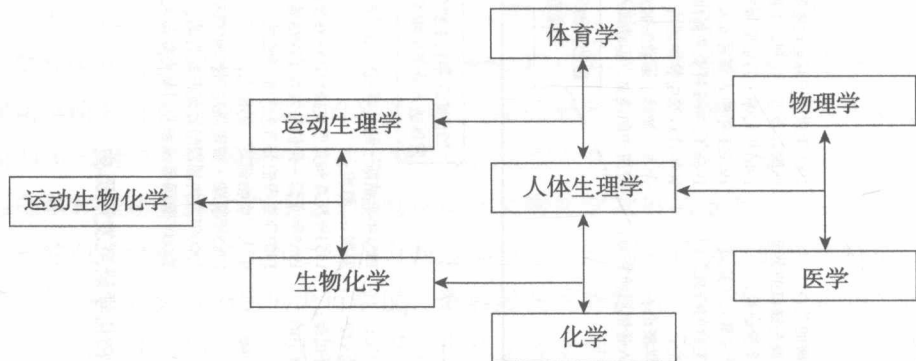


图0-2 运动生物化学学科发展谱系

了解“家谱”，除了对运动生物化学学科发展过程的了解有帮助外，对于认识运动生物化学与相邻学科的关系也具有积极的帮助作用。例如我们可以从相邻2个学科的结合部选择研究的新的增长点；我们可以充分利用一个成熟学科的理论探索一个前沿问题，我们还可以借助新技术研究一个“古老”的问题。所以学科之间是可以互补共赢的。

提问：

按照“家谱”的方式，描述一下你最喜欢、最熟悉的一门课程。

二、运动生物化学的特点

（一）运动生物化学的特点

(1) 在分子水平上研究运动过程中机体的应激特点或适应性改变的基本规律。

(2) 能量代谢是贯穿运动生物化学的主线。从“原材料”糖、脂肪、蛋白质和维生素等的获得、体内的贮存到能量产生的环境条件与控制,再到能量的转换、代谢终产物的去留等,无一不是在能量代谢这条线索上展开的。

(3) 糖、脂肪和蛋白质拥有各自稳定的代谢途径,运动无法改变代谢途径和分子间的逻辑关系。通过运动训练改变的仅只是机体代谢的调节控制和适应能力。

(4) 运动生物化学既是构成运动训练理论与方法的重要理论基础之一,也是精确评价运动训练效果的常用手段之一。目前,运动生物化学已成为所有竞技运动项目科学管理中不可或缺的重要组成部分。

(二) 运动生物化学的原理

知道运动生物化学的原理是什么,对于我们学好、用好运动生物化学具有十分重要的意义。关于对运动生物化学原理解释,一般可以从生命本身的基本活动规律为出发点或者是以运动与机体生命活动的关系基础为出发点来认识什么是运动生物化学的原理。

(1) 活的有机体与无生命物体的区别何在呢?主要有3个方面:一是它们的化学复杂性和结构组织性的程度。数千种不同分子组成细胞内错综复杂的内在结构,与之相比,无生命物质则为相对简单的化合物。二是活的有机体能从它们所生活的周围环境中摄取、转化并利用能量。这种能量能使有机体构建和维持它们体内复杂的结构,以及做机械、化学、渗透和别的形式功。无生命物质不能以一种系统的、动态的方式利用能量来维持其结构和做功,相反它们更趋向于像一种无序的状态衰减,最终与其周围环境达成平衡。三是有机体的自我复制和自我组装能力,这正是生命的精髓之所在。

(2) 代谢中能量的产生和消耗。在生物化学中,能量是一个中心问题。细胞和有机体依赖不断的能量供应阻止自然界中某一系统的能量总是衰减到最低状态这种趋势。信号的储存和表达需要消耗能量(图0-3),没有能量,富含信息的结构将不可避免地变得无序和无意义。细胞内发生的合成反应就像短跑选手的运动需要消耗能量。

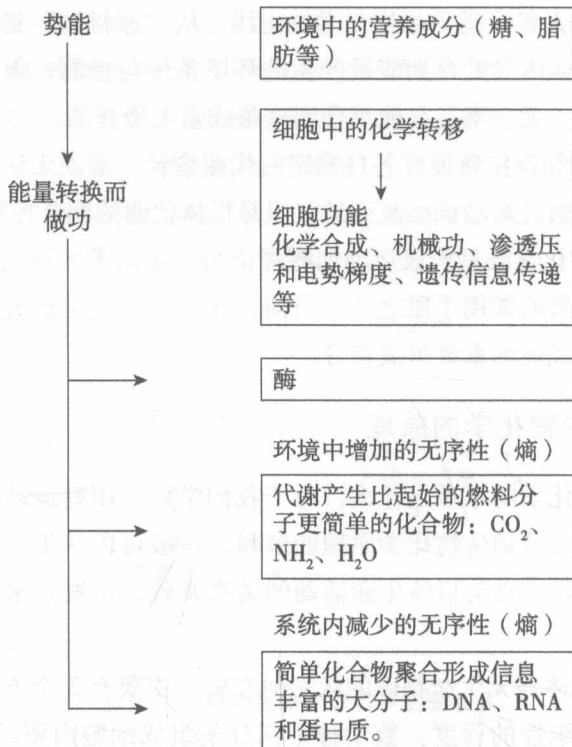


图 0-3 能量的获取与细胞内能量变化

(3) 生物电信息的传递。生命的延续需要其遗传信息以一种稳定形式被维持。遗传信息的有效贮存和准确表达决定了生命的特性，并确保它们在一代接一代的传递中保持连续性。

从运动与机体生命活动的关系基础来解读何谓运动生物化学原理时，对运动负荷与时间、应激与适应、变化与生化指标之间关系的理解和对所发生变化的认识是关键 (图 0-4)。

运动负荷和运动时间是自变量，它的不同排列组合形式形成了不同的运动刺激。人体接受这种刺激所发生的变化，完全遵循应激与适应的变化规则。其中，应激程度与运动刺激之间是一种对应关系，而适应性改变的程度则是受到时间因素的影响。在时间因素部分，一是运动持续的时间，二是间歇的时间。其中，间歇的时间不容忽视。

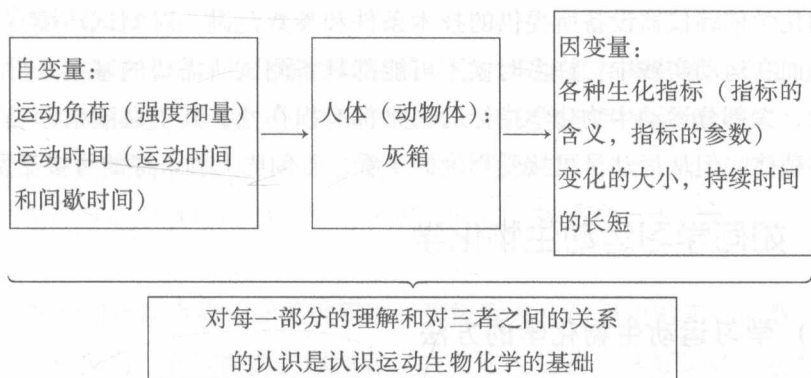


图 0-4 实验三要素与运动生物化学

各种生化指标是因变量，其变化的大小与运动刺激和承受刺激机体的状态关系密切。因此，运动生物化学是通过对运动刺激和指标变化来评价、分析机体的应激和适应性改变的规律与程度。

到目前为止，已有的研究成果还无法证明运动可以改变糖、脂肪和蛋白质等的代谢途径。体内的各种代谢均受到生命活动规则的限制而无法超越。因此，运动生物化学：一是通过研究运动时代谢基质和代谢过程之间的相互关系以及运动时物质代谢调节的变化来认识运动对机体的影响；二是通过研究运动时细胞间信号转导与机体化学组成之间的相互关系来认识运动对机体的影响；三是积极发挥新技术和新设备的优势，运动生物化学已经从单纯地围绕能量代谢、酶水平控制逐渐过渡到基因多态性、基因芯片和核酸测序等分子生物学水平的研究。

思考：

为什么说能量的产生与利用是运动生物化学的核心问题？除此之外，你还能联想到什么？

（三）运动生物化学的短板

任何一门学科在拥有自身优势的同时，一定存在着自己力所不能及的地方。从认识层面上看，运动生物化学主要是从分子水平反映机体在运动过程中发生变化的特点和规律，而决定机体运动能力的因素则是多水平、多因素的；从技术层面上看，

运动生物化学依赖仪器设备所提供的技术条件和参数范围，对测试环境有比较严格的要求，而在运动实践中，许多时候不可能都具备测试所需要的基本条件。从可操作性来看，大部分运动生物化学指标的采集都有损伤性，其中血液指标是可测试指标的主要载体。但从运动员可接受程度的来看，有创比无创采样的可接受性要低。

三、如何学习运动生物化学

(一) 学习运动生物化学的方法

(1) 对一门课程产生浓厚的兴趣是学好这门课程的关键。在学习运动生物化学的过程中，运动生物化学对运动能力的解释、运动生物化学提供的研究或测试手段、运动生物化学提供的评价指标和解释等，为我们打开了一扇认识人体运动的窗户。通过学习我们可以看到身体在运动中的各种变化，在发现这种变化并加以科学的解释，按照获得的数据调控运动负荷使被训练者按照预期目标发展等过程中获得最大的挑战和乐趣。诚如孔子所说：“知之者不如好之者，好之者不如乐之者。”除此之外，在学习运动生物化学的过程中，一定会遇到许多问题，因此克服畏难情绪，保持学习的积极性也是学好运动生物化学的关键。因此，在学习过程中，可以先从简单的总结开始，然后逐渐加大难度。例如对糖的生物学功能的总结，可以先简单总结糖的生物学功能有哪几个方面，然后再进一步归纳总结每一个功能的缘由。这样做既可以步步深入，又能够难点分散，便于记忆和理解。

(2) 运动生物化学是一门具有严密的逻辑性和系统性的学科，每一个章节互相联系、前后呼应。各个章节内的知识点也存在着密切的关系。对于这些联系，应该按照它们之间内在的规律理清脉络。例如能量代谢是运动生物化学的主线。我们可以把它看作是“树干”，章节为“枝条”，具体内容为“树叶”。除此之外，我们在学习时还需要不断地横向比较一些知识，例如糖酵解与糖的有氧氧化，糖、脂肪和蛋白质分解产能过程的异同点等。

(3) 重视实验课的学习。运动生物化学是一门实践性很强的课程。一般来说实验课的作用体现在2个方面：一是通过实验课验证课堂讲述的各种原理或现象，从而加深对所学内容和概念的认知；二是通过实验课的学习掌握基本的实验技能，培养科学精神，养成科学研究的习惯。所以，积极参与实验课的学习是学好运动生物