

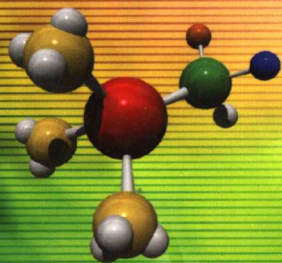


高等体育院校教材

# 运动生物化学

*Yundong shengwu huaxue*

雷志平 主编



陕西人民出版社



高等体育院校教材

---

---

# 运动生物化学

---

---

雷志平 主编

陕西人民出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

**运动生物化学/雷志平编著. —西安:陕西人民出版社,2006**

**西安体育学院本科教材**

**ISBN 7-224-07718-6**

**I. 运… II. 雷… 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089605号**

---

---

**运动生物化学**

---

**主 编 雷志平**

**出版发行 陕西人民出版社(西安北大街147号 邮编:710003)**

---

**印 刷 蓝田立新印务有限公司**

**开 本 787mm×960mm 16开 10.75印张**

**字 数 180千字**

**版 次 2006年8月第1版 2006年8月第1次印刷**

**印 数 1-5000**

**书 号 ISBN 7-224-07718-6/G·1547**

**定 价 16.00元**

---

# 前 言

根据我国体育教育发展的整体趋势,在新型教育理念指导下,2004年各专业教学计划以及体育教育、运动训练专业(本科)运动生物化学教学大纲已经完成。由于办学基本思路、课程设置均有变化,因此,新教材的编写势在必行。

本书根据我院2004年各专业教学计划及运动生物化学教学大纲,在借鉴1999年版全国体育院校通用教材《运动生物化学》成功经验的同时,结合我院多年来的教学实践编写而成。在编写过程中坚持知识、能力、素质协调发展和综合提高的原则。由于新教学计划中体育教育、运动训练、民族传统及运动人体科学(本科)均独立开设了运动人体机能实验课,因此,本书仅为理论讲授内容。

全书共计三篇十三章。参加编写的人员(按姓氏笔画)分别是:马艳(第八章);姜涛(第九章,第十一章一、二、三节);袁飏(第七、十二章);雷志平(绪论、第五、六、十三章,第十章第四节,第十一章第四、五节);潘玮敏(第一、二、三、四章);潘秀清(第十章一、二、三节)。由雷志平对全书进行最后统稿。

由于编者水平所限,本书的缺点、错误在所难免。敬请同仁及读者批评、指正。

《运动生物化学》教材编写组

2005年5月

## 目 录

绪论 .....	( 1 )
----------	-------

## 第一篇 生物分子

第一章 糖类、脂类 .....	( 3 )
第一节 糖类 .....	( 3 )
第二节 脂类 .....	( 6 )
第二章 蛋白质与核酸 .....	( 10 )
第一节 蛋白质 .....	( 10 )
第二节 核酸 .....	( 15 )
第三章 酶与激素 .....	( 20 )
第一节 酶 .....	( 20 )
第二节 酶对运动的适应 .....	( 24 )
第三节 激素及运动对相关激素水平的影响 .....	( 26 )
第四章 水、无机盐和维生素 .....	( 32 )
第一节 水 .....	( 32 )
第二节 无机盐 .....	( 34 )
第三节 维生素 .....	( 37 )

## 第二篇 运动时的物质代谢、能量代谢及调节

第五章 运动时的物质代谢和能量代谢 .....	( 41 )
第一节 能量代谢概述 .....	( 41 )
第二节 生物氧化 .....	( 44 )
第三节 运动时的无氧代谢供能 .....	( 46 )
第四节 运动时的有氧代谢供能 .....	( 51 )

第五节	运动时能量的释放和利用 .....	( 57 )
<b>第六章</b>	<b>运动与糖代谢</b> .....	( 63 )
第一节	肌糖原与运动能力 .....	( 63 )
第二节	血糖与运动能力 .....	( 64 )
第三节	肝脏释放葡萄糖与运动能力 .....	( 67 )
第四节	乳酸代谢与运动能力 .....	( 67 )
第五节	补糖与运动能力 .....	( 70 )
<b>第七章</b>	<b>运动与脂代谢</b> .....	( 75 )
第一节	运动时三脂酰甘油代谢 .....	( 75 )
第二节	运动与甘油、酮体代谢 .....	( 83 )
<b>第八章</b>	<b>运动与蛋白质和氨基酸代谢</b> .....	( 88 )
第一节	运动与蛋白质代谢 .....	( 88 )
第二节	运动与氨基酸代谢 .....	( 90 )
第三节	运动员的蛋白质补充 .....	( 94 )
<b>第九章</b>	<b>运动与水、无机盐代谢</b> .....	( 97 )
第一节	运动性脱水 .....	( 97 )
第二节	补液与运动能力 .....	( 99 )
<b>第十章</b>	<b>运动时的代谢调节</b> .....	( 102 )
第一节	代谢调节的基本方式 .....	( 102 )
第二节	运动时的无氧代谢调节 .....	( 103 )
第三节	运动时的有氧代谢调节 .....	( 106 )
第四节	运动训练的代谢适应 .....	( 111 )

### 第三篇 运动训练的生物化学

<b>第十一章</b>	<b>体能训练的生物化学</b> .....	( 114 )
第一节	速度、力量训练的生物化学 .....	( 114 )
第二节	速度耐力训练的生物化学 .....	( 118 )
第三节	耐力训练的生物化学 .....	( 122 )
第四节	高原训练 .....	( 126 )
第五节	低氧训练 .....	( 129 )
<b>第十二章</b>	<b>运动性疲劳与恢复</b> .....	( 134 )

第一节 运动性疲劳的生物化学 .....	(134)
第二节 运动后恢复的生物化学 .....	(140)
<b>第十三章 运动员身体机能的生物化学评定 .....</b>	<b>(146)</b>
第一节 血液生化指标评定 .....	(146)
第二节 尿液生化指标评定 .....	(156)
第三节 生化评定的作用 .....	(158)
<b>主要参考文献 .....</b>	<b>(163)</b>

# 绪 论

## 一、运动生物化学的概念

运动生物化学是生物化学的分支,是从分子水平研究人体化学组成对运动的适应,揭示运动过程中人体物质、能量代谢及调节规律的学科。运动生物化学的研究目的是为增强体质、提高竞技运动能力提供科学理论和方法。

运动生物化学是体育教育、运动训练、运动人体科学等专业(本科)的专业基础课。

## 二、运动生物化学的研究内容

### (一) 人体化学组成对运动的适应

核酸、蛋白质、糖类、脂类、维生素、激素、水以及无机盐是人体最基本的化学成分。运动训练中,各种化学成分均会由于运动负荷的影响发生适应性变化。人体运动能力的提高是整体多因素的综合反映,可表现为能源物质储量增加、代谢调节机能改善。运动生物化学要研究各种不同运动中人体化学组成适应变化的特点和规律。

### (二) 运动时物质、能量代谢的特点和规律

运动中能量消耗的速率及总量取决于运动负荷强度及运动持续时间。因此,机体可通过对无氧或有氧代谢方式的选择、对不同供能物质的选择,适应不同运动对能量输出的要求。运动生物化学要研究各种不同运动中物质、能量代谢的特点和规律,为科学运动训练及全民健身活动的开展提供理论依据。

### (三) 运动训练的生物化学分析

运动训练是除遗传因素外提高人体运动能力的决定因素。如前所述,运动训练必然引起人体对物质、能量代谢的调节以及化学组成有规律的改变。运动能力的提高,是在上述改变不断积累的基础上实现的。因此,通过对相关化学物质进行定量分析,成为科学训练方法研究的重要依据。

近年来,运动生物化学的研究已深入到分子水平并广泛渗透到多个学科。通过对某些结构蛋白、酶蛋白或多肽类基因表达的研究,将从本质上揭示体育运动与训练的实质及规律,使人们对体育运动与训练的作用与机理有更深层次的



认识。

### 三、运动生物化学的发展

运动生物化学的早期研究始于20世纪20年代。苏联学者H. H. ЯКОВЛЕВ于1955年出版了第一本运动生物化学专著《运动生物化学概论》，初步建立了运动生物化学学科体系。1968年，在国际运动和体育联合会倡议下，成立了国际运动生物化学研究组织，并在比利时布鲁塞尔举行了第一届国际运动生物化学科学报告会。标志着运动生物化学已成为一门独立的学科。半个多世纪以来，运动生物化学在生物化学及运动训练学的基础上有了飞速发展。

20世纪60年代，运动生物化学作为一门专业基础理论课走进我国高等体育教育，正在发挥着愈来愈重要的作用。当前，应用运动生物化学的理论与方法研究和解释生理现象的研究愈来愈受到关注；应用运动生物化学指标诊断过度疲劳及某些运动性疾病成为客观、准确、灵敏的检测方法；运动生物化学的理论与方法是运动营养学、运动心理学及运动训练学的必备基础。作为一门渗透到多种学科的专业基础理论课，在教学过程中必须坚持知识、能力、素质协调发展和综合提高的原则，为相关课程的学习打下坚实的基础。



# 第一篇 生物分子

人体内各种化学物质,按严格的规律和方式组合,构成各种细胞和细胞间质,并供给细胞活动的能量。研究生物体内的化学变化,首先必须了解组成人体的各种化学物质,包括蛋白质、糖类、脂类、核酸、水、无机盐及维生素。

## 第一章 糖类、脂类

### 第一节 糖类

#### 一、概述

##### (一) 分布

糖是自然界中存在量最多的有机化合物。常见于植物的根、茎、叶、果实和种子中。此外,人体的血液、肝脏和肌肉中也存在糖类物质。

##### (二) 化学组成

糖类物质主要由碳、氢、氧三种元素组成,分子通常用  $C_n(H_2O)_n$  表示,其中氢和氧的原子数比例与水相同为 2:1,所以糖类习惯上也被称为碳水化合物。但是有些非糖物质如乳酸,乙酸等,它们分子中的氢氧比也是 2:1,因此,糖的碳水化合物之称并不恰当,只是沿用已久的习惯称呼。

##### (三) 定义

从化学结构上讲,糖是多羟基的醛、酮及其缩合物的总称。例如常见的葡萄糖和果糖,它们具有相同的分子式和分子量,都为 6 个碳原子组成的己糖,但葡萄糖分子内含有一个醛基,而果糖分子内含有一个酮基,因此,前者是己醛糖,后者则是己酮糖。它们的结构式表示如图 1-1。

#### 二、糖的分类

糖类物质可依据其水解的情况分为单糖、低聚糖和多糖。

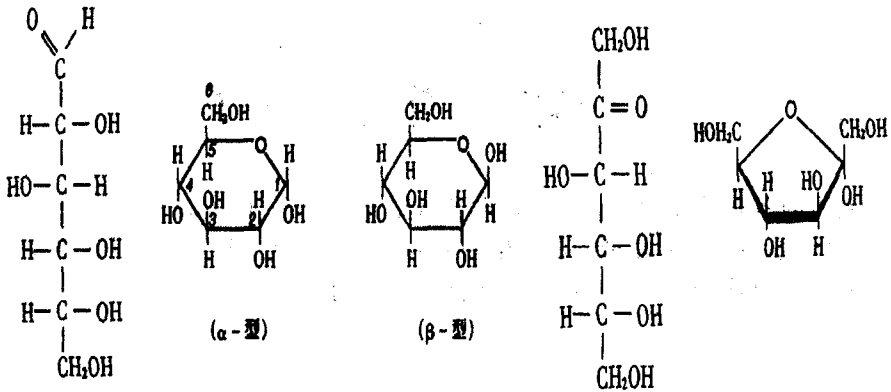


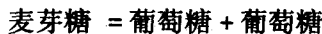
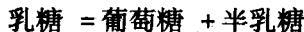
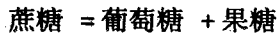
图 1—1 葡萄糖、果糖分子结构式

(一) 单糖

凡不能被水解成更小分子的糖称为单糖。通常单糖分子内含有 3~7 个碳原子。生物体内重要的五碳糖(戊糖)有核糖、脱氧核糖,它们是细胞内核糖核酸和脱氧核糖核酸的基本组分;重要的六碳糖(己糖)有葡萄糖、果糖、半乳糖,其中葡萄糖是血糖的基本成分,也是人体内糖的运输形式,而果糖和半乳糖只有在肝脏内转变为葡萄糖后才能被人体有效利用。

(二) 低聚糖(寡糖)

低聚糖是由 2~10 个单糖分子脱水缩合后形成的糖。在低聚糖中以双糖分布最为普遍,常见的双糖有蔗糖、乳糖和麦芽糖,这三种双糖水解后的组分分别是:



蔗糖是自然界中分布最广的低聚糖,许多水果和蔬菜中均含有,尤以甘蔗和甜菜中含量最高。乳糖存在于乳汁中,而麦芽糖则主要是淀粉水解的中间产物。

(三) 多糖

多糖由多个单糖分子经缩水后聚合而成。多糖无甜味,在酸或酶的作用下可以水解为双糖或单糖。重要的多糖有淀粉、糖原和纤维素。

淀粉主要存在于植物的种子、果实和块茎中,在酸或消化道淀粉酶的催化下,最终水解为葡萄糖,是日常膳食中糖的重要营养来源。纤维素是自然界中最丰富的一种多糖,是构成植物纤维和细胞的主要成分。由于人类的消化系统缺

乏分解纤维素的酶,因此人体无法直接利用其供能。但摄入纤维素能促进胃肠蠕动,具有降低胆固醇吸收等生理作用。

糖原广泛分布于人体及动物体各组织器官中,以肝糖原和肌糖原最为重要。体内糖原储存在细胞质中,用于细胞合成 ATP,而储存在肝脏中的糖原在必要时可以重新转化成葡萄糖,然后运输到相应的组织细胞中被氧化,对于维持血糖浓度的正常水平起着重要作用。

### 三、糖的供能特点

正常生理活动中能量的主要来源为糖的氧化过程,所以糖是人体内主要能源物质,可看作机体生存过程中细胞的主要燃料。对于重要的生命器官大脑及红细胞,糖的供能作用尤为重要。

#### (一) 存在形式

糖是人体重要的成分之一,约占人体干重的 2%。人体内主要的糖是糖原和葡萄糖。糖原是糖的储存形式,以肝脏和肌肉含量最多,而血液中的葡萄糖则是糖的运输形式。

#### (二) 储存量

人体内糖的总量一般不超过 500g,其中绝大多数以糖原的形式储存。肌糖原含量 10~15g/kg 湿肌。长期从事耐力训练的运动员,肌糖原含量可达 20~30g/kg 湿肌;肝糖原含量约 50g/kg 肝组织;体液糖总量 20g 左右,其中血糖 5~6g,主要成分为葡萄糖。

#### (三) 供能特点

人体内糖的储量不多,但糖是运动时唯一能无氧代谢合成 ATP 的细胞燃料,而且糖氧化具有耗氧量低,输出功率较脂肪氧化高等特点,因此在运动时是最重要的细胞燃料,体现在:

- (1) 当以 90%~95%  $VO_2\max$  以上强度运动时,糖供能占 95% 左右。
- (2) 是中等强度运动的主要燃料。
- (3) 在低强度运动中糖是脂肪酸氧化供能的引物,并在维持血糖水平中起关键作用。
- (4) 任何运动开始,加力或强攻时,都需要由糖代谢提供能量。

## 第二节 脂类

### 一、概述

#### (一) 分布

脂类广泛存在于动植物体内,也是人体重要的组成成分。例如,脂肪广泛分布于皮下组织、肠系膜、大网膜以及内脏周围和肌间组织中;类脂是生物膜的组成成分,血浆脂蛋白是脂类物质在血液中的转运形式;胆固醇在体内可转化为固醇类激素和维生素 D 等。

#### (二) 化学组成

脂类分子的化学组成与糖类相似,主要由碳、氢、氧三种元素组成,有些脂类物质的分子组成中还含有氮和磷等元素。脂类分子与糖分子内原子间的结合方式不同,特别是氢和氧的原子数比值不同。脂类远远高于糖类。例如最普通的脂肪是硬脂酸甘油酯,其分子内氢与氧原子数比值是 110:6,而葡萄糖分子内比值是 12:6。

#### (三) 脂类的分类

脂类可按不同的构成组分进行分类。它们可以分为单纯脂、复合脂和类脂三类。

##### 1. 单纯脂

单纯脂是指脂肪酸和醇类所形成的酯。其中,三脂酰甘油(甘油三酯)是脂类中含量最丰富的一大类,俗称脂肪。

##### 2. 复合脂

由其他化学成分与三脂酰甘油结合生成的复合物,称为复合脂。体内常见的复合脂有磷脂、糖脂和脂蛋白等。

磷脂是一类含磷的复合脂,是细胞膜的组成成分,在保持细胞结构的完整性方面起重要作用。此外,在血液凝结和组成神经纤维的绝缘外鞘方面也至关重要。

糖脂是由脂肪酸、糖、含氮醇结合而成的复合脂。存在于神经组织中,是细胞膜的成分,构成血型物质。

脂蛋白主要是由蛋白质、脂肪、胆固醇、磷脂等组成。基本上在肝脏合成,是脂类物质在血液中的转运形式。

### 3. 类脂

类脂是指一些理化性质与三脂酰甘油相似,不含结合脂肪酸的脂类化合物。其中最常见的是类固醇及其衍生物,如胆固醇、胆汁酸、维生素 D、固醇类激素(性激素和肾上腺皮质激素)等。

## 二、三脂酰甘油(脂肪)的储量、供能特点

三脂酰甘油广泛分布于机体的各种组织器官中,是机体内含量最多的脂类,以皮下、肾周围、肠系膜和大网膜等处储存最多,称为脂库,是储存能量的一种形式。成年人储存的三脂酰甘油约占体重的 10%~20%,女子稍高。脂库中的三脂酰甘油不断更新,其含量容易受各种因素(如营养状况和活动量的大小等)影响而变动。

### (一) 三脂酰甘油的分子组成和结构

三脂酰甘油是由 3 个脂肪酸分子和 1 个甘油分子缩合而成,结构通式如下:

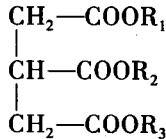


图 1—2 三脂酰甘油(脂肪)结构式

脂肪酸分子内的 R 代表碳和氢两元素组成的烃基链,脂肪酸通常是指分子结构中碳原子排列成链状,多为偶数碳的羧酸而言。自然界中脂肪酸碳氢链长一般为 12~22 个碳原子。有的是饱和脂肪酸,有的碳氢链含有一个或几个双键为不饱和脂肪酸。人体能够合成饱和脂肪酸和单个双键的不饱和脂肪酸。因此通常把维持人体正常生长所需,但体内又不能合成必须从外界摄取的多不饱和脂肪酸称为必需脂肪酸,其中亚麻酸和亚油酸最重要,花生四烯酸从亚油酸生成。大多数植物脂肪含较多的不饱和脂肪酸,所以植物油的营养价值高于动物脂。

### (二) 三脂酰甘油的供能特点

人体内储存的三脂酰甘油主要功能是氧化供能。储存的三脂酰甘油可以随时经过水解和动员释出甘油和脂肪酸,并通过血液运输到全身各组织器官中加以利用,血浆游离脂肪酸是人体内静息状态的主要能源之一,静息状态的骨骼肌也主要利用脂肪酸氧化获得能量。

运动时三脂酰甘油供能的重要性是随运动强度的增大而降低,随运动持续

时间的延长而增高。尽管三脂酰甘油作为能源物质效率不如糖,每消耗 1L 氧所产生的 ATP 比糖少,而且生成 ATP 的速度也较慢,但 1g 三脂酰甘油在体内完全氧化可释放 39kJ(约 9.3kal)的能量,是糖或蛋白质氧化所提供能量的 2 倍之多。所以,在静息状态、低强度和中等强度运动时,是理想的细胞燃料。另一方面,三脂酰甘油分子具有疏水性,所以储存时不伴有水,是理想的能量储存形式,而且储存量比糖原大。正常体重的成人体内,糖原储存能量是  $4 \sim 5 \times 10^6 \text{J}$ ,而脂肪组织可储能  $400 \times 10^6 \text{J}$ 。因此三脂酰甘油不但是人体的最大能量储存库,还是最佳的能量储存形式。

### 三、胆固醇的来源及去路

胆固醇存在于机体的一切组织器官内,它的生物作用广泛,对人体必不可少,但长期摄取含胆固醇量多的食物,或胆固醇代谢发生障碍时,易诱发某些心血管疾病,例如动脉粥样硬化,因此人体血液中和食物中(除蔬菜之外)胆固醇的总含量成为人们关注的焦点。人体内胆固醇含量约为 2g/kg 体重,除少量来自于动物性食物外,主要是由机体各组织合成。

胆固醇在体内除构成细胞成分和参与血浆脂蛋白合成外,主要的代谢去路是转变成具有重要生理功用的类固醇物质。

(1)在肝脏内胆固醇可被氧化成胆酸,胆酸主要与甘氨酸或牛磺酸结合生成胆汁酸随胆汁排出,是排泄的主要途径。

(2)储存于皮下的胆固醇经日光(紫外线)照射,可进一步转化生成维生素  $\text{D}_3$ 。

(3)胆固醇在肾上腺皮质可转化成肾上腺皮质激素,在性腺可转变为性腺激素。

### 小 结

本章从组成、分类、结构特点和在运动时的重要作用分别介绍糖和脂类的基本知识。糖是多羟基醛或酮及其衍生物的总称,可分为单糖、低聚糖和多糖,是唯一能进行无氧和有氧代谢供能的物质。血糖是糖在人体内的主要运输形式,而肌糖原和肝糖原则是糖在人体内的主要储存形式。糖的主要供能特点为:(1)当以 90% ~ 95%  $\text{VO}_2 \text{max}$  以上强度运动时,糖供能占 95% 左右;(2)是中等强度运动的主要燃料;(3)在低强度运动中糖是脂肪酸氧化供能的引物,并在维持血糖水平中起关键作用;(4)任何运动开始,加力或强攻时,都需要由糖代谢

提供能量。

脂类按不同的构成组分分为单纯脂、复合脂和类脂三类。三脂酰甘油(脂肪)是重要的单纯脂,由1分子甘油和3分子脂肪酸脱水缩合而成。三脂酰甘油是人的储能库,可提供长时间、低强度运动时机体所需的大部分能量。胆固醇存在于机体的一切组织器官内,人体内胆固醇含量约为2g/kg体重,除少量来自于动物性食物外,主要由机体各组织合成。胆固醇在体内除构成细胞成分和参与血浆脂蛋白合成外,主要的代谢去路是转变成具有重要生理功用的类固醇物质。

### 思考题

1. 糖可分为哪几类?糖在体内的运输形式和储存形式各是什么?糖在运动中的供能特点是什么?
2. 三脂酰甘油是由什么组成的?何谓必需脂肪酸?三脂酰甘油在运动中的主要供能特点是什么?
3. 胆固醇在体内的主要代谢去路?



## 第二章 蛋白质与核酸

### 第一节 蛋白质

#### 一、概述

##### (一) 蛋白质的化学组成

自然界中的蛋白质种类极多,但各种蛋白质的元素组成都很相似。所有的蛋白质都含有碳(50%~56%)、氢(6%~8%)、氧(19%~24%)、氮(13%~19%),大多数蛋白质含有硫(4%以下),有的蛋白质还含有磷,铁,铜等其他元素。

大多数蛋白质的含氮量在16%左右,即1g蛋白质氮相当于6.25g蛋白质。所以分析生物组织成分时,只要测定出其中的含氮量就可以按以下公式计算出蛋白质的大致含量:

每克样品中含氮的克数  $\times 6.25 \times 100 = 100\text{g}$  样品中蛋白质的含量(g%)

##### (二) 蛋白质的基本组成单位——氨基酸

蛋白质的种类尽管千差万别,但是经过酸碱或酶的水解,它们都可降解成为一群低分子的简单有机化合物——氨基酸。所以氨基酸是组成蛋白质的基本单位,氨基酸可看作是一类含有氨基的羧酸。生物体内参与蛋白质合成的氨基酸有20种,除脯氨酸外,均为 $\alpha$ -氨基酸,其一般化学结构式如下:

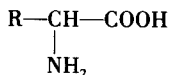


图2—1 氨基酸结构通式

氨基酸的R基团代表侧链部分,各种氨基酸的差异都表现在R这部分上,见表2—1所示。组成蛋白质的20种氨基酸中,有8种氨基酸人体不能自行合成,必须从外界摄取以完成营养需要,故称为必需氨基酸。人体同样需要非必需氨基酸,只是体内可以合成,并非从外界摄取。