

运动生物化学讲义

北京体育学院

基础理论部体育卫生教研室生化组编

一九七八年七月

运动生物化学讲义

· 内部材料 ·

北京体院基础理论部体育卫生教研室运动生物化学组编

北京体育学院印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 5.5印张 133,000字

1978年8月第一版 1978年8月第一次印刷

定价：0.60元

前 言

运动生物学是体育的自然科学基础之一。它专门研究运动对有机体化学组成的影响和运动时体内化学变化规律。运用这些规律为增强体质，提高运动能力，攀登世界体育高峰服务。

近十几年来，运动生物化学发展很快，已经成为独立的一门新学科，目前体育学院师生、教练员、体育工作者都希望学习和掌握这方面的知识。因此我们在近年来编写运动生物化学讲义的基础上，整理出这个材料，以应急需，其中不当和错误之处，请批评指正。

一九七八年七月

目 录

第一章 人体重要化学组成及其功能.....	1
(一) 糖类.....	1
(二) 脂肪.....	3
(三) 蛋白质.....	4
(四) 水和无机盐.....	8
(五) 高能化合物.....	10
第二章 人体内调节物质代谢的重要物质.....	13
(一) 酶.....	13
(二) 维生素.....	13
(三) 激素.....	16
第三章 运动能力和营养.....	20
(一) 糖和运动能力.....	20
(二) 维生素和运动能力.....	27
第四章 物质代谢的基本过程.....	30
(一) 糖代谢.....	30
(二) 脂肪代谢.....	32
(三) 蛋白质代谢.....	34
第五章 训练中的有氧代谢及无氧代谢.....	36
(一) 运动时物质、能量代谢基本过程.....	36
(二) 不同运动项目有氧及无氧代谢的关系.....	38
(三) 发展有氧及无氧代谢的某些训练方法.....	40
第六章 蛋白质代谢和力量.....	48
(一) 运动时蛋白质代谢的一般特点.....	48
(二) 力量训练与蛋白质的关系.....	50
(三) 力量训练与肌肉中物质代谢与蛋白质合成的关系.....	51
(四) 负担重量和动作速度和蛋白质代谢的关系.....	51
(五) 力量练习的安排与蛋白质代谢的关系.....	52
第七章 体育锻炼与运动量生化.....	54
(一) 体育锻炼对身体影响——超量恢复.....	54
(二) 增强体质提高工作能力.....	55
(三) 运动量的生化.....	57
第八章 运动员身体机能状态的生化评定.....	62

(一) 运动员一般身体机能评定.....	62
(二) 运动员身体机能状态的生化评定.....	64
第九章 不同年令的人在运动时的生化特点.....	75
(一) 不同年令的人物质代谢特点.....	75
(二) 不同年令的人运动时物质代谢的特点.....	76
(三) 少年体育训练的某些生化问题.....	79
附: 实验方法.....	82
(一) 血红蛋白、尿胆元、尿胆白的简易测定方法.....	82
(二) 血尿素氮的测定.....	83
(三) 血糖的测定.....	84
(四) 血乳酸的测定.....	85

第一章 人体重要化学成分及其功能

构成整个生物界的元素共有60种以上，而人体所含的元素有20种以上，这些元素都以化合物的状态存在于体内。

人体内水占70%左右。有机物占26.4%，有机物主要包括糖、脂肪、蛋白质、维生素、激素、酶等。无机物只占3.6%，主要是钠、钾、镁、钙、氯等。

可见人体内水分最多，除水外，蛋白质约占50%左右，其次脂肪也很多，约占30%。现将各主要成分分述如下。

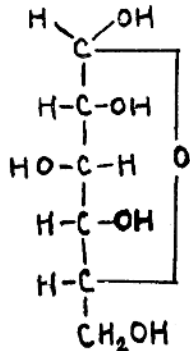
(一) 糖类

葡萄糖、蔗糖（白糖、红糖）淀粉都属于糖类。我们每天食入的糖类以淀粉为最多，象米、面、杂粮、薯类和豆类中淀粉含量都很丰富。糖类食物约占我们每天吃的食物干重的80%以上。

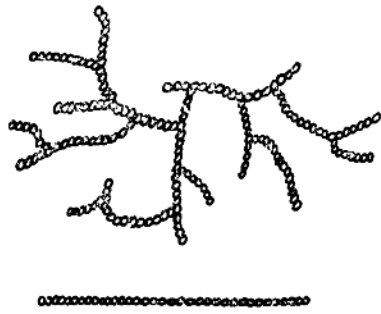
一、糖的概念和分类：

从化学结构来看，糖又称碳水化合物，是由碳、氢、氧三种元素组成的多羟基醛、多羟基酮或它们的聚合物，根据其能否水解以及水解后能产生多少简单的糖分子而分为单糖、双糖和多糖三大类。

1. 单糖：重要的单糖如葡萄糖、果糖（其化学式为 $C_6H_{12}O_6$ ），血中所含的糖主要是葡萄糖，又称血糖，其结构如下图：



2. 双糖：由两个单糖分子聚合而成的一类糖叫双糖。其通式为 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 。重要的双糖有蔗糖、麦芽糖和乳糖。蔗糖水解时产生一分子葡萄糖和一分子果糖；麦芽糖水解后生成两分子葡萄糖；乳糖则是由一分子葡萄糖和一分子半乳糖聚合而成。



淀粉结构

每一个小圈表示一个葡萄糖分子

图 1-1

3. 多糖：由很多分子的单糖聚合而成。多糖的化学通式为 $(C_6H_{10}O_5)_n$ 。多糖在自然界分布很广。重要的多糖有淀粉和糖元。淀粉和糖元都是由葡萄糖组成。其结构如图 1-1 表示。

淀粉广存于植物界，谷类中含量很高，人食入的糖类以淀粉为主。

糖元又叫动物淀粉，是人及动物体内的多糖，主要存在于肝脏和肌肉中，分别称为

肝糖元和肌糖元，它们是人体内的基本能源物质。在肝脏中糖元约占肝脏重量5%，净重约为100克左右；肌肉中的糖元含量约为肌肉重量的1—2%。

二、糖的生理功能：

1. 供给热能：糖是人体内最主要，最经济及动用最快的热能来源。每克糖完全氧化可释放4千卡热能，机体6%的热能由糖供给。糖容易被消化吸收，分解快，氧化时耗氧较少。进行短时间高强度的运动时所需要的热能，几乎全部由糖供给；而长时间、消耗热量较大的运动项目，也是首先由糖氧化供给能量，其次才动用脂肪。

2. 供给神经系统所需要的热能：大脑中缺少诸存的营养物质，主要依靠糖的氧化获得热能。血糖浓度降低时，首先影响中枢神经系统的机能，产生疲劳或头晕等现象。

3. 此外糖还有构成体质，调节脂肪代谢，节约蛋白质等作用。

三、糖储备与运动能力

糖在一般膳食中主要从米、面、五谷杂粮中获得，其中糖的含量，约占每天所吃食物总热量的50—70%。通常成人每日每公斤体重需糖约4—6克，运动时糖的消耗大大增加，如果工作时间长，强度又大，需要量就相应增多。体内糖储备不足时，将使运动员机能状态及工作能力降低。尤其是在长时间运动时，因体内糖储备不足会使耐久力下降。例如：安静时人体内血糖浓度是70—100mg%，体内糖元的总储备量约300—400克（其中包括肝糖元和肌糖元），按每克糖产热4千卡计算，则总的发热量相当于1200—1600千卡。但很多运动项目的热能消耗，接近甚至超过了体内糖储备可供的总热量。体重70公斤的人，一场冰球全场比赛热能消耗1200千卡，足球比赛1500千卡，马拉松全程2500千卡等，因此完全可能使人体的糖元储备大量消耗，使血糖明显下降，影响中枢神经系统的正常功能，运动员感到饥饿、眩晕，运动速度减慢，肌肉力量减弱，动作协调性被破坏，严重时，无法坚持运动。

通过对九名足球运动员大腿肌糖元含量的测定材料观察到，其中赛前含量较高的五人为一组，较低的四人为一组，较低的原因是前一天运动量较大，疲劳未彻底消除，食物中补充的糖也不够。在进行一场足球赛时，大腿肌糖元含量一直处于低水平，运动能力也明显较低。（表1—1）。

表1—1 九名足球运动员大腿肌糖元含量与运动能力

运动员人数	大腿肌糖元含量 (毫克分子葡萄糖/公斤体重)			运 动 能 力			
	赛 前	半场休息	赛 后	跑 的 距 离		快 跑 %	
				上半时 (45') (米)	下半时 (45') (米)	走	跑
5	96	32	6	6100	5900	27	24
4	45	6	0	5600	4100	20	15

运动员一日糖的供给量应为每公斤体重8—12.5克，一日总量是500—600克，占膳食总热量的60%左右。

影响人体糖储备的因素有：

1. 体育锻炼能增加肝、肌糖元的含量。

13名11—13岁的男孩进行四个月的体育锻炼后，肌糖元由原来每公斤体重0.99克，增加到每公斤体重1.28克，训练不但能增加糖元含量，而且还能提高人体对糖的利用能力。

2. 膳食条件的影响：曾测定10名体院学生食用普通膳食3周后，肌糖元为每公斤肌肉17.7克，而食用含糖丰富的膳食3周后，肌糖元可升至每公斤肌肉35.2克，因此耐力项目的运动员在膳食中应当适量地增加糖类，多吃淀粉类的主食。

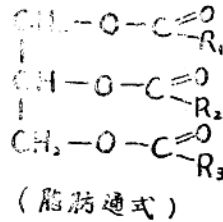
由于糖元在体内贮存时是和水分结合的，过多时会使肌肉有一种僵硬的感觉，因此短跑运动员要限制糖元的贮量。从调查中观察到当长跑运动员股四头肌中肌糖元下降至每公斤肌肉3.5克时，跑速便下降；经过2小时的赛跑，肌糖元的消耗量为每公斤肌肉16克，因此超长距离运动员体内肌糖元应在每公斤肌肉20克左右这样可以始终保持能量的供应。

(二) 脂肪

一、脂肪的概念和分类：脂肪分真脂和类脂两大类。经常食用的动植物油（如猪油、牛油、羊油、花生油、豆油、菜籽油等）都是真脂。真脂是由脂肪酸和甘油组成。

类脂包括磷脂与固醇类，磷脂中有卵磷脂、脑磷脂及神经磷脂。磷脂与固醇都具有很高的生理价值，在运动员营养中有特殊的作用。

1. 真脂：又称中性脂肪。由一分子甘油与三分子脂肪酸构成。其化学结构通式为：



R_1 、 R_2 、 R_3 代表由碳和氢组成的烃基，随不同的脂肪酸而异，含不饱和脂肪酸多的，在室温条件下是液体，通常称为油，如各种植物油；有的含不饱和脂肪酸较少，在室温下是固体，通称为脂，如动物脂肪。人体内含量最多的脂肪酸有硬脂酸（18碳）、软脂酸（16个碳）、油酸（18个碳）。

在不饱和脂肪酸中，十八碳二烯酸（ $\text{C}_{17}\text{H}_{29}\text{COOH}$ ，含有二个双键）、十八碳三烯酸（ $\text{C}_{17}\text{H}_{27}\text{COOH}$ ，含有三个双键）和花生油酸（ $\text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$ ，含有四个双键），都是人体自身不能合成而必须由营养中获得的不可缺少的脂肪酸，所以又称必需脂肪酸。

2. 类脂

人体内重要的类脂有磷脂与胆固醇。

磷脂：人及动物体内重要的磷脂有卵磷脂、脑磷脂、肌醇磷脂和神经磷脂等。

磷脂中的胆碱、胆胺是含氮的硷性有机化合物，在人体内与脂肪代谢有密切关系，可以防止肝内大量脂肪存积（脂肪肝）。

体内许多活性物质，如参与消化脂肪的胆汁酸盐、维生素D、肾上腺皮质激素及性激素等类固醇化合物，均可由胆固醇在体内转化而成。

二、脂肪的生理功能：

1. 类脂是细胞的必要组成成分：

磷脂和胆固醇等是各种组织细胞的必要的结构成分，如细胞膜。神经组织中也含有大量的类脂。

2. 脂肪是体内贮存能量和供给能量的重要物质。皮下、肠系膜、大网膜、肾脏周围、肌间等处的脂肪组织中贮存着大量脂肪，习惯上称为“贮存的脂肪”。一般情况下，成年人贮存的脂肪约占体重的10—30%，女子通常比男子多，因为脂肪的发热量很高，1克脂肪在体内完全氧化能产热9倍热，所以脂肪是人体内贮存能量和供给能量的重要物质。同时由于脂肪组织中的大量脂肪象软垫一样，有缓冲机械冲击，保护内脏的作用；脂肪不容易导热，有保持体温的作用。体内储存适量的脂肪对游泳运动员来说是有利的。

3. 食物中的维生素A、D、E、K及胡萝卜素等可溶于食物油脂中，并随同油脂一起被吸收。

三、脂肪的需要量

脂肪虽是人体内能量丰富的贮备物质，但在一般运动训练时，脂肪消耗的并不多，只有在长时间的运动训练中，如一万米长跑或竞走、雪地跑30公里或在功率自行车上运动60分钟，血中磷脂量会降低2.2—7.6%，说明在长时间运动中脂肪消耗量较大。但是在运动员的膳食中，脂肪量不宜过多，因为高脂肪膳食会使体内氧利用率降低，运动耐久力受影响，同时因脂肪不易消化，而运动时体内消化机能常处于抑制状态，多吃脂肪，会减低其它营养素，特别是蛋白质的吸收率。因此应当限制运动员膳食中脂肪的含量。但是，运动员食物中脂肪也不宜过少，脂肪不足时，食物的质量及人的味觉受影响，也会造成食物吸收量减少，所以食物中脂肪也不宜过少，一般认为一日脂肪供给标准是100—160克，登山运动员可以少些，游泳、长跑、滑雪等可以适当多些，可增至每公斤体重1.9—2.0克。

1959—1964年调查我国优秀运动员的膳食时，发现运动员吃的脂肪过多，一般脂肪总发热量为30—35%，1964年则增加至35—40%左右。1964年食物中蛋白质、脂肪和糖三者重量比为1:1.1:3.8，1964年调查结果：1:1.4—1.9:1.5—3.7，合适的比例应为1:0.7—0.8:4。脂肪过多的原因是膳食中猪肉供应量高，而猪肉（尤其肥肉）脂肪含量高，影响主食吃不进去，有些运动员在控制体重时，也只注意少吃主食而造成食物中脂肪比例增多。1974年7月调查湖南田径队64名队员的血液脂肪时，发现运动员血脂较非运动员高，认为是由于膳食中猪油、猪肉、蛋类和蔗糖等摄入量明显高于常人之故。

据调查，我院学生每日膳食脂肪摄入量不高，约为50—60克左右。

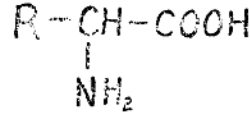
（三）蛋白质

伟大导师恩格斯指出：“生命是蛋白体的存在方式”，“无论什么地方，只要我们遇到生命，我们就发现生命是和某种蛋白体相联系的，而且无论在什么地方，只要我们遇到不处于解体过程中的蛋白体，我们也无例外地发现生命现象。”可见蛋白质对于生命具有特殊的重要意义。

人类食物中必须含有一定量的蛋白质，它不仅是人体组织结构的重要成分，也是合成体内一些重要生物活性物质如酶的重要原料，人体长期缺乏蛋白质就无法维持生命。

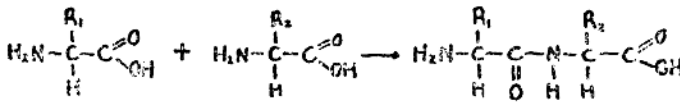
一、蛋白质的成分：

蛋白质分子是由许多氨基酸聚合而成。构成天然蛋白质的氨基酸主要有二十多种（表1—2），这些氨基酸的一般结构式可以表示为：



R代表除氨基和羧基以外的其它结构。不同氨基酸的R是不同的，如甘氨酸的R就是一个氢原子，丙氨酸的R是一个甲基。

蛋白质分子中的氨基酸主要是通过肽键相连接的。肽键是一个氨基酸的羧基与另一个氨基酸的氨基，脱去一分子水结合而成的键。



式中—CO—NH—即是肽键。两个氨基酸借一个肽键相连构成的化合物叫二肽，二肽还可以借肽键连接氨基酸构成三肽、四肽……等。由多个氨基酸通过多个肽键相连接形成的链状结构，称为多肽链。

虽然一切蛋白质只含有20种左右的氨基酸，但由于他们所含的氨基酸的种类、数目、排列顺序及分子的空间构型不同，生物界中就有着为数甚多的各种蛋白质。

二、蛋白质的生理功能：

1. 构成和修补组织：蛋白质是细胞的主要组成成分，占细胞固体成分的80%以上。肌肉、血液、髓、骨、软骨、毛发等都由蛋白质作为主要成分。体内脏器和组织细胞是不断破坏和新生的，蛋白质是它们新生时原料。体育运动使人体新陈代谢得到加强，因此就需要补充更多的蛋白质来维持组织的修复与生长的需要。

2. 调节生理机能：体内的各种生物化学反应都必需有一定的生物催化剂——酶的参与才能完成。而酶的本质就是蛋白质；调节生理功能的激素中有许多是由蛋白质所构成如调节血糖水平的胰岛素；维持渗透压的血浆蛋白；运输氧与二氧化碳的血红蛋白等。

3. 供给热能：食物中未被利用的蛋白质及体内组织细胞更新时替换下来的蛋白质分解后放出热能。1克蛋白质在体内氧化后产热4仟卡，但蛋白质一般不作为能量的主要来源。

三、蛋白质的需要量

1. 必需氨基酸和蛋白质的营养价值：氨基酸是合成蛋白质的原料。凡是能够在人体中从其他有机化合物生成的氨基酸，叫做非必需氨基酸。这一类如甘氨酸、丙氨酸等十余种。另一类氨基酸人体不能合成必需由食物进入人体，以供需要，称为必需氨基酸。如苯丙氨酸、蛋氨酸、色氨酸等等。此外象组氨酸、酪氨酸、精氨酸虽能缓缓地由其它物质生成，但是在生长期或一些疾病情况下，它们的生成速度不足以维持人体的正常

表1—2

组成蛋白质的氨基酸

分类	名称	结构式	分类	名称	结构式
中性氨基酸	甘氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	中性氨基酸	酪氨酸	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	丙氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		色氨酸	$\text{C}_8\text{H}_7\text{NH}-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	半胱氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HS}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		脯氨酸	$\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_2$
	缬氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		天门冬酰胺	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{H} \end{array}$
	苏氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{H} \end{array}$		谷氨酰胺	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{O} \quad \text{H} \end{array}$
	蛋氨酸 (甲硫氨酸)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		天冬氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
	缬氨酸	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{H} \end{array}$		谷氨酸	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$
	亮氨酸	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{H} \end{array}$		赖氨酸	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}-\text{H} \\ \\ \text{COOH} \end{array}$
	异亮氨酸	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{NH}_2 \\ \quad \\ \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{C}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{H} \end{array}$		精氨酸	$\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_3-\text{C}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{NH} \quad \text{H} \end{array}$
	苯丙氨酸	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		组氨酸	$\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{NH}_2 \\ \\ \text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{H} \end{array}$

状态，因此也必需由食物供给；这些氨基酸被称为半必需氨基酸。

含有各种必需氨基酸的蛋白质又称为完全蛋白质，缺少某一种或某几种必需氨基酸的蛋白质称为不完全蛋白质。

2. 蛋白质的需要量和供应

蛋白质的需要量与劳动强度、体重（尤其是肌肉重量）、年龄及营养状况等条件有关。一般正常人每公斤体重每日需 1—1.5 克左右。运动员的蛋白质需要量比一般人高。有的科研材料提出是 2—2.5 克/公斤体重。也有的报告提出运动员蛋白质摄入量为 1.4 克/公斤体重即足以维持需要。如果蛋白质摄入量不足，则可能引起血红蛋白及血清蛋白消耗等情况，危及运动员的健康和运动能力，但过多食入蛋白质，也对身体不利，尤其是热能不足时，因蛋白质的特殊动力作用，氧化时耗氧较多，代谢产物过多必将加重肝、肾的负担，所以只能根据运动员不同项目的特点和运动量的大小，适当提高蛋白质的供给量，不可过多滥用。

某些运动项目如女子体操，为了完成高难动作，在控制体重期间（多数情况是为减轻体重），热能是负平衡，为了有充沛体力，蛋白质供给量应提高到适宜水平。1975 年对我国女子体操运动员的研究表明，当蛋白质供给量为每天 80 克（即 1.6 克/公斤体重）以上，其中动物性蛋白占 50% 以上，蛋白质产热量占总热量 18% 以上时，运动员身体各项指标反应正常，体力及主观感觉均良好。在试验的六周内体重共减轻 2 公斤，坚持了正常的训练。

食物中的肉、鱼、奶、蛋等是动物性蛋白质的主要来源。豆类，尤其是大豆是含蛋白质丰富的植物性食物。粮谷类蛋白质的含量虽不高，但由于其在食物中所占的比例较大，因此，也是蛋白质的主要食物来源。蛋白质营养价值高低，主要决定于其中所含必需氨基酸的质量。动物性蛋白质所含必需氨基酸比较齐全，因此一般认为营养价值较高。植物性食物，除大豆所含必需氨基酸较齐全外，一般所含氨基酸质量往往不足，但出谷杂粮与大豆或动物性食物同时食用，即采用互补的作用可以提高植物性蛋白质的生理价值。因为两种食物同时食用时，一种食物所缺少的氨基酸，可由另一种食物的蛋白质补足。所以，合理安排膳食既可以保证营养，又可以节约经济开支。例如 1975 年对我院体育系和遵化“五·七”大学体育班的膳食调查（表 1—3）表明，遵化同学们的伙食经济标准虽比体院低，但他们合理调配主副食，却获得了比较多的蛋白质和必需氨基酸。满足了学习和训练的需要。

表 1—3 我院学生及“五·七”大学体育班蛋白质供给量

		遵化“五·七”大学体育班			北京体育学院		
		主食	副食	合计	主食	副食	合计
男	蛋白质(克)	78.8	8.52	87.85	57.70	25.65	83.35
	必须氨基酸(毫克)			326.6			287.4
女	蛋白质(克)	60.73	8.75	69.3	36.0	25.7	61.7
	必须氨基酸(毫克)			291			287.5

(四) 水和无机盐

一、水的生理功能：水是人体的重要组成成分。也是人体内含量最多的成分。水占人体体重的60%以上（表1—4）。

表1—4 不同年龄组的人体内水含量与分布

水占体重% 分布	年龄	足月新生儿	1岁	2—14岁	成人
		体 液 总 量	80	70	65
细 胞 内 液		35	45	40	40
细胞外液	细胞间液	40	25	20	15
	血 浆	5	5	5	5

水具有许多特殊的化学与物理性质，与其它化合物不同。纯水为中性液体，各种无机物与有机物均易溶于水。水的介电常数很大，能促进溶解于水的电解质电离，以便参加化学反应。水的粘度小，所以体液在血管、淋巴管及组织间隙中的转移才能迅速，水具有十分重要的生理作用。

人体内一切化学反应和物理化学反应都是在水媒介中进行的。水不仅是中性溶剂，而且它本身也参加代谢过程的许多反应。

营养物质的消化、吸收、运输，以及代谢产物的排出等，都是以水作为溶剂来进行的。在剧烈运动中，体内能量物质迅速氧化，而释放的热增多时，通过排汗的方式来散热，从而保持体温不致过分升高。

此外，体内组织成分中的一部分水，在组织内以结合状态存在；它被结合在各种亲水胶体中（其中最重要的是水溶性蛋白质），使这些凝胶呈半固体的状态。这种结合状态的水已失去流动性，它实际已参于形成生活物质的构造成分。如肌肉、皮肤、肾、心脏等这些致密的组织与脏器，水分占70—80%。可见水的生理功能的重要。

二、人体内水的平衡：人可以数天不食，但不能一天不饮。水的代谢十分旺盛。每时每刻都有水的排出（皮肤蒸发与肺呼出），排尿虽有时间间隔，但尿的生成也是时刻进行着的。故人体必须通过饮食，补充体内排出的水。正常情况下，人体摄入的水量和

表1—5 正常成人24小时水的出入量

水的入量 (毫升)		水的出量 (毫升)	
饮料（水、汤或其他流质）	1,200	肾脏排出（尿）	1,500
食物（固体或半固体）	1,000	皮肤蒸发（汗）	500
生物氧化产生的水	300	肺呼出（水蒸气）	350
		肠道排出（粪便）	150
共 计	2,500	共 计	2,500

排出的水量，维持着相对平衡（见表 1—5）。进入体内的水随着各种体液渗透压的不同而分布与交换。可扼要地表示如图 1—2。

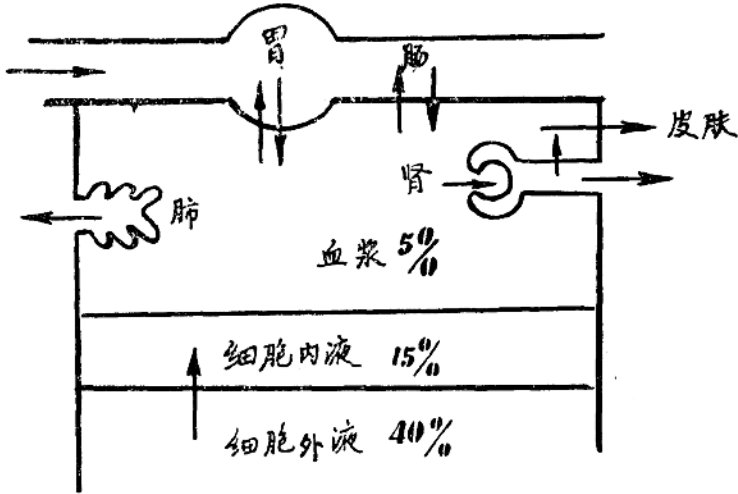


图1—2 体内水的分布与交换

三、无机盐的生理功能：无机盐又称矿物质。人体内的矿物质约占体重的5%，其中70%是钙和磷，其它是钾、硫、镁、钠、氯、铁及碘等元素。矿物质在体内不供给热能，但它参与构成体质和调节生理机能。故在营养中具有重要意义。

1. 构成人体组织：钙（Ca）、磷（P）、镁（Mg）是构成骨骼和牙齿的原料；铁（Fe）是血红蛋白和肌红蛋白等的重要组成成分。许多矿物质都具有与蛋白质及类脂组合成细胞、肌肉、血液及神经组织的功能。

2. 参与辅助酶组成或是酶的激活剂：如脱羧酶、脱氢酶、辅酶 I 和 II 都含磷。呼吸酶含铁。氯能促进唾液淀粉酶的作用。凡涉及三磷酸腺苷（ATP）的化学反应，几乎都需要镁或钙离子作为激活剂。

3. 是维生素与激素的构成成分：如维生素 B₁ 含硫（S），B₁₂ 含钴（Co）和磷（P），甲状腺素含碘（I）等。

4. 维持人体缓冲体系的酸碱平衡和渗透压力、以及水平衡的重要物质：主要是钾、钠、钙、镁、氯等。

5. 维持神经肌肉的正常兴奋性：在人体内钾、钠、钙、镁等离子浓度保持适当比例，神经肌肉的兴奋性保持正常，如果钙、镁浓度增加，钠、钾离子浓度降低时，则神经、肌肉兴奋性降低；相反当钠、钾离子浓度增加而钙、镁离子浓度降低时，则神经、肌肉兴奋性升高。运动时由于大量排汗，一部分无机盐随汗流失，从而改变体内无机盐离子浓度的比例关系，严重时可导致抽筋。

四、水盐代谢与运动员饮水问题：

盐类在体内的移动与分布与水代谢密切相关，因大多数盐类在体内是以水溶液状态

存在的。而水盐经肠道进入血液后，分布于各种组织器官和体液中。人体各组织中的水盐含量保持在一定的水平，过剩的水和盐通过尿液和汗液排出体外，一般情况下，一昼夜由皮肤蒸发散失的水分为0.5—1升。上海体院报导运动员在秋季跑完马拉松全程后，出汗量达2—5升。北京夏季（室温25°—30°C）四小时的中长跑训练，排汗4.5升左右。武汉夏季进行一次足球大运动量训练后排汗3升左右。随着大量排汗失盐也很多。北京体院曾测定马拉松运动员经过一次比赛，丧失氯化钠10.75—15.90克。北京运动医学研究所研究长跑运动员夏季水盐代谢结果表明，运动员在四小时大运动量训练时，平均排汗4.5升，汗中氯化钠的浓度平均是0.57克%，由汗中损失的氯化钠平均量是24.77克。上述材料说明，在高气温下进行运动时，运动员排汗多，失盐也多。因此，在夏季，运动场上应设供水站，便于及时补充，保证运动员的水盐平衡。

关于运动员饮水问题，尚须进一步进行研究，运动前后不宜一次喝大量的水。一次喝大量水对身体有以下几方面的不利。

1. 增加心脏和肾脏负担：大量饮水后，很快吸收进入血液，血量大增，增加心脏对血循环的负担；水大量进入血液，血液被冲淡，由于渗透压随时保持平衡，所以肾排尿增多，同时皮肤排汗也增多，所以增加心脏和肾脏的负担。

2. 大量排尿和排汗，同时失去一部分盐份，失盐增多，影响肌肉正常兴奋性，易引起抽筋；当脑中盐分减少，水分相对较多时，增加对大脑的压力，使人感到头痛、恶心。

3. 增加胃肠负担：大量饮水后，不能立刻完全吸收，在胃中贮留时，如继续运动则因晃动，感到不舒服；水多冲淡胃液亦影响食欲。

现在有人认为在运动前膳食中应注意有足够的水分。运动中和运动后喝水要本着少量多次的原则。人体每小时最多能吸收水0.8升，每小时饮水不能多于1升，每次以150—200毫升为适宜，每隔15分钟再喝，以避免肠胃过分充填。水温最好是8°—12°C或凉开水，以利于身体散热。

当膳食中氯化钠供给充分，而一日的出汗量在4升以下时，不必另外补充食盐，吃盐过多，将增加人体对水分的需要，吃多了盐又大量喝水会使尿中水盐大量损失。运动员应注意保持盐的平衡。如出汗很多，而膳食中盐分供给不足时，应额外补充食盐，如喝淡盐饮料、增加咸菜等。常温时成年人一日氯化钠的需要量是10—15克，在高气温下运动伴有大量出汗时食盐的供给量应增加到20—25克。

（五）体内的高能化合物

体内各种营养物质氧化时虽能提供能量，但这些能量是不可能直接用来供人体利用的。不论是修补组织或合成代谢所需的能量或是肌肉收缩、神经传导所消耗的能量，以及维持体温所需要的热能等等，都是由体内的高能化合物分解释放的能量作为主要直接来源。而糖、脂肪、蛋白质等营养物质氧化时所提供的能量，也必须先转移到体内高能化合物的分子中，然后才可能被人体利用。可见体内高能化合物在生命活动中很重要。它在生物体系的能量转移中，占据着中心位置。这也是生物体系与无生命的机械体系中能量转移的根本区别。

我们知道，任何物质在分解时所释放的能量，决定于该物质的化学本质，即决定于

分解时断裂的化学键的键能。不同的化学键所贮备的能量不同。因此，有的化学键水解时释放能量较少（低于5,000卡/克分子），一般称为低能键；而某些化学键水解时释放的能量高达5,000—16,000卡/克分子，这种键称为高能键。常用“~”符号来表示。高能键与磷酸根相连的，叫高能磷酸键；与硫通过酯键相连的，叫做高能硫酯键。含有高能键的化合物统称为高能化合物。体内见常的高能化合物如表1—6。

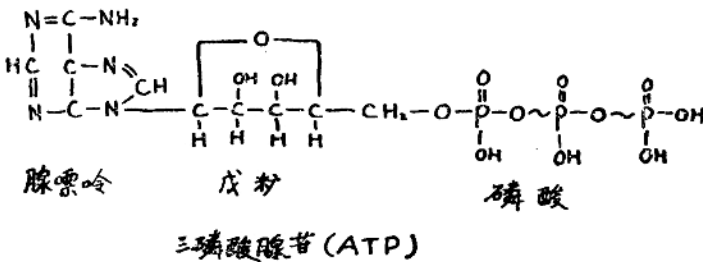
表1—6 体内常见高能化合物

化合物名称	水解的化学键	水解时释放的能量 (卡/克分子)
三磷酸腺苷 (ATP)	磷酸酐键 $R-O-P(=O)(OH)-O-P(=O)(OH)-O-P(=O)(OH)-OH$	7,500
二磷酸腺苷 (ADP)	磷酸酐键 $R-O-P(=O)(OH)-O-P(=O)(OH)-OH$	7,500
磷酸肌酸 (CP)	磷酸胺基键 $R-N(CH_2)C(=NH)NH-P(=O)(OH)-OH$	9,000
1,3-二磷酸甘油酸	混合酸酐键 $R-C(=O)-O-P(=O)(OH)-OH$	16,000
乙酰辅酶A	硫酯键 $CH_3-C(=O)-S-CoA$	7,700

人体各种生理活动所消耗的能量，大多直接来自三磷酸腺苷（简称ATP）。经常劳动和进行体育锻炼的人，肌肉中ATP、磷酸肌酸（简称CP）的含量较一般人多，与代谢有关的酶活性也较强。现将ATP与CP的有关内容介绍于后：

一、ATP（三磷酸腺苷）的性质与机能

ATP其化学结构如下：



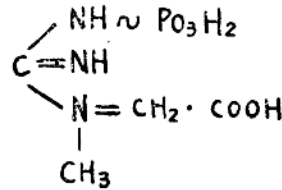
其中末端两个磷酸根的结合键都是高能磷酸键，当水解时首先分解掉末端一个高能磷酸键，同时释放出7500卡能量，生成二磷酸腺苷



事实上，体内各种生命活动所需的能量，基本上都是通过ATP的分解来提供的。在肌肉中ATP分解时，其释放的能量转化为肌肉收缩时的机械能。一般肌肉中由ATP储存的能量有1.2倍，可坚持剧烈运动1—2秒。

二、磷酸肌酸 (CP) 的性质与机能

磷酸肌酸是肌肉中储能的高能磷酸化合物。它由三种氨基酸——甘氨酸、蛋氨酸和精氨酸组成，结构如下：



磷酸肌酸

在正常的生理条件下，CP可以将能量转移到ADP分子上，使之生成ATP，由ATP直接供应各种生理活动所需的能

量。肌肉中所含CP的量约可供能3.6倍卡，可维持肌肉运动5—3秒。经过训练的人，肌肉中CP数量增多。目前除了可以直接测定肌肉的CP外，还可以测定CP的代谢产物——尿液肌酸酐，据武汉体院测定，运动员每公斤体重排世肌酸酐数量比非运动员明显增多，说明运动训练能明显增加肌肉中CP的数量，尤以短跑和少年体操运动员尿肌酸酐每公斤体重排泄量与运动水平有密切关系，故可以定期测定尿肌酸酐，以评定训练效果。