

绪 论

随着体育科学的发展，科学化水平不断提高，从分子水平上阐明人体在运动时的变化规律，是当前体育科技发展的要求之一。运动生物化学是在这种形势下发展起来的新学科，是生物化学的一个分支；是生物化学在体育实践中的应用；是体育学院的一门专业基础理论课。

一、运动生物化学的任务

运动生物化学是从分子水平上研究运动对机体适应的一门学科。它的任务是：1. 研究运动对机体组成的影响；2. 研究运动时物质代谢、能量代谢的特点和规律；3. 运用运动时生物化学的特点和规律为体育锻炼科学化，运动训练科学化服务。

（一）运动对机体化学组成的影响

人体的化学组成是相对稳定的，在运动的影响下，可以发生相适应的变化。这种适应性变化是增强体质，提高运动能力的物质基础之一。

人体的各组织器官，它的化学组成主要是蛋白质、核酸、脂类、糖、无机盐和水等。这些物质在运动的影响下，会发生相适应的变化。如经常进行耐力训练的人，肌肉中肌红蛋白增加；肥胖的人经常进行体育锻炼，体内脂肪会减少；跑得快的动物肌肉中磷酸肌酸比跑得慢的动物多，这都是运动引起体内化学组成适应性变化的表现。

酶是蛋白质，它能催化体内各种化学反应，在运动影响下，细胞内酶的生成增加，由运动诱导酶生成而使酶活性增加，以适应运动时物质代谢加剧的需要。长时间耐力训练可提高有氧代谢酶活性，如琥珀酸脱氢酶、细胞色素氧化酶等；速度和力量训练可提高无氧代谢酶活性，如肌酸激酶、磷酸果糖激酶等。

（二）运动时物质代谢、能量代谢的特点和规律

人每天食入的蛋白质、糖、脂类、水、无机盐和维生素等，在体内进行物质代谢的同时，必然伴随着能量的转变，如人体在1~2分钟激烈运动时，肌肉能量需求比安静时增加约120倍，因此，释放能量的分解代谢占主要地位，为了满足运动时的能量需求，使得某些代谢过程（如糖酵解），在激烈运动中十分重要，甚至占支配地位，如200米跑，95%左右的能量来自无氧代谢。不同项目，不同强度的运动，对身体的有氧代谢和无氧代谢要求不同，因此，掌握运动时的物质和能量代谢特点，对了解体育对人体的影响，促进健康，提高训练效果十分重要。目前已经阐明，运动时人体内的能量供应是一个完整的体系；它可以分两种代谢类型：有氧代谢和无氧代谢；这两种代谢类型包括三个供能系统，即：1. 磷酸原系统；2. 糖酵解系统；3. 有氧氧化系统。不同运动项目，不同运动强度时，各能量系统占不同的比例。了解各系统的能量贮备、消耗、恢复的特点和规律，针对性地从事科学训练，发展专项运动所要求的物质代谢和能量代谢能力，才能以最快速度，最有效的方法提高运动能力，促进健康，增强体质。

（三）为体育锻炼科学化，运动训练科学化服务

研究运动对人体物质组成的适应性改变，掌握运动时物

质和能量代谢的特点和规律，目的在于在科学锻炼和科学训练中应用。如了解人体运动能力限制因素（限力）是什么，应用生化原理去进行科学训练和锻炼。了解运动时的消耗特点和运动性疲劳的机理，如何通过食物、药物及其他生物学因素以加速身体的恢复过程，利用辅助因素提高运动能力（促力）；应用生化指标对运动员进行机能评定，对参加体育锻炼者进行指导和制定运动处方等，这都是运动生物化学在运动实践中应用的主要内容，也是这门专业基础理论课的重要任务。

二、运动生物化学的研究历史

运动生物化学是生物化学的分支，是体育科学和生物化学发展的必然产物。运动生物化学的研究开始于本世纪的 20 年代，在 40~50 年代有较大的发展；在 60 年代成熟为一门独立的学科。

在本世纪的 20 年代，生物化学进入了一个蓬勃的发展阶段，对糖酵解、肌肉收缩和生物氧化等研究取得了进展，为认识运动时体内物质代谢和能量代谢打下了基础。因此，E. Asmussen 认为这时期中的 Meyerhof、Lohmann 等对肌肉收缩蛋白质、肌肉中高能磷酸化合物、糖原分解和乳酸的生成等的研究成果，是对运动时肌肉中物质代谢研究的基础，与此同时，德国的 Snepker 等对运动后血、尿、汗的分析：G. Embden 等发现运动能提高骨骼肌糖原和磷酸肌酸的含量，这些研究成果说明了运动对身体的好处。可见，这时期运动生物化学的研究处于萌芽的阶段。

从 50 年代开始，生物化学突飞猛进，建立了许多先进的技术和方法，如同位素示踪法、电泳、层析法、超速离心法等。在生物化学中关于高能磷酸键的作用，ATP 是肌肉的供

能者和受能者，糖酵解、三羧酸循环、呼吸链等过程基本阐明，大大加深了对运动时物质和能量代谢的认识。在这一时期中，苏联的 Н. Н. Яковлев 等用比较生物化学方法，分析不同运动能力的动物组织器官化学组成的特点，和运动训练对机体化学组成的影响，并以动物模拟不同运动，如耐力训练（小白鼠游泳）、力量训练（小白鼠爬杆）、速度训练（小白鼠跑车轮）等，测定不同训练时血液和组织器官中的生化变化，用血糖、血乳酸等研究运动员身体素质、机能等。与此同时，美国的 Rowell，西德的 Kuel，瑞典的 Pernow 等人采用动静导管引流的方法取血，研究人体运动时糖、脂肪和蛋白质代谢的特点和规律。Н. Н. Яковлев 根据当时的研究成果认为，运动对身体的影响是一个适应过程，这种适应可分为三种类型：1. 肌肉的运动性肥大，最大的变化是肌肉蛋白质数量增加；2. 有氧代谢能力提高，最大的变化是肌肉呼吸和氧化磷酸化；3. 无氧代谢能力提高，明显地提高 ATP 的通过 CP 和糖酵解再合成的能力。1950 年 Яковлев 根据他对肌糖原在电刺激肌肉时的消耗和恢复过程的特点，提出了“超量恢复”的理论，Н. Н. Яковлев 等对超量恢复进行了较为广泛的研究。在这个时期中，运动生物化学的理论可用以解释力量、速度和耐力等问题，为制定训练计划和发展这些素质提供了理论依据，超量恢复理论也为这时期的大运动量训练和某些训练方法提供了理论基础。说明这个时期运动生物化学随着体育科学的进步有了很大的发展。

1955 年苏联 Н. Н. Яковлев 编写的《运动生物化学概论》，是运动生物化学第一本专著，说明了运动生物化学的研究成果已具基本规模。1962 年 J. Bergstrom 将肌肉活检法引进到运动生物化学研究中，从过去应用血、尿和汗的成分间

接了解肌肉代谢,转入为直接对人体肌肉、肝脏取样分析,使肌肉代谢的研究有了很大的突破,明确了运动时肌肉的能量体系,使得间歇训练、重复训练等方法得以推广,为制定科学的训练方法、为运动性疲劳、机能恢复、合理安排运动员营养和机能评定等提供了理论基础,加速了体育锻炼和运动训练科学化,促进了体育科学的发展,与此同时,世界各国体育专业院系大都开设了有关运动生物化学课程,运动生物化学有了自己的理论体系。因此,在1968年联合国教科文组织下的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”。这标志着运动生物化学的诞生。

我国运动生物化学的研究和教学始于50年代,运动生化工作者深入运动实际,用尿蛋白、尿胆原、尿肌酐、血红蛋白、血乳酸等对运动员大运动量训练的身体机能、训练方法和运动强度掌握等方面提供了科学依据。在研究方法上也进行了改进,如血乳酸、血尿素等指标。1979年成立中国体育科学会和运动医学会。在有关运动医学学术会议中,都有运动生化专题。目前,在运动医学会下设立了“运动生化营养”学组,以推动运动生化的发展。

三、运动生物化学与其他有关学科的关系

运动生物化学是在生物化学、生理学等的基础上发展起来的。因此,生物化学、生理学的有关知识是运动生物化学的基础,运动生物化学是认识运动时身体机能的基础,对运动生理学的发展十分重要。而运动生理学的发展对运动生物化学发展起着促进作用。

运动生物化学是运动医学的基础。与运动性疾病的发病机理和生理机能失调,物质代谢过程紊乱是密切相连的,物质代谢过程紊乱终将表现为疾病,物质代谢紊乱往往在疾病

症状之前就存在了。因此，运动医学工作者必须了解运动时物质代谢正常和异常的特点，探索异常代谢的表现和原因，为运动性疾病的预防、诊断和治疗提供依据。

运动员和参加体育锻炼者，必须采用不同于正常人的营养标准，所以说，运动生物化学又是运动营养学的基础。

运动训练学是一门新兴的科学。运动时物质和能量代谢特点，和不同强度、距离、项目运动时体内的有氧和无氧代谢规律，是制定训练计划，选择和发展各种训练方法的理论依据，运动时体内物质的消耗和恢复过程是科学安排训练强度、预防过度训练的重要依据。运动生物化学已被广泛应用于运动实践中，是运动训练学的一个基础。

(冯炜权)

第一章 糖、脂类、蛋白质概述

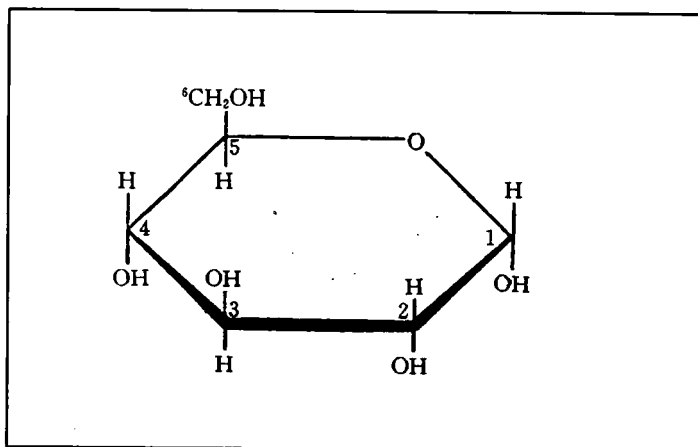
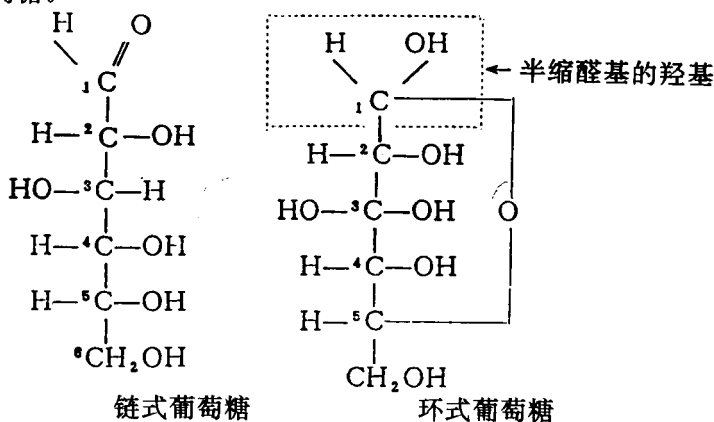
人体在生存过程中不论处于安静状态或各种活动时，都需要一定能量的供应。人体对能量的需要，主要是靠组织细胞中糖、脂肪和蛋白质经不同方式的氧化而得到满足。糖、脂肪和蛋白质除了作为生物燃料外，在保持人体结构和功能的完整性方面也起着重要作用。因而通常称它们为维持人体生命活动的三大营养物质。

第一节 糖

一、糖的概况

糖是自然界中存在的一大类有机化合物。在自然界中可由绿色植物经光合作用而生成。植物的根、茎、叶、果实和种子等，大多含有葡萄糖、果糖、蔗糖、淀粉和纤维素等糖类物质。糖类物质主要是由碳、氢和氧三种元素组成。其分子式通常用 $C_n(H_2O)_n$ 来表示。其中氢与氧原子数之比和水相同，也就是为 2 : 1，故糖类也有“碳水化合物”之称，但这个名称并不确切，因为某些糖如鼠李糖 ($C_6H_{12}O_6$) 和脱氧核糖 ($C_5H_{10}O_4$) 等分子中的氢与氧之比都不是 2 : 1。而还有一些非糖类物质如乙酸 ($C_2H_4O_2$)、乳酸 ($C_3H_6O_3$) 等，它们分子中氢氧比都是 2 : 1。因此，我们从化学结构上给予糖类以确切的定义。糖类是多羟基醛或多羟基酮及其衍生物的总称。

和我们生活最为密切，而且最为典型的糖是葡萄糖。葡萄糖分子是由 6 个碳原子、12 个氢原子和 6 个氧原子组成，分子式为 $C_6H_{12}O_6$ ，化学结构式可写为链式与环式两种，若能更好的表示其结构上的空间状态则可用哈瓦式结构来表示葡萄糖。



葡萄糖立体构型（哈瓦式结构）

二、单糖

凡是不能用水解方法再降解的水分子了糖称做单糖，通常单糖分子内含有 3~7 个碳原子。自然界存在的单糖有 20 多种，生物体内重要的单糖有核糖、脱氧核糖、葡萄糖和果糖等。核糖和脱氧核糖主要存在于细胞核染色体中，是遗传基因的物质基础。血液中的葡萄糖称做血糖，它直接来自食物或其他复杂的糖类在体内消化后形成，也可以由肝内糖原分解后释放入血。果糖大量存在于水果和蜂蜜中，它是单糖中甜度最大的糖。半乳糖是由乳汁中乳糖水解后产生。果糖和半乳糖很容易在肝细胞中转变成葡萄糖。

三、寡糖（低聚糖）

寡糖是由 2~10 个单糖分子脱水缩合后形成的低聚化合物，通常能水解成少数单糖分子的糖称做寡糖。最主要、最简单的寡糖是双糖。

双糖是两个单糖分子缩掉 1 水分子后化合而成。主要的双糖有蔗糖、乳糖和麦芽糖，这三种双糖的基本成分是：

蔗糖 = 葡萄糖 + 果糖

乳糖 = 葡萄糖 + 半乳糖

麦芽糖 = 葡萄糖 + 葡萄糖

蔗糖是一种最普通的食用糖，大多数食物内都含有蔗糖，特别是甜菜、甘蔗、高粱和蜂蜜内蔗糖的含量比较高。

天然乳糖仅在乳汁中发现，故通常又称做奶糖。在双糖中乳糖的甜度最低，经加工制成的含高糖、高热卡价的流质食物中经常能发现半乳糖。

麦芽糖大量存在于淀粉类食物水解产物中，谷类植物的芽胚中。

双糖在人或动物小肠内，由相应的酶催化水解成单糖，经小肠壁吸收后参加体内的糖代谢。

四、多糖（高聚糖）

多糖是一类高分子有机化合物，一般无甜味，大多不溶于水。一般由300~500以上的单糖分子脱水缩合而成（图1—1）。

自然界中多糖分布甚广，是最常见的糖类，通常分为植物多糖和动物多糖两大类。植物通过光合作用将二氧化碳和水合成为单糖，再进一步合成多糖；动物则必须将摄入的多糖水解成单糖，吸收后再重新合成自己体内的多糖。

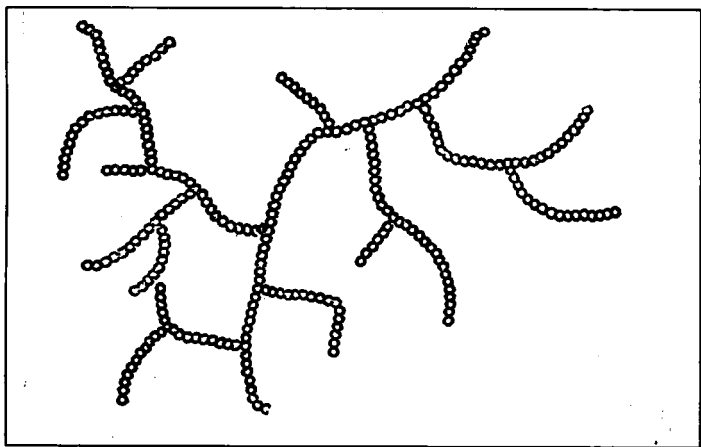


图 1—1 多糖的分子结构（各个小圈表示一个葡萄糖残基）

1. 淀粉和纤维素

淀粉和纤维素是植物多糖的两种常见形式。

淀粉是植物的贮存养料。广泛存在于大米、小麦、高粱、玉米和豆类种子中。薯类、芋艿、慈姑和藕等根、茎中也有

大量存在。天然淀粉颗粒的大小不等，例如土豆的淀粉颗粒要比稻米的淀粉颗粒大得多。淀粉是我国人民最主要的食物来源。

纤维素组成植物纤维或者植物结构成分。主要存在于叶、茎、根、种子和果实的外皮等处。由于人类的消化系统内缺乏分解纤维素的酶，故无法直接利用，但纤维素能促进肠胃蠕动，有利于食物消化。果胶纤维能够与胆汁酸结合排出体外，促进体内胆固醇分解，有利于降低人血清总胆固醇水平；高纤维素食物能提高高密度脂蛋白胆固醇水平，有利于血清胆固醇的转运和代谢。

2. 糖原：动物淀粉又称糖原，是动物和人体组织内合成和贮存的多糖形式。糖原分子很大，通常由几百至几千葡萄糖脱水缩合后连接而成。正常人体内糖原贮存量很少，约为350~400克。

五、运动时糖的生物学功能

正常生理活动中能量的主要来源均来自糖的氧化过程，所以糖是机体内主要能源物质，可以把糖看成是机体生存过程中细胞的主要燃料。同时对于某些重要的生命器官，如脑组织则糖更是主要的燃料。此外，糖还参与细胞内结构成分，且与细胞膜的抗原性有关，并可组成某些功能性物质，如糖蛋白等。

运动时糖的主要生物学作用，表现在以下几个方面：

（一）贮存和提供代谢所需的能量

糖是机体最重要的供能物质之一。1克葡萄糖完全氧化分解可以释放出约4千卡的能量，释放的能量可供肌肉收缩作功，部分转变成热量维持体温。在激烈运动中糖的燃料作用更为重要。

（二）糖具有节约利用蛋白质作用

正常生理条件下，蛋白质主要起着维持和修复组织以及满足机体生长的需要，很少起供能作用。但是，当糖贮量下降时，蛋白质则参与葡萄糖的合成代谢，起着补充糖、提高糖利用作用。在长时间耐力性运动中，蛋白质的这一作用更为突出。但是随之而来的就是体内蛋白质贮存量下降，特别是肌蛋白质数量将暂时降低，因而提高糖的食用与补充，将有助于组织蛋白质数量的保持和恢复。

（三）糖可促进脂肪代谢

脂肪代谢中脂肪酸经氧化过程产生的乙酰辅酶 A，必须与葡萄糖氧化的中间产物草酰乙酸结合，才能进入三羧酸循环而彻底氧化。所以脂肪在体内的完全氧化，必须有糖的代谢参与才能完成。这正是脂肪在体内的氧化必须在糖的适量代谢中才能进行。如果机体处于异常情况，如糖尿病的病理状态，或者由于饥饿或者由于长时间运动而导致糖贮量下降时，则脂肪代谢的中间产物酮体（乙酰乙酸， β -羟基丁酸和丙酮）必然增多并堆积，从而引起体液内环境酸性增强，导致酮体中毒。

（四）糖是中枢神经系统的主要燃料

不同组织对糖的依存性有所不同，大脑存在血脑屏障，且缺乏贮存能源物质，糖的贮量仅占 0.1 毫克%左右，故大脑主要依靠血糖氧化而获得能量，以维持其正常生理功能。因而当血糖浓度降低时，首先影响中枢神经系统的机能，产生疲劳或头晕等现象，从而影响运动能力。

第二节 脂类

一、脂类的概况

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。有些脂类的分子组成中还含有氮和磷等元素原子。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 $H : O = 110 : 6$ ，而葡萄糖分子内 $H : O = 12 : 6$ 。

脂类是脂肪、类脂与固醇类化合物的总称，而脂肪则就脂肪酸的甘油酯而言。

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。常见的脂肪酸有：

十八碳酸（硬脂酸） $C_{17}H_{35}COOH$

十六碳酸（软脂酸） $C_{15}H_{31}COOH$

十八碳烯酸（油酸） $C_{17}H_{33}COOH$

* 十八碳二烯酸（亚油酸） $C_{17}H_{31}COOH$

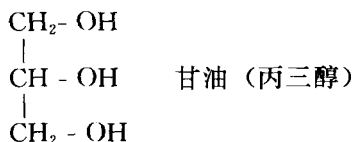
* 十八碳三烯酸（亚麻油烯酸） $C_{17}H_{29}COOH \Delta 9.12.15$

* 十八碳三烯酸（亚麻油烯酸） $C_{17}H_{29}COOH \Delta 6.9.12$

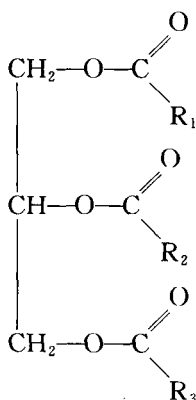
* 二十碳四烯酸（花生四烯酸） $C_{19}H_{31}COOH$

上列常见的脂肪酸中有“*”号者，为机体内不能自行合成者。必须从外界摄取以完成营养的需要，称之为必需脂肪酸。

甘油就是丙三醇，其分子结构如下：



脂肪酸的甘油酯，也就是脂肪。可表示为如下的通式：



式中 R_1 、 R_2 、 R_3 等与不等均可。

脂肪的通式

动植物体内均有脂类存在，它们是一种不溶于水的有机化合物。根据一般分类方法，它们可以分成脂肪、复合脂和类脂三种类型。

二、脂肪

脂肪双称做甘油三脂。它广泛分布于机体的各种组织器官中，如皮下组织、肠系膜、内脏周围、肌间等脂肪组织中。脂肪是机体内含量最多的脂类，是贮存能量的一种形式，脂肪组织中脂肪可占 99%。

三、复合脂

由其他化学成分与脂肪结合生成的复合物称为复合脂。例如磷脂、糖脂和脂蛋白等，所有的细胞都能合成磷脂，但主要还是在肝细胞内合成。磷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起重要的作用。

糖脂是由脂肪酸、糖类和神经氨基醇等含氮化合物结合

而成。糖脂是细胞包括神经髓鞘的组成成分，并且是构成血型物质和细胞膜抗原的重要组成成分。

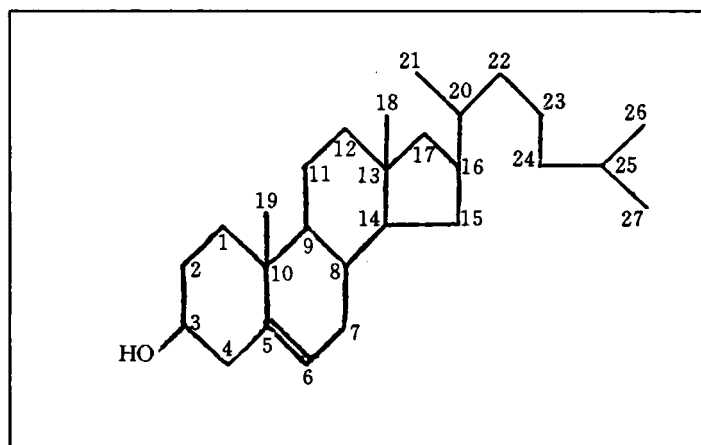
脂蛋白基本上在肝内合成，都是由甘油三酯、磷脂、胆固醇和蛋白质组成。血浆脂蛋白是脂类物质在血液中的转运形式。

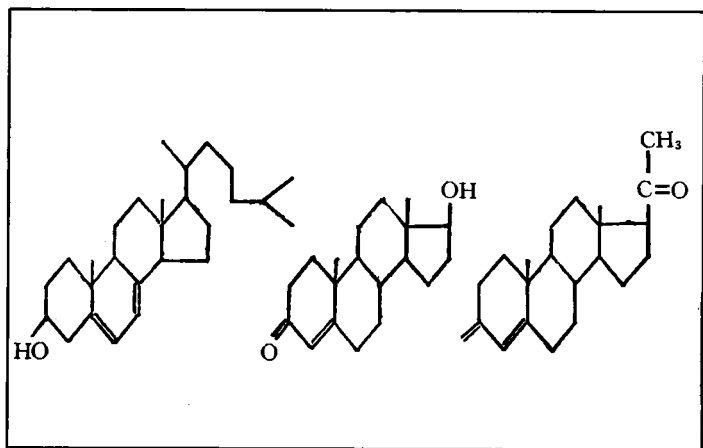
四、类脂

类脂是指一些理化性质与脂肪相似的一些固醇类物质，以及由复合脂演变来的化合物。其中最为常见的就是胆固醇。

胆固醇存在于机体一切细胞内。人的机体内胆固醇有两个来源，外源性胆固醇（来源于食物）和内源性胆固醇（细胞内合成）。即使机体摄取不含胆固醇的食物，体内细胞每日合成的胆固醇也可达到 0.5~2 克，这个合成速率因身体的需要而定。因此，不吃含胆固醇的食物不一定就能降低血浆中胆固醇的含量。

胆固醇的正常生理功能，包括合成雌激素、雄激素和黄体酮（孕酮），这些激素均与男女第二性征有关。





五、运动时脂肪的生物学功能

体内脂肪不仅是体内最大的能量贮存库，构成生物体的主要成分，而且具有隔热保温防震等保护作用。营养上的必需脂肪酸必须由食物供给，一些脂溶性维生素也必须随同脂类一起吸收。因此脂类是食物中不可缺少的成分之一。运动时脂肪的主要生物学作用如下：

（一）运动时能量的主要来源和最大贮能库

脂肪是理想的细胞燃料，单位重量脂肪携带的能量比糖多。脂肪的转运和贮存也比较简单，并能迅速动用，释放能量供组织使用，每克脂肪在体内完全氧化，释放 9 千卡能量，是等量葡萄糖或蛋白质氧化释放能量的 2 倍多。1 分子甘油和 3 分子脂肪酸合成甘油三酯时释放 3 分子水，相比之下，细胞用葡萄糖合成糖原时每克糖原结合 3 克左右的水。所以脂肪贮备几乎不含水，是理想的能量贮存形式。

正常成人男子含体脂约 6%~12%，女子体脂量稍高于

男子，约为 10%~18%。由于体脂易受活动量和饮食等因素影响，变动很大，故称体脂为可变脂。体脂低于 5% 时影响运动能力，所以减体重要适量。营养摄取过量时，其他营养物质如糖和蛋白质能迅速转变为脂肪贮存于体内。如糖一样，脂肪作为能量物质被氧化供能的能力提高，在做耐力性运动时脂肪氧化供能起着节省糖的作用，有助于延长运动时间和提高运动能力。

（二）防震和隔热保温作用

人体内的重要组织，如心、肝、肾、脾和脊椎等周围都有脂肪层包裹，约占体内总脂肪量的 4% 左右。它们起防震保护作用，即使在长时间半饥饿状态，这种防御性脂肪层也不会明显减少。

皮下脂肪层在隔热保温防止失散热方面起着重要作用。例如，优秀的游泳运动员，安静时处于冷水环境中，体温稍有下降，而游泳时，体温基本保持不变。相反，瘦人在这两种情况下体温均显著下降。不少人随着年龄增长，体脂越积越多，这种情况除在冷环境中好处外，对体温调节没有任何好处，特别是在持续运动中，体内生成的热量高达安静时的 20 倍，过厚的皮脂会妨碍体热迅速消散，所谓胖人不耐热就是这个道理。

（三）脂溶性维生素的载体

脂肪是脂溶性维生素 A、D、E、K 的载体，减少食物脂肪的摄取量会降低体内这些维生素的含量，有可能导致相应的维生素缺乏症。脂肪还有助于非脂溶性维生素 A 前体的吸收，例如胡萝卜素。运动员在控制体重时要注意适当的补充维生素，因此摄取适量的脂肪是不可缺少的。