

运动训练的生物化学

冯炜权 冯美云 编

北京体育学院

运动训练的生物化学

(教学参考资料)

冯炜权 冯美云 编

北京体育学院教务处

1985年7月

目 录

绪论	1
一、运动生物化学的任务	1
二、运动生物化学研究概况	2
三、运动生物化学的研究方法	2
四、运动生物化学与其它有关学科的关系	3
第一章 糖、脂和蛋白质——运动时的能源物质	4
第一节 糖	4
一、糖的概况	4
二、运动时糖的生物学功能	6
第二节 脂	6
一、脂的概况	7
二、运动时脂肪的生物学功能	8
第三节 蛋白质	9
一、蛋白质的分子组成和结构	9
二、蛋白质在生命活动中的作用	12
第二章 运动和酶	13
第一节 酶催化反应的特点	13
一、高效率催化能力	13
二、高度特异性	13
三、不稳定性	14
四、参与代谢更新	14
第二节 酶的化学组成和结构特点	14
一、酶的化学组成	14
二、酶的结构特点	15
第三节 酶的命名和分类	16
一、酶的命名	16
二、酶的分类	16
第四节 运动对酶的影响	16
一、运动对骨骼肌酶活性的影响	16
二、运动对血清酶活性的影响	18
第三章 运动时能量的释放和利用	20
第一节 三磷酸腺苷 (ATP)	20
一、ATP的化学结构和功能	20
二、ATP的贮存量	21

三、ATP的合成	21
第二节 ATP的合成途径	22
一、磷酸肌酸(CP)——能量的贮存体	22
二、糖的无氧分解——糖酵解	23
三、有氧代谢合成ATP	27
四、糖、脂和蛋白质代谢的相互联系	38
第三节 运动时能量的生成	41
一、运动时能量的供应体系	41
二、运动时无氧代谢和有氧代谢供能的相互关系	44
三、各种运动项目的供能代谢特点	44
第四节 运动时能源物质利用的调节	46
一、肌细胞内能源物质利用的调节	46
二、运动时整体代谢的调节	46
第四章 营养和运动能力	50
第一节 糖和运动能力	50
一、血糖和运动能力	50
二、糖元和运动能力	51
第二节 脂类和运动能力	52
一、膳食脂肪和运动能力	53
二、体脂和运动能力	53
第三节 蛋白质和运动能力	54
第四节 无机盐和运动能力	55
一、钠和氯	55
二、钾	55
三、钙和磷	55
四、镁	56
五、铁	56
六、锌	56
第五节 饮水和运动能力	57
第六节 维生素和运动能力	57
第五章 运动时蛋白质代谢特点和肌肉壮大	60
第一节 概说	60
第二节 骨骼肌蛋白质的分解代谢	60
一、正常时骨骼肌的蛋白质分解代谢	60
二、运动时骨骼肌蛋白质分解代谢特点	61
第三节 运动导致骨骼肌蛋白质合成加强——肌肉壮大	63
一、心肌	64
二、骨骼肌	64
三、肌肉壮大和运动项目关系	64

四、肌肉壮大和蛋白质合成·····	64
第六章 训练的生物化学分析·····	67
一、发展磷酸源系统的训练方法·····	67
二、发展糖酵解能量系统的训练方法·····	68
三、发展有氧氧化系统的训练方法·····	70
第二节 适宜运动量的生物化学分析·····	72
一、训练量和强度·····	72
二、休息间歇·····	73
三、训练内容的安排·····	77
第七章 运动性疲劳的生物化学·····	80
第一节 运动性疲劳的概念·····	80
第二节 疲劳的分类·····	80
第三节 中枢疲劳的生物化学·····	80
第四节 肌肉疲劳的生物化学·····	81
一、磷酸源贮备减少和疲劳·····	81
二、糖贮备减少和疲劳·····	82
三、乳酸和肌肉疲劳·····	82
四、脂肪的动用和疲劳·····	84
五、氮代谢和疲劳·····	85
六、其它因素·····	85
第五节 不同运动时间疲劳的生物化学特点·····	85
一、持续 0 ~ 5 秒的运动·····	85
二、持续 5 ~ 10 秒的运动·····	86
三、持续 10 ~ 30 秒的运动·····	86
四、持续 30 秒至 10 ~ 15 分钟的运动·····	86
五、持续 15 ~ 60 分钟的运动·····	86
六、持续 1 ~ 6 小时的运动·····	86
七、持续 5 ~ 6 小时以上的运动·····	87
第六节 运动性疲劳的生物化学机理·····	87
第七节 抗疲劳物质的研究·····	89
一、麦芽油·····	89
二、碱盐(柠檬酸钠或钾、碳酸氢钠等)·····	89
三、天冬氨酸盐·····	90
四、咖啡因·····	90
五、中药·····	90
第八章 运动员身体机能的生物化学评定·····	91
第一节 运动员和非运动员机能生物化学评定·····	91
一、相同的定量负荷时·····	91

二、完成最大负荷时·····	92
第二节 不同项目运动员机能生物化学评定·····	93
第三节 训练水平的生物化学评定·····	93
第四节 训练课中机能生物化学评定·····	94
一、准备活动的效果·····	94
二、训练课中的安排顺序·····	94
三、训练周期·····	95
第五节 比赛和训练后恢复期身体机能的生物化学评定·····	95
一、血红蛋白·····	96
二、血尿素·····	98
三、血清肌酸激酶 (CPK) ·····	99
四、血乳酸·····	101
五、尿蛋白·····	103
六、尿胆元·····	105
七、尿肌酐·····	106
附: 主要参考书·····	107

绪 论

一、运动生物化学的任务

生物化学就是生命的化学，它是研究生物体的化学组成和生命过程中化学变化规律的一门科学。生物体的化学组成有水、盐类、糖类、脂类、蛋白质、核酸、维生素及激素等。生命过程中的化学变化就是物质代谢和伴随之能量代谢。

运动生物化学是生物化学的分支，是生物化学在体育中的应用。运动生物化学是研究运动对机体化学组成的影响和运动时物质代谢的特点、能量转变和运动能力关系的一门新学科。

1. 运动训练与机体化学组成的关系 人体的化学组成和运动训练是相互适应的。练力量可使人体肌肉蛋白质增加，练长跑可减体脂，这都是身体化学组成和运动相适应的表现。

体内化学反应千变万化，但几乎都由酶催化，运动时化学变化更加激烈，酶的作用更为重要。运动能提高肌肉中酶活性，但酶活性的变化是和运动性质相适应的。较长时间的耐力训练，如长跑、马拉松跑，能较大地提高有氧代谢的酶活性，如琥珀酸脱氢酶、柠檬酸合成酶、细胞色素氧化酶等。速度和力量训练，无氧代谢的酶活性提高较明显，如磷酸果糖激酶、肌酸激酶等。

身体各组织器官，它的化学成分除水外，最重要的是蛋白质、核酸、脂肪、糖等。这些物质在运动的影响下，会产生不同的变化。如在肌纤维组成中，慢肌纤维中肌红蛋白含量较快肌纤维多。在训练影响下，肌纤维增粗，肌肉中各种蛋白质，尤其和收缩有关的蛋白质增多，但进行耐力性训练时，慢肌中肌红蛋白增加较多，练长跑的人，体脂较少，而肌糖元相对较多些，这都是身体化学组成和运动相适应的表现。

运动对身体的某些组成影响是，在运动时消耗大，合成少，所以运动后数量减少，如长跑时，肌糖元减少，运动后，通过食物的补充和体内各器官的调济，被消耗的物质可以逐渐恢复。研究发现，这种恢复不是简单的恢复，在恢复期中，有一个阶段出现数量比原来水平还要多的恢复，然后再在原来水平上波动。可见在运动时体内物质变化存在消耗—恢复—超量恢复—原来水平上波动的几个阶段。研究这个过程很重要，其中最引人注意的是超量恢复阶段，了解和掌握它的规律，对认识和提高人体运动能力，掌握适宜的运动量、休息间隔、营养安排等都很重要。

2. 运动和身体内的化学变化： 身体化学变化瞬间万变，复杂多样，这些变化称为物质代谢。我们每天吃入的食物主要是糖、脂肪、蛋白质、水、无机盐、维生素等。经过消化吸收后，在细胞内经过一连串的化学变化，最后转变为体内的物质，或分解为二氧化碳、水、尿素等废物而排出体外。在物质代谢同时，也伴随着能量的变化。在运动时物质代谢十分剧烈，如进行1~2分钟激烈运动时，肌肉中能量需求比安静时增加120倍。可见研究运动时身体内物质代谢十分重要，目前已经了解，运动时代谢可归纳为无氧代谢和有氧代谢两大类型。

运动的强度、持续时间和肌肉中的代谢过程有关。短时间、强度大的运动，氧供给不

能满足肌肉的需求,肌肉主要依靠无氧代谢过程释放能量。无氧代谢过程包括三磷酸腺苷分解供能,磷酸肌酸分解和肌糖元转变为乳酸释放能量供ATP再合成的过程。长时间耐力运动时,氧供应充足,这时肌肉中主要依靠有氧代谢过程释放能量。有氧代谢包括三磷酸腺苷供能,糖、脂肪和蛋白质氧化为二氧化碳和水的产能过程。不同运动项目,不同训练方法,不同强度的运动有氧代谢和无氧代谢的比例都不相同。因此,了解各个运动专项对有氧、无氧代谢的要求,就可以科学地选择发展相应代谢能力的训练方法、时间和安排等。

二、运动生物化学研究概况

苏联Н.Н.Яковлев认为运动生物化学研究开始于1927年,他以G.Embden等分别发现运动训练能提高骨骼肌糖元和磷酸肌酸为起点。西德的J.Kuel也认为运动生化开始于本世纪的廿年代。丹麦的E.Asmussen把运动生化的研究历史追溯到1907年Fletcher和Hopkins刺激蛙缝匠肌或腓肠肌而引起收缩后产生乳酸的过程,作为研究运动时肌肉物质代谢的新起点。但在这个时期中,运动生物化学的研究工作属于生物化学及生理学的范畴,还未成为一门独立的科学。

正式出版运动生物化学专著的是1955年,苏联Н.Н.Яковлев编著了《运动生物化学概论》一书;正式举行运动生物化学专业性会议是在1968年,那年六月在比利时的布鲁塞尔召开了第一次国际运动生化会议,成立了国际运动生物化学研究组织。其后每三年举行一次国际运动生化学术会议,到1982年先后举行了五次。至今天,运动生物化学已成为一门独立的科学。

三、运动生物化学的研究方法

运动生物化学是在生物化学的基础上发展起来的,因此,在方法上不能脱离生化的一般研究方法,实质上是生化方法在运动实践中的应用。但是,需要根据运动实践的特点进行适当的改进。如尽量要求直接从运动员身体上采样,有时采样,要连续多次地进行这就要求采样量要少、尽量减轻对机体造成的损害,所以在方法学上要求很高,目前能在人体上直接采样的肌肉活检法已经运用,连续观察而又无损害性的核磁共振法最近也应用到运动生化中,使运动生化在近二十年来进展很快,现将在运动生化研究中采用较多的方法介绍如下:

1. 比较生化法 不同动物的运动性能不同,如乌龟爬得慢、兔子跑得快。分析不同动物肌肉的化学组成和其运动性能的关系,为提高相应运动能力的物质组成提供参考。如无脊椎动物和脊椎动物骨骼肌中ATP含量相同,而cp含量明显不同,又兔肌肉中cp比乌龟多一倍。动物中这种差异和其运动机能有关。了解肌肉功能和化学成分间的差异性有助于如何通过运动训练改变化学组成,提高肌肉某些方面机能。

2. 动静脉导管引流法 在肌肉、肝脏等组织器官采用动静脉导管引流的方法。从动静脉血中各种代谢物和气体含量的区别,了解运动时这些组织器官中的物质代谢情况。在这方面的研究结果主要分析了运动时葡萄糖、乳酸、丙酮酸、氨基酸、自由脂肪酸、甘油等的变化,有助于了解运动时肌肉和其它器官中的物质代谢情况及其相互关系。

3. 同位素示踪法 如用 ^{14}C 标记的葡萄糖或乳酸在运动时及运动后的转变途径,用同位素铁了解运动时贫血及其与铁代谢关系。

4. 电泳法 应用这种方法研究运动对体液蛋白质(清蛋白、尿蛋白、唾液蛋白、汗蛋白)成分的变化,和某些同工酶(如乳酸脱氢酶、肌酸激酶等)在运动影响下的变化。

5. 肌肉活检法 从人体肌肉中直接采样、直接分析运动时肌肉糖元、ATP、CP、乳酸、丙酮酸等变化和恢复过程的特点,运动对肌细胞内酶活性的影响,使运动生化中肌肉的研究从动物试验推进到直接对运动员进行研究,大大加速了运动生化的发展。

6. 核磁共振法 核磁共振法可以连续地观察运动过程中所发生的化学变化,无需有损伤性的肌肉取样。目前已应用于测定肌肉运动时ATP、CP、ADP、Pi和pH值的变化。

四、运动生物化学与其它有关学科的关系

运动生物化学是体育科学中的一门基础科学,它是在生物化学和生理学的基础上发展起来的,生物化学和有机化学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生理机能的基础,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的发展又起着重要的促进作用。

运动生物化学是运动医学的基础。运动性疾病的发病机理是和生理机能失调、物质代谢过程紊乱紧密相连的。物质代谢过程紊乱必将表现为疾病,而物质代谢的紊乱往往在疾病的症状出现之前就存在了。故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。在运动医学临床中,血、尿和其它体液的生化检验是不可缺少的内容。

运动员和正常人参加体育锻炼时,必须采用不同于正常人的营养标准和营养安排,这也离不开运动生物化学的理论和研究。

运动训练学是一门新兴的科学。当代运动训练的一个重要特点,是在分子水平上研究机体在运动训练的影响下,物质代谢的适应性变化规律,从而才能更好地进行科学训练,才能最迅速、最有效地发展运动能力,提高运动成绩。如运动时能量代谢特点和不同强度、距离、项目运动在体内供能的无氧和有氧代谢规律,是制定训练计划,选择和发展各种训练方法的理论基础;运动时体内物质的消耗和恢复过程的理论是科学安排运动量、预防过度训练的重要依据。运动生物化学的知识已广泛地被应用于运动实践中,是运动训练学的一个基础。

思 考 题

1. 运动生物化学的研究对象和内容是什么?
2. 运动生物化学在训练中有什么重要意义?
3. 目前世界各国运动生物化学的研究动向如何?
4. 教练员应具备哪些生物化学知识。

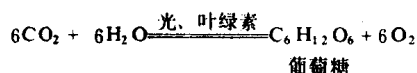
第一章 糖、脂和蛋白质——运动时的能源物质

安静和各种体力活动时，人体对能量的需要，主要是靠消耗糖、脂和蛋白质得到满足的。它们的作用除了作为生物燃料外，在保持人体的结构和功能的完整性方面也起重要作用。故常常称糖、脂和蛋白质是维持人体生命活动的三大营养物质。

第一节 糖

一、糖的概况

糖是自然界存在的一类有机化合物，它是由绿色植物经光合作用合成：



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。这类物质主要是由碳、氢和氧三种元素所组成，其分子式通常用 $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_n$ 表示。其中氢和氧原子数之比与水相同，也是2:1，故有“碳水化合物”之称。这个名称并不确切，因为某些糖如鼠李糖（ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$ ）和脱氧核糖（ $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_4$ ）等的分子中氢与氧之比并非2:1，而一些非糖物质如乙酸（ $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ ）、乳酸（ $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ ）等的分子中氢与氧之比都是2:1。

以化学结构定义，糖类物质是含有多个羟基的醛类或酮类化合物。最典型的糖是葡萄糖。葡萄糖分子由6个碳原子、12个氢原子和6个氧原子组成。分子式为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ，化学结构式见图1-1。

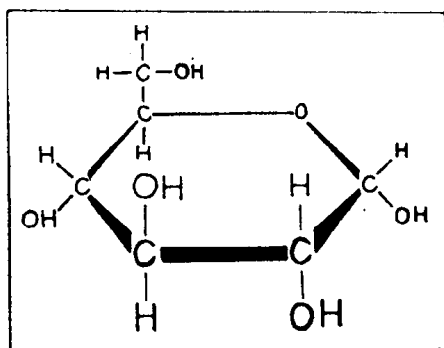


图 1-1 葡萄糖分子结构式

根据糖类能否水解，以及水解产物的情况，可将自然界糖分成三种类型：单糖、寡糖和多糖。

（一）单糖

凡是不能用水解方法再降解的小分子糖称作单糖。通常分子内含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，是遗传基因的物质基础。血液中的葡萄糖称作血糖，它直接来自食物或其它复杂的糖类在体内消化后形成，也可以由肝内糖元分解后释放入

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。半乳糖尚未在食物中发现，它是由哺乳动物乳汁中乳糖水解后产生。人体内，果糖和半乳糖很容易在肝细胞内转变成葡萄糖。

（二）寡糖（低聚糖）

寡糖是由2—10个单糖分子缩水后形成的低聚化合物。通常将能够水解成少数单糖分子的糖称作寡糖。最主要、最简单的寡糖是双糖。

双糖是二个单糖分子缩掉1分子水后化合而成。主要的双糖有蔗糖、乳糖和麦芽糖。每种双糖分子结构中都含有1分子葡萄糖，这三种双糖的基本成份是：

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、红糖、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，故常常又称作奶糖。在双糖中乳糖的甜度最低。经加工制成的含高糖、高热卡的流质食物中经常能发现存在半乳糖。

麦芽糖大量存在淀粉类食物水解产物中，谷类植物的芽胚中。

双糖在动物或人体小肠内，由相应的酶催化水解成单糖，经小肠吸收后参加体内的糖代谢。

（三）多糖（多寡糖）

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以上的单糖分子经缩水后聚合而成（图1-2）。

自然界多糖分布甚广，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，再进一步合成为多糖；动物则必须将摄入的多糖水解开成单糖，吸收后再重新合成各种多糖。

1. 淀粉和纤维素：淀粉和纤维素是植物多糖的二种形式。

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，薯类、芋艿、慈姑和藕等根、茎中也大量存在。天然淀粉颗粒的大小不等，例如土豆的淀粉粒要比稻米的淀粉粒大得多。淀粉是我国人民最主要的食物来源。在西方发达国家中淀粉仍占食用糖来源的50%左右。

纤维素组成植物纤维或者植物结构成份。主要存在于叶、茎、根、种子和果实的外皮等。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，但是纤维素能促进胃肠蠕动，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；高纤维素食物稍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. 糖元：动物淀粉又称糖元，是动物和人体组织内合成和贮存的多糖形式。糖元分子很大，通常由几百至几千葡萄糖缩水后连结而成。正常人体内糖元贮存量很少。为350—400克左右。

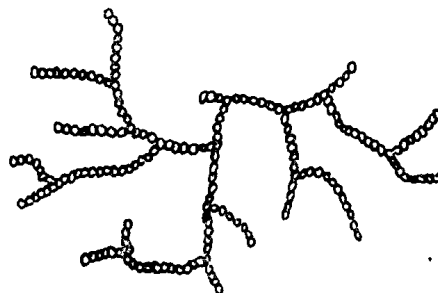


图 1-2 多糖的分子结构（各个小圈表示一个葡萄糖残基）

二、运动时糖的生物学功能

人体内糖含量仅占2%左右，但正常生理活动中60—70%的能量来自糖的氧化过程，所以糖是人体内主要供能物质。对于某些重要的生命器官，如脑组织，糖是唯一的能量来源。此外，糖还参与某些细胞内结构成份，与细胞膜的抗原性有关，并组成某些功能物质的糖蛋白等。

运动时糖具有重要生物学功能，主要表现以下几方面。

（一）贮存和提供代谢所需的能量

糖是人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4千卡能量。释放的能量供肌肉收缩做功或者转变成其它形式的能量，执行各种生物学功能。

（二）糖具有节约蛋白质的作用

正常生理条件下，蛋白质主要起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，当糖贮存量下降时，蛋白质参与葡萄糖合成代谢，起着补充糖、提高糖利用的作用。在长时间耐力性运动中，蛋白质的这一作用更为突出。但是，随之而来体内蛋白质贮存量下降，特别是肌肉蛋白质数量将暂时降低。提高糖的食用量有助于组织蛋白质数量的保持和恢复。

（三）糖是脂肪代谢的引物

脂肪代谢中脂肪酸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进入三羧酸循环后，才能彻底氧化。所以，脂肪在体内的完全氧化，必须有糖的参与才能完成。如果限制葡萄糖转移进细胞（如糖尿病人体内），或者由饥饿或者长时间运动引起糖元贮存量下降时，若体内脂肪动员加强，其速率超过细胞氧化能力时，脂肪代谢的中间产物酮体增多并堆积，引起体液酸性增强，导致酮体中毒症。

（四）糖是中枢神经系统的燃料

不同组织对糖的依赖性不同。大脑中缺乏贮存的营养物质，糖的贮存量仅占0.1毫克%左右，主要依靠血糖氧化获得能量，以维持中枢神经系统的正常生理功能。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，影响运动能力。

第二节 脂

一、脂的概况

脂类分子的化学组成与糖相似，主要由碳、氢和氧三种元素组成，有的分子内还含有氮和磷等元素的原子。脂类分子与糖分子内原子之间的结合方式不同，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，分子内 $H:O = 110:6$ ，而葡萄糖分子内 $H:O = 12:6$ 。

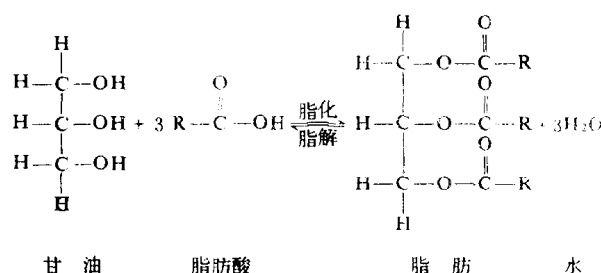
动植物体内均有脂类存在，它们是一类油腻、不溶于水的有机化合物。根据一般分类方法，脂类可分成脂肪、复合脂和类脂三种类型。

（一）脂肪

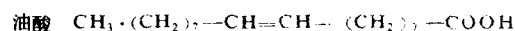
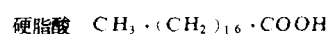
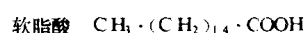
脂肪又称作营养脂和甘油三酯，广泛分布于人体的各种组织器官中，包括皮下组织、大网膜、肠系膜、内脏周围、肌间等脂肪组织中。脂肪是人体内含量最多的脂类，是贮存

能量的一种形式，脂肪组织中脂肪占99%。

1. 脂肪的分子结构 脂肪由甘油和脂肪酸二部分组成。甘油本身不是脂肪，它能迅速溶于水。1分子甘油与3分子脂肪酸结合，脱掉3分子水，形成脂肪分子：



脂肪酸分子内R代表碳和氢组成的烃基，随不同的脂肪酸而异。人体内含量最多的脂肪酸有硬脂酸 ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH}$)、软脂酸 ($\text{C}_{15}\text{H}_{31}\text{COOH}$) 和油酸 ($\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$)。



2. 饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸 脂肪酸分子有二种基本构成：饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。

软脂酸和硬脂酸为饱和脂肪酸，其分子内碳原子之间以单键相连，碳原子的其它化学键均被氢原子饱和。饱和脂肪酸最初在动物制品中发现，如牛肉、羊肉、猪肉和鸡肉等。鸡蛋、奶油和牛奶中也存在饱和脂肪酸。另外，虾、蟹等贝壳类动物体内也含大量饱和脂肪酸。由于动物脂肪含饱和脂肪酸较多，常温下呈固态，故通常称作脂。

不饱和脂肪酸碳链含有一个或一个以上双键，例如油酸。不饱和脂肪酸碳链上每增加一个双键，结合的氢原子数目相应减少2个。所谓不饱和是针对结合的氢原子数目而言。大多数植物脂肪含较多的不饱和脂肪酸，常温下呈液体状态，故常常称作油。例如花生油，豆油，棉籽油和菜油等。

有些不饱和脂肪酸，例如油酸、亚麻油酸和花生油酸等，只存在于植物油中，它们是人体必需的脂肪酸，由于人体内不能合成或者合成太少，必须依靠食物补足。所以，植物油的营养价值高于动物脂肪。

(二) 复合脂

由其它化学成分与脂肪结合形成的复合物称为复合脂，例如磷脂，糖脂和脂蛋白等。

所有细胞都能合成磷脂，但主要在肝细胞内。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鞘方面也起重要作用。

糖脂由脂肪酸、糖和氮结合而成。糖脂是细胞膜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。

(三) 类脂

类脂是由脂肪和复合脂衍变来的一类有机化合物，主要有胆固醇。

胆固醇存在于一切细胞内。人体内胆固醇有二个来源，外源性胆固醇（来自食物）和内源性胆固醇（细胞内合成）。摄取不含胆固醇的食物，体内细胞合成的胆固醇能达到0.5—2克/日，合成速率由身体需要量决定。因此，降低食物胆固醇含量对身体没有影响。

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

二、运动时脂肪的生物学功能

体内脂肪的主要功能，不仅是体内最大的能量贮存库，构成生物膜的主要成份，而且具有隔热保温和防震保护作用。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功能如下。

（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9.3千卡能量，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元时每克糖元要结合2.7克水。所以脂肪贮备几乎不含水，是理想的能量贮存形式。

正常成人男子约含体脂6—12%，女子体脂量稍高于男子，约为10—18%。由于体脂量受活动量和饮食等因素影响，变动很大，故常称体脂为可变脂。体脂低于5%时影响运动能力，所以减肥重要适量。营养摄取过量时，其它营养物质如糖和蛋白质能迅速转变成脂肪贮存于体内。和糖一样，脂肪作为能量物质被氧化动用时，起着节省蛋白质的作用。运动员进行长时期耐力训练后，体内动用脂肪氧化供能的能力提高。在作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）防震保护和隔热保温作用

人体内的重要组织包括心、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。它们起着防震保护作用，即使在长时间半饥饿状态，这些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热失散方面起重要作用。例如，优秀的游泳运动员，安静地处于冷水环境中，体温稍有下降，而游泳时体温基本保持不变。相反，瘦人在这二种情况中，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有什么好处外，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，过厚的皮下脂肪层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，有可能导致相应维生素缺乏症。脂肪还有助于非脂溶性的维生素A前体的吸收，例如胡萝卜素。运动员在控体重时要注意适当补充维生素，因此摄取适量的脂肪是不可缺少的。

第三节 蛋白质

一、蛋白质的分子组成和结构

(一) 元素组成

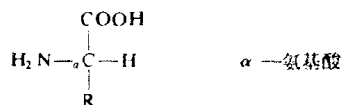
蛋白质是由碳、氢、氧、氮和硫等元素的原子组成，此外还含有磷、铁、铜、锰、钴、钼、锌、碘等微量元素。各种蛋白质含氮的百分含量相近，约为分子总重量的16%，即每100克蛋白质含16克氮，故经常利用组织提取液内氮的含量，计算该组织蛋白质含量：

$$\text{蛋白质量} = \text{含氮量} \div 16\%$$

(二) 基本组成单位—氨基酸

蛋白质是高分子化合物，分子量达几万至几千万道尔顿以上，其结构相当复杂，但是蛋白质的组成单位并不复杂。蛋白质在酸、碱或者酶的作用下便水解成小分子氨基酸的混合物。

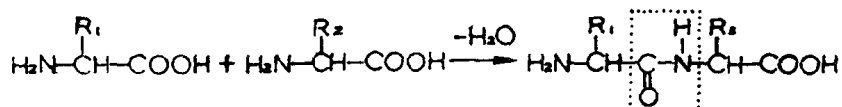
氨基酸是构成蛋白质的基本组成单位，是一类含有 α -氨基的羧酸。组成蛋白质的氨基酸总共有二十种。由这二十种氨基酸，按其种类、数量和排列顺序的不同，构成成千上万种结构不同、性质和功能各不相同的蛋白质。组成蛋白质的氨基酸都是 α -氨基酸：



R是氨基酸的侧链。根据氨基酸上R基团的不同，构成各种各样的氨基酸（表1-1）。

(三) 肽键和肽

蛋白质分子中的氨基酸主要通过肽键相连接的。肽键是由一个氨基酸的 α -羧基和相邻的另一个氨基酸的 α -氨基脱去一分子水结合而成的键：



式中 $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ -\text{C}-\text{N}- \\ | \\ \text{H} \end{array}$ 即是肽键。二个氨基酸形成的肽叫二肽，三个氨基酸形成的肽叫三肽，……

许多个氨基酸形成的肽叫多肽。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。组成肽链的氨基酸单位已不是完整的氨基酸分子，常称为氨基酸残基。

(四) 蛋白质的分子结构

由一条或一条以上的高分子多肽链按照一定方式盘绕、折迭，组合成特定的空间结构，成为有生物学活性的蛋白质分子。某些蛋白质分子中还存在特定的非氨基酸组分，如多糖、脂质、核苷酸及维生素衍生物，金属离子或含金属离子的卟啉衍生物等等。由于构成蛋白质的氨基酸的种类、数目、排列顺序，以及肽链的数目和空间结构各不相同，故形成多种多样结构不同、生物学功能各异的蛋白质分子。

表 1-1 组成蛋白质的重要氨基酸及其化学结构式

氨基酸名称及缩写符号	结 构 式	氨基酸名称及缩写符号	结 构 式
脂肪族氨基酸		3. 二氨基一羧酸	
1. 一氨基一羧酸		精氨酸 (精)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \parallel \qquad \qquad \qquad \\ \text{NH} \qquad \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$
甘氨酸 (甘)	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	赖氨酸 (赖)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
丙氨酸 (丙)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	羟赖氨酸* (羟赖)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \qquad \qquad \\ \text{OH} \qquad \qquad \qquad \text{NH}_2 \end{array}$
缬氨酸 (缬)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \\ \text{CH}_3 \text{ NH}_2 \end{array}$	芳香族氨基酸	
亮氨酸 (亮)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \qquad \\ \text{CH}_3 \text{ NH}_2 \end{array}$	苯丙氨酸 (苯)	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
异亮氨酸 (异)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \\ \text{CH}_3 \text{ NH}_2 \end{array}$	酪氨酸 (酪)	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
丝氨酸 (丝)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \\ \text{OH} \text{ NH}_2 \end{array}$	杂环氨基酸	
苏氨酸 (苏)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \\ \text{OH} \text{ NH}_2 \end{array}$	组氨酸 (组)	$\begin{array}{c} \text{Imidazole ring}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
半胱氨酸 (半胱)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \qquad \\ \text{SH} \text{ NH}_2 \end{array}$	色氨酸 (色)	$\begin{array}{c} \text{Indole ring}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$
蛋氨酸(甲硫氨酸) (蛋)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	杂环亚氨基酸	
2. 一氨基二羧酸及其酰胺衍生物		脯氨酸 (脯)	$\begin{array}{c} \text{Cyclic structure with N and COOH} \end{array}$
天冬氨酸 (天)	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	羟脯氨酸* (羟脯)	$\begin{array}{c} \text{Cyclic structure with N, COOH, and OH} \end{array}$
天冬酰胺 (天胺)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{OC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	焦谷氨酸 (焦谷)	$\begin{array}{c} \text{Cyclic structure with N, COOH, and O} \end{array}$
谷氨酸 (谷)	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		
谷氨酰胺 (谷胺)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{OC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$		

* 羟赖氨酸和羟脯氨酸是在肽链形成后, 相应地自赖氨酸和脯氨酸再羟化形成的。

为了表达蛋白质分子的复杂结构，人为地将蛋白质的结构分为一级结构和空间结构。

1. 一级结构 一级结构又称初级结构，是指氨基酸在肽链中的排列顺序和联结方式。在一级结构中氨基酸按一定的顺序以肽键相联构成蛋白质肽链骨架，是蛋白质的基本结构。决定每一种蛋白质生物学活性的结构特点首先在于其肽链的一级结构。图1-3表示人胰岛素的一级结构。

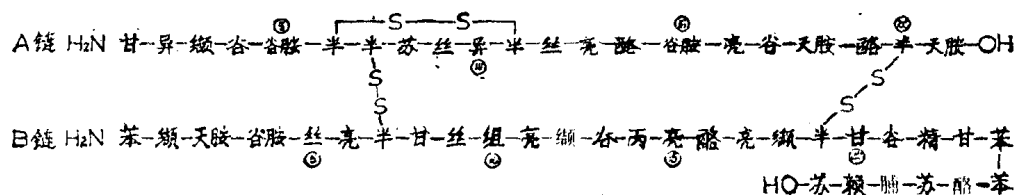


图 1-3 人胰岛素的一级结构

2. 空间结构 蛋白质空间结构包括二级结构、三级结构和四级结构。蛋白质分子的多肽链本身绕曲折迭形成二级结构。在二级结构基础上多肽链进一步盘旋卷曲、折迭，形成具有一定立体形状的三级结构。例如，肌红蛋白分子中，约75%的多肽链以 α -螺旋形成二级结构，其余部分为松散的肽段，在此基础上盘曲折迭成球形的三级结构（图1-4）。

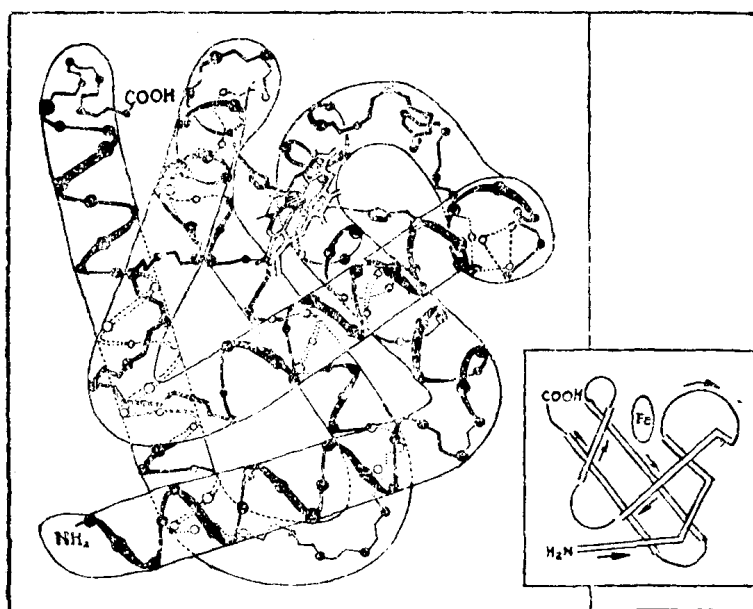


图 1-4 肌红蛋白质的分子结构示意图

由二个或二个以上具有三级结构的蛋白质分子亚单位（亚基），按一定方式聚合起来形成蛋白质的大分子，即为蛋白质的四级结构。具有四级结构的蛋白质分子，其亚基是没有生物学活性的，必须形成特定的四级结构后才具有生物学活性。有的蛋白质分子由相同种类的亚基组成，例如铁蛋白有20个相同亚基组成。有的蛋白质分子由不同种类的亚基组成，例如血红蛋白有二种亚基，二个 α -亚基和二种 β -亚基，二种亚基相互交叉，借非共价键缔合成球形分子。