

第2版

主编 张爱珍

# 医学营养学



 人民卫生出版社

# 医学营养学

第2版

主 编 张爱珍

副主编 凌诚德

主 审 朱寿民

编 者 (按姓氏笔画为序)

马爱国	王 彬	王慧铭	史奎雄	冯 磊
华金中	李祖栋	李菊花	李向荣	张苏展
张爱珍	陈伟平	孟雪杉	赵昌峻	凌诚德
黄素霞	曹 敏	韩春茂	褚爱珠	

人 民 卫 生 出 版 社

**图书在版编目(CIP)数据**

医学营养学/张爱珍主编. —2版. —北京:  
人民卫生出版社, 2003

ISBN 7-117-05297-X

I. 医… II. 张… III. 营养学 IV. R151

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 102249 号

**医学营养学**

第 2 版

主 编: 张爱珍

出版发行: 人民卫生出版社(中经线 67616688)

地 址: (100078)北京市丰台区方庄芳群园 3 区 13 号楼

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京市卫顺印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24.5

字 数: 569 千字

版 次: 1998 年 2 月第 1 版 2003 年 1 月第 2 版第 5 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-05297-X/R·5298

定 价: 34.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

# 内 容 简 介

本书有基础营养、公共营养、临床营养三部分，共 16 章 45 万字。全书内容丰富、充实，编者在总结了多年的教学、科研和临床实践经验的基础上，结合国内外新进展编写而成，是一部比较系统的医学营养学教材，除医学院校师生使用外，也可供医学、营养学、护理学、卫生学、食品工业等专业的工作人员参考，也可供家庭和病人学习和备用。

本书由浙江大学医学院、上海第二医科大学、青岛大学医学院从事医学营养教学、医疗、科研的教授、专家协作编写。

# 第1版序言

医学营养学是一门新兴的学科。随着人们生活水平的提高，平均寿命的增长，疾病谱也随之发生改变。因而，不论是健康人群或者疾病患者均对饮食与营养提出了新的要求。如何通过合理营养和营养支持达到促进健康、加速疾病康复，是人们的迫切意愿。这对于医学院校学生和广大医务人员提出了更高的要求，也将面临新的课题。

许多疾病的发病、治疗、预防与营养学有密切的关系。如糖尿病、肥胖症、心血管疾病以及某些肿瘤，通过营养支持和饮食治疗完全可以减轻症状，控制和稳定病情，用最小的药物剂量达到最有效的治疗效果，从而大大节约了医疗费用。有些疾病存在营养素不平衡或营养失调，将造成病人致残或致死。

目前，我国临床医学教育尚未设立医学营养课程，也缺乏这方面的教材。一部分院校为临床医学专业学生掌握一定的医学营养的基础理论与基本知识，已开设了有关选修课或辅修课。有些医学成人教育也将公共营养及临床营养设为必修课程。为此，迫切需要有一本《医学营养学》专著，供临床医学专业学生学习，也可供从事医疗、营养、护理、预防、食品工业等专业的工作人员参考，还可供每个家庭和病人学习和备用。

《医学营养学》一书内容丰富，编排合理。全书分基础营养、公共营养、临床营养三大部分共十六章。编者收集了国内外新进展、新经验并结合自己多年的教学和临床实践编写而成此书，它是一本临床医生和医学生必读的优秀教材。我愿为之作序，将此书推荐给广大读者。

赵法伋

一九九六年十二月

# 再版前言

医学营养学随着医学教学模式的转变已成为高等医学院校医学生学习不可缺少的一门知识。自从1998年2月出版本书以后，经过近4年的全国医学院校部分学生的使用，同时，也得到国内一些营养学专家的指导。在此表示非常感谢。本书曾在2000年被评为浙江大学教学成果一等奖，浙江省教学成果二等奖。

在2001年11月3日国务院办公厅发了国办发〔2001〕86号文件，关于印发中国食物与营养发展纲要（2001~2010年）的通知。在中国食物与营养发展纲要中明确指出：“今后十年，将是我国居民食物结构迅速变化和营养水平不断提高的重要时期。加快食物发展，改善食物结构，提高全民营养水平，增进人民身体健康是国民整体素质提高的迫切需要，也是我国社会主义现代化建设的重大任务。”

为此，结合国务院文件精神及营养学最新进展，重点对本书中第三章合理膳食内容进行了修改；在第十四章增加了第三节营养保健食品内容；在第十一章第五节中增加了骨质疏松症，以满足广大读者对知识更新的要求。相信本书通过编者与读者不断的共同努力，将会对我国居民的平衡膳食、合理营养及慢性病的预防、控制与治疗做出贡献。

张爱珍

二〇〇二年六月

# 目 录

<b>第一章 营养素的消化、吸收与代谢</b> .....	1
第一节 人体中主要消化液.....	1
第二节 碳水化合物的消化、吸收与代谢.....	2
第三节 脂类的消化、吸收与代谢.....	6
第四节 蛋白质的消化、吸收与代谢.....	9
<b>第二章 营养素的生理功能</b> .....	15
第一节 蛋白质 .....	15
第二节 碳水化合物 .....	22
第三节 脂类 .....	26
第四节 维生素 .....	29
第五节 矿物质 .....	62
第六节 微量元素 .....	68
第七节 水 .....	77
第八节 膳食纤维 .....	81
<b>第三章 食物的营养价值</b> .....	85
第一节 营养素在食物中分布规律 .....	85
第二节 各类食物的营养价值 .....	85
<b>第四章 食物营养成分的检测</b> .....	102
第一节 试样的采集、制备和预处理.....	102
第二节 营养素检测.....	104
第三节 检测方法的选择及实验质量控制.....	118
<b>第五章 合理膳食</b> .....	121
第一节 合理膳食的概念.....	121
第二节 我国膳食结构现状.....	122
第三节 合理膳食的构成和要求.....	124
第四节 合理加工烹调.....	126
第五节 合理膳食食谱编制.....	135
<b>第六章 营养调查及其评价</b> .....	143
第一节 膳食调查.....	144

第二节	营养状况体格检查 .....	153
第三节	营养生化测定 .....	159
第四节	营养调查的综合评价 .....	163
<b>第七章</b>	<b>不同生理条件人群的营养 .....</b>	<b>164</b>
第一节	孕妇的营养 .....	164
第二节	婴幼儿的营养 .....	170
第三节	老年人的营养 .....	173
<b>第八章</b>	<b>特殊人群的营养与饮食 .....</b>	<b>179</b>
第一节	高温环境作业人员的营养 .....	179
第二节	低温环境作业人员的营养 .....	181
第三节	高原缺氧环境生活与作业人员的营养 .....	182
第四节	放射线作业人员的营养 .....	183
第五节	接触化学毒物作业人员的营养 .....	185
第六节	运动营养 .....	187
<b>第九章</b>	<b>营养不良与营养支持 .....</b>	<b>194</b>
第一节	营养不良 .....	194
第二节	管饲与要素膳 .....	196
第三节	完全胃肠外营养 .....	198
<b>第十章</b>	<b>试验膳食与治疗膳食 .....</b>	<b>206</b>
第一节	试验膳食 .....	206
第二节	治疗膳食 .....	211
<b>第十一章</b>	<b>内科疾病的营养治疗 .....</b>	<b>215</b>
第一节	心血管系统疾病 .....	215
第二节	消化系统疾病 .....	219
第三节	泌尿系统疾病 .....	238
第四节	血液系统疾病 .....	249
第五节	内分泌系统和代谢疾病 .....	258
第六节	传染性疾病 .....	272
<b>第十二章</b>	<b>外科疾病的营养治疗 .....</b>	<b>293</b>
第一节	手术病人的营养支持 .....	293
第二节	烧伤病人的营养支持 .....	304
第三节	肿瘤病人的营养支持 .....	313



<b>第十三章</b>	<b>儿科疾病的营养治疗</b> .....	325
第一节	发热 .....	325
第二节	腹泻 .....	326
第三节	营养不良 .....	327
第四节	苯丙酮尿症 .....	329
第五节	半乳糖血症 .....	331
第六节	肝糖原累积病 .....	331
<b>第十四章</b>	<b>中医食疗与营养保健食品</b> .....	333
第一节	食疗的概念 .....	333
第二节	食疗的原料和方剂 .....	341
第三节	营养保健食品 .....	355
<b>第十五章</b>	<b>营养病历书写</b> .....	360
第一节	营养病历的重要性与要求 .....	360
第二节	营养病历的书写格式与内容 .....	361
<b>第十六章</b>	<b>医院营养科的管理</b> .....	369
第一节	行政管理 .....	369
第二节	膳食管理 .....	373
第三节	卫生管理 .....	378
第四节	建筑和设备 .....	379

## 第一章

# 营养素的消化、吸收与代谢

营养素具有维持机体正常生长、发育、生殖及健康的作用，主要由食物提供。营养素可分为六大类，即碳水化合物、脂类、蛋白质、维生素、矿物质和水。在天然食物中，除水以外营养素大都以大分子或结合的形式存在，并不能被人体直接吸收而同化，故必须先进行消化。天然食物在消化道中分解成可同化的形式构成了消化过程。伴随消化过程中出现的化学变化需借助于消化道中酶的参与才得以完成。这些酶把淀粉分解成单糖；把甘油三酯分解成甘油一酯、甘油和脂肪酸；把蛋白质分解成氨基酸等可同化的形式。在消化过程中，维生素和矿物质也转变成更有利于吸收的形式。

## 第一节 人体中主要消化液

### 一、唾 液

唾液由唾液腺分泌，pH 约 6.8，其成分中含有 99.5% 的水。唾液中的消化酶包括舌脂肪酶、唾液淀粉酶。唾液淀粉酶可使淀粉和糖原水解，但它在 pH 4 以下时迅速失活。

### 二、胃 液

胃的分泌物称之为胃液，它是一种透明、淡黄色液体，含 HCl 为 0.2% ~ 0.5%，pH 约 1.0，胃液中 97% ~ 99% 是水，其余为粘蛋白、无机盐、消化酶(胃蛋白酶和凝乳酶)及胃脂肪酶。

### 三、胆 汁

肝胆汁的组分不同于胆囊胆汁，具体组成见表 1-1。

表 1-1 肝胆汁和胆囊胆汁的组分

	肝 胆 汁		胆 囊 胆 汁	
	占总胆汁的百分率		占总固体的百分率	
水	97.00			85.92
固 体	2.52			14.08
胆汁酸	1.93	36.9		9.14
粘蛋白和色素	0.53	21.3		2.98
胆固醇	0.06	2.4		0.26
脂肪酸	0.14	5.6		0.32
无机盐	0.84	33.3		0.65
比 重	1.01			1.04
pH	7.1~7.3			6.9~7.7

胆盐能显著降低油与水相之间的表面张力，在肠道中这种特性可使脂肪乳化，增加脂肪酸及水不溶性脂肪酸盐的溶解性。肠道中胆盐的存在对消化作用的完成、脂肪的吸收以及脂溶性维生素 A、D、E、K 的吸收都具有重要的作用。当脂肪消化不良时，其他食物也很难消化，因为脂肪可覆盖在食物颗粒的表面，这样使其他酶很难作用于它们。在这些条件下，肠道细菌引起腐败，产生气体。

除了乳化作用外，胆汁的另一作用是中和来自于胃的酸性食糜，使其适合于肠道的消化。

#### 四、胰 液

胰液是一种非粘稠性的水性液体，水含量类似于唾液，pH 为 7.5~8.0 或更高一些。胰液中主要的无机离子有  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{HCO}_3^-$  及  $\text{Cl}^-$ ，另有少量的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{HPO}_4^-$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ 。此外，在胰液中可发现几乎能分解所有食物的酶类，主要有胰蛋白酶、糜蛋白酶、弹性蛋白酶、羧基肽酶、胰淀粉酶、胰脂肪酶、胆固醇酯酶、核糖核酸酶、脱氧核糖核酸酶及磷脂酶  $\text{A}_2$ 。

#### 五、肠 液

肠液中的消化酶包括氨基肽酶、麦芽糖酶、 $\alpha$  糊精酶、乳糖酶、蔗糖酶、海藻糖酶、磷酸酶、多核苷酸酶、核苷酶及磷脂酶。

### 第二节 碳水化合物的消化、吸收与代谢

碳水化合物是指具有多羟基醛或多羟基酮结构的一大类化合物，又称为糖。碳水化合物在自然界分布极广，是构成动物体或植物体的主要成分。绿色植物进行光合作用，利用水、空气、阳光和二氧化碳合成糖类。但动物不能制造糖类，故必须从植物体摄入而加以利用，有史以来，碳水化合物就是人类膳食中能量的主要组成成分。

## 一、人类膳食中常见的碳水化合物

### (一) 单糖

指结构上有3个到6个碳原子的糖，根据其结构和性质的不同，又可分为：

1. 葡萄糖 与人类关系最为密切，含有6个碳原子，并且有还原性，呈右旋光性。
2. 果糖 分子式与葡萄糖一样，但结构不同，它是一种酮糖，呈左旋光性。
3. 半乳糖 也含有6个碳原子，是乳糖的组成部分。
4. 甘露糖 也是一种己糖。

此外，食物中尚有少量的戊糖，如核糖、阿拉伯糖及木糖等。

### (二) 双糖

双糖是由两分子单糖连接而成的化合物，膳食中常见的双糖有：

1. 蔗糖 就是我们日常食用的白糖、砂糖或红糖，它是由一分子葡萄糖和一分子果糖借助于1-2糖苷键连接而成，由于半缩醛羟基都被占据不可能变成醛式，故没有还原性。

2. 乳糖 天然存在于哺乳动物的乳汁中，由一分子葡萄糖和一分子半乳糖经4-1糖苷键连接而成。由于保留着葡萄糖的半缩醛羟基，因此具有还原性。

3. 麦芽糖 由两个分子葡萄糖经 $\alpha$ -1, 4糖苷键连接构成，具有还原性。

### (三) 多糖

是由许多单糖分子组成的碳水化合物，分子量一般在几万以上，理化性质与单糖不同，多糖一般没有甜味，不溶于水或在水中形成胶体溶液。多糖按其能否被人体消化吸收而分为二类。

#### 1. 能被人体消化吸收的多糖类

(1) 淀粉：由多个葡萄糖分子连接而成，按其连接方式又可分为直链淀粉和支链淀粉，前者遇碘呈蓝色反应，后者单独存在时与碘发生棕色反应。直链淀粉的主链以葡萄糖经 $\alpha$ -1, 4-糖苷键连接而成。在支链上还有以 $\alpha$ -1, 6糖苷键连有少数分支。支链淀粉的主链是葡萄糖经 $\alpha$ -1, 4糖苷键连接而成，但它以 $\alpha$ -1, 6糖苷键或其他连接方式的侧链比直链淀粉多得多。在粘性较大的食物如糯米中，含有支链淀粉较多。

(2) 糊精：是淀粉的初步水解产物，平均每个分子由5个葡萄糖分子构成，它的甜度低于葡萄糖。

(3) 糖原：是动物性贮藏多糖，由3千到6万个葡萄糖单位构成，但其侧链数大大多于支链淀粉，具有较多的非还原端，大量贮存于动物的肝脏和肌肉。

(4) 海藻多糖：包括琼脂和藻酸，多用于食品加工。

2. 不能被人体消化吸收的多糖类 这部分多糖类总称为粗纤维，人类消化道没有消化这些物质的酶，故不能被人体所利用。但是粗纤维能刺激胃肠道蠕动，促进消化腺的分泌，有利于消化的正常进行和废物及毒物的排泄，它们在营养和保健上的作用已日益受到人们的重视。

(1) 纤维素：由几千个葡萄糖分子经 $\beta$ -1-4糖苷键连接构成，而且排列成绳索状长链，由此表现出纤维的特性。纤维素是自然界分布最广的多糖化合物，约占植物细胞膜的50%。

(2) 半纤维素：往往与纤维素共存，可被肠道细菌部分水解。根据它的组成成分又可分为多缩戊糖类和多缩己糖类。

(3) 木质素：是植物组织的结构物质，人类及草食动物都不能消化。

(4) 果胶类物质：存在于水果及蔬菜的软组织中，可在热溶液中溶解，主要为葡萄糖醛酸和其他糖类所构成。

## 二、碳水化合物的消化

碳水化合物必须经过消化分解成单糖分子后才能被人体吸收。碳水化合物的消化从口腔开始，唾液中含有的 $\alpha$ -淀粉酶可催化淀粉分子中的 $\alpha$ -1, 4-糖苷键的断裂，从而形成葡萄糖、麦芽糖、麦芽三糖、糊精等淀粉水解产物。且咀嚼使食物分散，增加其溶解性及食物和酶作用的表面积。但食物在口腔内停留的时间很短，唾液淀粉酶在pH4.0或以下时又迅速失活，当食糜进入胃后，胃酸逐渐渗入食糜从而使消化终止，故唾液淀粉酶对碳水化合物的消化作用在人体中无多大意义。食糜由胃进入十二指肠后，酸度被胰液及胆汁中和，同时胰液中存在着活性很强的胰 $\alpha$ -淀粉酶将未分解的淀粉水解成 $\alpha$ -糊精、麦芽三糖、麦芽糖及少量葡萄糖。但胰淀粉酶不能催化 $\alpha$ -1, 6糖苷键的水解。小肠粘膜细胞刷状缘上存在着 $\alpha$ -糊精酶，它可将糊精分子中的 $\alpha$ -1, 6糖苷键及 $\alpha$ -1, 4糖苷键水解，使 $\alpha$ -糊精水解成葡萄糖。刷状缘上还有麦芽糖酶，可将麦芽三糖及麦芽糖完全水解。食物中的蔗糖可在蔗糖酶催化下水解为葡萄糖和果糖，乳糖则在乳糖酶作用下水解为葡萄糖和半乳糖。由此，食物中人体可利用的碳水化合物进入小肠后绝大部分被分解成单糖，有利于吸收。

## 三、碳水化合物的吸收

虽然认为胃可能会吸收乙醇，但营养素几乎全部在小肠中被吸收，碳水化合物的消化产物主要以己糖(葡萄糖、果糖、甘露糖、半乳糖)和戊糖(核糖)的形式从小肠吸收进入门静脉。

糖的吸收机制还不清楚。戊糖靠被动扩散吸收。己糖，尤其是葡萄糖和半乳糖的分子较戊糖大，但其吸收速率为戊糖的5~10倍，显然其吸收不是简单的扩散。体外试验发现葡萄糖的吸收能对抗浓度差并消耗能量，所以称之为主动吸收。于是有人提出了载体假说，这个假说认为小肠细胞的刷状缘上存在着几种转运体系用以吸收不同的糖。以葡萄糖为例，它的载体有二个结合部位分别结合 $\text{Na}^+$ 和葡萄糖，且载体蛋白质对葡萄糖的亲合力受 $\text{Na}^+$ 浓度调节。当细胞外 $\text{Na}^+$ 浓度高于细胞内时，载体蛋白对葡萄糖的亲合力增加，这时葡萄糖- $\text{Na}^+$ -载体蛋白复合物一起进入细胞。由于细胞内 $\text{Na}^+$ 浓度比较低，引起载体蛋白 $\text{Na}^+$ 的释放，因而降低了载体蛋白对葡萄糖的亲合力，使糖从载体上释放，达到葡萄糖的转运。而进入细胞内的 $\text{Na}^+$ 再经 $\text{K}^+$ - $\text{Na}^+$ 泵转运到细胞外，此时需要ATP。根皮苷抑制复合物的形成、哇巴因抑制 $\text{K}^+$ - $\text{Na}^+$ 泵运转、二硝基酚抑制ATP的生成，因此它们都能抑制糖的主动运转。通过上述机制，肠腔内葡萄糖浓度在低于细胞内浓度的情况下仍可被吸收。载体蛋白对单糖分子的结构有选择性，它要求吡喃型单糖，并在其第二位碳上有自由羟基，故半乳糖、葡萄糖等能与载体结合而被迅速吸收，而果糖、甘露糖等则不能与这类载体结合，所以吸收速度较低。

目前，载体假说已被普遍接受，但是，人体在消化吸收期的大部分时间内，肠腔内葡萄糖的浓度大于血液，因而并不对抗浓度差不需消耗能量。因此，除了主动运转以外，糖还可通过载体以促进扩散方式吸收。目前已至少发现一种不依赖  $\text{Na}^+$  的葡萄糖载体，它在转运葡萄糖过程中不需  $\text{Na}^+$  的参与，也不消耗能量。

#### 四、碳水化合物的代谢

人体各组织细胞都能有效地进行糖的分解代谢。糖分解代谢的重要生理功能之一，就是提供人体各组织细胞生命活动中所需的能量，并且是体内首先被利用的供能物质。

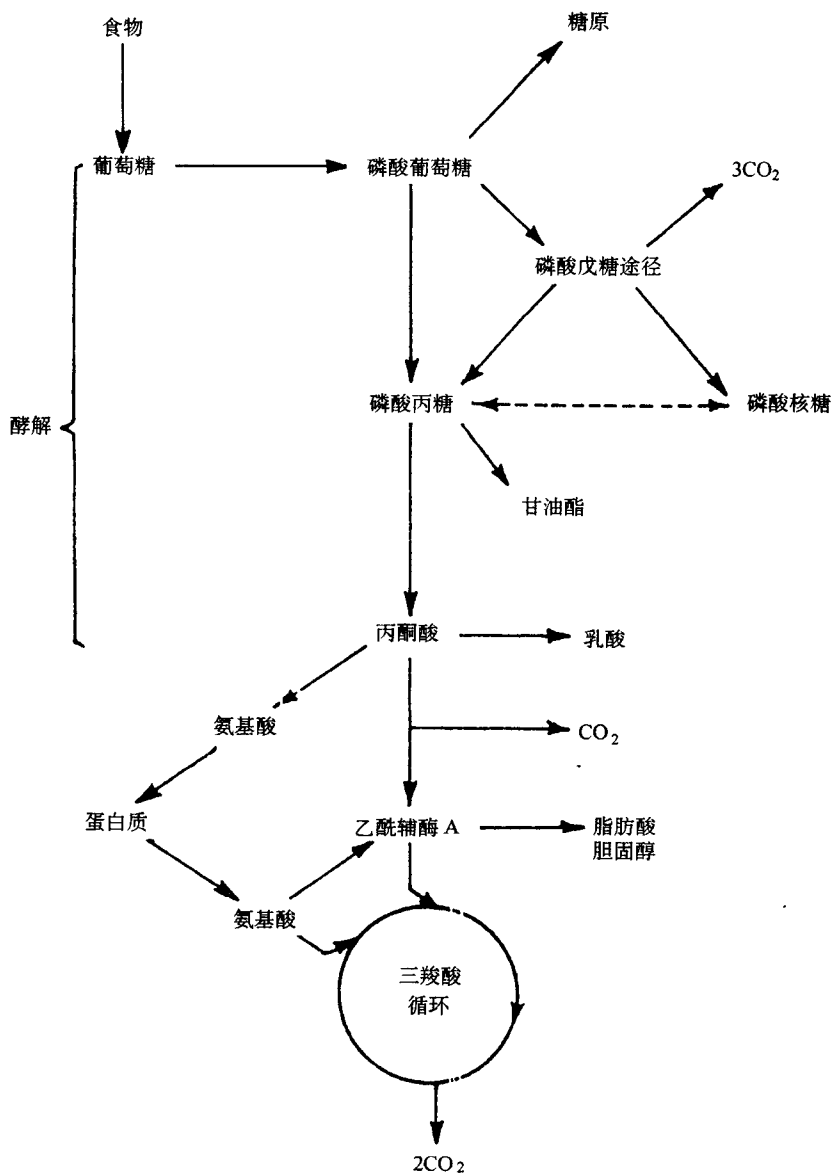


图 1-1 碳水化合物代谢简图

在糖供给不足时，必须动员脂类及蛋白质以满足体内对能量的需要。故糖类有节省蛋白质及脂类的作用。

糖的分解代谢既可在有氧条件下进行，也可在无氧条件下进行酵解，这对于某些组织的功能活动是十分重要的，如成熟红细胞不能进行糖的有氧分解，必须以酵解提供能量。而脂肪及蛋白质都不能在无氧情况下供能。每克糖在体内通过生物氧化所供给的能量为 16.7kJ (4kcal)。

除了有氧分解和无氧酵解外，糖还可循磷酸戊糖途径进行分解。磷酸戊糖途径主要为细胞提供还原性物质 NADPH 和核糖。NADPH 为体内许多重要物质，如脂肪酸、类固醇等的生物合成所必需，而核糖对于核苷酸的合成是不可缺少的。

当体内糖的供给充裕时，细胞可将糖转变成糖原的形式贮存，糖原在维持血糖恒定中起重要作用。此外，糖还可转变成乙酰辅酶 A，继而合成脂肪的形式贮存能量。但在一般情况下，脂肪不能转变成糖用以维持血糖的恒定。碳水化合物的代谢简图见图 1-1。

### 第三节 脂类的消化、吸收与代谢

脂类是脂肪和类脂以及它们的许多衍生物的总称。脂类的共同物理性质是不溶或微溶于水而溶于非极性溶剂，如乙醚、氯仿、丙酮中。脂肪即是三脂肪酰甘油或称甘油三酯；类脂是一些物理性质与脂肪类似的物质，其中包括磷脂、糖脂、类固醇及类固醇酯。脂类是机体中重要的能源物质，是构成生物膜的必需成分。在营养上，脂类中的必需脂肪酸是食物中不可缺少的成分，一些脂溶性维生素也必须同脂类一起才能吸收。

#### 一、脂类的消化

膳食中的脂类主要为脂肪，此外还含有少量磷脂，胆固醇等。由舌背面分泌的舌脂肪酶在口腔中即可对脂肪进行水解，并且可在胃中继续进行。舌脂肪酶对中短链脂肪构成的甘油三酯表现出较大的活性，而乳中的脂肪则是此酶的理想作用物。食糜在胃中停留 2~4 小时后，经舌脂肪酶及胃脂肪酶的共同作用，大约有 30% 的甘油三酯可被消化。脂类进入小肠后经胆盐的作用，乳化并分散成细小的微团后才能被消化酶所消化。胆盐是较强的乳化剂，它能降低油与水相之间的界面张力，使脂肪及胆固醇酯等疏水脂质乳化成细小微团，这样便增加了消化酶与脂类物质的接触面以利于消化。胰腺受脂类物质刺激后，分泌出无活性的胰脂肪酶原、共脂肪酶原、磷脂酶 A<sub>2</sub> 原及胆固醇酯酶原等。这些酶原在小肠内被激活后分别作用于各自的底物。胰脂肪酶必须吸附于乳化脂肪微团的水油界面上才能作用于微团内的甘油三酯，它能特异催化甘油三酯上伯位酯键(即 1 位及 3 位酯键)的水解，生成 2-甘油一酯及二分子脂肪酸。2-甘油一酯上的脂肪酸与甘油以仲位酯键相连，它的水解需要一个异构化过程生成伯位酯键才能进行。这是一个相对缓慢的过程，因此，在摄入的甘油三酯中只有少于四分之一被完全水解成甘油和脂肪酸。共脂肪酶能与胆汁及胰脂肪酶结合，并促进胰脂肪酶吸附在微团的水油界面上，因而能增加胰脂肪酶的活性，促进甘油三酯的水解，磷脂酶 A<sub>2</sub> 催化磷脂第 2 位酯键的水解，生成脂肪及溶血磷脂。Ca<sup>2+</sup> 为磷脂酶 A<sub>2</sub> 的激活剂。胆固醇酯酶促进胆固醇酯的水解，生成游离胆固醇及脂肪酸。上述各种消化产物可与胆盐乳化成更小的混合微团，这

种微团体积更小，极性更大，易于穿过肠粘膜细胞表面的水屏障，为肠粘膜细胞吸收。

## 二、脂类物质的吸收

脂类消化产物主要以简单扩散的形式在十二指肠下段及空肠上段吸收。中、短链脂肪酸及甘油极易被小肠粘膜细胞所吸收。中、短链脂肪酸构成的甘油三酯，经胆盐乳化后也可以完整的形式吸收，在肠粘膜细胞内脂肪酶的作用下，水解成脂肪酸及甘油，通过门静脉进入血循环。长链脂肪酸(12~26C)及2-甘油一酯吸收进入肠粘膜细胞后，则在细胞内活化，并在光面内质网转酰酶的作用下重新合成甘油三酯，然后与载脂蛋白、磷脂、胆固醇等生成乳糜微粒，经淋巴从胸导管进入血循环。小肠中的游离胆固醇可与胆汁酸盐、磷脂及脂肪水解产物甘油一酯、脂肪酸等结合形成混合微团，为小肠粘膜吸收。在肠粘膜细胞内，大部分游离胆固醇又与长链脂肪酸结合成胆固醇酯，后者的大部分参入乳糜微粒，小量参与组成极低密度脂蛋白，经淋巴进入血循环。但除了麦角甾醇外，植物固醇不能从肠道吸收。被吸收的溶血性磷脂酯，在肠粘膜细胞内也要与脂酰CoA重新合成磷脂，经淋巴从胸导管进入血循环。有关脂肪的消化和吸收总结见图1-2。

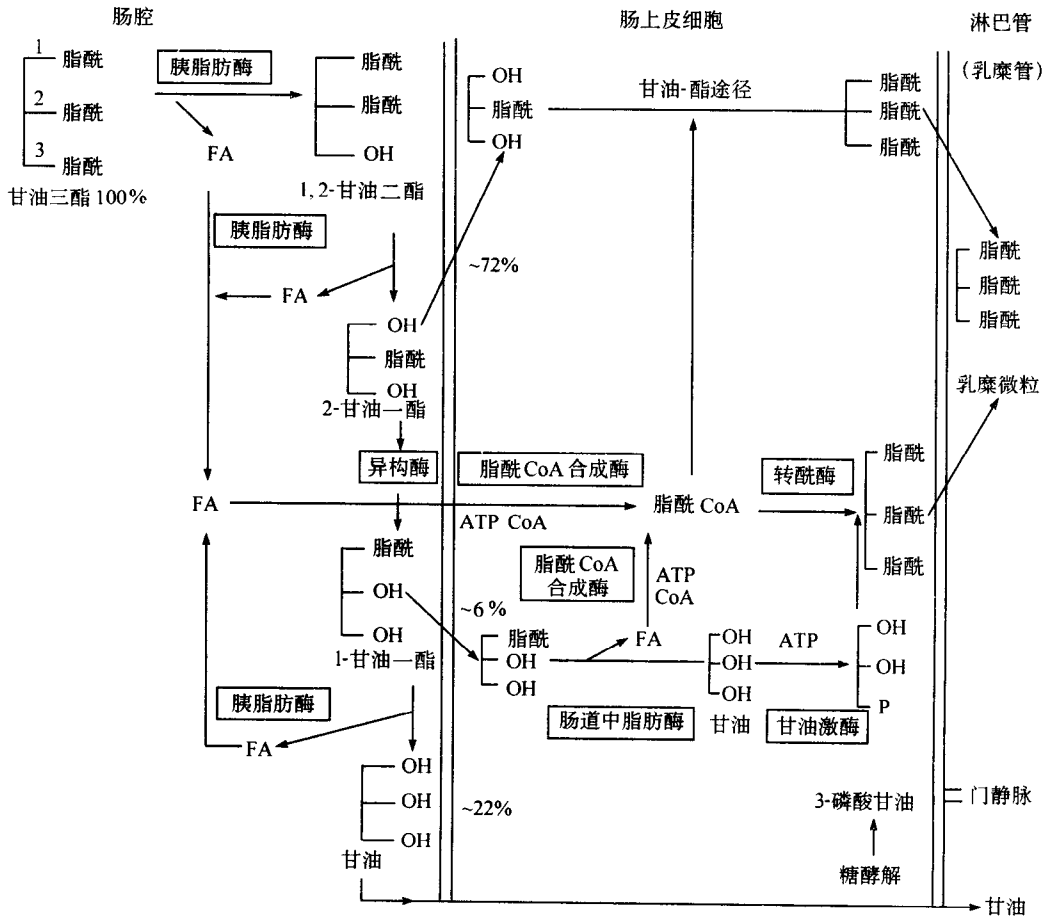


图 1-2 甘油三酯的消化和吸收 FA 代表长链脂肪酸



### 三、脂类的代谢

脂类在体内分解代谢的功能亦以供给能量为主。在肝脏中甘油首先磷酸化生成磷酸甘油，后者再氧化成磷酸甘油醛参与糖的代谢途径。脂肪酸循 $\beta$ -氧化逐步断裂生成乙酰辅酶A。乙酰辅酶A的去路有：

1. 通过三羧酸循环彻底氧化成 $\text{CO}_2$ 和水，并释放出大量能量。脂肪酸在 $\beta$ -氧化过程和三羧酸循环中都有能量的释放，并为组织细胞所利用。因此，它是非常有效的组织能源，每克脂肪在体内氧化时，供给的能量是 $37.7\text{kJ}$  ( $9\text{kcal}$ )。

2. 用以合成胆固醇及其他固醇类物质。

3. 在肝脏中形成乙酰乙酸，继而形成酮体。酮体是一种水溶性的组织能源，在肝外组织中它可进入三羧酸循环而被彻底氧化供能，这对脑组织有重要意义，脑组织在正常情况下主要依赖血糖供能，但在饥饿时则主要依赖酮体供能。

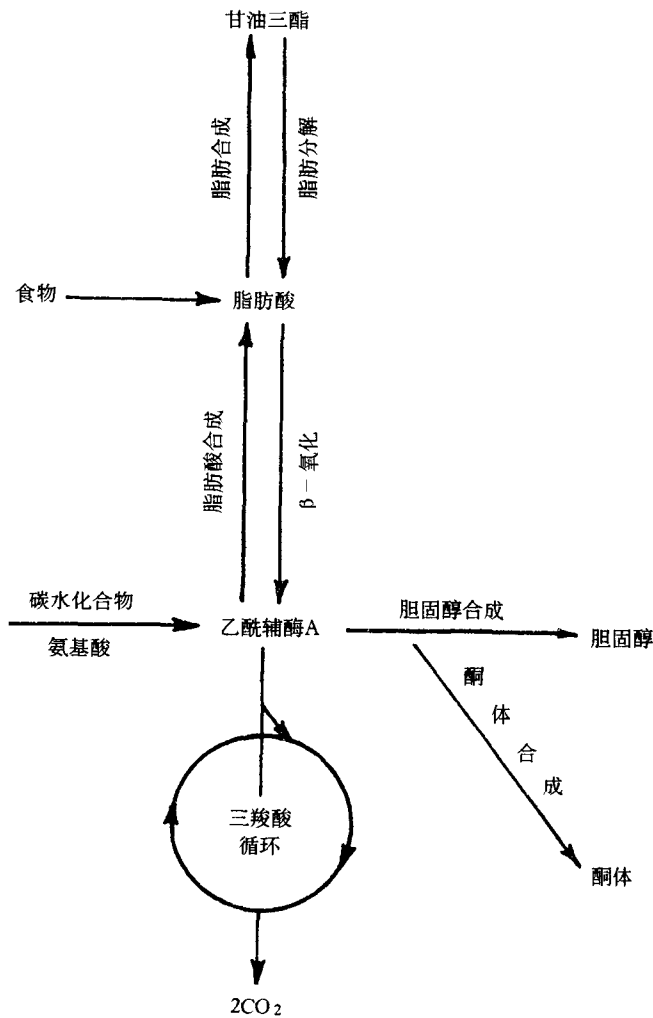


图 1-3 脂肪酸代谢简图