

第八章 脂类代谢

红喉蜂鸟



- 在飞行 500 英里到达中美洲之前，红喉蜂鸟需要不断进食花蜜、昆虫与树液。
- 通过这种营养积累，蜂鸟能增重 2 克脂肪，这几乎是其体重的 2 倍。
- 之后，红喉蜂鸟就能够一口气从北美东部飞越墨西哥湾到达中美洲，途中不作任何停留。

- 糖原是重要的能量来源，可在短时间内（1 h）提供能量。
- 马拉松竞赛选手的能量从哪里来？

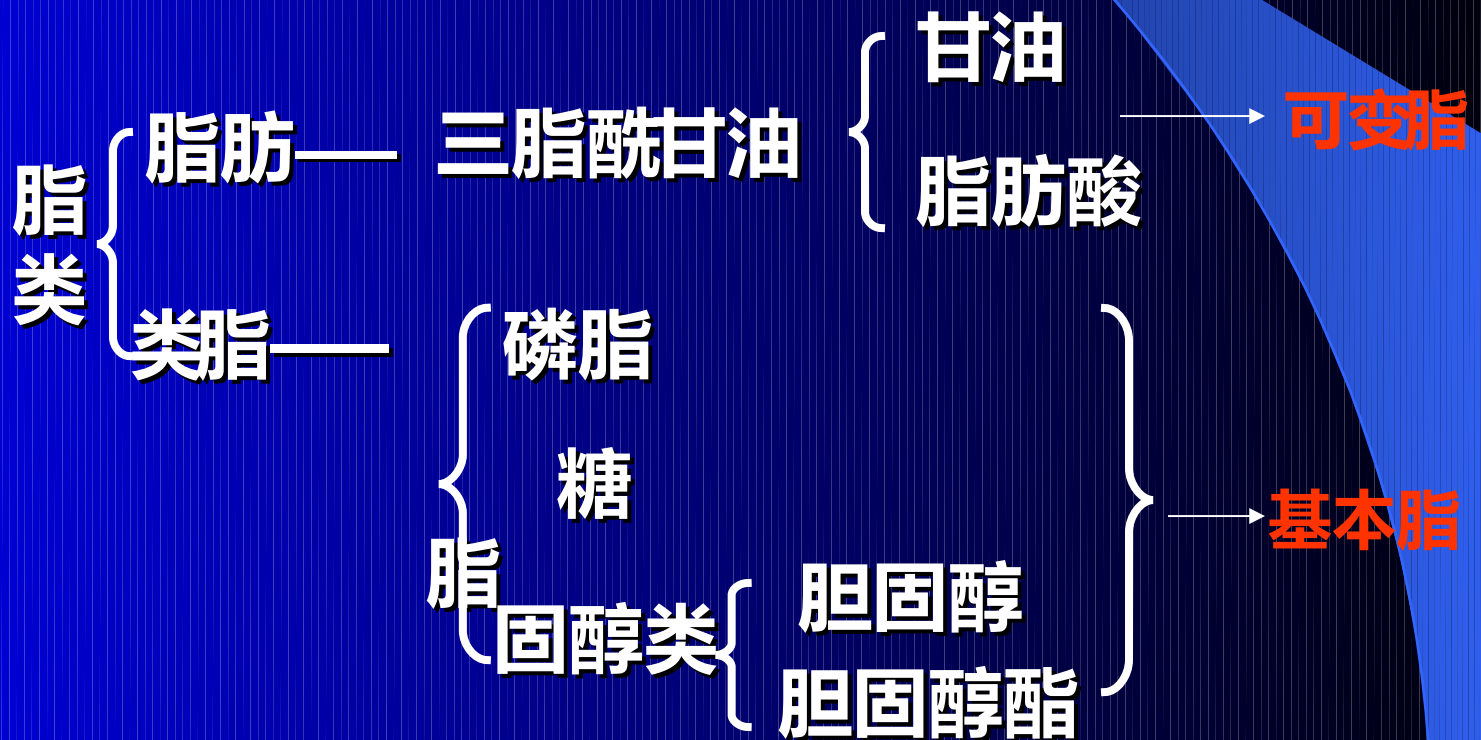


肥胖可导致的哪些疾病？



第一节 脂类的化学

- 物理性质：
不溶于水，溶于有机溶剂
- 化学本质：
- 脂肪酸与醇生成的酯及其衍生物

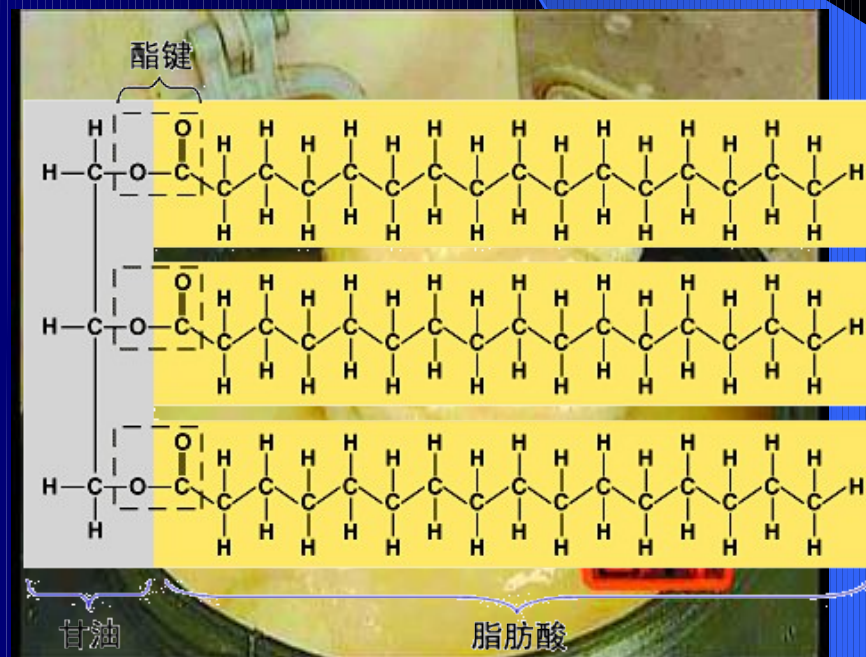


一、重要脂类的化学结构

1、脂肪

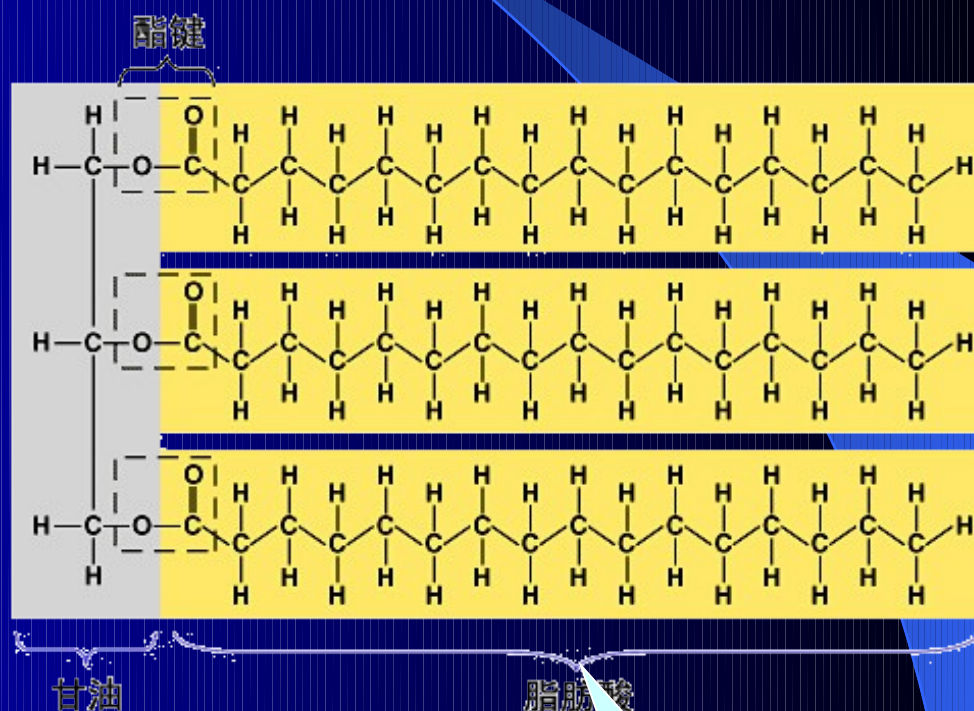
- 甘油 + 3 分子脂肪酸形成的酯。
- 又称甘油三酯
- 固态的脂肪：称为脂，含饱和脂肪酸
- 液态的脂肪：称为油，含不饱和脂肪酸

酸败现象



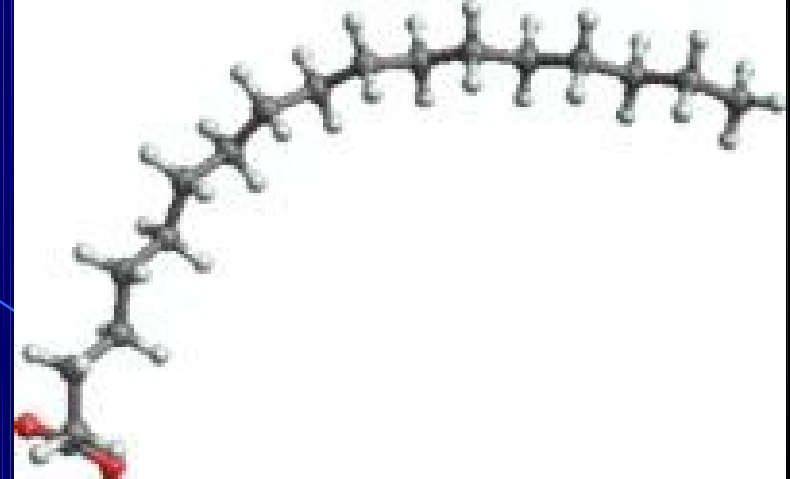
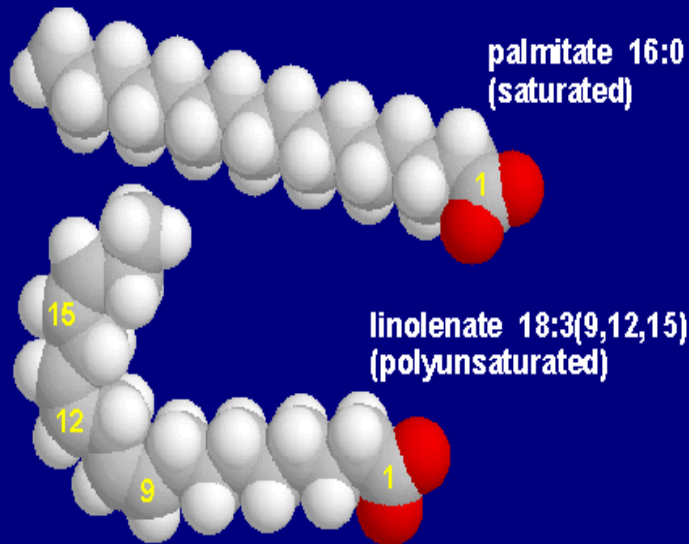
2、脂肪酸

- 脂肪族是指结构简单，饱和度不定的直链有机化合物。
- 脂肪族的羧酸



绝大多数
含偶数个

Structure of Some Fatty Acids



营养必需脂肪酸 (essential fatty acid)

(1) 概念 机体自身不能合成或合成量太少，必须由食物供给的脂肪酸。

为多不饱和脂肪酸：如**亚油酸**、**亚麻酸**、**花生四烯酸**

(2) 分布

植物油、深海鱼油等，脑组织中

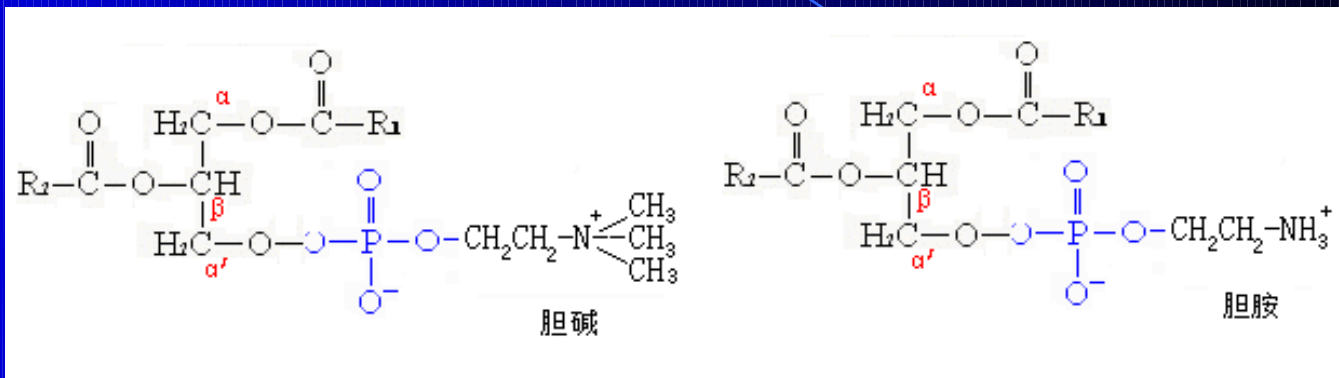
(3) 作用

- 降低血中胆固醇，防止动脉粥样硬化；
- 可转化成 DHA (又名脑黄金)，是婴儿脑部、视网膜发育所必需的营养素；

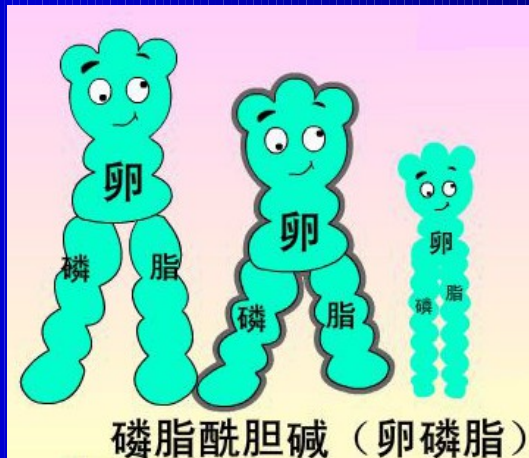


3、磷脂

含有磷酸的脂类：

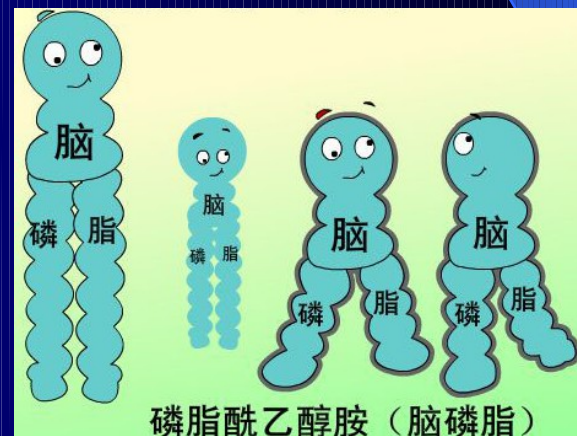


卵磷脂（磷酰胆碱）



抗脂肪肝，血管清道夫

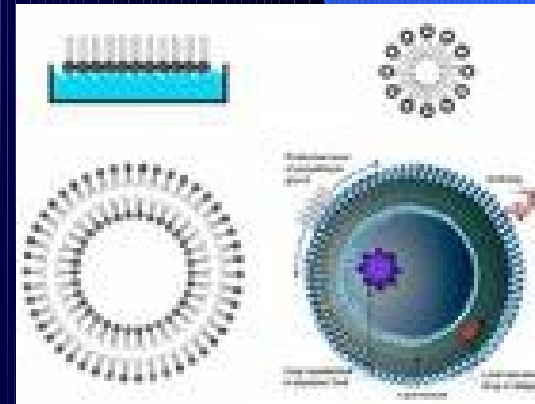
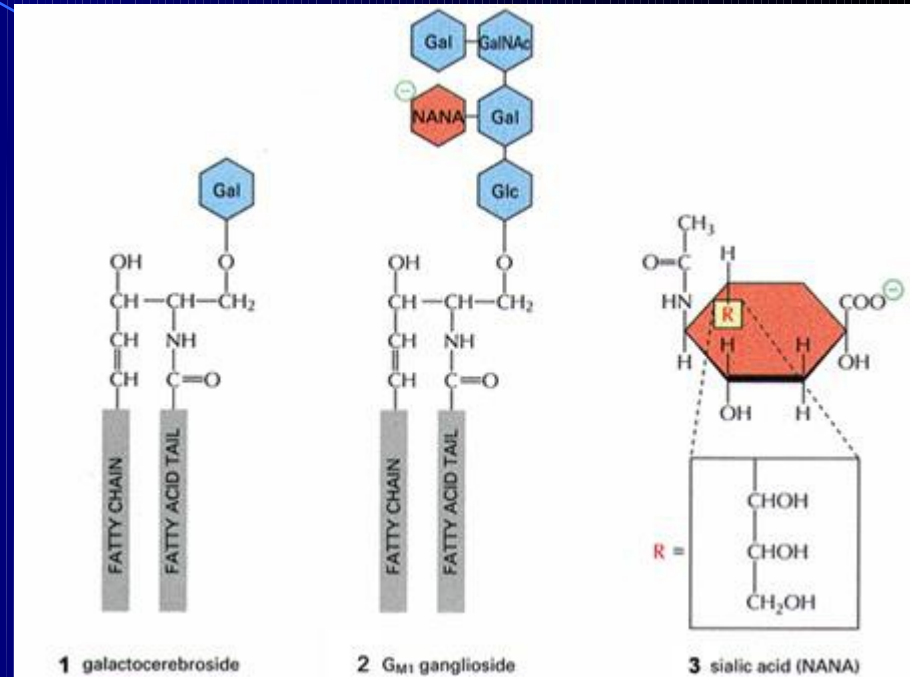
脑磷脂（磷酰乙醇胺）



抗神经衰弱、动脉硬化

4、糖脂

- 含糖基的脂类;
- 细胞膜重要成分;
- 非极性尾部伸入细胞膜双分子层中;
- 极性头部突出表面;



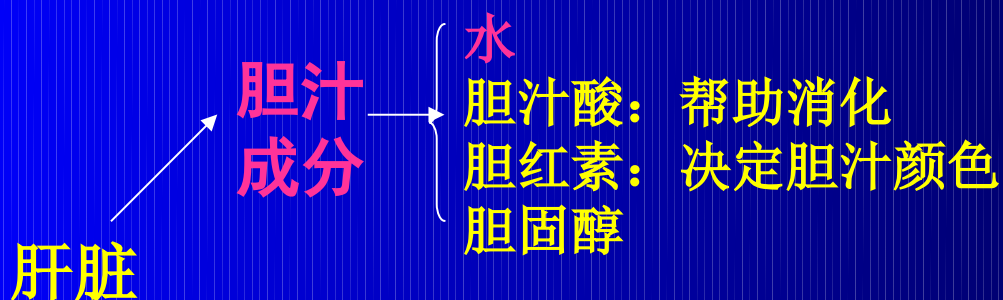
5、胆固醇和胆酸

(1) 胆固醇

- 大部分胆固醇与脂肪酸结合成为胆固醇酯的形式存在；
- 胆固醇脱氢生成 7- 脱氢胆固醇，它存在于皮肤和毛发，经阳光或紫外线照射后能转变为维生素 D₃。

(2) 胆酸与胆汁酸

胆酸 + 甘氨酸（牛磺酸） → 胆汁酸



胆固醇的病理性积累

1、胆结石：

- 胆结石的主要成份有胆固醇、胆色素；
- 胆固醇数量增加或胆汁酸数量减少时，胆固醇过饱和而以结晶形式析出形成胆石。
- 牛黄：牛的胆结石。

2. 动脉粥样硬化

- ✓ 胆固醇与必需脂肪酸结合后，才能在体内转运、代谢；
- ✓ 在膳食中当食用动物油比例高或缺乏必需脂肪酸，胆固醇就与饱和脂肪酸结合，形成熔点较高的饱和胆固醇脂，不易乳化，也不易在血管流动，因而较易形成沉淀物沉积在动脉血管壁，易引起硬化症状。

二、脂类的生理功能

脂肪

储能、供能
提供必需脂肪酸
协助脂溶性维生素的吸收
保护脏器、维持体温

类脂

生物细胞膜的重要结构成分
胆固醇在体内转变成维生素 D
作为药物：卵磷脂、脑磷脂用于肝病、神经衰弱及动脉硬化的治疗；不饱和脂肪酸：降血脂、防止动脉硬化和血栓形成。胆固醇可作为人工牛黄的原料。

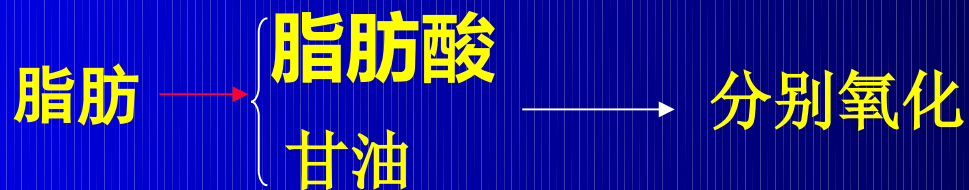
第二节 脂肪的代谢

一、脂肪的分解代谢

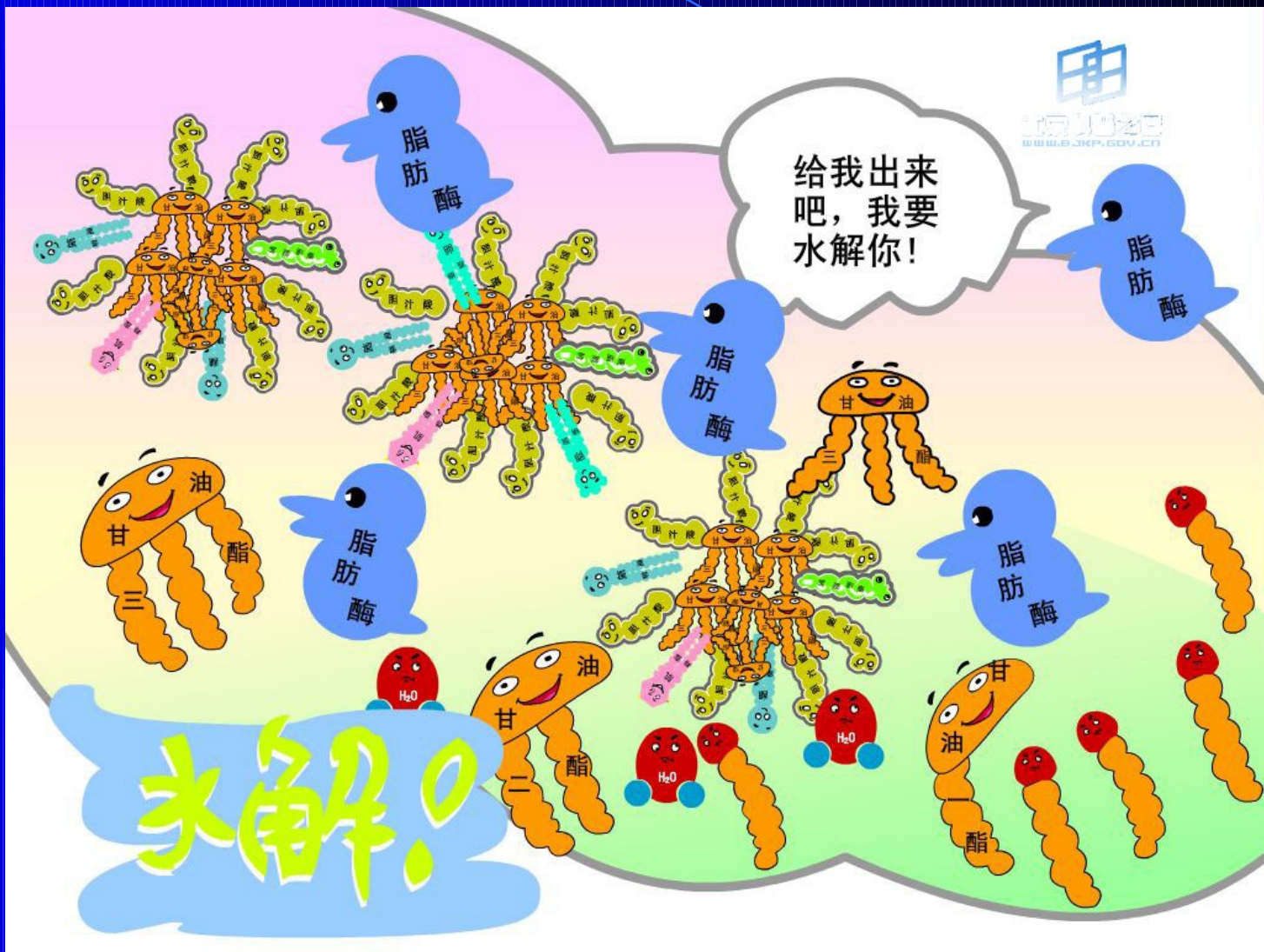
- 1、脂代谢必须有充分的氧供应才能进行。
- 2、同样重量的脂肪与糖完全氧化，脂肪放出的能量较多。
 - 能量的产生途径主要是氧化磷酸化，即氢原子经呼吸链传递时产生 ATP。
 - 脂肪中 H 的比例比糖高，放出的能量也较多。

(一) 脂肪的水解

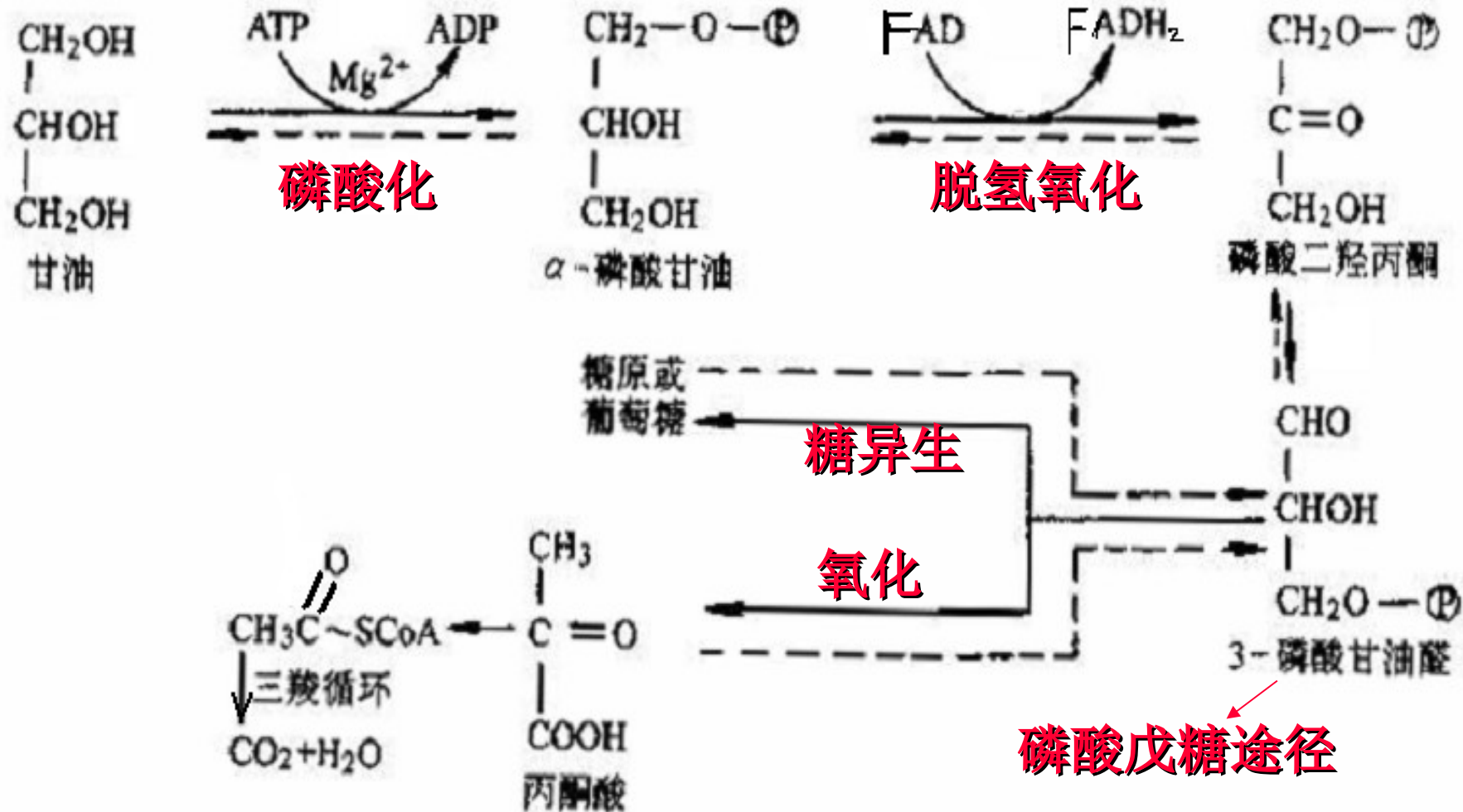
✓ 脂肪氧化前必须先水解；



脂肪的水解



(二) 甘油的氧化



糖异生（生成葡萄糖）

甘油

磷酸二羟丙酮

EMP

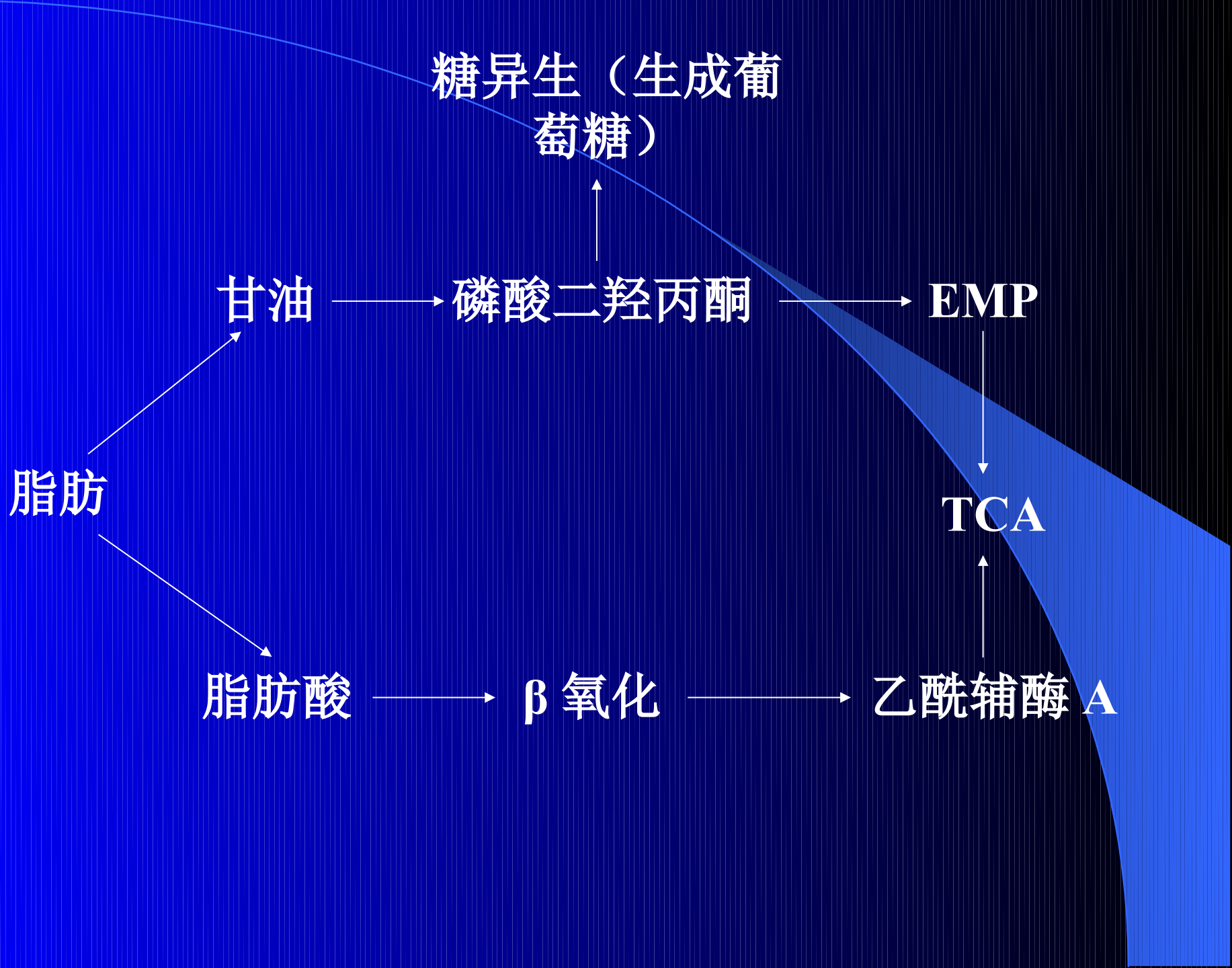
脂肪

TCA

脂肪酸

β 氧化

乙酰辅酶 A



(三) 脂肪酸的氧化

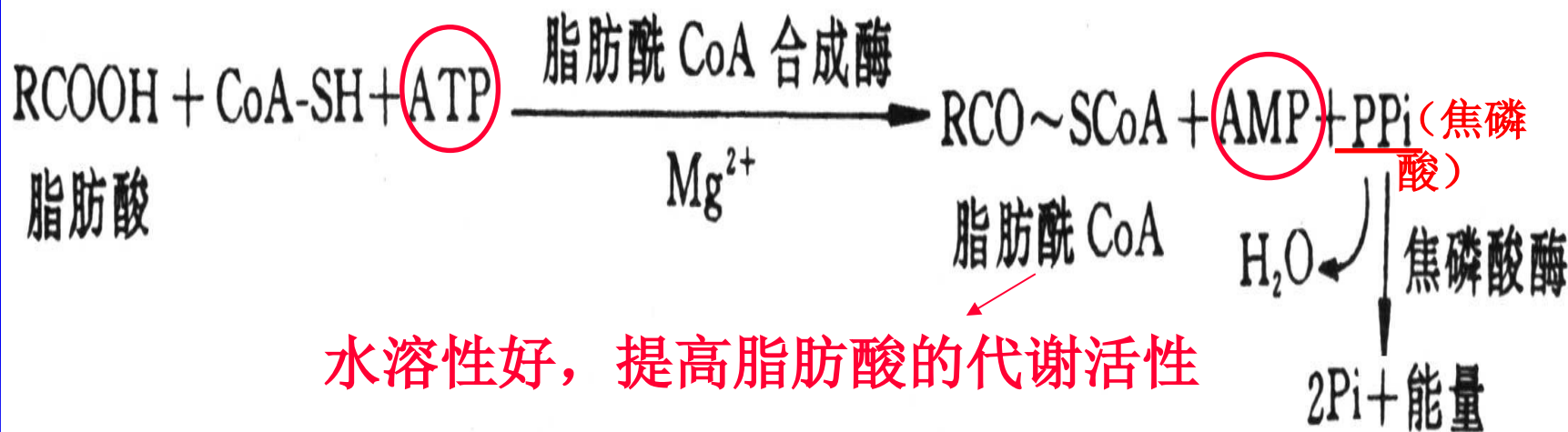
- 在氧供应充足条件下，脂肪酸分解为乙酰 CoA，再氧化成 CO_2 和 H_2O ，并释放出大量能量的过程。
- 人体大多数组织均能氧化脂肪酸，但脑组织例外，因为脂肪酸不能通过血脑屏障。脑组织的能量主要来自于糖的分解。
- 在细胞质中，脂肪酸需先活化成为脂酰 CoA，然后转运至线粒体，才能进行 β -氧化。

(三) 脂肪酸的氧化

(1) 脂肪酸的活化

反应场所：胞液

能量消耗： 2 个高能磷酸键 = 2ATP



水溶性好，提高脂肪酸的代谢活性

脂肪酸活化成脂肪酰辅酶 A

(二) 脂肪酸的氧化

(2) 脂酰 CoA 从胞液进入线粒体

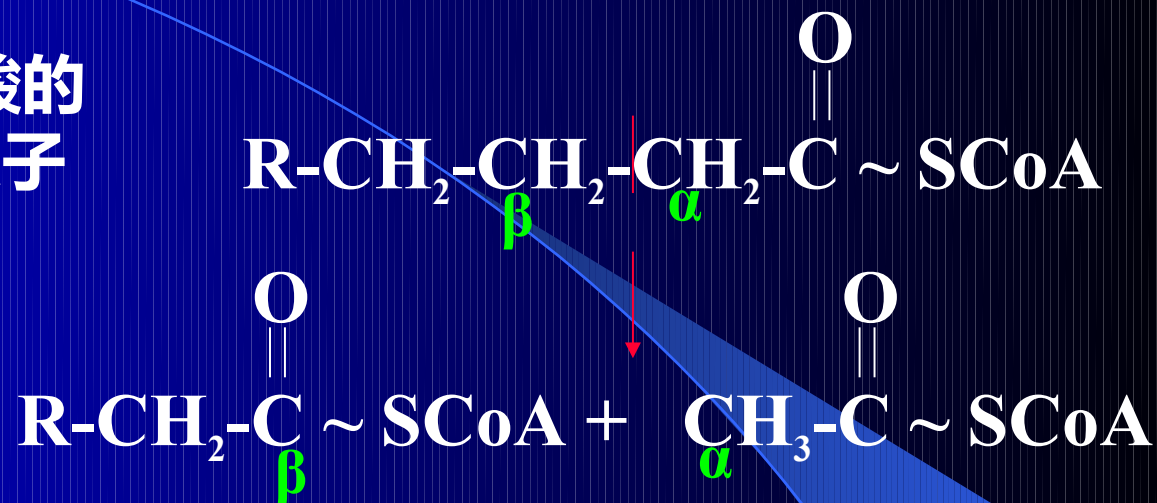
氧化脂肪酸的酶系存在于线粒体

参与转运的物质：肉毒碱

肉毒碱与脂肪酸结合成脂酰肉毒碱的形式，进入线粒体。

(3) 脂酰 CoA 的 β -氧化

➤ 发生在脂肪酸的
羧基端 β 碳原子
上



少 2 个 C 的脂酰辅酶 A 乙酰辅酶 A

重复 β -氧化, 直至完全
生成乙酰辅酶 A

β -氧化包括四步反应:

- ① 脱氢 (脱氢酶, 产生 FADH_2)
- ② 水化 (水化酶, 加 H_2O)
- ③ 再脱氢 (脱氢酶, 产生 NADH)

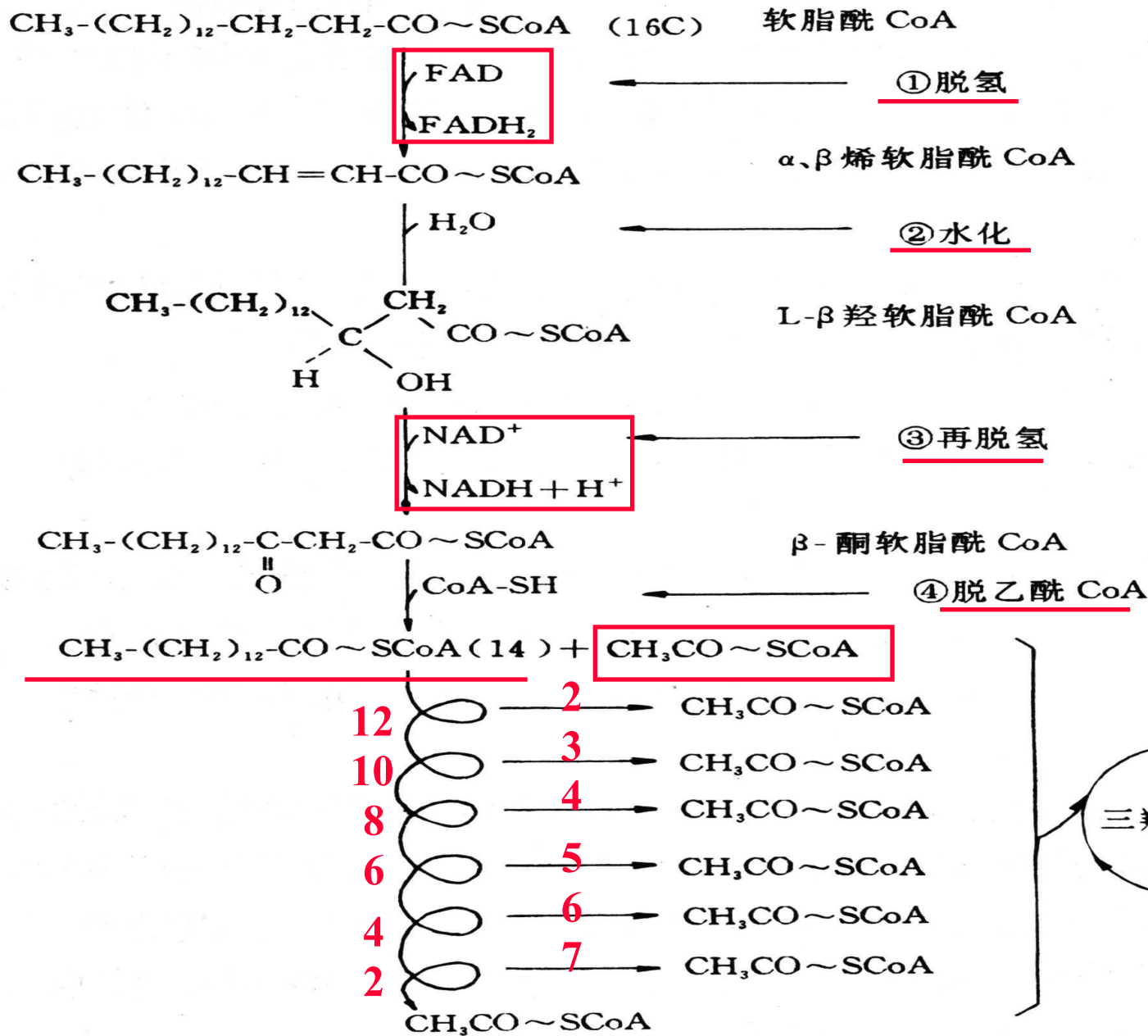
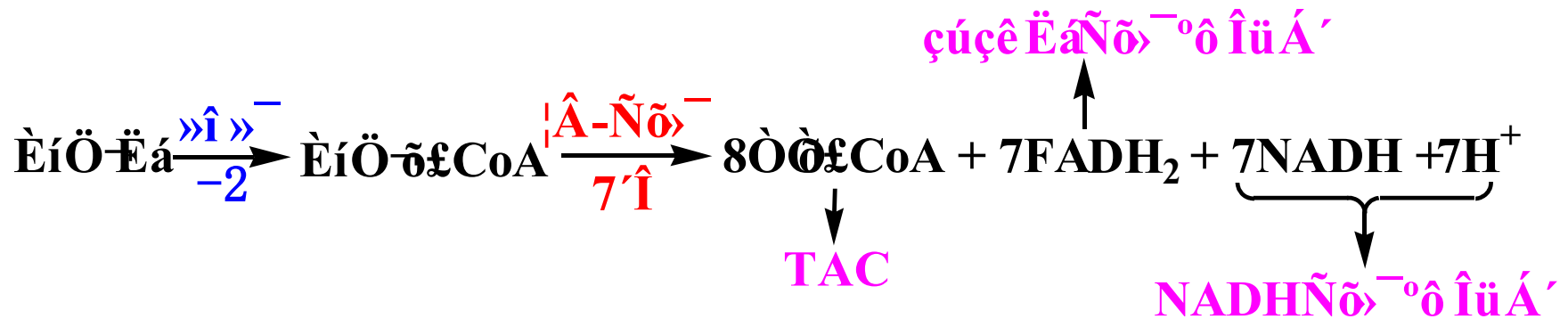


图 7-11 软脂酸 β -氧化图解

脂肪酸彻底氧化，ATP 的生成量计算

- 以软脂酸(16C)为例：



- $7 \times 2 + 7 \times 3 + 8 \times 12 - 2 = 129$
- 1分子软脂酸氧化共生成**129**分子**ATP**。

计算通式： $\frac{n}{2} - 1 \times 5 + \frac{n}{2} \times 12$

总结

脂肪酸
 β -氧化
分解

心肌、骨骼肌线粒体:



肝细胞线粒体:



(三) 酮体的生成与利用

酮体——是脂肪酸在肝内氧化分解的中间产物。

包括**乙酰乙酸**

β -羟丁酸

丙酮

1. 酮体的生成

(1) 部位：肝脏**线粒体**

(2) 原料：脂肪酸 β - 氧化产生的**乙酰 CoA**

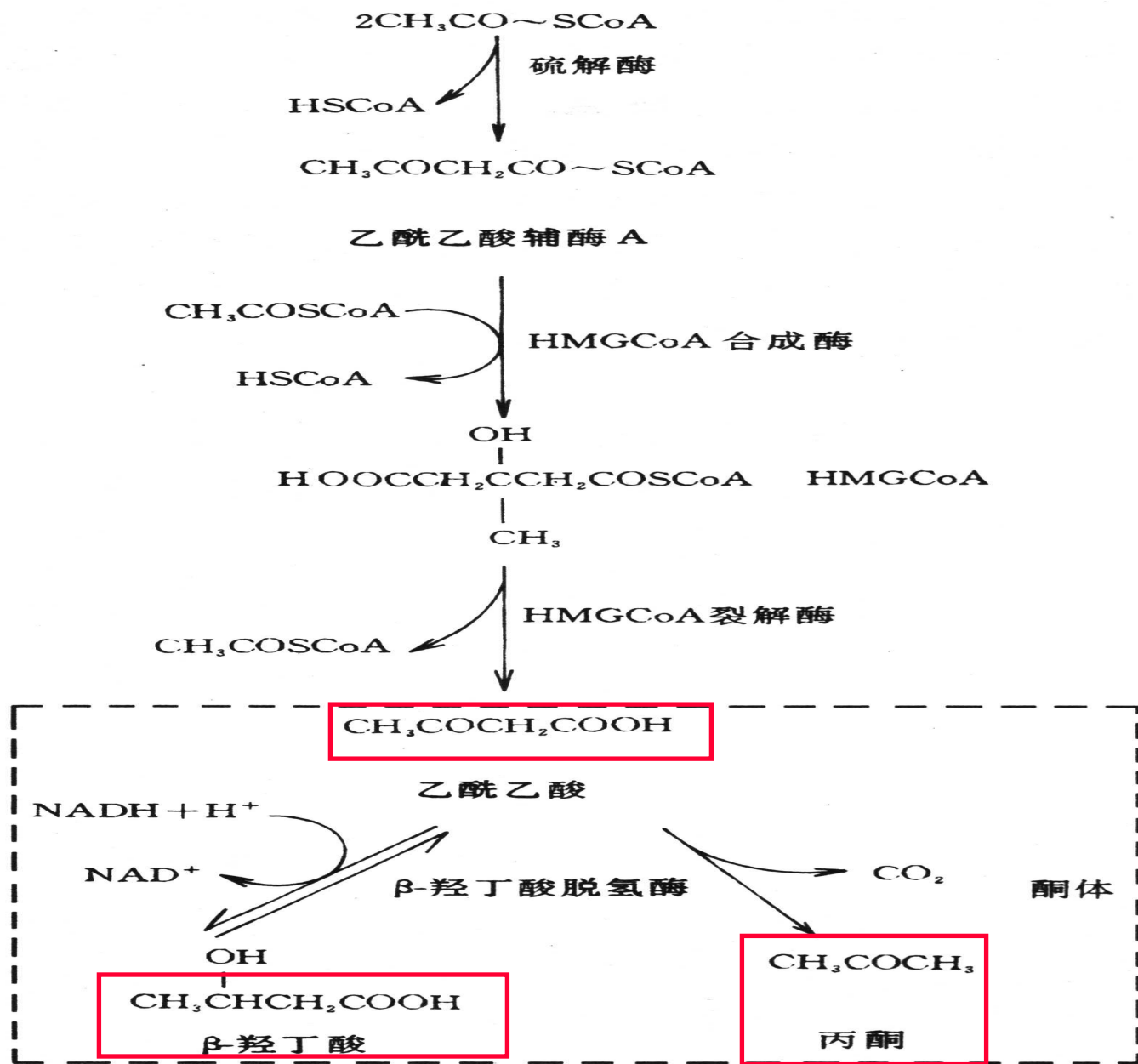


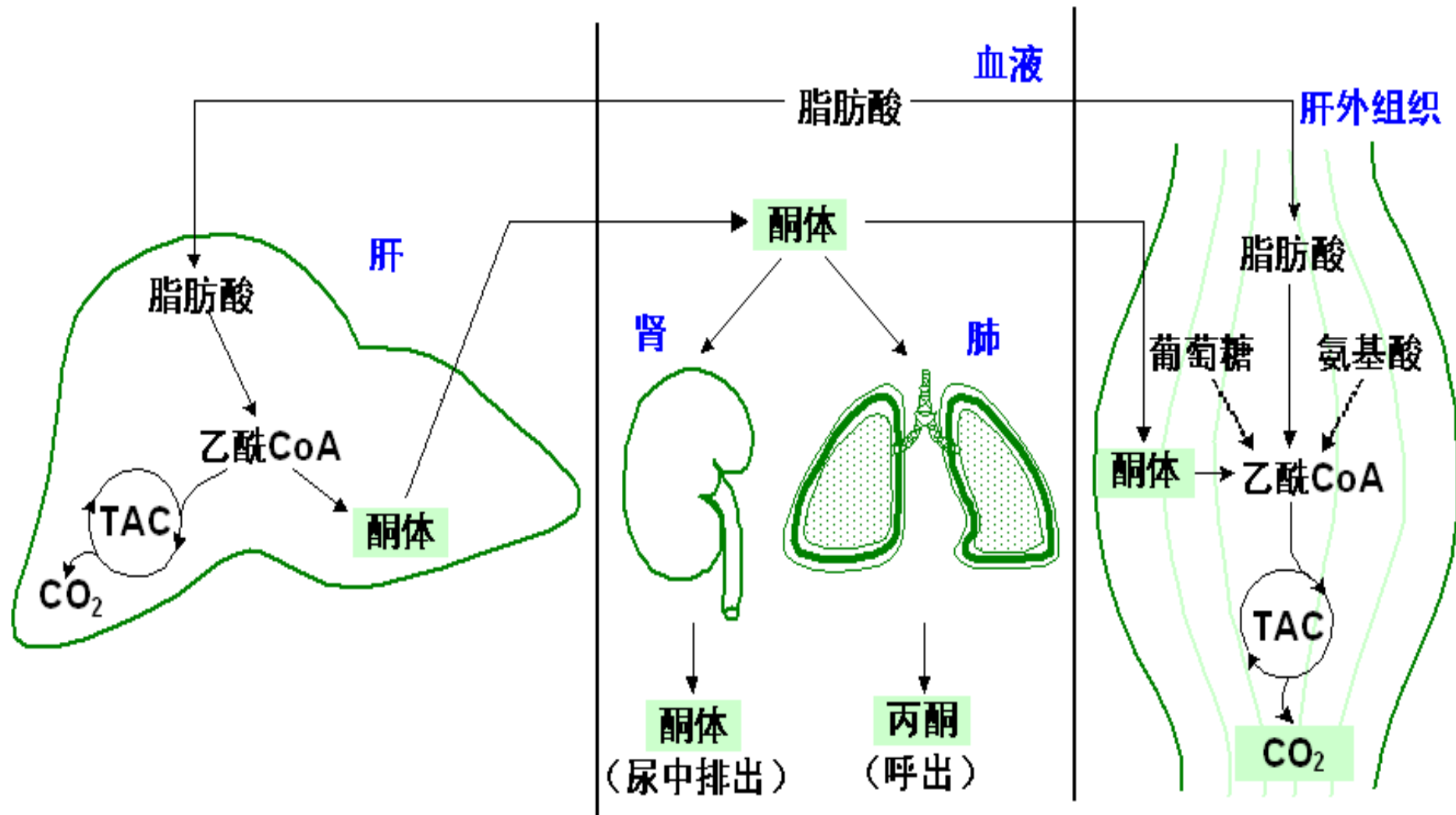
图 7-12 肝中酮体的生成

2. 酮体的利用

肝内生成，肝外利用（脑、骨骼肌、心肌、肾）
 β -羟丁酸 $\rightarrow$ 乙酰乙酸 $\rightarrow$ 乙酰CoA $\rightarrow$ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
丙酮 $\rightarrow$ 丙酮酸或乳酸 $\rightarrow$ 糖

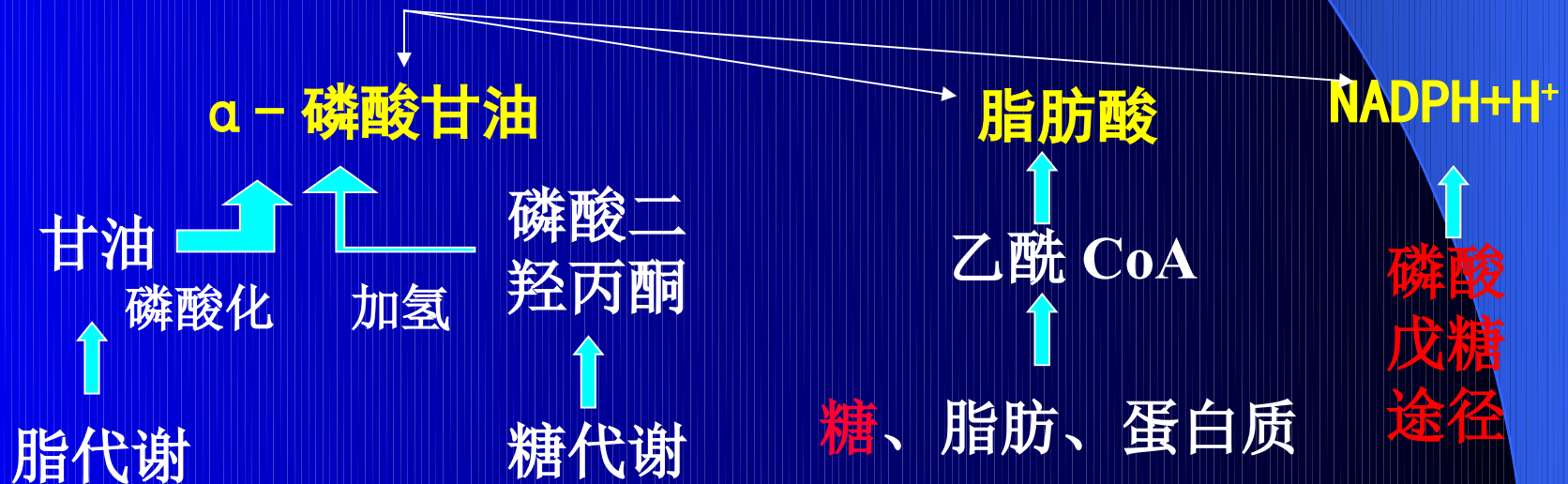
3. 酮体生成的生理意义

- 肝脏将不易氧化的脂肪酸转变为酮体，目的是将肝中大量的乙酰CoA转移出去，成为肝脏为肝外组织提供的能源形式。
- 酮体溶于水，分子小，易于氧化利用。
- 脑组织不能氧化脂肪酸，却能利用酮体。
- **酮症酸中毒**：糖尿病患者由于胰岛素绝对或相对不足，氧化葡萄糖障碍，必须依赖脂肪氧化供能。此时，脂肪动员加强，酮体生成增加，当超过肝外组织氧化利用能力时，即引起血中酮体浓度升高，导致体内酸碱平衡紊乱，引起酮症酸中毒。

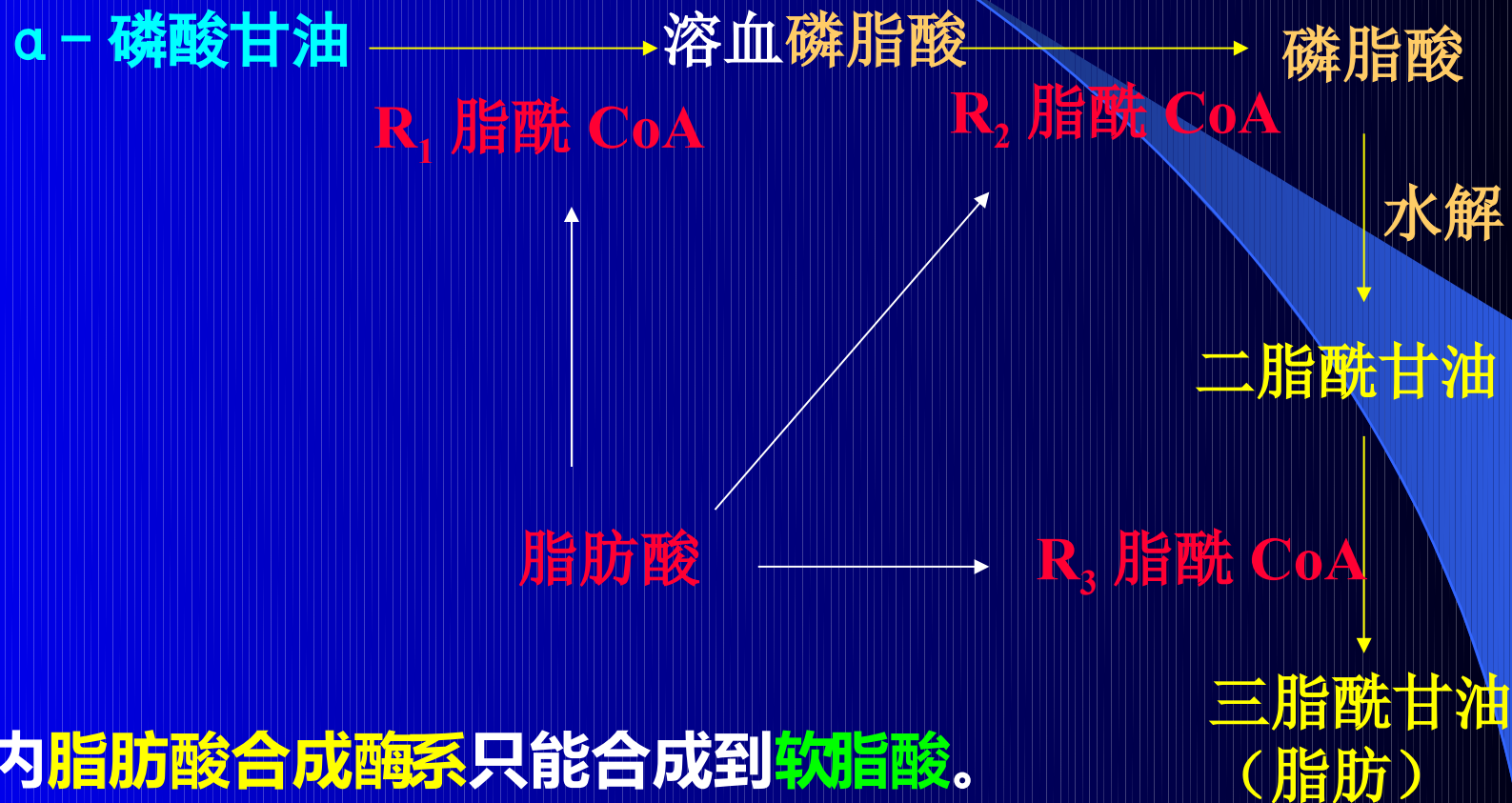


二. 脂肪的合成代谢

- 1、合成途径 { 食物中脂肪，较少；
糖类转化，主要来源。
- 2、合成部位：主要是脂肪组织和肝的细胞液，
肾、脑、肺、乳腺也能。
- 3、合成原料



4、脂肪的生物合成



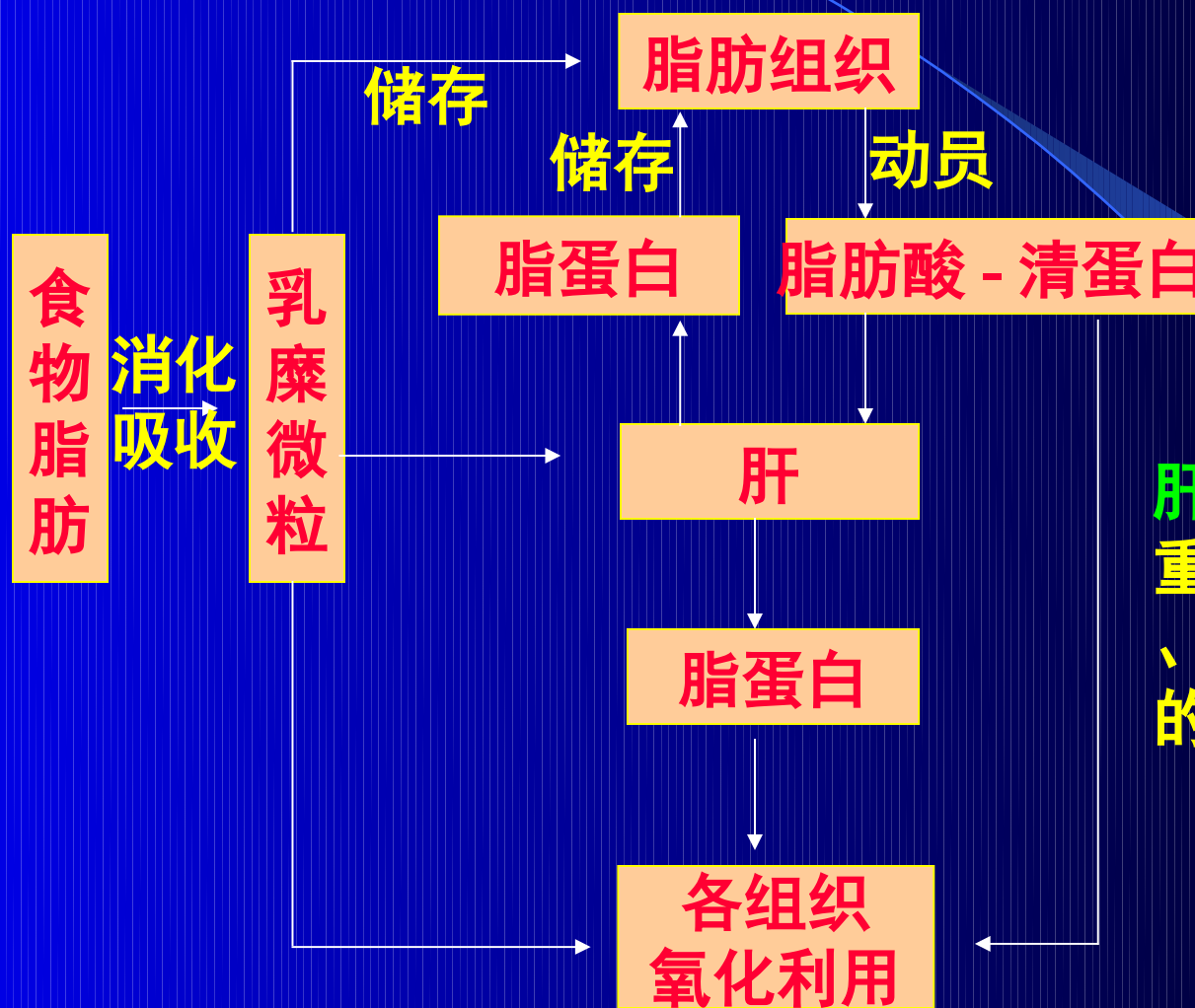
体内**脂肪酸合成酶系**只能合成到**软脂酸**。

可以以**软脂酸为母体**，合成其他饱和脂肪酸或不饱和脂肪酸。

第三节 类脂的代谢

- 自学

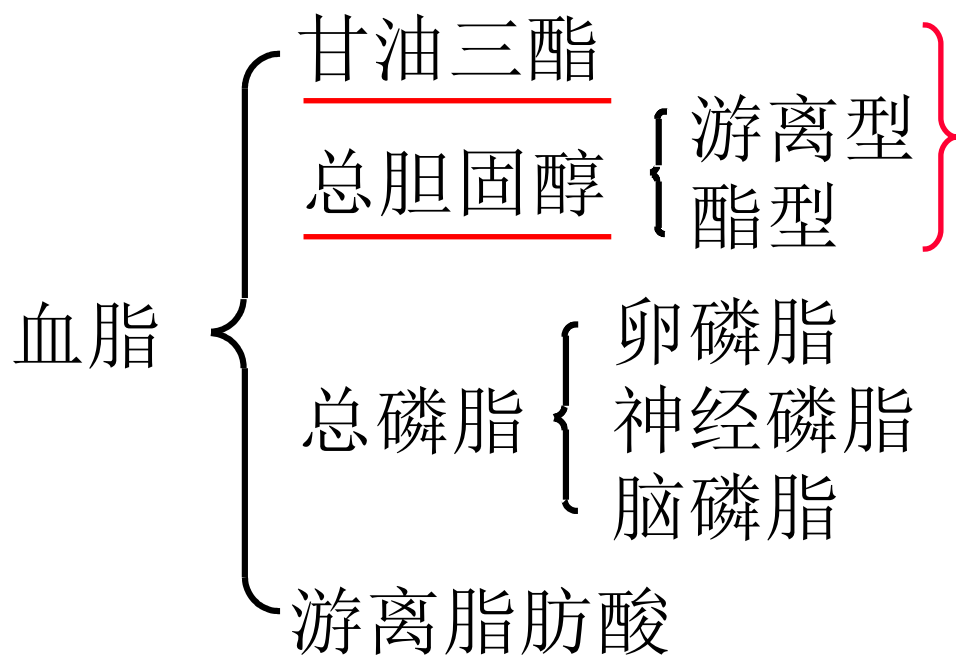
第四节 脂类的储存和运输



肝脏是脂肪代谢的重要器官，有合成、利用和转运脂肪的功能。

一、血 脂

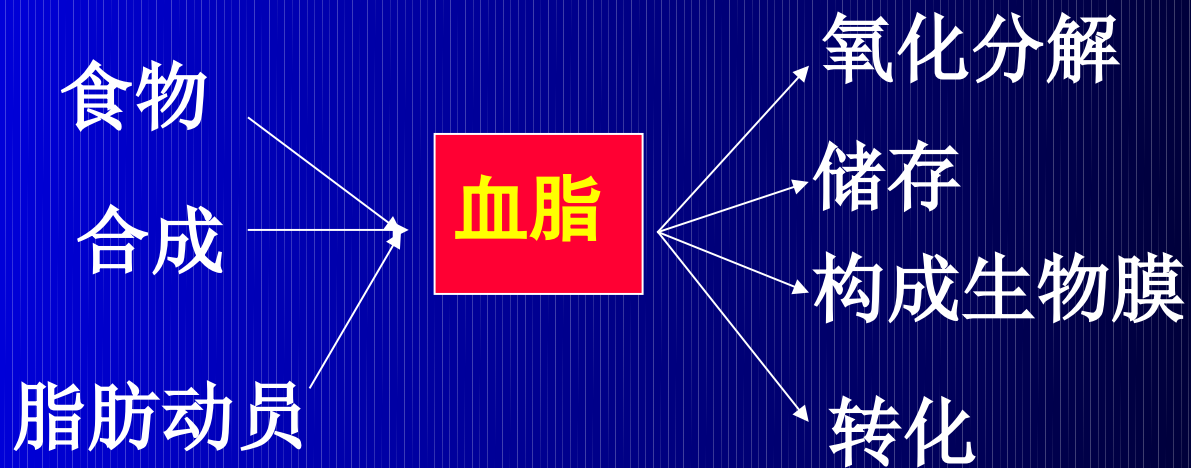
血浆中的脂类统称为**血脂**。



一般说血脂高，就是指这2项指标高。

饮食对血脂含量变化影响很大：
血脂水平在空腹 12~14 小时后保持稳定。

二、血脂的来源和去路



三、脂类转运形式 -- 血浆脂蛋白

(一) 血浆脂蛋白的概念

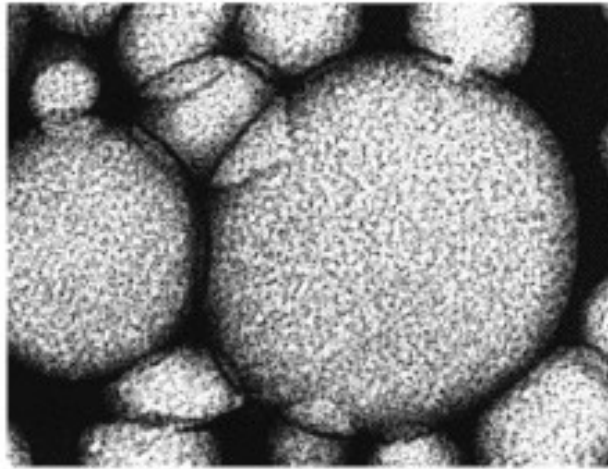
脂类不溶于水，在血浆中以**脂蛋白**的形式运输。

脂类 + 载脂蛋白 → **血浆脂蛋白**
(不溶于水) (溶于

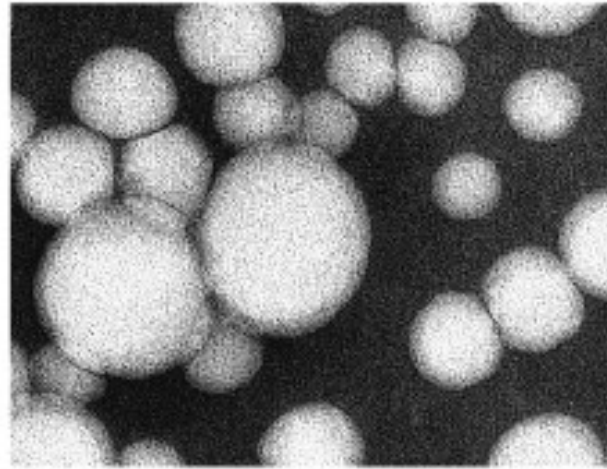
(二) 血浆脂蛋白的分类、组成



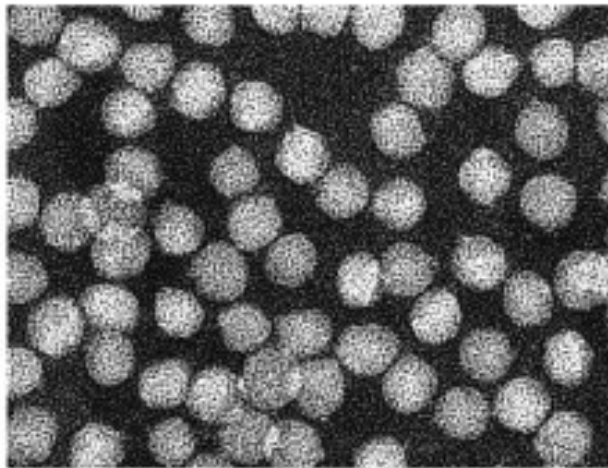
血浆脂蛋白的分类



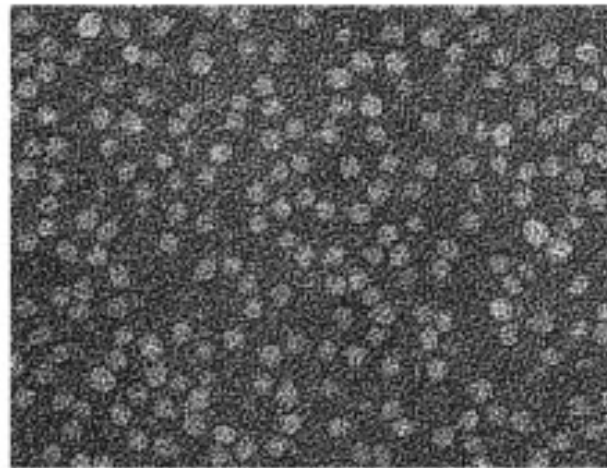
Chylomicrons (50–200 nm diameter)



VLDL (28-70 nm diameter)



LDL (20-25 nm diameter)

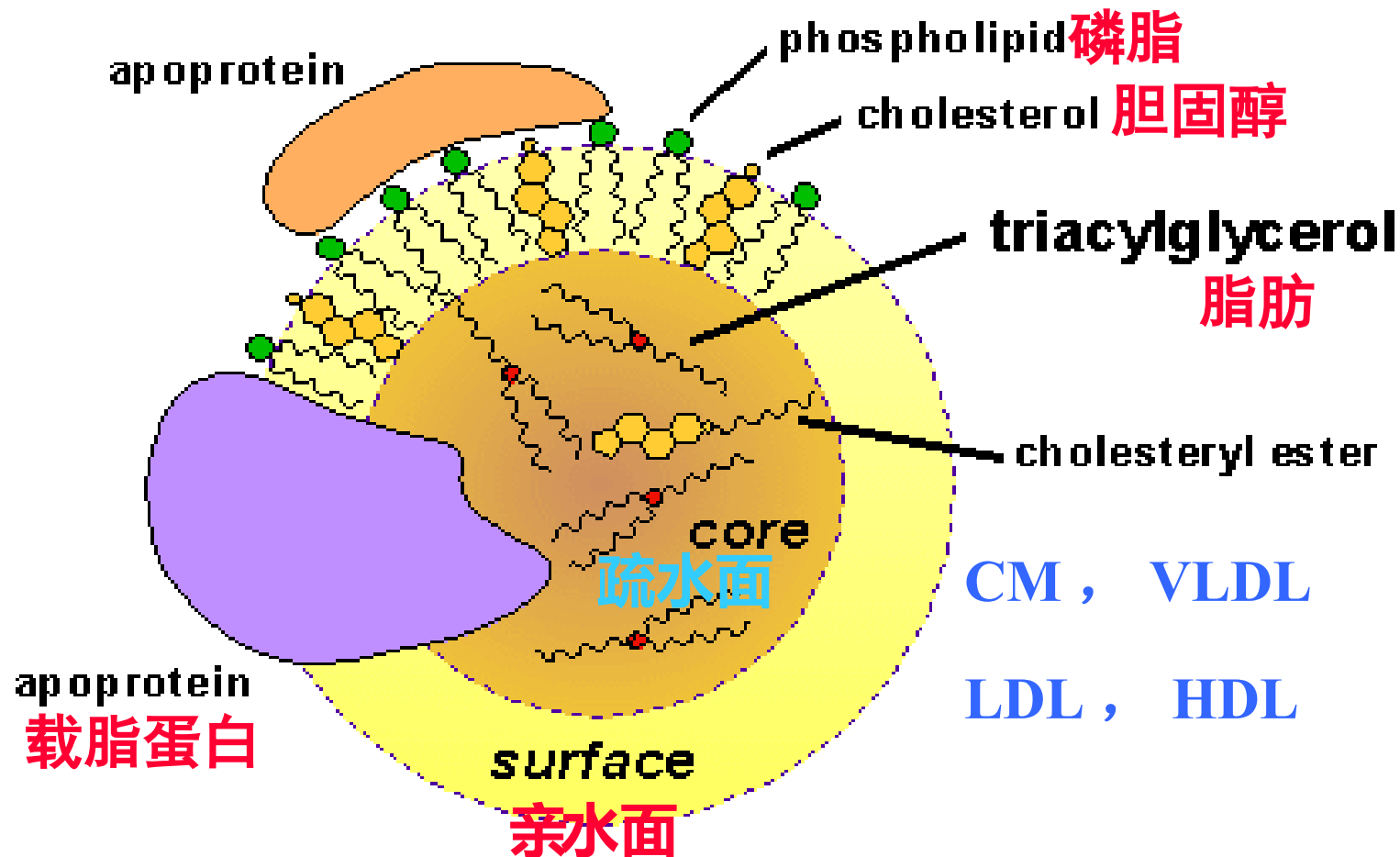


HDL (8-11 nm diameter)

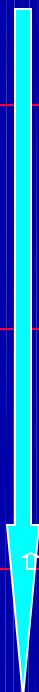
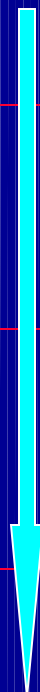
(b)

(三) 血浆脂蛋白的结构 --- 球状结构

General Structure of a Plasma Lipoprotein



(四) 血浆脂蛋白的种类

	颗粒大小	密度	含量最高的成分	生理功能
乳糜微粒 (CM)			脂肪	转运外源性脂肪
极低密度脂蛋白 (VLDL)			脂肪	转运内源性脂肪
低密度脂蛋白 (LDL)			胆固醇	转运胆固醇 (肝内→肝外)
高密度脂蛋白 (HDL)			蛋白质	转运胆固醇和磷脂 (肝外→肝内)

科别：内科

住院号：

床号：

项目代号

中文全称

结果

CHO

胆固醇

4.62

TG

甘油三脂

2.41

HDL-CH

高密度脂蛋白

0.87

LDL-CH

低密度脂蛋白

2.90

GLU

血糖

6.10

BUN

尿素氮

Cre

肌酐

UA

尿酸

(五) 脂类代谢异常引起的疾病

1、高脂血症

概念：空腹血浆 胆固醇 $> 6.7\text{mmol/L}$
脂肪

$> 1.8\text{mmol/L}$



脂类代谢异常

高脂血症

动脉粥样硬化

心血管疾病

动脉粥样硬化：内膜增生，管壁出现粥样斑块，使管壁硬化，失去弹性及收缩力，管腔狭小或闭塞。

心血管疾病：心肌缺血，心绞痛，心肌梗塞

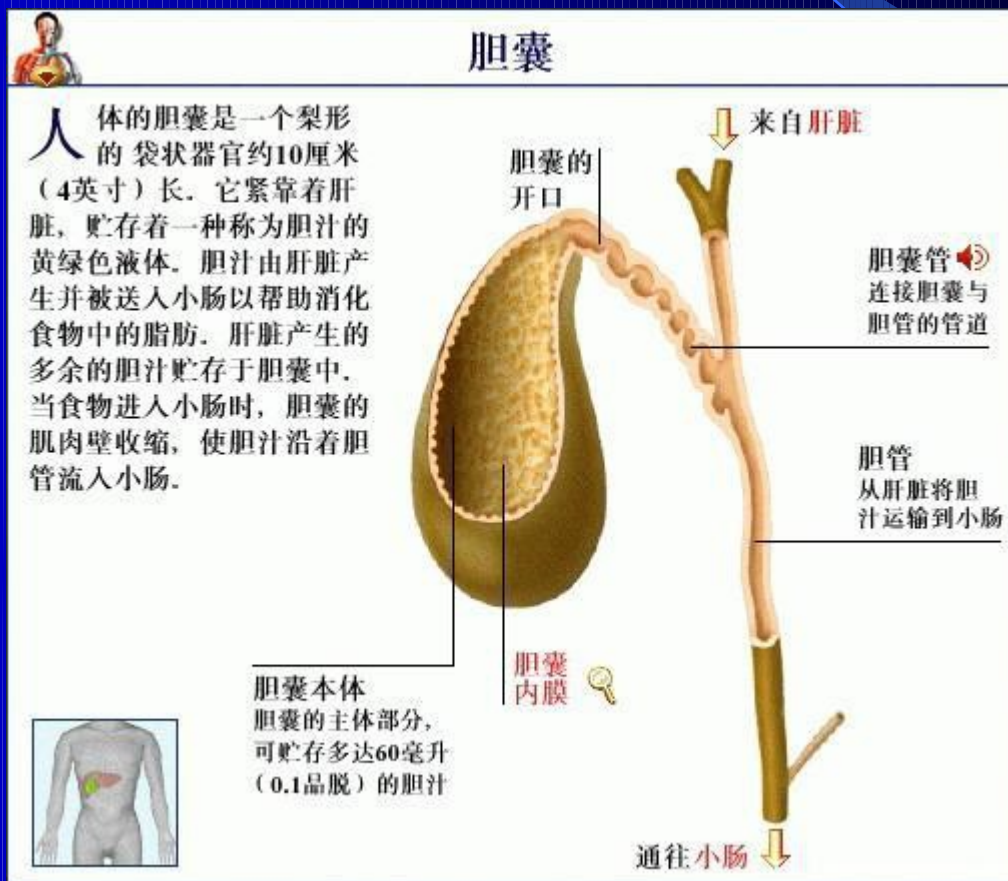
2、脂肪肝

- 肝脏：通过合成脂蛋白转运脂类物质；也是脂肪酸氧化、脂肪合成和酮体形成的主要场所。
- 肝细胞能合成脂肪，但不能储存脂肪。脂肪合成后要与载脂蛋白等结合成极低密度脂蛋白，入血运到肝外组织储存或加以利用。
- 当肝脏内脂蛋白合成不足或合成障碍时，肝细胞内的脂肪便不能被及时运出肝脏，造成脂肪在肝细胞内大量堆积，形成脂肪肝。

- 脂肪肝属**可逆性**疾病。



3、胆石症



四、降血脂药物

机理：抑制脂类合成或促进脂类转化。

- 1、亚油酸：“益寿宁”和“脉通”
 - 2、安妥明：抑制脂肪合成、促进其氧化。
 - 3、烟酸：减少游离脂肪酸。
 - 4、硫酸软骨素：促进脂肪分解。
 - 5、消胆胺：降低胆固醇的吸收。
 - 6、中草药：
 - 1) 何首乌：
 - 2) 决明子：
 - 3) 脉安冲剂（山楂与麦芽）
 - 4) 茶树根
- } 降低血清胆固醇

DHA

- 二十二碳六烯酸，俗称脑黄金。
- 是一种对人体非常重要的多不饱和脂肪酸，属于 ω -3 不饱和脂肪酸家族中的重要成员。
- 是神经系统细胞生长及维持的一种主要元素。
- 是大脑和视网膜的重要构成成分。在人体大脑皮层中含量高达 20%，在眼睛视网膜中所占比例最大，约占 50%。
- 对胎儿、婴儿智力和视力发育至关重要。
- DHA 很容易变质氧化。死鱼变腥主要原因之一，就是不饱和脂肪酸（包括 DHA）被氧

DHA 的食物来源

1. 母乳。
2. 配方奶粉。指添加 DHA 的配方奶粉。
3. 藻油 DHA，EPA 含量极低，更加安全，容易吸收。
4. 鱼类。
5. 干果类。如核桃、杏仁、花生、芝麻等，其中所含的 α -亚麻酸可在人体内转化成 DHA。
6. 藻类。
7. DHA 制品。

