



“十四五”职业教育国家规划教材

人体机能

RENTI JINENG

主 编 丁学坤 王岩飞

人体机能

主
编
丁学坤
王岩飞

北京出版社



扫描二维码
共享立体资源



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

人体机能 / 丁学坤, 王岩飞主编. — 长沙: 中南
大学出版社, 2019.9 (2023 重印)
全国医药卫生类院校精品教材
ISBN 978-7-5487-3739-1

I. ①人… II. ①丁… ②王… III. ①人体生理学—
高等职业教育—教材 IV. ① R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 203055 号

人体机能

丁学坤 王岩飞 主编

- 责任编辑 孙娟娟
 责任印制 易红卫
 出版发行 中南大学出版社
社址: 长沙市麓山南路 邮编: 410083
发行科电话: 0731-88876770 传真: 0731-88710482
 印 装 定州启航印刷有限公司
-

- 开 本 787×1092 1/16 印张 15 字数 345 千字
 版 次 2019 年 9 月第 1 版 2023 年 6 月修订 2023 年 7 月第 3 次印刷
 书 号 ISBN 978-7-5487-3739-1
 定 价 48.00 元
-

图书出现印装问题, 请与经销商调换

目录

第一篇 人体物质组成与代谢

项目一	人体物质组成	1
项目二	物质和能量代谢	9
	任务一 物质代谢	10
	任务二 能量代谢与体温	27

第二篇 生理机能

项目三	细胞基本功能	33
	任务一 细胞的基本功能	34
	任务二 生命活动的基本特征	38
	任务三 人体功能的调控	40
项目四	血液和循环	43
	任务一 血液	44
	任务二 血液循环	56
项目五	呼吸生理	74
	任务一 肺通气	75
	任务二 气体的交换和运输	82
	任务三 呼吸运动的调节	87
项目六	消化和吸收	91
	任务一 概述	91
	任务二 口腔内消化	94
	任务三 胃内消化	96



任务四	小肠内消化	100
任务五	大肠内消化	105
任务六	吸收	107
项目七	肾脏的排泄	111
任务一	概述	112
任务二	尿的生成过程	115
任务三	尿生成的调节	124
任务四	尿的排放	128
项目八	感觉器官的功能	131
任务一	概述	132
任务二	视觉功能	134
任务三	听觉功能	144
任务四	平衡感觉功能	150
项目九	神经系统的功能	154
任务一	神经元活动	155
任务二	反射活动	166
任务三	脑的功能	172
任务四	神经系统的感觉功能	179
任务五	神经系统的调节功能	185
项目十	内分泌	197
任务一	概述	198
任务二	下丘脑与垂体	202
任务三	甲状腺的内分泌	205
任务四	肾上腺的内分泌活动	210
任务五	胰岛的内分泌活动	215
任务六	其他内分泌腺的内分泌活动	218
项目十一	生殖与衰老	221
任务一	男性生殖	221
任务二	女性生殖	225
任务三	妊娠	228
任务四	衰老	231
参考文献		234

第一篇 人体物质组成与代谢

项目一

人体物质组成

学习目标

» 知识目标

1. 掌握糖类、脂类、蛋白质、维生素、无机盐和水的生理功能。
2. 熟悉氮平衡和蛋白质营养价值的概念。
3. 了解维生素缺乏对人体的影响。

» 能力目标

1. 能根据糖类、脂类、蛋白质、维生素、无机盐和水的食物来源制作简单的膳食计划。
2. 能利用氮平衡、蛋白质营养价值的知识解释膳食搭配的合理性。

» 素质目标

1. 培养学生均衡营养、健康饮食的观念。
2. 培养学生摄取躯体营养的同时也提升精神营养，培养医学生为健康事业甘于奉献的精神。

人体在正常生命活动过程中，必须不断地从外界摄取食物，以获得各种营养物质。食物中的营养物质主要有糖类、脂类、蛋白质、维生素、无机盐和水六大类，通常这些营养物质又被称为营养素。这些营养物质和通过呼吸进入人体的氧气一起，经过新陈代谢过程，转化为构成人体的物质和维持生命活动的能量。所以，它们是维持人体的物质组成和生理机能不可缺少的要素，也是生命活动的物质基础。

案例导入

患儿，1岁，近日尿少，并出现血尿，入院就诊，经B超检查发现有双侧肾结石，经询问喂养史，出生后一直服用“××”牌奶粉，结合其他病例报告，考虑为“三聚氰胺中毒”。



思 考

1. 乳品企业为什么要添加三聚氰胺?
2. 蛋白质在生命活动中有什么重要作用?

一、糖类

糖类是食物的主要成分,由碳、氢、氧三种元素组成,其分子式通常用 $C_n(H_2O)_n$ 表示。因为糖类的氢、氧原子比例和水相同,所以又称其为碳水化合物。糖类一般分为单糖、双糖和多糖。单糖主要有葡萄糖、果糖、半乳糖等;双糖主要有蔗糖、麦芽糖、乳糖等;多糖主要包括淀粉、糖原、纤维素等。

(一) 主要生理功能

1. 提供能量 糖类是人体能量的主要来源之一。人体所需能量的 50% ~ 70% 来自糖的氧化分解。以葡萄糖为主供给机体各种组织能量,1 g 葡萄糖完全氧化分解可产生 16.7 kJ 的能量。

2. 构成人体组织细胞的组成成分 糖类与蛋白质结合形成糖蛋白,构成细胞表面受体、配体,在细胞间信息传递过程中起着重要作用;糖类与脂类结合形成糖脂,糖脂是神经组织和细胞膜中的组成成分;血浆蛋白、抗体和某些酶及激素中也含有糖类。

3. 转变为其他物质 糖类是机体重要的碳源,糖代谢的中间产物可转变为其他化合物,如脂肪酸、氨基酸、核苷酸等。

(二) 食物来源

糖类的食物来源主要是谷类和根块类,如水稻、小麦、玉米、马铃薯等,也包括多种食用糖,但是食用糖只供给糖类,几乎没有其他营养物质。另外,蔬菜、水果含有丰富的膳食纤维。



肥胖危害

二、脂类

脂类是脂肪和类脂的总称,是一大类不溶于水而易溶于有机溶剂的化合物。其中,脂肪主要是指甘油三酯,类脂则包括磷脂、胆固醇及胆固醇酯等。

(一) 主要生理功能

1. 供能储能 体内 20% ~ 30% 的能量由脂肪提供。1 g 脂肪在体内完全氧化可释放 38.9 kJ 的能量。空腹时,体内所需能量的 50% 以上是由脂肪氧化供给的,而禁食 1 ~ 3 d 约 85% 的能量来自脂肪。可见,脂肪是空腹和饥饿时能量的主要来源。

2. 提供必需脂肪酸 必需脂肪酸是指机体需要,但自身不能合成,必须靠食物提供的一些多不饱和脂肪酸,如亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸等。

3. 保护脏器、保持体温作用 分布在内脏周围的脂肪能减少脏器间的摩擦,缓冲外力,固定内脏,起到一定的保护作用。皮下脂肪可防止热量散失,有保持体温的作用。



4. 促进脂溶性维生素的吸收

5. 维持生物膜的正常结构与功能 磷脂和胆固醇是生物膜的主要结构成分，对维持生物膜的正常生理功能起着重要作用。

6. 转变为多种具有重要生物活性的物质 胆固醇在体内可转变为维生素 D3、胆汁酸和类固醇类激素等。

（二）食物来源

食物中的脂肪主要来自菜籽油、豆油、花生油、芝麻油、橄榄油、茶油等植物油及猪、牛、羊等动物脂肪。胆固醇主要来自动物性食物，尤其是蛋黄、动物内脏等，其含胆固醇量最高。

三、蛋白质

蛋白质是生命的物质基础，是由碳、氢、氧、氮四种元素组成的含氮化合物，其中平均含氮量约为 16%。蛋白质的基本单位是氨基酸，构成人体蛋白质的氨基酸有 20 种，其中有 8 种是人体不能合成或合成数量不足必须由食物供给的，称为必需氨基酸。必需氨基酸包括异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苯丙氨酸、色氨酸、缬氨酸和苏氨酸。其他氨基酸则称为非必需氨基酸。

（一）主要生理功能

1. 构成人体组织细胞的组成成分 蛋白质约占人体总重量的 20%，占总固体量的 45%，是构成肌肉、血液、皮肤、骨骼等多种身体组织的主要物质。

2. 维持组织细胞的生长更新和修复 机体需要不断地从食物蛋白质中获取氨基酸，用于体内蛋白质的合成，以维持组织细胞的生长更新和修复。这对于生长发育期的婴幼儿、青少年，妊娠期、哺乳期的女性及疾病恢复期的患者来说尤其重要。

3. 参与体内多种重要的生理活动 生物体内具有多种特殊功能的蛋白质。例如，在物质代谢中具有催化功能的蛋白质，起到调节作用的蛋白质类激素，参与机体免疫功能的抗体、补体。另外，血液的凝固、肌肉的收缩、物质的转运等都需要蛋白质的参与。

4. 氧化供能 一般情况下，人体所需能量的 10% ~ 15% 来自蛋白质的氧化分解。1g 蛋白质在体内完全氧化可释放 17 kJ 的能量。蛋白质进行能量代谢时，因含氮元素而不能被完全氧化，会产生尿酸、肌酐、尿素等废物经肾排出体外，所以肾功能不全者，应控制蛋白质的摄入量。

（二）氮平衡

体内蛋白质的合成与分解处于动态平衡中，故每日氮的摄入量与排出量也维持着动态平衡，这种动态平衡就称为氮平衡。氮平衡有以下几种情况。

1. 氮总平衡 每日摄入氮量与排出氮量大致相等，表示体内蛋白质的合成量与分解量大致相等，称为氮总平衡。此种情况见于正常成人。

2. 氮正平衡 每日摄入氮量大于排出氮量，表明体内蛋白质的合成量大于分解量，称为氮正平衡。此种情况见于儿童、青少年、妊娠期女性以及疾病恢复期的患者等。



3. **氮负平衡** 每日摄入氮量小于排出氮量，表明体内蛋白质的合成量小于分解量，称为氮负平衡。此种情况见于患消耗性疾病的患者及长期饥饿者。



考点提示

氮平衡的种类。

（三）蛋白质的营养价值

蛋白质营养价值的高低主要取决于所含必需氨基酸的种类、数量及比例。如果食物中蛋白质所含必需氨基酸种类齐全且比例适合人体需要，则其营养价值就高。很多植物性蛋白质中虽然含有8种必需氨基酸，但是比例不适宜，营养价值也不高。如果将几种食物混合食用，必需氨基酸可以相互补充，使其更接近人体需要，营养价值也相应提高，这种作用称为蛋白质互补作用。因此合理膳食提倡荤食与素食、粗粮与细粮搭配食用。

（四）食物来源

蛋白质广泛地存在于各种动物性和植物性食物当中，其中畜、禽、鱼、蛋类和谷类、豆类食物的蛋白质含量较高，而薯类和蔬菜水果类的蛋白质含量较低。

四、维生素

维生素是维持人体正常生命活动的一类低分子有机化合物。它们不能在体内合成，或者所合成的量难以满足机体的需要，所以必须由食物供给。

（一）分类

维生素按照溶解的性质可分为脂溶性维生素和水溶性维生素两大类。

1. **脂溶性维生素** 脂溶性维生素不溶于水，易溶于有机溶剂，在食物中与脂类共存，并随脂类一起吸收，不易排泄，容易在体内积存，包括维生素A、维生素D、维生素E、维生素K等。

2. **水溶性维生素** 水溶性维生素易溶于水，易吸收，能随尿排出，一般不在体内积存，容易缺乏，包括B族维生素和维生素C。

（二）命名

维生素虽然是小分子有机化合物，但由于结构较复杂，一般不用化学系统命名。早期按发现顺序及来源用字母和数字命名，如维生素A、维生素B₁等。同时还根据其功能命名，如抗干眼病维生素（维生素A）、抗佝偻病维生素（维生素D）等。后来又根据其结构及功能命名，如视黄醇（维生素A）、胆钙化醇（维生素D₃）等。

（三）主要生理功能和缺乏症

维生素的每日需要量很少，它们既不是构成机体组织的成分，也不是体内供能的物质，然而在调节物质代谢、促进生长发育和维持生理功能等方面却发挥着重要作用，如果长期缺乏某种维生素，就会导致疾病发生。几种维生素的主要功能及缺乏症见表1-1。



表 1-1 几种维生素主要功能及缺乏症

名称	主要生理功能	缺乏症	食物来源
维生素 A (视黄醇)	与视觉有关, 维持黏膜正常功能, 调节皮肤状态, 促进牙齿于骨骼发育	夜盲症; 干眼症; 皮肤干燥及干痒	红萝卜、蛋黄、动物肝脏、牛奶
维生素 B ₁ (硫胺素)	有益于神经系统和心脏的正常活动, 促进碳水化合物之新陈代谢	脚气病、手脚麻木、肠胃不适、情绪低落	糙米、豆类、干果、牛奶、动物内脏
维生素 B ₂ (核黄素)	维持眼睛视力, 维持口腔及消化道黏膜的健康, 促进碳水化合物、脂肪与蛋白质的新陈代谢, 参与酶反应	口角炎、舌炎、口腔溃疡、眼睛疲劳	动物内脏、豆类、奶类、蔬菜
维生素 B ₃ (烟酸)	强健消化系统、神经系统, 构成脱氢酶辅酶, 参与生物氧化	头痛、皮炎	蔬菜、动物肝脏、蛋
维生素 B ₆ (吡哆素)	维持神经系统正常, 维持钠钾平衡; 参与构成多种酶的辅酶	贫血、痉挛、头痛、消化不良	肉类、谷类、坚果、蔬菜
维生素 B ₁₁ (叶酸)	维持神经系统正常, 参与造血, 增强免疫力	贫血、神经管病变	蔬菜、肉类
维生素 B ₁₂ (钴胺素)	促进造血, 有助于儿童生长发育, 参与氨基酸代谢	巨幼红细胞贫血、神经系统疾病	动物肝脏、肉、蛋、奶
维生素 C (抗坏血酸)	对抗游离基, 参与还原反应, 促进胆固醇代谢, 促进铁吸收	坏血病	新鲜蔬菜、水果
维生素 D (骨化醇)	促进钙、磷吸收, 促进骨骼和牙齿的发育	软骨病、佝偻症	动物肝脏、蛋、奶
维生素 E (生育酚)	抗氧化, 防癌, 延缓衰老, 维持动物生殖功能正常	月经不调	植物油、干果
维生素 K (止血维生素)	合成凝血因子, 与凝血作用相关	出血症	西兰花、蛋、动物肝脏

(四) 人体获取维生素的途径

1. 主要由食物直接提供 各种维生素广泛地分布于各种动物性和植物性食物中, 绝大多数维生素直接来源于食物。几种维生素的食物来源见表 1-1。

2. 由肠道菌合成 人体肠道菌能合成某些维生素, 如维生素 K、维生素 B₃ 和叶酸等, 可补充机体不足。长期服用抗菌药物, 使肠道菌受到抑制, 可引起维生素 K 等的缺乏。

3. 维生素原 能在体内直接转变成维生素的物质, 称为维生素原。例如, 植物性食物不含维生素 A, 但含有的类胡萝卜素可在小肠壁和肝脏氧化转变成维生素 A, 所以类胡萝卜素被称为维生素 A 原。

4. 体内部分合成 例如, 储存在皮下的 7-脱氢胆固醇经紫外线照射, 可转变成维生素 D₃, 因此小儿预防佝偻病可多进行户外活动。



缺乏维生素 D
佝偻病

人类能自己制造维生素 C 吗?

【知识链接】

1907 年 Axel Holst 和 Theodor Frolich 发表论文称, 天竺鼠和人类相似, 在禁绝新鲜蔬菜水果后产生维生素 C 缺乏病, 但老鼠和其他动物都不会患维生素 C 缺乏病。天竺鼠和灵长类(包括人类)不能自己制造维生素 C, 其他的动物都能在肝脏或肾脏中制造维生素 C。因此, 动物受伤和疾病之后可以很快自行复原, 而人类则需要医生的专业服务。



五、无机盐和水

无机盐和水是机体的重要组成成分，也是体液的重要组成成分。体液是细胞生命活动的内环境，其恒定的容量、渗透压、酸碱度和合适的各种离子浓度，对细胞的正常代谢起着重要的保证作用。



课程思政

人体所需营养为身体健康提供必要支持，一个人的发展也需要各方面的均衡提升，作为医学生，既要有过硬的理论知识、动手能力，也要有为健康事业甘于奉献的精神追求。

(一) 无机盐

无机盐是指食物中的矿物质营养素。人体必需的无机盐有 20 多种，占体重的 4% ~ 5%。其中钙、磷、钾、钠、氯、镁和硫含量较多，称为常量元素；铁、铜、锌、硒、锰、碘、钴、钼、氟、钒、铬、镍、锡和硅因在体内含量很少，故称为微量元素。无机盐的主要生理功能包括如下几点。

- 1. 构成组织细胞成分** 钙、磷构成的骨盐是骨骼和牙齿的主要成分。
- 2. 维持体液渗透压和酸碱平衡** Na^+ 、 Cl^- 是维持细胞外液渗透压的主要离子； K^+ 、 HPO_4^{2-} 是维持细胞内液渗透压的主要离子。体液中的 Na^+ 、 K^+ 、 HCO_3^- 、 HPO_4^{2-} 还参与了缓冲体系的构成，有维持体液酸碱平衡的作用。
- 3. 维持神经、肌肉正常的应激性** 当血 K^+ 浓度过低时，神经肌肉的应激性降低，可出现肌无力甚至肌麻痹。血 Ca^{2+} 浓度过低时，神经肌肉的应激性增高，常出现手足搐搦症。
- 4. 维持酶的活性** 有些无机离子可构成酶的辅助因子，它们是酶发挥催化作用不可缺少的组成成分，如凝血酶需要 Ca^{2+} ；还有些无机离子是酶的激动剂，如 Cl^- 是唾液淀粉酶的激动剂。
- 5. 构成具有特殊功能的化合物** 无机盐还参与体内多种化合物的组成，赋予这些化合物特有的功能，如 Fe^{2+} 参与构成血红蛋白，碘参与构成甲状腺激素。

硒与克山病

【知识链接】

克山病是一种以心肌病变为主的地方性心肌病，病死率较高，至今病因未明。以往的流行病学调查发现，克山病病区多处于低硒地带，粮食和水中硒含量较低，病区人群中发硒、血硒及心肌硒含量低于非病区。1978 年，原西安医学院克山病研究室王世臣教授的“大剂量维生素 C 及硒静脉注射治疗急重型克山病研究”将克山病患者病死率从 80% 降到 12% 以下，证实了硒对克山病具有良好的防治效果。近年来对新发潜在型克山病的随访调查发现低硒是潜在型克山病发展为慢型克山病的危险因素之一。目前以富硒为特点的农产品和保健品广受欢迎，跟硒具有防病抗癌作用有关。



（二）水

水是人体内含量最多的物质，是体液的主要成分，成人体内水分约占体重的 65%。水在生命活动中发挥着重要的作用。

1. 水的主要生理功能

（1）维持组织的形态：在体内的水有自由水和结合水两种形式，其中结合水可维持组织器官的形态、硬度、弹性等。

（2）调节体温：水的比热大，因而水能吸收较多的热量而本身的温度升高并不多。水的蒸发热大，通过蒸发少量的汗液就能散发大量的热量。此外，水的流动性大，水能够随血液迅速流经全身，使物质代谢释放的能量迅速运输到体表散发。因此，水有调节体温的作用。

（3）运输功能：水是良好的溶剂，体内的无机物和有机物可溶解、分散于水或与水组成胶体溶液，经过血液或淋巴液输送到全身，并在其中代谢或排出体外。

（4）促进和参与物质代谢：水可溶解物质、加速化学反应进行，水还直接参与物质代谢中的水解、加水、脱氢等反应。

（5）润滑作用：水有良好的润滑作用。例如，泪液可防止眼球干燥，关节腔内的滑液可减少关节活动的摩擦等。

2. 水的来源去路

（1）来源：体内水的来源有以下 3 个途径。

①饮水：在一般情况下，成人每天饮水约 1 500 mL。饮水量受生活习惯和气候环境的影响有较大幅度的变化。

②食物水：成人每天饮水约 1 000 mL，相对恒定。

③代谢水：体内糖、脂肪、蛋白质等营养物质生物氧化产生的水，比较恒定，成人每天的代谢水约 300 mL。

（2）去路：水的排出途径有以下 4 个：

①经肾排出：肾排尿是体内水的主要去路，在维持水平衡中起着重要的作用；成人每天尿量约 1 500 mL，人体每天的尿量受水的来源、环境和劳动强度等多种因素的影响变化较大。

②经粪排出：每天各种消化腺分泌的消化液约 8 000 mL，但绝大部分被肠道重吸收，每天随粪排出的水仅为 150 mL。当发生剧烈的腹泻、呕吐时会引起大量消化液丢失，可造成水、电解质平衡紊乱，应当根据情况适当补充。

③皮肤蒸发：皮肤可通过显性出汗和非显性出汗的方式排水。显性出汗为皮肤汗腺分泌，与环境的温度、湿度及劳动强度等有关。非显性出汗为皮肤的水分蒸发，成人每天约 500 mL。

④经肺排出：指的是呼吸时以水蒸气的形式丢失的水。成人每天由呼吸蒸发排出的水大约为 350 mL。当呼吸加快时，排出的水量可增加。

正常成人每天水的来源和去路保持着动态的平衡，约为 2 500 mL。



考点提示

与水代谢关系最密切的电解质是钠。



课程思政

我们的社会正在进行日新月异的变化,现代人的饮食结构已经发生改变,作为新时代大学生,要懂得均衡营养的重要性,要学会科学搭配饮食,保护自己的身体,毕竟身体是奋斗的本钱,有了好身体,才能为创建社会主义贡献力量。

【案例分析】

1. 乳品企业为什么要添加三聚氰胺?

蛋白质主要由氨基酸组成,其含氮量一般不超过30%,而三聚氰胺的分子式含氮量为66%左右。由于“凯氏定氮法”是通过测出含氮量来估算蛋白质含量,因此,三聚氰胺会使得食品的蛋白质测试含量偏高,从而使劣质食品通过食品检验。

2. 蛋白质在生命活动中有什么重要作用?

蛋白质的三大基础生理功能分别是:构成和修复组织、调解生理功能和供给能量。蛋白质是构成机体组织、器官的重要成分,人体各组织、器官无一不含蛋白质。同时人体内各种组织细胞的蛋白质始终在不断更新,只有摄入足够的蛋白质方能维持组织的更新,身体受伤后也需要蛋白质作为修复材料。另外蛋白质在体内是构成多种重要生理活性物质的成分,参与调节生理功能。最后供给人体能量是蛋白质的次要功能。



学习检测

1. 简述氮平衡在指导蛋白质不同人群蛋白质消费方面的意义。
2. 简述维生素缺乏的主要原因。

项目二

物质和能量代谢

学习目标

» 知识目标

1. 掌握糖、脂类、蛋白质和核苷酸的代谢过程和意义。
2. 熟悉机体能量代谢的方式和血糖恒定的调节。
3. 了解血糖、血脂异常的情况。

» 能力目标

1. 能说出氨的来源和去路，解释肝性脑病的机制。
2. 能解释体温调节机制及影响代谢的因素。

» 素质目标

1. 培养学生具备严谨的学习态度。
2. 培养学生面对困难要具备不屈不挠的奋斗精神。

生物体的基本特征是新陈代谢，即机体与外环境的物质交换以维持其内环境的相对稳定。物质代谢是新陈代谢的核心，因此正常的物质代谢是生命活动的必然条件。物质代谢是由酶所催化的一连串的化学反应所组成的各条代谢途径来完成的，包括合成代谢和分解代谢。物质代谢的同时有能量的释放、储存转移和利用，即能量代谢。正常物质代谢都能按照一定的规律有条不紊地进行，进而才能维持机体的正常生理功能，这是机体高度的自我调控，以及神经、激素等的整体性精确调节的结果。深入了解糖、脂类、蛋白质和核酸的代谢过程及调控机制，对提高人类健康水平、探索疾病发生机制和疾病诊断及预防，有重要意义。



■ 任务一 物质代谢

案例导入 ◆

患者，男，65岁，3年前因口渴多饮就诊于社区医院，化验空腹血糖为18 mmol/L，诊断为糖尿病。近3天来，患者上述症状加重，并多食易饥，每日饮水约两暖瓶（3 000 ~ 4 000 mL），小便次数和量增多，夜尿增加明显，多食体重却减轻4 kg。

思考

糖尿病患者为什么会出上述症状？

一、糖代谢

糖是自然界最丰富的物质之一，广泛存在于几乎所有生物体内，其中以植物中含量最为丰富，为85% ~ 95%。人类食物中的糖类物质主要来源于植物中的淀粉，动物糖原、少量蔗糖、麦芽糖及乳糖也是其来源。人体所需能量的50% ~ 70%都是由糖提供的，同时糖还是体内的主要碳源，在体内可转变成氨基酸、脂肪酸、核苷等非糖物质。

（一）人体内的糖概况

1. 糖的存在形式 自然界中，糖广泛分布于动、植物体内。

（1）在植物体内，糖主要以淀粉和纤维素形式存在。

1) 淀粉是植物的主要养分，也是人类从食物中摄入糖的主要来源。

2) 纤维素是植物的骨架，几乎不被机体吸收，但其有软化粪便，产生饱腹感的作用，因此具有预防便秘、控制体重、降低血糖和血脂、预防结肠癌的作用。

（2）在动物体内，糖主要以葡萄糖和糖原的形式存在。

1) 葡萄糖是动物体内糖的运输形式，是体内血糖的主要成分；

2) 糖原是多聚葡萄糖，是动物体内糖的储存形式，主要有肝糖原和肌糖原。

2. 糖的消化吸收 人类从食物中摄取的糖主要是植物中的淀粉。淀粉先由口腔唾液淀粉酶初步消化，然后在小肠胰淀粉酶催化下，水解为麦芽糖、麦芽三糖、异麦芽糖和 α -临界糊精，再在小肠黏膜刷状缘进一步水解成葡萄糖。淀粉在口腔中停留的时间较短，主要在小肠消化。

糖被消化为单糖后才能在小肠吸收，再经门静脉进入肝脏。小肠黏膜细胞对葡萄糖的吸收是一个主动耗能的过程。



3. 糖代谢概况 (图 2-1)

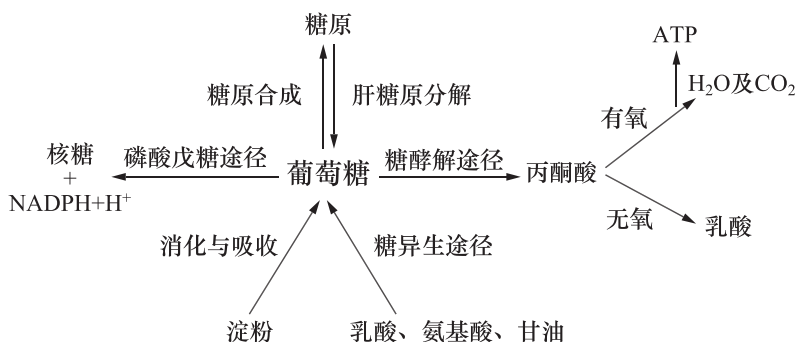


图 2-1 糖代谢概况

(二) 糖的分解代谢

糖的分解代谢主要有糖的无氧分解、糖的有氧氧化及磷酸戊糖途径等。

1. 糖的无氧分解

(1) 概念与部位：葡萄糖或糖原在缺氧或氧不足的情况下分解产生乳酸的过程，称为糖的无氧分解。整个过程分为两个阶段进行：第一个阶段是葡萄糖（糖原）分解成丙酮酸的过程，称为酵解途径（图 2-2）；第二个阶段是丙酮酸还原成乳酸的过程（图 2-3）。糖酵解的全部反应在胞液中进行，尤以红细胞及肌组织糖酵解代谢活跃。

(2) 反应过程：

第一个阶段：葡萄糖分解成丙酮酸。

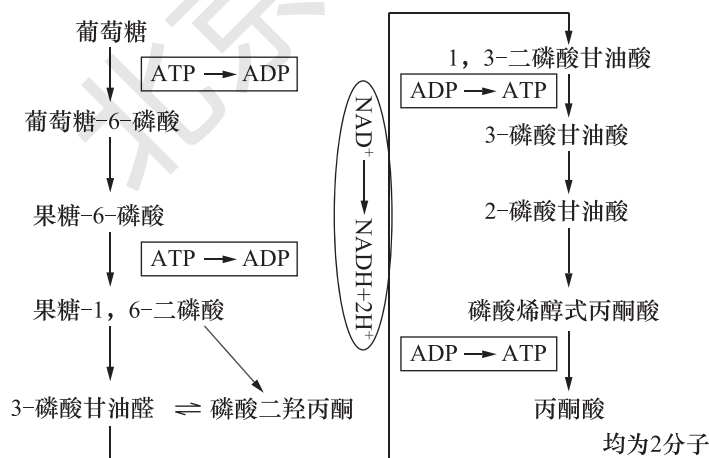


图 2-2 葡萄糖分解成丙酮酸

第二个阶段：丙酮酸还原成乳酸。

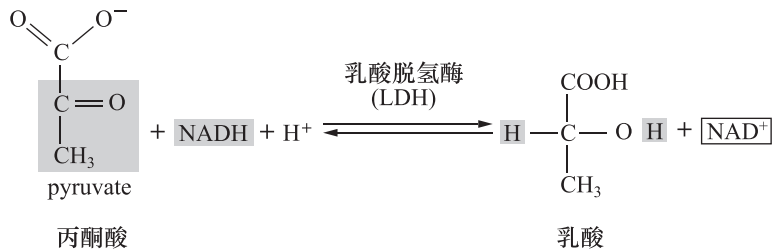


图 2-3 丙酮酸还原成乳酸

(3) 反应特点:

- 1) 反应全过程均在细胞液中进行, 没有氧的参与, 乳酸是无氧氧化的终产物。
- 2) 葡萄糖进行无氧氧化可净生成 2 分子的 ATP; 糖原进行无氧氧化时, 因少消耗 1 分子的 ATP, 故可生成 3 分子的 ATP。

(4) 生理意义:

- 1) 是机体在缺氧情况下获能的主要方式。
 - ① 在生理缺氧情况下, 例如剧烈运动时, 能量需求增加, 糖酵解可迅速为肌肉提供急需的能量; 当人从平原进入高原的初期, 由于氧供应不足, 此时组织细胞的糖酵解会增强。
 - ② 在病理性缺氧情况下, 如呼吸、循环功能障碍、严重贫血、大量失血等造成机体缺氧时, 组织细胞内的糖酵解会加强, 来满足机体对能量的需求。
 - ③ 需要注意的是, 糖酵解增强会导致乳酸产生过多, 有产生酸中毒的可能。
- 2) 在正常生理状况下, 是个别细胞的主要获能方式。
 - ① 成熟红细胞没有线粒体, 不能进行有氧氧化, 只能通过糖酵解获取能量。
 - ② 机体少数代谢比较活跃的组织, 如视网膜、睾丸、肾髓质和红细胞等, 即使在有氧条件下, 也仍需通过糖酵解获得部分能量。



考点提示

掌握能量代谢时, 糖酵解是指无氧条件下的糖代谢途径。

2. 糖的有氧氧化

(1) 概念及部位: 葡萄糖或糖原在氧供应充足的情况下被彻底氧化分解成 CO_2 和 H_2O , 并产生大量能量的过程, 称为糖的有氧氧化。糖的有氧氧化先在细胞液中进行, 然后再进入线粒体中进行。

(2) 反应过程: 糖的有氧氧化反应过程可分为三个阶段, 如图 2-4 所示。第一阶段是糖酵解途径, 在细胞液中进行; 第二阶段是丙酮酸进入线粒体, 然后经氧化脱羧生成乙酰 CoA; 第三阶段是乙酰 CoA 进入三羧酸循环被彻底氧化分解。

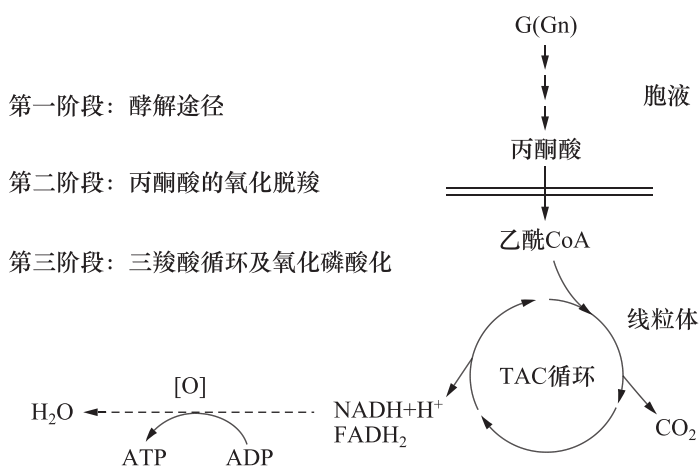


图 2-4 糖的有氧氧化

(3) 三羧酸循环：三羧酸循环 (tricarboxylic acid cycle, TAC) 是指从乙酰 CoA 与草酰乙酸缩合生成含有三个羧基的柠檬酸开始, 经历一系列反应, 又生成草酰乙酸的过程, 又称为柠檬酸循环 (图 2-5)。

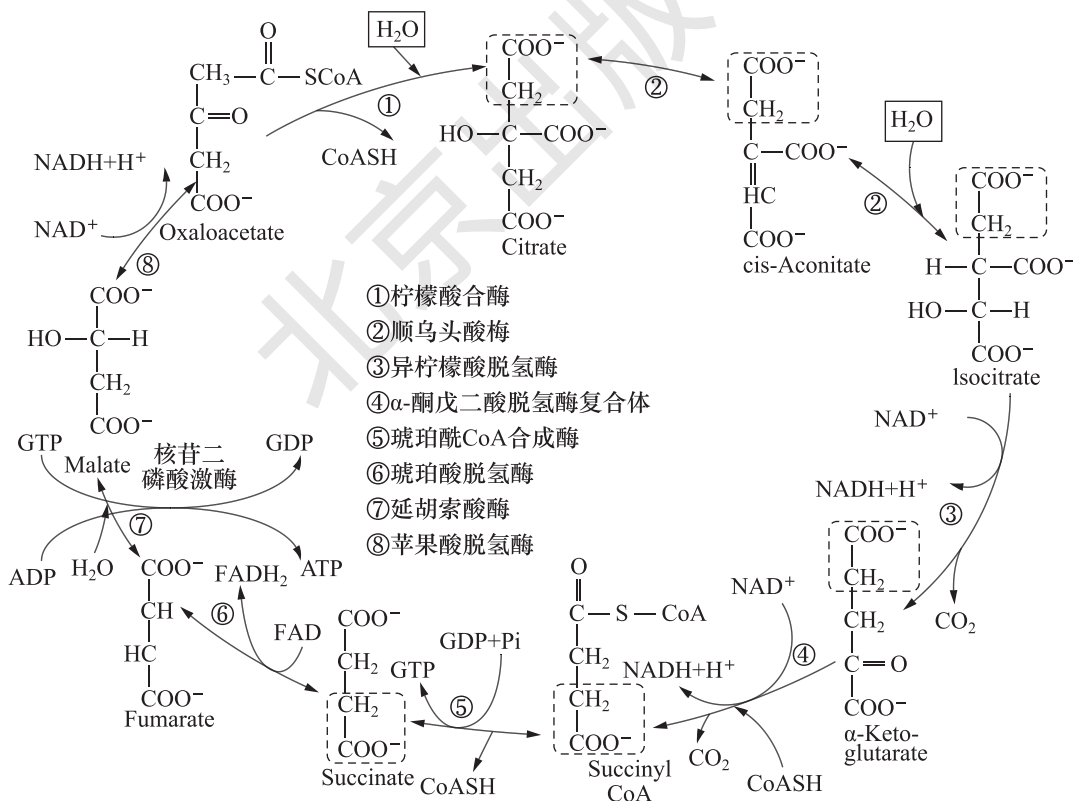


图 2-5 三羧酸循环

三羧酸循环的生理意义:

① 三羧酸循环是体内物质彻底氧化分解的共同通路。乙酰 CoA 不仅来自糖的分解



代谢，也是脂肪、蛋白质等营养物质分解的共同产物。进入三羧酸循环的乙酰 CoA 完全氧化分解为 CO_2 和 H_2O ，并释放大量能量以满足机体需要。因此，三羧酸循环是三大营养物质彻底氧化分解的共同途径。

② 三羧酸循环是体内物质代谢相互联系和转变的枢纽。三羧酸循环反应是一个开放系统，它的很多中间产物与其他代谢途径相沟通。如糖代谢的中间产物 α -酮戊二酸、丙酮酸和草酰乙酸通过还原氨基化作用生成谷氨酸、丙氨酸和天冬氨酸；糖代谢中间产物乙酰 CoA 是合成脂肪酸的原料；脂肪代谢的中间产物甘油可异生为糖，乙酰 CoA 则可进入三羧酸循环氧化；氨基酸代谢的产物 α -酮酸可异生为糖。故糖、脂肪与氨基酸能通过三羧酸循环相互转变及代谢。

(4) 有氧氧化的生理意义：糖的有氧氧化是机体供能的主要途径。1 分子葡萄糖经有氧氧化可净生成 30 或 32 分子 ATP。体内许多组织依靠糖的有氧氧化获得能量。如脑组织是一个耗能较多的器官，主要靠糖的有氧氧化供能，以维持脑的重要供能。



考点提示

有氧氧化是糖分解代谢的主要方式。

3. 磷酸戊糖途径

(1) 概念及部位：在体内某些代谢比较活跃的组织中，糖在分解代谢的过程还能产生磷酸戊糖和 NADPH，称为磷酸戊糖途径，是糖分解的又一条重要途径（图 2-6）。该途径主要发生在肝、脂肪组织、哺乳期的乳腺、肾上腺皮质、性腺、骨髓和红细胞等。

(2) 反应过程：

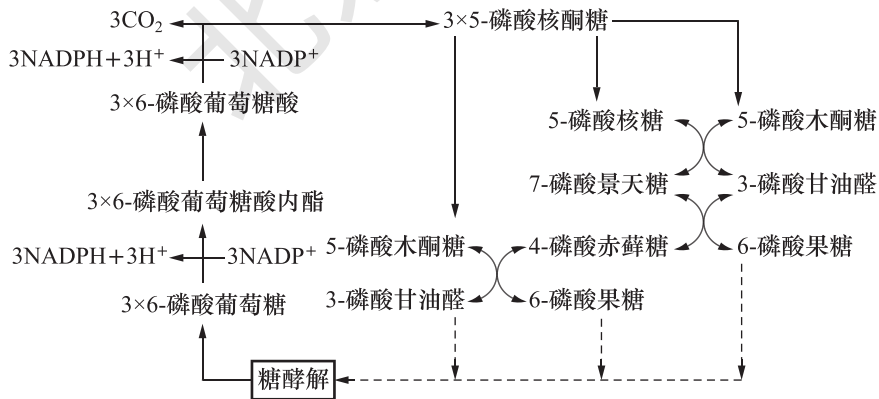


图 2-6 糖的磷酸戊糖途径

(3) 生理意义：

1) 为核酸的生物合成提供核糖。磷酸戊糖途径是葡萄糖转变为 5-磷酸核糖的唯一途径，在体内 5-磷酸核糖主要用于合成核苷酸，后者是核酸的基本组成单位。

2) 提供 NADPH 作为供氢体参与多种代谢反应。

① 还原型 NADPH 可参与胆固醇、脂肪酸及类固醇激素等物质合成的加氢反应。



蚕豆病



② NADPH 还能作为供氢体参与体内羟化反应，与药物、毒物及激素的生物转化作用有关。

③ NADPH 又是谷胱甘肽 (GSH) 还原酶的辅酶，维持还原型 GSH 的正常含量。GSH 是体内重要的抗氧化剂，可保护一些含巯基 (-SH) 的蛋白质和酶类免受氧化剂的破坏，尤其是 GSH 对维持红细胞膜的完整性有着重要的作用。当还原型 GSH 转变为氧化型 GSSG，则失去抗氧化作用。如 6-磷酸葡萄糖脱氢酶缺乏，生成的 NADPH 含量不足，不能使 GSSG 还原成 GSH 型，则红细胞易于损伤发生破裂，导致溶血性贫血。蚕豆病患者体内缺乏 6-磷酸葡萄糖脱氢酶，食用蚕豆易诱发溶血，故称为蚕豆病。

(三) 糖原的合成与分解

糖原是由葡萄糖聚合而成的具有多支结构的大分子多糖，是动物体内葡萄糖的储存形式。糖原主要储存在肝和骨骼肌中，其中储存在肝中的糖原称为肝糖原，约占糖原总量的 1/3，主要用于调节血糖浓度。储存在骨骼肌中的糖原称为肌糖原，约占糖原总量的 2/3，主要用于肌肉收缩。

1. 糖原的合成 由单糖（主要是葡萄糖）合成糖原的过程，称为糖原的合成。糖原合成是动物细胞储存能量的一种有效方式，是在细胞液中进行。

2. 糖原的分解 由肝糖原分解为葡萄糖的过程，称为糖原分解。肌糖原不能直接分解为葡萄糖，只能分解生成乳酸，再经糖异生途径转变为葡萄糖。

3. 糖原合成和分解的生理意义 糖原是葡萄糖的一种高效储能形式。当机体糖供应丰富及细胞能量充足时，如刚进餐后，葡萄糖在肝和肌肉中合成糖原储存起来，防止血糖浓度过高；空腹，血糖浓度降低时，肝糖原直接分解为葡萄糖，释放入血，补充血糖，对维持满足脑组织等的能量需要有着重要意义。



糖原累积症



考点提示

糖原合成和分解的生理意义。

糖原累积症

【知识链接】
◆
⋮

糖原合成与分解过程中的某些酶活性缺失，会导致糖原代谢障碍，导致体内某些组织器官有大量糖原堆积，造成组织器官功能损害，临床上称为糖原累积症。多属于常染色体隐性遗传病。这种病症的症状是患儿出生时就有肝大现象。随着年龄的增长，会出现明显低血糖的症状，如软弱无力、出汗、呕吐、惊厥、酮症酸中毒和昏迷等，生长发育迟缓，无智力障碍，体型矮小、肥胖，皮肤颜色淡黄，腹部膨隆，肝显著增大，质地坚硬，肌肉无力，尤其以下肢最为显著，多数患者不能存活至成年。



(四) 糖异生

非糖物质转变为葡萄糖或糖原的过程称为糖异生。能异生为糖的物质包括乳酸、甘油、生糖氨基酸等。肝脏是糖异生的主要部位，其次为肾脏，长期饥饿时，肾糖异生作用增强。

1. 糖异生过程 糖异生途径基本上是糖酵解的逆过程（图 2-7）。

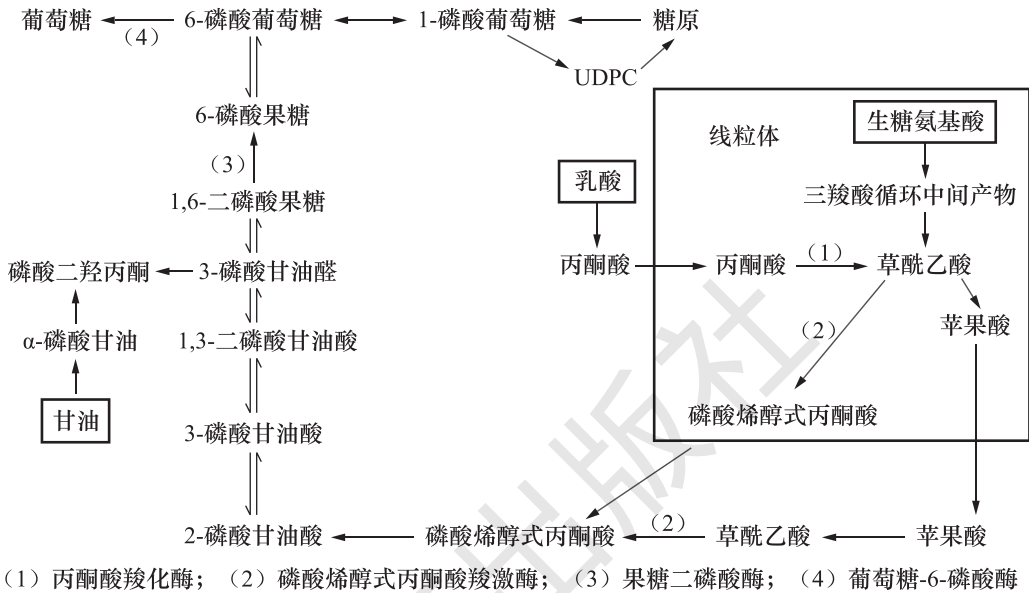


图 2-7 糖异生过程

2. 糖异生的意义

(1) 维持空腹或饥饿状态下血糖浓度的相对恒定：人体储备糖原的能力有限，在饥饿时，靠肝糖原分解葡萄糖仅能维持血糖浓度 8 ~ 12 h，以后主要依赖氨基酸、甘油等原料异生为糖来维持血糖浓度恒定，以保证脑组织及红细胞等的能量供应。另外肝脏也依赖糖异生作用补充糖原储备。

(2) 有利于乳酸的再利用：在剧烈运动或某些原因导致缺氧时，肌糖原酵解增强，产生大量乳酸，这些乳酸的大部分随血液运输到肝脏，经糖异生作用异生为葡萄糖以补充血糖；血糖可再被肌肉摄取利用。乳酸循环的意义在于，有利于乳酸的再利用的同时，也利于防止因乳酸堆积而导致的乳酸酸中毒的发生。

(3) 协助氨基酸代谢：有些氨基酸在体内可以转化为丙酮酸、 α -酮戊二酸和草酰乙酸等，进而通过糖异生作用转变为葡萄糖。实验证明，长期禁食时，糖异生作用增强，促进组织蛋白质分解，血液中的氨基酸增加。此时的氨基酸是糖异生的主要原料来源，以维持血糖。

(4) 有利于维持酸碱平衡：在长期饥饿情况下，肾糖异生作用增强，可促进肾小管细胞分泌 NH_3 ， NH_3 与 H^+ 结合为 NH_4^+ ，降低原尿中 H^+ 的浓度，加速排 H^+ 保 Na^+ 作用，有利于维持酸碱平衡，对防止酸中毒



自毁容貌症



有重要意义。

(五) 血糖

血糖是指血液中的葡萄糖。用葡萄糖糖化酶法测得的正常人空腹血糖浓度为 3.89 ~ 6.11 mmol/L。血糖维持在恒定范围, 有利于组织细胞摄取葡萄糖氧化供能, 特别是对于储存糖原能力低下的脑组织和红细胞生理功能的维持来说非常重要。

1. 血糖的来源和去路

(1) 血糖的来源:

- 1) 食物: 食物淀粉等在肠道分解并吸收入血的葡萄糖, 是血糖的主要来源;
- 2) 肝糖原分解: 空腹 8 ~ 12 h 以内, 肝糖原分解释放的葡萄糖;
- 3) 糖异生: 长期饥饿时非糖物质如氨基酸、甘油等异生的葡萄糖。

(2) 血糖的去路:

- 1) 氧化供能: 被组织细胞摄取氧化供能, 是血糖的主要去路;
- 2) 合成糖原: 被肝、肌肉等组织摄取合成糖原;
- 3) 转变为其他物质: 被组织摄取后转变为脂肪、氨基酸等非糖物质或其他糖类(核糖);
- 4) 随尿排出: 血糖浓度大于 8.89 ~ 10 mmol/L (肾糖阈) 时, 超过肾小管对糖的重吸收能力, 糖可随尿排出。

2. 血糖浓度调节

(1) 肝对血糖浓度的调节: 肝是调节血糖浓度最主要的器官。餐后血糖浓度升高, 肝糖原合成增加血糖下降; 空腹时, 肝糖原分解增加, 血糖浓度上升; 长期饥饿或不能进食时, 糖异生作用增加, 维持血糖浓度恒定。

(2) 激素对血糖的调节: 调节血糖的激素有两大类, 如表 2-1 所示。一类是降低血糖的激素及胰岛素; 另一类是升高血糖的激素, 包括胰高血糖素、肾上腺素、糖皮质激素等。

表 2-1 激素对血糖水平的调节

降低血糖的激素		升高血糖的激素	
胰岛素	1. 促进葡萄糖进入肌肉脂肪等组织细胞	肾上腺素	1. 促进肝糖原分解
	2. 加速葡萄糖在肝肌肉组织合成糖原, 促进糖的有氧氧化		2. 促进肌糖原酵解
	3. 促进糖的有氧氧化		3. 促进糖异生
	4. 促进糖转变为脂肪	胰高血糖素	1. 抑制肝糖原合成
	5. 抑制糖异生		2. 促进糖异生
	6. 抑制肝糖原分解		1. 促进糖异生
		糖皮质激素	2. 促进肝外组织蛋白分解生成氨基酸

课程思政

知其然, 而知其所以然, 意思就是知道它是这样, 更知道它为什么这样, 既要知道事物的表象, 又要看到本质和产生的原因。医学学习的过程就是这样, 如血糖为什么相对稳定, 靠谁调节, 以这样的学习态度能让我们不断进步。



3. 临床常见糖代谢障碍

(1) 高血糖：临床上空腹血糖浓度高于 $6.9 \sim 7.8 \text{ mmol/L}$ 时称为高血糖。若血糖浓度高于 $8.9 \sim 10 \text{ mmol/L}$ ，超过肾糖阈，可出现糖尿。引起高血糖的原因有两方面：一方面是生理性高血糖，如一次性进食或静脉输注大量葡萄糖时，血糖浓度急剧增加，引起饮食性高血糖；情绪激动时，肾上腺素分泌增加，血糖浓度升高，可出现情绪性高血糖。另一方面是病理性高血糖，即由于糖尿病、甲亢、颅外伤、脱水或服用某些药物等引起的高血糖。

(2) 低血糖：空腹血糖浓度低于 3.0 mmol/L ，称为低血糖。引起低血糖的常见原因有：长期饥饿或不能进食，糖来源不足；胰岛 β 细胞增生（胰腺肿瘤）时，胰岛素分泌过多；严重肝病，肝不能及时有效调节血糖浓度；内分泌异常（如垂体功能或肾上腺功能低下）时，升糖激素分泌减少；空腹饮酒。

低血糖会影响脑的正常功能。低血糖时，脑细胞的能量供应障碍，患者常表现出头晕、心悸、出冷汗、手颤、倦怠无力等症状。当血糖浓度低于 2.2 mmol/L 时，还可能出现昏迷，发生低血糖性休克，甚至导致死亡。

二、脂类代谢

脂类是脂肪和类脂的总称，是一大类不溶于水而易溶于有机溶剂的化合物。其中，脂肪主要是指甘油三酯，类脂则包括磷脂、胆固醇及胆固醇酯等。

（一）人体内脂类概况

(1) 脂类的消化：膳食中的脂类主要为脂肪，少量的磷脂、胆固醇等。脂类不溶于水，必须在小肠胆汁酸盐的作用下乳化并分散成细小的微团后，才能被消化酶消化。十二指肠，小肠上段是脂类消化的主要场所。胆汁酸盐是较强的乳化剂，能降低油和水之间的表面张力，使脂肪及胆固醇等疏水脂质乳化成细小微团，增加消化酶对脂质的接触面积，有利于脂类的消化及吸收。胰液中的消化酶有胰脂酶、磷脂酶 A₂、胆固醇酯酶和辅脂酶等。在这些酶的作用下，甘油三酯、磷脂和胆固醇被分解为能被吸收的脂肪酸、游离脂肪酸和游离胆固醇等。

(2) 脂类的吸收：脂类的吸收主要在十二指肠下段和空肠上段。大部分甘油三酯水解至甘油一酯后即被吸收，极少量直接吸收，在肠黏膜细胞内酯酶的作用下，水解为脂肪酸和甘油通过门静脉入血。中、短链脂肪酸（ $< C_{12}$ ）吸收迅速，通过门静脉入血。长链脂肪酸（ $C_{12} \sim C_{26}$ ）在肠黏膜细胞内再合成甘油三酯，与载脂蛋白、胆固醇等结合成乳糜颗粒经淋巴入血，最后输送到全身各处被利用。

（二）血脂与血浆脂蛋白

1. 血脂 血浆中的脂类统称为血脂，包括甘油三酯、磷脂、胆固醇以及游离脂肪酸等。

血脂按其来源分为外源性和内源性两种，外源性的是由食物中的脂类经消化吸收进入血液的脂，内源性的是肝、脂肪等组织合成或脂库中动员释放入血的脂。血液中的脂类随血液运至全身各组织被利用。血脂的去路有氧化供能，还包括脂库储存、构成生物



膜以及转变为其他物质。

血脂含量仅占全身总脂的极少部分，受营养、年龄、职业和机体代谢的影响，变动范围较大。空腹时血脂相对稳定，临床检测血脂含量在进餐后 12 h 取血，才能反映可靠的血脂水平。由于血脂经血液循环转运全身各组织之间，故其含量往往可以反映组织器官的代谢和机能情况，有利于临床高脂血症、动脉粥样硬化和冠心病等疾病的辅助诊断。正常成人空腹血脂的主要成分和含量，见表 2-2。

表 2-2 正常成人空腹血脂的主要成分和含量

组成	血浆含量		空腹时主要来源
	mg/dl	mmol/L	
总脂	400 ~ 700	6.7 ~ 12.2	
甘油三酯	10 ~ 160	0.11 ~ 1.69	肝
总胆固醇	100 ~ 250	2.59 ~ 6.47	肝
胆固醇酯	70 ~ 200	1.81 ~ 5.17	
游离胆固醇	40 ~ 70	1.03 ~ 1.81	
总磷脂	150 ~ 250	48.44 ~ 80.73	肝
卵磷脂	50 ~ 200	16.1 ~ 64.6	肝
神经磷脂	50 ~ 130	16.1 ~ 42.0	肝
脑磷脂	15 ~ 35	4.8 ~ 13.0	肝
游离脂肪酸	5 ~ 20	0.5 ~ 0.7	脂肪组织

2. 血浆脂蛋白 血液中脂类物质不溶于水或微溶于水，除游离脂肪酸与清蛋白结合外，其余都与载脂蛋白结合形成脂蛋白。血浆脂蛋白具有亲水性，是血浆脂类的主要存在形式与运输和代谢形式。

(1) 血浆脂蛋白的分类：在血浆中，有多种脂蛋白，由于每种脂蛋白的结构和密度差异，可以用不同的方法将它们分离。常用的方法有电泳分离法和超速离心法。

1) 电泳分离法：由于各种脂蛋白组成中的载脂蛋白不同，所带电荷不同，在同一电场中具有不同的迁移率，按其电泳迁移快慢，可将脂蛋白分成四条区带，及 α -脂蛋白、前 β -脂蛋白、 β -脂蛋白和乳糜颗粒 (CM)。

2) 超速离心法：将血浆在一定的盐溶液中进行超速离心分层，按照密度从小到大将脂蛋白分为四类，乳糜颗粒 (CM)、极低密度脂蛋白 (VLDL)、低密度脂蛋白 (LDL) 及高密度脂蛋白 (HDL)。

(2) 血浆脂蛋白的功能：血浆脂蛋白的主要功能是转运脂类。由于各种脂蛋白的合成部位、运载脂类的比例及其在血液中的代谢不同，各种脂蛋白所表现的生理功能不同。

1) 乳糜蛋白：CM 是由小肠黏膜细胞利用食物中消化吸收的脂类合成的脂蛋白。经淋巴管进入血液，含甘油三酯 80% ~ 95%，故为外源性甘油三酯及胆固醇的主要运输形式。正常人 CM 在血浆中代谢迅速，半衰期为 5 ~ 15 min，一般情况下，空腹 12 ~ 14h 后血浆中不含 CM。由于乳糜颗粒较大，能使光散射，故摄入大量脂肪后因血中 CM 增多，使血浆呈乳浊样外观，但这是暂时的，数小时便会澄清，这种现象称为脂肪的廓清。

2) 极低密度脂蛋白：VLDL 主要由肝细胞合成，含甘油三酯 50% ~ 70%，肝细胞主要利用葡萄糖为原料合成甘油三酯，也可利用食物及脂肪组织动员的脂肪和甘油合成甘油三酯，加上载脂蛋白及磷脂、胆固醇等形成 VLDL。VLDL 是转运内源性甘油三酯



的主要形式。正常人空腹血浆中含量较低。

3) 低密度脂蛋白: LDL 是在血浆中由 VLDL 转变来的。正常人空腹血浆中的主要脂蛋白, 约占血浆脂蛋白含量的 2/3。LDL 含有丰富的胆固醇及胆固醇酯, 主要功能是从肝运输胆固醇到全身各组织。血浆 LDL 增高的人, 易诱发动脉粥样硬化。

4) 高密度脂蛋白: HDL 主要由肝合成, 小肠黏膜上皮细胞也可以合成。正常人空腹血浆中 HDL 含量约占脂蛋白含量的 1/3。HDL 的主要功能是将肝外组织的胆固醇转运到肝内进行代谢, 这种过程称为胆固醇的逆向转运。机体将肝外组织的胆固醇转运至肝内代谢并清除, 从而防止胆固醇积聚在动脉管壁和其他组织中, 故血浆中 HDL 浓度与动脉粥样硬化的发生率呈负相关。

(三) 脂类代谢与健康

1. 高脂血症 高脂血症指血浆中甘油三酯或胆固醇浓度异常升高。由于血脂在血中以脂蛋白形式运输, 高脂血症就是高脂蛋白血症。临床上的高脂血症主要指血浆胆固醇及甘油三酯的含量升高超过正常范围的上限, 称为高胆固醇血症或高甘油三酯血症。空腹 12 ~ 14 h, 血浆甘油三酯超过 2.26 mmol/L, 胆固醇超过 6.21 mmol/L, 儿童胆固醇超过 4.14 mmol/L 作为高脂血症的诊断标准。

2. 动脉粥样硬化 动脉粥样硬化主要是由于血浆中胆固醇含量过多, 沉积于大、中动脉内膜上, 形成粥样斑块, 导致管腔狭窄甚至阻塞, 从而影响了受累器官的血液供应。如冠状动脉粥样硬化, 会引起心肌缺血, 甚至心肌梗死, 称为冠状动脉粥样硬化性心脏病, 简称冠心病。研究表明, 粥样斑块中的胆固醇来自血浆低密度脂蛋白 (LDL)。极低密度脂蛋白 (VLDL) 是 LDL 的前体, 因此, 血浆 LDL 和 VLDL 增高的患者, 冠心病的发病率显著升高。高密度脂蛋白 (HDL) 具有抗动脉粥样硬化的作用, 与冠心病的发病率是负相关。因为 HDL 参与胆固醇的逆向转运, 能清除外周组织的胆固醇、降低动脉壁胆固醇含量又能抑制 LDL 氧化作用, 保护内膜不受 LDL 破坏。降低 LDL 和 VLDL 水平和提高 HDL 的水平是防治动脉粥样硬化、冠心病的基本原则。

酮体的生成和意义

【知识链接】

肝细胞中的脂肪酸除氧化产生 ATP 供能外, 还可生成酮体。酮体包括乙酰乙酸、 β -羟丁酸和丙酮。酮体分子小, 极性大, 易溶于水, 能通过血脑屏障及肌肉的毛细血管壁, 是脑、心肌和骨骼肌等组织的重要能源。长期饥饿或糖供给不足的情况下, 酮体利用的增加可减少糖的利用, 有利于维持血糖浓度恒定, 节省蛋白质消耗。严重饥饿或糖尿病时, 酮体可替代葡萄糖成为脑的主要能源。当饥饿、低糖高脂膳食及糖尿病时, 肝中酮体生成增加, 酮体生成超过肝外组织利用能力时, 可使血中酮体升高, 称为酮血症, 如果尿中出现酮体称为酮尿症。因为 β -羟丁酸和乙酰乙酸都是强酸, 当血中浓度高时, 可导致酮症酸中毒。



三、蛋白质代谢

(一) 人体内蛋白质概况

蛋白质具有高度的种属特异性，食物蛋白质需消化成小分子氨基酸及少量短肽，方可被吸收入体内，否则会产生过敏反应。未被消化吸收的部分则受肠道细菌作用，发生腐败，大多随粪便排出体外。

(1) 蛋白质的消化：蛋白质的消化部位是胃和小肠，受多种酶催化水解成氨基酸和少量短肽，然后再被吸收。消化液中的蛋白酶可按水解肽键的位置不同分为内肽酶和外肽酶两类。内肽酶种类多，它从多肽链内部水解肽键，如胃蛋白酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶、弹性蛋白酶；外肽酶包括氨基肽酶、羧基肽酶，它从肽链的 N 或 C 末端开始水解肽键。

(2) 氨基酸的吸收：蛋白质消化的终产物为氨基酸和小肽（二肽或三肽），可被小肠黏膜吸收。小肽吸收进入小肠黏膜细胞后，即被胞液中的二肽酶或三肽酶水解成游离氨基酸，然后进入血循环，其吸收方式主要有需要载体耗能的主动转运吸收和 γ -谷氨酰基循环吸收。



考点提示

氨基酸是构成蛋白质分子的基本单位。

(二) 氨基酸的一般代谢

1. 氨基酸代谢概况 食物蛋白质经消化吸收后生成的氨基酸，组织中蛋白质分解产生的氨基酸以及机体合成的非必需氨基酸混为一体，在各种体液中参与代谢，共同构成氨基酸代谢库。体内氨基酸的主要功能是合成蛋白质或转变成其衍生物，正常人尿中排出的氨基酸极少。正常情况下，体内氨基酸的来源和去路处于动态平衡中（图 2-8）。

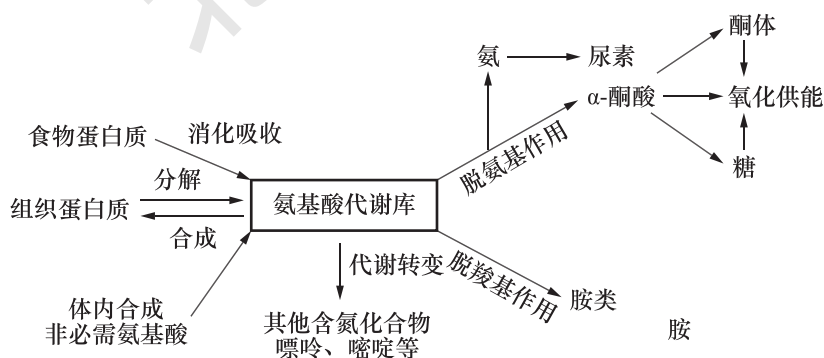


图 2-8 氨基酸的来源和去路

2. 氨基酸的脱氨基作用 氨基酸分解代谢的最主要方式是脱氨基作用，即在酶的催化作用下脱去氨基生成 α -酮酸的过程。这种作用在体内大多数组织中都可以进行，包括氧化脱氨基作用、转氨基作用、联合脱氨基作用和非氧化脱氨基作用等，以联合脱氨基最为重要。



(1) 氧化脱氨基作用：是指在酶的催化下氨基酸脱去氨基同时伴随脱氢氧化化的过程。

(2) 转氨基作用：是指 α -氨基酸的氨基在氨基转移酶（转氨酶）的催化下，转移至 α -酮酸的酮基上，生成相应的 α -氨基酸；原来的 α -氨基酸则转变成相应的 α -酮酸。体内的转氨酶种类很多，分布广，特异性强，其中以丙氨酸氨基转移酶（ALT）；天冬氨酸氨基转移酶（AST）最为重要。前者在肝细胞中含量最高，后者在心肌细胞含量较高。正常情况下，血清中转氨酶含量很低，当某种原因使细胞膜通透性增高，或因组织坏死，细胞破裂后，可有大量的转氨酶释放入血，导致血中转氨酶活性升高。如急性肝炎患者血清中 ALT 活性显著升高。心肌梗死患者血清中 AST 明显上升。因此，临床上测定血清中 ALT 或 AST 活性可作为疾病诊断和预后判断的参考指标之一。

(3) 联合脱氨基作用：是指转氨基作用与氧化脱氨基作用相耦联，使氨基酸的 α -氨基脱去并产生游离氨的过程。其逆过程是合成非必需氨基酸的主要途径。

(4) 非氧化脱氨基作用：一般是嘌呤核苷酸循环在骨骼肌和心肌等组织中，由于 L-谷氨酸脱氢酶活性较低，因而氨基酸难以进行以上几种脱氨基作用，而是通过嘌呤核苷酸循环脱去氨基。嘌呤核苷酸循环把氨基酸代谢和核苷酸代谢联系起来。

3. 氨的代谢 体内氨基酸分解代谢产生的氨以及由肠道吸收的氨进入血液形成血氨，氨是机体正常代谢的产物。氨具有毒性，脑组织对氨的作用特别敏感。体内的氨主要在肝脏合成尿素，随尿排出，进行解毒（图 2-9）。因此，除门静脉血液外，体内血液中氨的浓度很低。

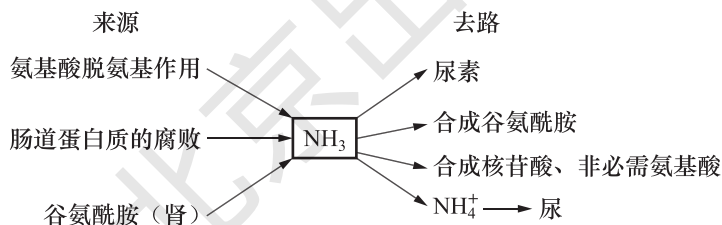


图 2-9 血氨的来源和去路

(1) 体内氨的来源：

1) 氨基酸脱氨基作用：是体内氨的主要来源。

2) 肠道吸收：肠道吸收氨有两个来源，即未消化的食物蛋白受肠道菌群作用（腐败作用）产生的氨和血尿素经肠道细菌尿素酶的水解产生氨。肠道产氨量较大，每日约 4g。第二个来源，碱性环境下， NH_4^+ 偏向于转变成 NH_3 ， NH_3 比 NH_4^+ 易于穿过细胞膜而被吸收，因此，肠道 pH 偏碱时，氨的吸收加强，所以临床上对高血氨的患者是禁用碱性水灌肠的。

3) 肾产生的氨：肾小管上皮细胞分泌的氨主要来自谷氨酰胺。谷氨酰胺在氨酰胺酶催化下水解生成谷氨酸和 NH_3 ，这部分氨分泌到肾小管腔中主要与尿中的 H^+ 结合成 NH_4^+ ，以铵盐的形式由尿排出体外，这对调节机体的酸碱平衡有很重要的作用。

(2) 体内氨的转运：氨在体内需要以无毒的形式运输。主要运输形式是谷氨酰胺和丙氨酸。



1) 谷氨酰胺转运氨: 谷氨酰胺是一种氨的无毒运输形式, 主要从脑、肌肉等组织向肝或肾运氨。氨和谷氨酸在谷氨酰胺合成酶的催化下生成谷氨酰胺, 并由血运输至肝或肾, 再经谷氨酰胺酶催化水解成谷氨酸和氨。

2) 丙氨酸-葡萄糖循环: 肌肉中氨基酸经转氨基作用将氨基转给丙酮酸生成丙氨酸, 丙氨酸经血液运输至肝。在肝内, 丙氨酸通过联合脱氨基作用, 释放出氨, 用于合成尿素。转氨基后生成的丙酮酸可经糖异生途径生成葡萄糖。葡萄糖随血液运输到肌肉组织, 沿糖分解代谢途径转变为丙酮酸, 后者再接受氨基而生成丙氨酸。丙氨酸和葡萄糖反复地在肌肉和肝脏之间进行氨的转运, 所以叫作丙氨酸-葡萄糖循环。

(3) 体内氨的去路:

1) 正常情况下, 体内氨的主要去路是在肝内合成无毒的尿素, 由肾排出。研究表明, 如将狗的肝切除, 则血及尿中尿毒含量降低, 而血氨浓度升高, 最终导致氨中毒。临床上急性重型肝炎患者的血及尿中几乎不含尿素而氨基酸含量升高。可见肝是合成尿素的主要器官, 肾与脑合成甚微。

2) 合成谷氨酰胺: 在脑、肌肉等组织内, 有毒的氨与谷氨酸合成的谷氨酰胺。所以谷氨酰胺的生成不仅参与蛋白质的生物合成, 而且也是体内储氨、运氨及解除氨毒的重要方式。

3) 其他代谢途径: 氨可使 α -酮戊二酸基化生成谷氨酸, 再与其他 α -酮酸经转氨基作用的逆过程, 合成非必需氨基酸。氨还提供氮源参与嘌呤、嘧啶碱等含氮化合物的合成。

肝性脑病

【知识链接】

正常情况下, 血氨的来源与去路保持动态平衡, 血氨浓度处于较低水平。肝是合成尿素解氨毒的重要器官, 当肝功能严重受损, 尿素合成受阻, 血氨浓度升高, 导致高氨血症。氨进入脑组织与 α -酮戊二酸结合, 生成谷氨酸及谷氨酰胺以解氨的毒性。氨使大脑中 α -酮戊二酸减少而导致三羧酸循环减慢, ATP 生成减少, 致使大脑供能不足, 引起大脑功能障碍, 严重时发生昏迷, 称为肝昏迷或肝性脑病。临床上限制蛋白质摄入、降低血氨浓度、防止氨进入脑组织是治疗高氨血症和肝性脑病的关键, 可采用口服酸性利尿药、酸性盐水灌肠、静脉滴注或口服谷氨酸盐和精氨酸等降血氨。

4. α -酮酸的代谢 多种氨基酸通过脱氨基作用, 除产生氨外, 还相应生成 α -酮酸, 它的代谢途径主要有以下几方面。

(1) 合成非必需氨基酸: α -酮酸经转氨基作用或联合脱氨基作用的逆反应合成相应的非必需氨基酸。

(2) 转变成糖或脂肪: 体内多数氨基酸脱去氨基后生成的 α -酮酸经糖异生途径转变为糖, 这些氨基酸称为生糖氨基酸。赖氨酸、亮氨酸可转变为酮体, 称为生酮氨基酸,



生酮氨基酸经脂肪酸合成途径可转变为脂肪酸。

(3) 氧化供能： α -酮酸在体内可经三羧酸循环彻底氧化生成 H_2O 和 CO_2 ，同时释放能量供机体需要。

课程思政

我们看到了人体内的糖、脂类、蛋白质可以相互联系和转化，事物之间既相互关联又是转化的关系，这也提醒我们在人生中面对任何困难和挫折都要坚持下去，坚持就有希望，黑暗过后就是光明。

(三) 氨基酸、糖、脂类代谢的联系 (图 2-10)

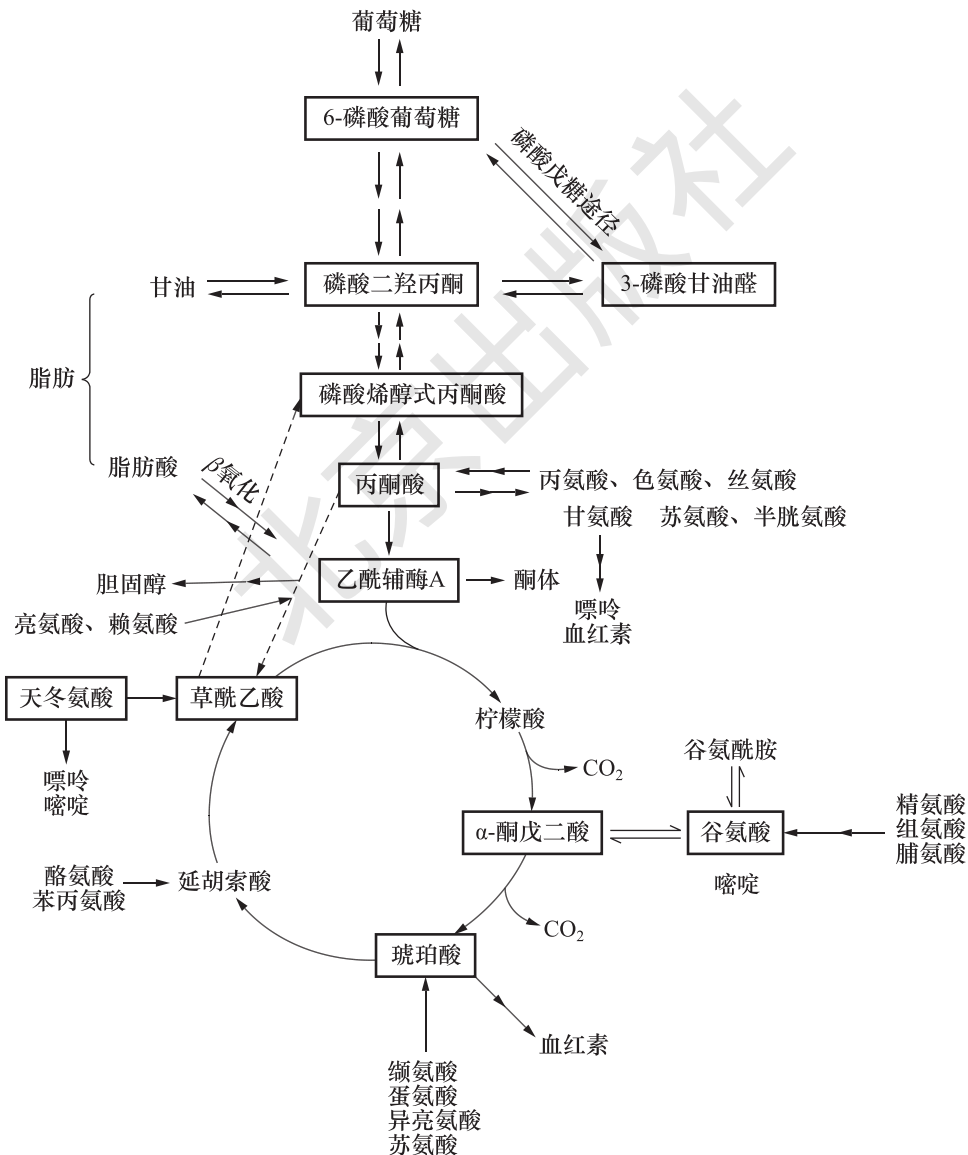


图 2-10 氨基酸、糖、脂类代谢的联系



四、核苷酸代谢

核苷酸是核酸的基本结构单位，其最主要的功能是作为原料参与核酸（DNA、RNA）的生物合成。人体内的核苷酸主要由机体自身细胞合成，但核苷酸不属于营养必需物质。

（一）人体内的核苷酸概况

1. 核苷酸的生物学功能

- (1) 三磷酸核苷酸是核酸生物合成的原料，这是核苷酸的主要功能。
- (2) 三磷酸核苷酸在能量代谢方面也起着重要的作用，体内能量的储存和利用是以ATP为中心的。
- (3) 环化核苷酸是多种细胞膜受体激素作用的第二信使，对许多基本的生物学过程有调节作用。
- (4) 辅酶类核苷酸是构成结合酶的辅助因子成分，在生物氧化和物质代谢中起着重要作用。

2. 核苷酸的消化吸收 食物中核酸多以核蛋白的形式存在，在胃酸的作用下，分解成核酸和蛋白质。核酸的消化是在小肠中进行的。首先由胰液中的核酸酶催化核酸水解成单核苷酸，然后肠道中的核苷酸酶催化单核苷酸水解成核苷和磷酸。核苷经核苷磷酸化酶催化分解成碱基和戊糖，可以在小肠上段吸收。分解的戊糖被吸收而参加体内的戊糖代谢，嘌呤与嘧啶碱则主要排出体外，即食物来源的含氮碱很少被机体利用。

（二）核苷酸的合成代谢

体内核苷酸的合成代谢有两种形式：一种叫作从头合成途径，是细胞利用5-磷酸-核糖、氨基酸、一碳单位和 CO_2 等简单物质，经过一系列酶促反应，合成核苷酸的过程；另一种叫作补救合成途径，是指细胞利用体内现成的碱基，经过比较简单的反应过程，合成核苷酸的过程。一般情况下，机体大多数组织运用从头合成途径合成核苷酸，而脑、骨髓等少数组织缺乏从头合成途径的酶，只能进行补救合成。

自毁容貌症

【知识链接】
◆
⋮

临床上由于先天基因缺陷嘌呤核苷酸补救合成的一个重要催化酶，次黄嘌呤-鸟嘌呤磷酸核糖转移酶，HGPRT，引起的一种遗传代谢性疾病，叫作Lesh-Nyhan综合征，又叫自毁容貌症。因缺乏HGPRT，使大脑核苷酸和核酸合成障碍，影响脑细胞生长发育引起的遗传代谢性疾病。该病患者以男婴为主，2岁前发病，患儿表现为智力发育障碍、迟钝、共济失调，表现出咬自己的口唇、手指及足趾等强制性的自残行为，甚至自毁容貌，很少能存活长大。



（三）核苷酸的分解代谢

1. 嘌呤核苷酸的分解代谢 嘌呤核苷酸的分解代谢主要是在肝、小肠及肾中进行的，过程与食物中核苷酸的消化过程类似。细胞中的嘌呤核苷酸在核苷酸酶的催化下水解成嘌呤核苷酸，然后经核苷磷酸化酶催化，生成嘌呤碱及 1-磷酸-核糖，后者在磷酸核糖变位酶的作用下转变成 5-磷酸-核糖进一步参与代谢。嘌呤碱即可参加补救合成途径，也可进一步分解，氧化成黄嘌呤，最终生成尿酸，随尿液排出体外。

正常人血清中尿酸含量为 0.12 ~ 0.36 mmol/L，其水溶性较差。当尿酸含量超过 0.47 mmol/L 时，容易形成结晶，沉积在关节、软组织、软骨及肾等处，引起关节炎、结石及肾功能障碍，称为痛风。目前发病原因尚不完全清楚，可能与嘌呤核苷酸代谢酶（PRPP 合成酶或 HGPRT）缺陷有关。临床上常用黄嘌呤氧化酶的竞争性抑制剂别嘌呤醇治疗痛风症。另外，摄入富含嘌呤的食物和某些疾病（如白血病、恶性肿瘤等），嘌呤分解旺盛，都可以导致血尿酸升高。

2. 嘧啶核苷酸的分解代谢 嘧啶核苷酸的分解代谢主要在肝中进行，首先通过核苷酸酶和核苷磷酸化酶的作用，脱去磷酸和核糖，产生嘧啶碱，再进一步分解。胞嘧啶脱氨转化为尿嘧啶，后者再还原成二氢尿嘧啶，并水解开环，最终生成 NH_3 、 CO_2 和 β -丙氨酸， β -丙氨酸可转变成乙酰 CoA，然后进入三磷酸循环被彻底氧化分解。胸腺嘧啶降解可生成 β -氨基异丁酸，后者可转变成琥珀酰 CoA，同样进入三羧酸循环被彻底氧化分解。 NH_3 和 CO_2 可合成尿素，排出体外。食入含 DNA 丰富的食物或经放疗、化疗的患者，尿中的 β -氨基异丁酸排出增多，因此其排泄量可反映细胞及其 DNA 破坏程度。

【案例分析】

糖尿病患者为什么会以上症状？

糖尿病是由于胰岛素分泌不足或作用障碍所引起的以“高血糖”为特征的代谢紊乱性疾病。患糖尿病时，血糖进入细胞出现障碍，组织细胞利用葡萄糖能力下降，糖原合成减少、分解增加，糖异生作用增强。这些原因导致出现持续性高血糖，进而引起脂类、蛋白质代谢紊乱，水、电解质代谢紊乱，表现为多饮、多食、多尿、体重减轻的“三多一少”症状。如不注意控制血糖，严重时可能诱发酮体生成过多的酮症酸中毒等其他并发症，进而危及生命。



■ 任务二 能量代谢与体温

案例导入

2021年,患儿,女,7岁,刚上小学,8小时前无明显诱因出现高热,体温高达39.3℃,偶尔咳嗽几声,呕吐4次,呕吐物为胃内容物,不伴有头痛、无寒战、无腹泻,自诉上腹、脐周疼痛,能忍受。体格检查肠鸣音稍亢进,上腹、脐周、右下腹轻压痛,无反跳痛,无其他阳性体征。血常规示:白细胞计数 $12.4 \times 10^9/L$ 。经B超等检查诊断为急性阑尾炎。

思 考

1. 该患者有无发热? 是什么程度的发热?
2. 是什么原因导致的发热?

一、能量代谢

能量代谢是指体内伴随物质代谢过程而发生的能量释放、转移、储存和利用的过程。能量代谢和物质代谢是密不可分的,外界物质以食物形式被人体摄入消化道,通过消化吸收过程进入血液,而后分布到各器官,在那里发生一系列的化学变化,包括合成代谢和分解代谢。合成代谢是指机体将摄入的营养物质合成自身结构成分及能量储备物质的过程;分解代谢是指体内物质和组织成分被分解氧化,并释放能量的过程。可以看出在物质的分解与合成过程中,同时伴随着能量的释放、利用和储备。

(一) 机体能量的来源和去路

机体需要的能量来源于食物。一般情况下主要由糖、脂肪和蛋白质提供,其中糖占70%以上。体内储能和直接供能的物质是三磷酸腺苷(ATP)。人体全部能量中约有50%以上的能量转变为热能,其余部分以化学能的形式储存于ATP中。在ATP分解时,再释放出能量,供人体合成代谢以及各种生理活动的需要(图2-11)。

糖摄入过多可转变为脂肪储存在脂肪组织中,脂肪是人体主要的能量储存形式,因此过多的脂肪储存会导致超重或肥胖。

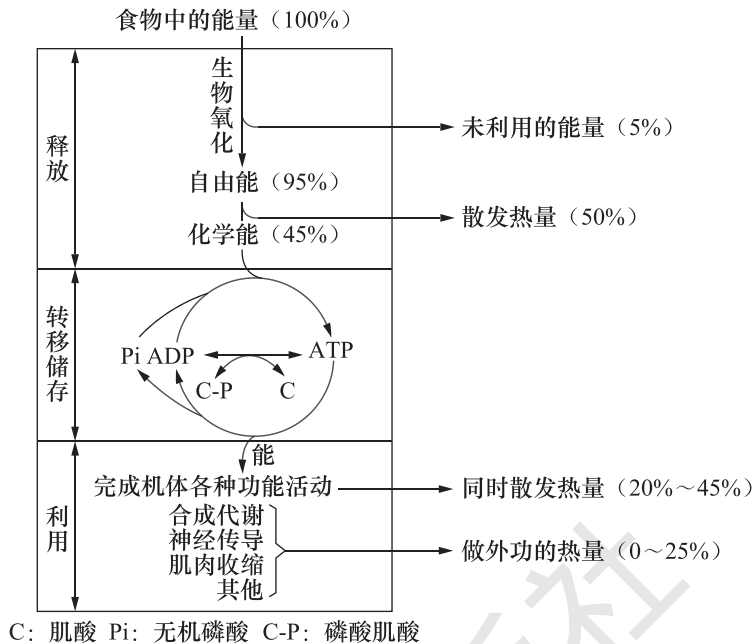


图 2-11 机体能量的来源和去路

考点提示

参与运动能量代谢的成分有血糖、肌糖原、肝糖原、游离脂肪酸。

(二) 影响能量代谢的因素

人的能量代谢受多方面因素的影响，当这些因素改变时，能量代谢也随之改变。因此，在测定能量代谢时，要充分考虑这些因素。

1. 肌肉活动 肌肉活动对能量代谢的影响最为显著，人体任何轻微的躯体活动，都可提高能量代谢率。运动或劳动时，人体的氧耗量显著增加，剧烈运动或极强劳动时的产热量比平静时增加 10~20 倍。

2. 精神活动 精神和情绪活动对能量代谢有显著影响。当人处于紧张状态下，如激动、发怒、恐惧及焦虑等，能量代谢率可显著增高。这与精神紧张引起的骨骼肌张力增高、交感神经兴奋以及儿茶酚胺释放刺激代谢活动有关。

3. 食物的特殊动力效应 进食之后人体即使处于安静状态，其产热量也要比进食前多。这种由食物消化吸收引起的人体额外产生热量的作用称为食物的特殊动力效应。蛋白质类食物的特殊动力效应量大，进食后可增加约 30% 的热量，于进食 1~2 h 即开始，2~3 h 到高峰，持续 7~8 h。糖和脂肪可增加产热量约 10%，糖类食物一般仅持续 2~3 h。食物的特殊动力效应可能是餐后肝脏加工处理营养物质所消耗的能量。

4. 环境温度 人处于安静状态下，在 20℃~30℃ 的环境中，能量代谢率最为稳定。当环境温度降低或升高时，代谢率均将增高。这是由于低温寒冷，机体发生寒战和肌肉紧张度增加，使代谢率提高。高温可使体内的生化反应速度加速和发汗功能旺盛、呼吸



循环功能增强，所以代谢率也提高。

（三）基础代谢

基础代谢是指人体处于基础状态下的能量代谢。单位时间内的基础代谢称为基础代谢率。基础状态指清晨空腹（禁食 12 h 以上，排除食物特殊动力作用）；清晨、静卧（排除肌肉活动）；精神安宁（排除精神紧张、焦虑和恐惧等心理）；室温保持在 $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ （排除环境温度影响）。

基础代谢率通常以 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 来表示。基础代谢率与年龄、性别都有关系。临床测定基础代谢常用相对值表示，相差 $\pm 10\% \sim 15\%$ 以内都属于正常。超过 $\pm 20\%$ 时，才有可能是病理情况。各种疾病中，甲状腺功能改变对基础代谢率的影响最为显著。如甲状腺功能减退时，基础代谢率比正常值低 $20\% \sim 40\%$ ；甲状腺功能亢进时，基础代谢率比正常值高 $25\% \sim 80\%$ 。所以基础代谢率的测定，是临床诊断甲状腺疾病的重要辅助方法。其他如肾上腺皮质及脑垂体功能低下时，基础代谢率也可能降低。发热时基础代谢率也升高，体温每升高 1°C ，基础代谢率一般要增加 13% 。

二、体温

医学上所说的体温是指人体深部的平均温度，即体核温度。体温的恒定是内环境恒定的重要内容，是机体新陈代谢和一切生命活动正常进行的必要条件。

（一）正常体温及生理变动

1. 正常体温 由于身体各部组织的代谢水平和散热条件不同，各部位温度存在一定差异。体表散热快，比深层温度低，且不稳定。深部温度尽管因各器官代谢水平不同而存在差异，由于血液循环，热量在人体内不停交换，各处温度差异小，一般不超过 0.5°C 。一般临床上使用直肠、口腔、腋下三个部位温度测量体温。正常成人安静状况下，直肠温度 $36.9^{\circ}\text{C} \sim 37.9^{\circ}\text{C}$ ，平均为 37.4°C ；口腔温度比直肠温度低 0.3°C ；腋下温度又比口腔温度低 0.4°C ，一般为 $36.0^{\circ}\text{C} \sim 37.4^{\circ}\text{C}$ ，可以超过 37°C ，临床上遇见腋下温度稍高于 37°C ，应持审慎态度。

【知识链接】

生命体征

临床上的生命体征指体温、脉搏、呼吸和血压。生命体征受大脑皮质的控制，正常状况下维持一定的范围，相互之间有一定联系。机体患病时，生命体征会发生不同程度的变化，护士通过监测生命体征了解疾病的发展和转归，为预防、诊断、治疗、护理提供依据。

2. 体温的生理变动 体温受许多因素影响，但一般在一定范围内，波幅不超过 $0.5^{\circ}\text{C} \sim 1^{\circ}\text{C}$ 。



(1) 昼夜波动：生理情况下，体温的一昼夜间呈周期性波动，凌晨 2 ~ 6 时体温较低，午后 13:00 ~ 18:00 时较高，一般正常波动范围不超过 1℃。

(2) 性别差异：初潮以后的女性基础体温略高于同龄的男性（女性平均比男性体温高 0.3℃），并随着月经周期发生规律性变化，排卵期后体温升高，月经来潮体温下降 0.2℃ ~ 0.3℃。

(3) 年龄：婴幼儿因体温调节功能不完善，其体温易受环境温度的影响而随之波动，儿童由于新陈代谢旺盛，体温略高于成年人，老年人又由于新陈代谢率低，体温略低于成年人。

(4) 其他：肌肉活动、环境温度、情绪激动、精神紧张和进食等都会对体温产生影响，在测量体温时应加以注意。麻醉药物能降低体温，故麻醉手术时应注意患者体温变化。

（二）人体的产热与散热

1. 产热过程

(1) 产热器官：人体热量来自体内各组织器官所进行的氧化分解。机体安静时，主要来自脑和内脏产热，肝脏产热量最大。机体处于运动或劳动时，骨骼肌是主要的产热器官。

(2) 产热形式：

1) 战栗产热：人体在寒冷环境中发生战栗，骨骼肌发生不随意节律性收缩，可最大限度增加产热量，使代谢率提高 4 ~ 5 倍。

2) 非战栗产热：甲状腺激素和肾上腺素，都可以直接作用于细胞，增加产热。

2. 散热过程 人体的主要散热部位是皮肤。当环境温度低于体表温度时，大部分的体热通过皮肤辐射、传导和对流等方式向外界发散，一小部分随呼吸、尿、粪便等排泄物散发。当环境温度高于体表温度时，蒸发成为体表散热的唯一方式。

(1) 人体的几种散热方式：

1) 辐射：指人体以热红外线的形式将体热传导给外界的一种散热方式。辐射散热量与皮肤和环境温度差及人体有效辐射面积成正比关系。人在气候适宜及安静状况下，这种方式散热约占总散热量的 60%。

2) 传导：指人体将热量直接传递给同它接触物体的一种散热方式。散热量的多少取决于机体与物体接触面积和温度差，还与物体的导热性能有关。冰作为良导热体，临床上根据传导散热的原理，常用冰袋、冰帽给高热患者降温。

3) 对流：指通过气体或液体流动来交换热量的一种方式。对流散热受风速影响很大，衣着尤其是棉毛织物覆盖皮肤表面时，可有效减弱传导散热利于保暖。

4) 蒸发：指利用水分从体表汽化时吸收体热的一种散热方式。体表每蒸发 1 g 水，可吸收并发散体热 2.43 kJ。人体蒸发的形式分成不显汗和显汗两种。不显汗指水分直接透出皮肤和黏膜表面，在未形成明显水滴之前被蒸发的一种形式。它在身体表面上弥漫地持续性进行，即使在寒冷季节也依然存在。不显汗与汗腺活动无直接关系，受体温和



环境温度直接影响。显汗是通过汗腺分泌，在皮肤表面出现明显汗滴而蒸发的方式，主要意义是散热。

(2) 皮肤散热的机制：

1) 出汗：即汗腺分泌汗液的活动。人在安静状态下，环境温度在 30℃ 左右时开始出汗。劳动或运动时，气温虽在 20℃ 以下，亦可出汗，这类出汗又称为温热型出汗，其生理意义是散热。温热型出汗多少受环境温度、劳动强度、空气湿度、风速、汗腺数目及机体功能状态的影响。

2) 皮肤血流量改变：皮肤血管受交感肾上腺素能神经支配。当机体处于炎热环境时，交感肾上腺素能神经抑制，皮肤小动脉舒张，动-静脉吻合支开放，使皮肤血流量增加，皮肤温度升高，散热增加；反之，散热减少。

课程思政

人体内的物质和能量代谢与周围环境共同维持能量守恒定律，作为当代大学生，要坚定以唯物主义思想、科学的世界观和发展观看问题，用科学的理论知识武装自己，成长为合格人才。

(三) 体温的调节

人体体温的相对恒定，有赖于自主性和行为性两种体温调节功能的活动。自主性体温调节是在下丘脑体温调节中枢的调控下，随机体内外环境温热性刺激信息的变动，通过增减皮肤血流量、发汗、寒战等生理反应，调节机体的产热和散热，使体温保持恒定。行为性调节是指机体通过一定的行为来保持体温的相对恒定。

1. 温度感受器

(1) 外周温度感受器：存在于皮肤、黏膜、腹腔等处，包括热觉感受器和冷觉感受器。其传入冲动到达中枢后，既能产生温度感觉，还能引起体温调节反应。

(2) 中枢性温度感受器：在下丘脑、脑干网状结构和脊髓等部位存在着温度敏感神经元。

2. 体温调节中枢 体温调节中枢在下丘脑的视前区，能感受它局部组织温度变化的刺激，也能对其他途径传入的温度变化信息做整合处理。当中枢体温偏离正常，热敏神经元活动增强，使体温重新恢复正常。此外，体温调节中枢对温度感受有一定阈值，叫作体温调定点，若体温偏离体温调定点，体温调节中枢就会自主性调节体温，维持体温恒定。

3. 人体对高温、寒冷环境的反应和习服

(1) 人体对高温环境的反应：除盛夏酷暑气温增高外，高温还是工农业生产和军事作业中经常遇到的问题。人在高温条件下劳动，受到高温和热辐射的影响，产热量增加，此时蒸发成为机体散热的唯一方式。在高气温、高湿度、低风速的时候更是如此。在大量出汗时，可使机体损失水分和氯化钠，导致人体脱水和电解质紊乱，严重者可出现酸中毒。所以在高温条件下工作的人员要注意及时补充水分和氯化钠，高温作业还可产生



心率加速、血压升高、消化酶分泌量减少、胃肠运动减少、尿液浓缩、中枢神经系统功能抑制等生理反应。如果人体长时间产热和受热总量大于散热量，将会发生体温调节紊乱导致体温过高，甚至出现热痉挛，应注意采取合适的降温措施。

(2) 人体对寒冷环境的反应：人体在寒冷和低温环境中时间过长或人体产热量减少，导致体温过低，出现基础代谢率降低、耗氧量减少，神经系统处于抑制状态，产生感觉减退、反应迟钝、嗜睡及意识障碍等自身防卫反应。在低温状态下，代谢率降低、耗氧量减少，体内重要器官如脑和心脏，对缺氧耐受性增强，耐受血流阻断时间是正常体温的6~10倍，这就给这些器官在阻断血流的情况下进行手术带来了可能性，这就是低温麻醉的生理学基础。

(3) 习服：习服，就是“服水土”，指机体为能适应新环境（如高温、低氧、失重、高压等）生存而产生的一系列适应性改变。如人体长期在高温或低温的环境中居住、生活或工作，机体会对相应的环境温度逐渐适应而维持正常的健康状态，这种现象就称为对高温或低温的习服。习服是因为人体对高温和寒冷的耐受力提高的缘故。但是习服是有限度的，环境温度超出一定范围，对高温或低温也不能耐受。人体对环境温度的耐受范围与环境湿度有关，湿度越大，耐受范围越小。在干燥环境中，健康人裸体长时间耐受的环境温度在15.1℃~54.5℃之间，超出这个范围，体温将随环境温度的改变而变化。

【案例分析】

1. 该患者有无发热？是什么程度的发热？

该患者体温39.3℃，远高于正常体温的36.0℃~37.4℃，属于发热，并且在发热程度中属于高热范畴（39.1℃~41.0℃）。

2. 是什么原因导致的发热？

人体不断进行着物质代谢，在致热源的作用下机体体温调定点会升高，导致发热过程。本案例中的患儿因急性阑尾炎的炎症作为致热源的刺激，产热多于散热，体温升高。又因为高热刺激胃的反射性呕吐，因此本文患儿发热征象显著。

学习检测

1. 血糖浓度为什么能保持动态平衡？
2. 酮体代谢有何生理意义？严重糖尿病患者为什么会产生酮血症和酸中毒？
3. 根据机体散热原理，对高热患者可采取哪些措施降温？