



NUTRITION AND DISEASES

营养与疾病

主 编 / 曾 果



四川大学出版社



NUTRITION AND DISEASES

营养与疾病

主 编 / 曾 果

副主编 / 李 鸣 沈秀华 胡 雯

编 委 / (按音序排序)

陈锦瑶 (四川大学)

程改平 (四川大学)

何更生 (复旦大学)

何宇纳 (中国疾病预防控制中心)

胡 雯 (四川大学)

李 鸣 (四川大学)

饶志勇 (四川大学)

芮 溧 (昆明医科大学)

沈秀华 (上海交通大学)

孙晓红 (贵州医科大学)

汪之頔 (南京医科大学)

阴文娅 (四川大学)

曾 果 (四川大学)

张 琚 (四川省妇幼保健院)

张立实 (四川大学)

参 编 / 鲍妍宏 李 润 李媛媛 刘 丹 王 珏

吴 成 杨柳青 张慧娟 赵蓉萍 周凤 equal

编写秘书 / 李 鸣 李 润 杨柳青 张慧娟



四川大学出版社

责任编辑:许 奕
责任校对:张伊伊
封面设计:墨创文化
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

营养与疾病 / 曾果主编. —成都: 四川大学出版社, 2017. 10
ISBN 978-7-5690-1253-8

I. ①营… II. ①曾… III. ①营养—关系—疾病—研究—教材 IV. ①R151.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 258374 号

书名 营养与疾病

主 编 曾 果
出 版 四川大学出版社
地 址 成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行 四川大学出版社
书 号 ISBN 978-7-5690-1253-8
印 刷 郫县犀浦印刷厂
成品尺寸 185 mm×260 mm
印 张 34
字 数 831 千字
版 次 2017 年 12 月第 1 版
印 次 2017 年 12 月第 1 次印刷
定 价 79.00 元



版权所有◆侵权必究

◆ 读者邮购本书,请与本社发行科联系。
电话:(028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码:610065
◆ 本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。
◆ 网址:<http://www.scupress.net>

前 言

随着科学研究的不断深入,营养与人类疾病发生、发展及预后的密切关系逐步得到证实,膳食、食物及营养素在疾病防治和健康促进方面的积极作用日益受到重视。《营养与疾病》一书试图从疾病预防和治疗的角度出发,结合当前营养与疾病领域的研究进展和热点,讨论现代社会中个体和群体、普通人群和高危人群的重要营养问题,重点介绍与疾病营养防治相关的基本概念、原则、方法及其应用。本书主要介绍人体营养需求及标准、健康膳食及应用、营养状况评价、临床营养治疗方法、常见慢性病和营养不良的防治策略及措施等内容,以帮助读者深入理解营养与疾病的关系,培养平衡膳食、合理营养、预防疾病、促进健康的理念,掌握健康饮食指导和疾病营养治疗的实用技能,为今后从事医学科研和临床实践奠定基础。本书可作为营养与食品卫生学和医学健康相关专业研究生、本科生的基本教材,也可作为医疗、卫生及保健等方面的专业人员必备的实用参考书。

《营养与疾病》的参编者均是来自国内重点高等院校及临床一线的专家学者。他们从事营养与疾病领域的科研教学和临床工作多年,具有较高的学术造诣和丰富的实践经验,为保证本书内容的科学、严谨和实用奠定了坚实的基础。此外,本书的编写正值中国营养事业迅猛发展之时,有一系列重要的营养大事件发生,如中国营养学会发布《中国居民膳食指南(2016)》、国务院颁布《国民营养计划2017—2030》以及注册营养师制度正式开启等。因此,我们及时将最新内容纳入相关章节中,力求反映本学科发展的最新动态和趋势。

在本书即将出版之际,谨向所有参加本书编写的学者们表示衷心的感谢!还要特别感谢我的学生们在本书编写的过程中给予的无私奉献以及四川大学出版社给予的大力支持。由于时间和笔者水平所限,本书一定存在不少缺点和不足,敬请各位专家和广大读者给予批评指正,以便今后改进。

曾 果

2017年12月于成都

目 录

第一章 营养素的消化、吸收与代谢	(1)
第一节 营养素的消化与吸收	(1)
第二节 营养素的代谢	(10)
第三节 影响营养素消化、吸收与代谢的因素	(14)
第二章 能量及营养素	(17)
第一节 能 量	(17)
第二节 碳水化合物	(22)
第三节 脂 类	(29)
第四节 蛋白质	(32)
第五节 维生素	(36)
第六节 矿物质	(43)
第七节 其他营养素	(48)
第三章 食物	(54)
第一节 动物性食物的营养价值	(54)
第二节 植物性食物的营养价值	(60)
第三节 油脂类食物的营养价值	(65)
第四节 特殊食品	(66)
第五节 食品营养标签	(72)
第四章 营养标准与膳食指南	(86)
第一节 膳食营养素参考摄入量	(86)
第二节 膳食模式	(96)
第三节 膳食指南	(102)
第五章 特定人群营养	(134)
第一节 孕妇营养	(134)
第二节 乳母营养	(145)
第三节 婴幼儿营养	(151)
第四节 学龄前儿童营养	(159)
第五节 学龄儿童营养	(163)
第六节 老年人营养	(168)

第六章 食品安全	(179)
第一节 食品安全概述.....	(179)
第二节 食品污染.....	(180)
第三节 食源性疾病.....	(185)
第四节 食品安全监管及保障.....	(193)
第五节 食品保存、制作与营养保障.....	(199)
第七章 营养风险筛查与营养状况评价	(204)
第一节 营养风险筛查.....	(204)
第二节 营养状况评价.....	(207)
第八章 营养治疗方法	(231)
第一节 医院膳食.....	(232)
第二节 营养支持.....	(243)
第三节 特殊医学用途配方食品.....	(263)
第四节 营养教育与营养咨询.....	(269)
第五节 药物与营养素相互作用.....	(278)
第九章 体重管理与肥胖	(291)
第一节 超重与肥胖.....	(291)
第二节 体重管理.....	(305)
第三节 身体活动.....	(308)
第十章 营养相关慢性病	(317)
第一节 心脑血管疾病.....	(317)
第二节 糖尿病.....	(331)
第三节 肿 瘤.....	(345)
第四节 痛 风.....	(357)
第十一章 衰老相关疾病	(374)
第一节 骨质疏松症.....	(374)
第二节 肌衰症.....	(385)
第三节 老年痴呆.....	(391)
第十二章 肾脏疾病	(409)
第一节 概 述.....	(409)
第二节 营养与肾脏疾病.....	(411)
第三节 治疗策略.....	(412)
第四节 营养治疗.....	(413)
第十三章 营养缺乏病	(420)
第一节 概 述.....	(420)
第二节 蛋白质-能量营养不良.....	(422)
第三节 缺铁性贫血.....	(426)
第四节 维生素 A 缺乏病.....	(432)

第五节	维生素 D 缺乏病	(436)
第六节	碘缺乏病	(441)
第十四章	饮食失调	(447)
第一节	饮食行为与健康	(447)
第二节	饮食失调症	(458)
第十五章	食物过敏与食物不耐受	(467)
第一节	营养与免疫	(467)
第二节	食物过敏	(474)
第三节	食物不耐受	(481)
附录一	中国居民膳食营养素参考摄入量 (2013)	(488)
附录二	重要营养素的主要食物来源	(497)
附录三	国内外重要的营养相关网站	(517)
附录四	中英文对照表	(521)

第一章 营养素的消化、吸收与代谢

人体所需要的营养物质主要来源于食物，摄入的食物在口腔、胃、肝脏、胰腺、小肠等消化器官分泌的消化液、酶、黏液等的作用下，发生一系列生化反应，转变为葡萄糖、脂肪酸、甘油、氨基酸等小分子物质，经肠道吸收入血，还有部分需要经过淋巴吸收入血，最后到达肝脏进行代谢，随血液进入全身各器官被组织吸收利用，从而发挥生理功能。未能被机体消化吸收的物质以及部分组织代谢产生的废物从肠道排出，还有部分组织代谢产生的废物通过汗腺产生汗液、肾脏代谢产生尿液而排出体外。

第一节 营养素的消化与吸收

消化 (Digestion) 是指食物通过消化道的运动和消化液的作用被分解为可吸收的小分子物质的过程，包括机械性消化和化学性消化。机械性消化 (Mechanical Digestion) 是指通过消化道的运动，将摄入的食物磨碎，使食物与消化液均匀混合，并将食物从口腔开始逐步向消化道远端推送的过程。化学性消化 (Chemical Digestion) 是指在消化酶的作用下，食物中的大分子营养物质 (糖、蛋白质和脂肪) 分解为可以直接吸收的小分子物质的过程。这两种消化形式是同时进行、互相配合的。吸收 (Absorption) 是指消化道中的小分子营养物质、水、电解质通过消化道黏膜进入血液和淋巴循环的过程。消化是吸收的重要前提，吸收是消化的根本目的，因此消化和吸收是两个相辅相成、紧密联系的过程。

一、营养素的消化

(一) 口腔

口腔是消化管的起始部，消化过程是从口腔开始的。食物在口腔被咀嚼磨碎，被唾液弄湿润便于吞咽。口腔以机械性消化为主。口腔中参与化学性消化的物质为唾液腺分泌的唾液。唾液腺主要有腮腺、下颌下腺和舌下腺三对。咀嚼指将大块食物切割、磨碎，并经舌的搅拌使食物与唾液充分混合形成食团，便于吞咽。当食团吞咽进入食管后，食管随即产生由下而上的蠕动。食团前方的管壁舒张，后方的管壁收缩，并且这种舒缩依次下传，推动食团经贲门入胃。

(二) 胃

胃是消化道中最膨大的部分，成年人胃的容量为 1~2L。经口腔和食管进入胃的食物，在胃内暂时贮存并进行初步消化，经过胃的研磨和胃液混合形成食糜（Chyme），逐次少量地通过幽门管排入十二指肠。

1. 胃液的分泌

(1) 胃的外分泌和内分泌功能。胃黏膜的外分泌细胞构成外分泌腺。根据部位，可将胃的外分泌腺分为三种，即贲门腺、泌酸腺和幽门腺。贲门腺分泌稀薄的碱性黏液，泌酸腺分泌盐酸、胃蛋白酶原、内因子和黏液，幽门腺分泌碱性黏液。此外，分布于胃所有区域的上皮细胞可分泌黏稠的、构成胃表面黏液层的主要成分。

胃黏膜内还有许多内分泌细胞，分泌多种内分泌物质。分布于胃窦部的 G 细胞可分泌促胃液素和促肾上腺皮质激素样物质；分布于胃体、胃底和胃窦的 D 细胞可分泌生长抑素；分布于胃泌酸腺区的肠嗜铬样细胞（Enterochromaffin-like Cell, ECL 细胞）可分泌组胺（Histamine）等。

(2) 胃液的性质、成分和作用。纯净的胃液是无色的酸性液体，pH 值为 0.9~1.5，正常人每日分泌量为 1.5~2.5L。胃液中的无机物包括盐酸（HCl）、钠离子（Na⁺）、钾离子（K⁺）、氯离子（Cl⁻）等，有机物包括胃黏蛋白、消化酶等。

1) 盐酸：胃液中的盐酸也称为胃酸（Gastric Acid），由泌酸腺中的壁细胞分泌。其具有以下生理作用：①杀死随食物进入胃内的细菌；②激活胃蛋白酶原成为胃蛋白酶，并为胃蛋白酶提供必需的酸性环境；③促使食物中的蛋白质变性，使其易于消化；④进入小肠引起促胰液素（Secretin）和缩胆囊素（Cholecystokinin）的释放，从而促进胰液、胆汁和小肠液的分泌；⑤形成的酸性环境有利于小肠对 Fe²⁺ 和 Ca²⁺ 的吸收。

2) 胃蛋白酶原（Pepsinogen）：主要是由泌酸腺的主细胞合成和分泌的，颈黏液细胞、贲门腺和幽门腺的黏液细胞及十二指肠近端的腺体也能分泌胃蛋白酶原。胃蛋白酶原没有活性，只有在盐酸作用下才能转变成有活性的胃蛋白酶（Pepsin）。已被激活的胃蛋白酶对胃蛋白酶原也有激活作用。胃蛋白酶水解食物中的蛋白质，使其分解为胨、少量多肽和氨基酸。

3) 黏液（Mucus）和碳酸氢盐：黏液是由胃黏膜表面的上皮细胞、颈黏液细胞、贲门腺和幽门腺共同分泌的，其主要成分是糖蛋白，具有较高的黏滞性和形成凝胶的特性。胃黏液有多种重要作用：①润滑胃黏膜，有利于食糜在胃内的往返运动；②保护胃黏膜免受坚硬食物的机械性损伤；③黏液呈中性或弱碱性，可降低胃液的酸度，减弱胃蛋白酶的活性；④由于黏液具有较高的黏滞性，在胃黏膜表面形成的黏液层能减慢胃腔中的 H⁺ 向胃壁扩散的速度。胃内的 HCO₃⁻ 主要由胃黏膜非泌酸细胞所分泌，仅有少量的 HCO₃⁻ 是从组织间液渗入胃内的。

单纯的黏液或碳酸氢盐的分泌都不能有效地保护胃黏膜免受胃腔内盐酸和胃蛋白酶的损伤。由黏液和碳酸氢盐共同构成的一个厚度为 0.5~1.0mm 的抗胃黏膜损伤的屏障，称为黏液-碳酸氢盐屏障（Mucus Bicarbonate Barrier）。

4) 内因子 (Intrinsic Factor): 壁细胞在分泌盐酸的同时也分泌一种被称为内因子的糖蛋白。内因子有两个活性部位, 一个活性部位与维生素 B_{12} 结合, 保护维生素 B_{12} 免遭肠内水解酶破坏; 当内因子-维生素 B_{12} 复合物运行至回肠后, 内因子的另一活性部位便与回肠黏膜细胞膜上的受体结合, 有利于维生素 B_{12} 的吸收。缺乏内因子时, 维生素 B_{12} 的吸收就会发生障碍, 可导致恶性贫血。

2. 胃的运动

胃的功能是容纳食物, 对食物进行机械性消化和化学性消化, 并将食物送入十二指肠。胃的运动也是和胃的这些功能相适应的, 包括容受性舒张、紧张性收缩和蠕动三种形式。进食时, 胃先舒张, 以接纳食物, 然后以蠕动的形式对胃内容物进行机械性消化, 并将食糜排入十二指肠。胃底和胃体前部运动较弱, 其主要功能是容纳食物; 胃体的远端和胃窦有较明显的运动, 主要功能是磨碎食物, 使食物与胃液充分混合以形成食糜, 并逐步将食糜排入十二指肠。

蠕动在开始时较弱, 在向幽门推进的过程中逐渐加强, 当接近幽门时明显加强, 导致幽门开放。到达幽门的每次蠕动波可将少量食糜推入十二指肠, 这种作用称为“幽门泵”。并非每个蠕动波都能到达幽门, 有些蠕动波到达胃窦部即已消失。当蠕动收缩波超越胃内容物到达胃窦末端时, 胃内容物可反向被推送到胃体, 食糜与消化液得以充分混合和反复研磨, 形成微小颗粒。

3. 胃排空

胃排空 (Gastric Emptying) 是指食物由胃排入十二指肠的过程。一般在食物入胃后 5 分钟即有部分食糜被排入十二指肠。食糜的性状和化学组成不同, 胃排空的速度也不同。一般来说, 稀的流体食物比稠的或固体的食物排空快。在食物的三种主要成分中, 糖类排空最快, 蛋白质次之, 脂肪类最慢。混合食物的胃排空通常需要 4~6 小时。

(三) 小肠

食糜排入小肠后, 即开始小肠内的消化过程。小肠内的消化是整个消化过程的最重要阶段, 在小肠内, 食物受到胰液、胆汁和小肠液的化学性消化和小肠运动的机械性消化, 消化过程基本完成。

1. 胰液的分泌

胰腺兼具外分泌和内分泌功能。胰岛为其内分泌部分, 分泌的激素主要与代谢调节有关; 外分泌部分主要由腺泡和导管构成, 分泌的胰液具有很强的消化能力, 是最重要的消化液。

胰液 (Pancreatic Juice) 是无色、无臭的碱性液体, pH 值为 7.8~8.4, 其渗透压与血浆相等。成年人每日分泌的胰液量为 1~2L, 成分包括水、无机盐和有机物, 其中水和无机盐主要由导管上皮细胞分泌, 有机物主要是腺泡分泌的各种消化酶。

(1) 胰液的无机成分和作用。胰液中含有量最大的是水, 约占 97.6%。无机物中含量最大的是碳酸氢盐。当胰液大量分泌时, HCO_3^- 的浓度可达 145mmol/L, 是血浆中 HCO_3^- 浓度的 5 倍, 也是导致胰液呈碱性的主要原因。胰液中 HCO_3^- 的主要作用是中

和进入十二指肠的胃酸，使肠黏膜免受强酸的侵蚀，同时也使小肠内的 pH 环境适宜小肠内消化酶的活动。

(2) 胰液的有机成分和作用。胰液中的有机成分包括消化淀粉、脂类和蛋白质的各种消化酶。

1) 胰淀粉酶 (Pancreatic Amylase): 胰液中消化糖类的胰淀粉酶是一种 α -淀粉酶，可将大多数食物中的绝大多数多糖分解成寡糖，后者再被肠上皮细胞刷状缘上的寡糖酶分解为单糖后吸收。

2) 蛋白质水解酶: 胰腺腺泡细胞合成和分泌的蛋白消化酶类都以酶原的形式存在，包括胰蛋白酶原 (Trypsinogen)、糜蛋白酶原 (Chymotrypsinogen) 和羧基肽酶原 (Pancreatic polypeptide)，还有含量较少的弹性蛋白酶原 (Proelastase) 等，其中含量最丰富的是胰蛋白酶原。小肠黏膜分泌的肠激酶 (Enterokinase) 是激活胰蛋白酶原生成胰蛋白酶 (Trypsin) 的特异性酶，胰蛋白酶一旦形成，便可以以正反馈形式自我激活，同时激活胰液中其他的蛋白水解酶。胰蛋白酶和糜蛋白酶 (Chymotrypsin) 可将蛋白质分解成小肽，羧基肽酶 (Carboxypeptidase) 则将这些小肽裂解成单个氨基酸。

3) 消化脂类的酶: 胰液中水解脂类的酶主要有 4 种: ①在胆盐和辅酯酶存在的条件下，胰脂肪酶 (Pancreatic Lipase) 可将中性脂肪水解成脂肪酸和一酰甘油; ②辅酯酶 (Colipase) 是脂肪酶的辅助因子，对胆盐微胶粒有较强的亲和性，使脂肪酶、辅酯酶、胆盐形成三元络合物，有助于脂肪酶吸附在油滴表面发挥作用，防止胆盐对脂肪酶的抑制，并使脂肪酶的最适 pH 值由 8.5 降至 6.5 而接近近端小肠内的 pH 值; ③胆固醇酯酶 (Cholesterol Esterase) 可将胆固醇酯水解为胆固醇和脂肪酸; ④磷脂酶 A_2 (Phospholipase A_2) 以无活性的形式分泌，被胰蛋白酶激活，有活性的磷脂酶 A_2 可水解细胞膜中的卵磷脂。

除了上述消化酶，胰液中还含有核糖核酸酶、脱氧核糖核酸酶、胶原酶等酶类。

胰液是所有消化液中消化作用最强的一种，当胰液分泌发生障碍时，即使其他消化腺的分泌都正常，仍不能完全消化食物中的脂肪和蛋白质，从而影响吸收。但糖类的消化和吸收一般不受影响。

2. 胆汁的分泌

胆汁 (Bile) 由肝细胞持续生成，经胆管流出后通过胆总管排入十二指肠，或由肝管转入胆囊管而贮存于胆囊中，在消化期再由胆囊排至十二指肠。

(1) 胆汁的性质和成分。胆汁是一种较浓稠的具有苦味的有色液体，每日生成量为 0.6~1.0L，生成量和蛋白质的摄入量呈正相关。由肝细胞分泌的胆汁呈金黄色或橘棕色，pH 值约为 7.4; 胆囊中贮存的胆汁则因浓缩而颜色变深，并因 HCO_3^- 被吸收而呈弱酸性，pH 值约为 6.8。胆汁的成分复杂，除 H_2O 和 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 等无机成分外，还有胆盐、胆色素、脂肪酸、胆固醇、卵磷脂和黏蛋白等有机成分。胆汁中不含消化酶。

(2) 胆汁的作用。胆汁在消化中的作用主要由胆盐来承担，包括乳化脂肪，促进脂肪的消化吸收和脂溶性维生素的吸收，以及中和胃酸等。它对脂肪的消化和吸收具有重

要的意义。

3. 小肠液的分泌

小肠中有两种腺体,分别为布氏腺(Brunner Gland)和李氏腺(Liberkuhn Crypt)。小肠液是由这两种腺体分泌的混合液,其分泌量是消化液中最多的,但其变动范围较大,成人每日分泌量为1~3L。

小肠液呈弱碱性,pH值约为7.6,渗透压与血浆相近。小肠液中除大量水外,无机成分有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 等,有机成分有黏蛋白、IgA和肠激酶等。小肠液中还常混有脱落的肠上皮细胞、白细胞等。

从小肠腺分泌入肠腔的消化酶可能只有肠激酶,它能激活胰蛋白酶原。在小肠液中还可检测到一些寡肽酶、二肽酶、二糖酶等,但一般认为这些酶是由脱落的肠黏膜上皮细胞释放,而非肠腺所分泌,它们在小肠消化中不起作用。但当营养物质被吸收入上皮细胞时,这些存在于上皮细胞刷状缘内的消化酶可发挥消化作用,将寡肽进一步分解为氨基酸,将蔗糖、麦芽糖和乳糖进一步分解为单糖,从而阻止没有完全分解的消化产物被吸收入血。小肠液中的黏蛋白具有润滑作用,并在黏膜表面形成一道抵抗机械损伤的屏障。 HCO_3^- 能中和胃酸,尤其是在十二指肠,因此可保护十二指肠黏膜免受胃酸侵蚀。由于小肠液的量较大,因此可稀释小肠内的消化产物,降低其渗透压,有利于小肠的吸收功能。

二、营养素的吸收

(一) 吸收部位

小肠是主要的吸收部位,糖类、蛋白质和脂肪的消化产物绝大部分都是在小肠吸收的。小肠的结构和功能特点非常有利于吸收。①小肠黏膜具有大量的环形褶皱,可使吸收面积增大3倍;小肠黏膜的表面有大量绒毛(Villus),向肠腔突出1mm,使吸收面积又增加10倍;绒毛上柱状上皮细胞的顶端又有多达1000根长约 $1\mu\text{m}$ 、直径为 $0.1\mu\text{m}$ 的微绒毛(Microvillus),进一步使吸收面积增加20倍。因此,小肠的吸收面积很大,达 $200\sim 250\text{m}^2$ 。②食物在小肠中停留的时间长,达3~8小时。③绒毛内有很丰富的毛细血管和淋巴管,进食后绒毛中平滑肌细胞的收缩可使绒毛发生节律性的伸缩和摆动,加速血液和淋巴的回流。④食物经消化,在小肠内已经形成能够被吸收的小分子物质。

一般认为,糖类、脂肪和蛋白质的消化产物大部分在十二指肠和空肠被吸收,胆盐和维生素 B_{12} 在回肠吸收。营养物质经过小肠后已经基本被吸收,结肠主要吸收80%进入结肠内的水和90%的 Na^+ 和 Cl^- 。

小肠内的水、电解质和食物消化产物主要通过跨细胞和细胞旁两条途径进入细胞外间隙,然后再进入血液和淋巴。跨细胞途径吸收是指肠腔内物质由肠上皮细胞顶端膜进入细胞,再由细胞基底侧膜进入细胞外间隙的过程;细胞旁途径吸收则为肠腔内物质通过上皮细胞之间的紧密连接进入细胞外间隙的过程。

（二）吸收机制

1. 单纯扩散

单纯扩散 (Simple Diffusion) 是脂溶性小分子物质经脂质双分子层间隙进行的一种简单物理扩散。脂溶性小分子物质 (如 O_2 、 CO_2 、 N_2 、乙醇、尿素等) 能直接溶解在脂质中, 通过脂质分子的间隙从膜的高浓度一侧向低浓度一侧扩散。单纯扩散的特点是不需要膜蛋白的参与, 扩散过程本身不直接消耗能量。

2. 易化扩散

某些非脂溶性或脂溶性很小的物质, 在膜蛋白的帮助下顺化学梯度进行跨膜转运的过程称为易化扩散 (Facilitated Diffusion)。与单纯扩散一样, 易化扩散也是从高浓度一侧向低浓度一侧转运, 不需要细胞代谢提供能量, 但需要有膜蛋白的帮助才能进行。易化扩散有两种类型: 一种是经载体蛋白介导的, 葡萄糖由胃肠吸收进入血液, 由血浆进入红细胞和由血液进入中枢神经系统都是通过易化扩散进行的; 另一种是经通道蛋白介导的, 如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 等, 由膜的高浓度一侧向低浓度一侧移动。

3. 主动转运

单纯扩散和易化扩散转运物质的动力都来自于膜两侧物质的电化学梯度所含的势能, 转运过程本身不需要消耗能量, 故称之为被动转运 (Passive Transport)。某些物质在膜蛋白的帮助下, 由细胞代谢提供能量而实现的逆电化学梯度跨膜转运称之为主动转运 (Active Transport)。主动转运需要消耗能量与膜蛋白的帮助, 例如维生素 B_{12} 的吸收需要内因子的协助。

4. 入胞和胞吐

大分子或团块状物质进出细胞是以囊泡包裹的形式进行的, 分别称为入胞和胞吐。入胞和胞吐过程需要消耗能量, 也需要更多蛋白质的参与, 并伴随细胞膜面积的变化。母乳中的免疫球蛋白可能是通过这种方式吸收的。

三、常见营养素的消化和吸收

（一）碳水化合物的消化和吸收

碳水化合物 (糖类) 的消化吸收分为两个主要形式: 小肠消化和结肠发酵。消化吸收主要在小肠中完成。单糖直接在小肠消化吸收, 双糖经酶水解后再吸收, 一部分寡糖和多糖水解成葡萄糖后吸收。在小肠不能消化的部分, 到结肠经细菌发酵后再吸收。

1. 碳水化合物的消化

碳水化合物的消化从口腔开始。口腔分泌的唾液中含有 α -淀粉酶, 可部分分解碳水化合物。胃液不含有任何能水解碳水化合物的酶, 其所含的胃酸只能水解少量碳水化合物, 碳水化合物的消化主要是在小肠进行, 极少部分非淀粉多糖可在结肠内通过发酵消化。小肠内消化分为肠腔消化和小肠黏膜上皮细胞表面上的消化。肠腔中的主要水解

酶是来自胰液的 α -淀粉酶 [即淀粉酶 (Amylopsin)], 通过水解 α -1,4-糖苷键使淀粉变成麦芽多糖、麦芽三糖 (约占 65%)、异麦芽糖、 α -临界糊精及少量葡萄糖等。小肠黏膜上皮细胞刷状缘上含有丰富的 α -糊精酶 (α -Dextrinase)、糖淀粉酶 (Glycoamylase)、麦芽糖酶 (Maltase)、异麦芽糖酶 (Isomaltase)、蔗糖酶 (Sucrase) 及乳糖酶 (Lactase)。这些酶分工协作, 将可消化淀粉中的多糖及寡糖完全分解为葡萄糖及少量果糖和半乳糖, 从而被小肠黏膜上皮细胞吸收。葡萄糖、果糖和半乳糖在小肠内由小肠内绒毛上皮细胞或细胞间隙直接吸收。单糖首先进入肠黏膜上皮细胞, 再进入小肠壁的门静脉血管, 并汇合于门静脉进入肝脏, 最后由门静脉进入大循环, 运送至全身各个器官。在吸收过程中也可能有少量单糖经淋巴系统进入大循环。双糖在双糖酶的作用下水解成单糖形式, 被小肠绒毛上皮细胞吸收。小肠内不被消化的碳水化合物到达结肠后, 被结肠细菌分解, 产生氢气、甲烷气、二氧化碳和短链脂肪酸等, 该过程称为发酵。发酵也是消化的一种形式, 还可促进肠道一些特定菌群如双歧杆菌、乳酸杆菌等的生长繁殖。

2. 碳水化合物的吸收

葡萄糖的吸收机制可分为 3 个途径: 主动吸收、被动吸收以及通过细胞间隙直接吸收。主动吸收是主要的吸收途径。调控小肠可消化性碳水化合物吸收的因素较多, 包括吸收面积、 Na^+ 电化学梯度、细胞膜脂质成分、转运细胞与非转运细胞比例、转运子周转速率、亲和系数等。通过多种因子的调控作用, 能有效地促进碳水化合物的吸收, 以满足动物体的生长和发育的需要。

葡萄糖的主动吸收机制还可使葡萄糖逆浓度梯度转运, 即从低浓度处向高浓度处集聚。与此同时, 进入上皮细胞的 Na^+ 促使依赖 ATP 的“钠钾泵” (即 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ ATP 酶) 启动, 使 ATP 分解, 释出的能量则将 Na^+ 驱出细胞, 以恢复细胞内 Na^+ 的浓度, 从而使葡萄糖和 Na^+ 的吸收得以不断进行。由此可见, 葡萄糖的吸收与钠钾泵的运转是偶联进行的。

(二) 蛋白质的消化和吸收

膳食中蛋白质的消化从胃开始。胃中的胃酸先使蛋白质变性, 破坏其空间结构以利于酶发挥作用, 同时胃酸可激活胃蛋白酶水解蛋白质, 活化的胃蛋白酶可将蛋白质及大分子多肽水解成小分子多肽和游离氨基酸。但蛋白质消化吸收的主要场所是小肠, 由胰腺分泌的胰蛋白酶和糜蛋白酶使蛋白质在小肠中被分解为氨基酸和寡肽, 再被小肠黏膜细胞吸收。在小肠黏膜细胞中, 寡肽酶将寡肽最终水解为氨基酸。这些氨基酸通过黏膜细胞进入肝门静脉被运送到肝脏和其他组织或器官被利用。也有报道称少数蛋白质大分子和多肽可直接被吸收。

氨基酸通过小肠黏膜细胞是由三种主动运输系统来进行的, 它们分别转运中性氨基酸、酸性氨基酸和碱性氨基酸。具有相似结构的氨基酸在共同使用同一种转运系统时, 相互间具有竞争机制, 这种竞争的结果使含量高的氨基酸相应地被吸收多一些, 从而保证了肠道能按食物中的氨基酸的含量比例进行吸收。如果在膳食中过多地加入某一种氨基酸, 这种竞争作用会造成其他同类型氨基酸的吸收减少。如亮氨酸、异亮氨酸和缬氨

酸有共同的转运系统，若过多地向食物中添加亮氨酸，异亮氨酸和缬氨酸的吸收就会减少，造成食物蛋白质的营养价值下降。

影响蛋白质消化吸收的因素很多，包括胃肠的动力、黏膜的吸收等。近来有研究发现，单一饮食中蛋白质的消化和氨基酸在消化道吸收的速度与食物中蛋白质的类型有关，并影响到餐后蛋白质的合成、分解和沉积。根据餐后氨基酸、蛋白质代谢的快慢，可分为快膳食蛋白和慢膳食蛋白。比如，乳清蛋白的消化速度快于酪蛋白，因此乳清蛋白即为快膳食蛋白，酪蛋白即为慢膳食蛋白。

肠道中被消化吸收的蛋白质，除了来自于食物外，还来自于肠道脱落的黏膜细胞和消化液等，每天大约有 70g。其中大部分可被消化和吸收，未被吸收的由粪便排出体外，这种蛋白质中的氮称为内源性氮或粪代谢氮。

（三）脂类的消化和吸收

1. 脂类的消化

机体每天从肠道吸收的甘油三酯为 50~100g，磷脂为 4~8g，胆固醇为 300~450mg。食物进入口腔后，唾液腺分泌的脂肪酶可水解部分食物脂肪，但消化能力较弱。婴儿口腔中的脂肪酶则可有效地分解母乳中的短链脂肪酸和中链脂肪酸。脂肪在胃里的消化有限，主要消化场所是小肠。正常条件下，成人的脂肪吸收率为 95%，婴幼儿的脂肪吸收率为 85%~90%（母乳中的脂肪）。在相对较大摄入量范围内，成人的脂肪吸收率维持在较高水平，不饱和脂肪酸吸收率比饱和脂肪酸吸收率高一些。在消化过程中，食糜间歇地从胃进入十二指肠，食糜本身对胃肠的刺激引起缩胆囊素等激素的释放，缩胆囊素进而刺激胰液和胆汁的合成和分泌。胆汁使肠内容物的 pH 值升高，同时胆汁本身也有表面活性剂的作用，这两个作用对脂肪酶作用的发挥都极为重要。胆汁首先将脂肪乳化，进而增大甘油三酯的表面积，有利于胰脂肪酶和肠脂肪酶将甘油三酯水解。胰液中的脂肪酶被胆汁激活，脂肪酶作用于甘油-脂肪酸酯键，将甘油三酯水解成游离脂肪酸和甘油一酯（偶尔也完全水解成甘油和脂肪酸）。甘油三酯的水解速度与甘油三酯的链长和不饱和程度等因素有关，含不饱和和双键的甘油三酯水解的速度比只含饱和和键的甘油三酯快很多。

2. 脂类的吸收

脂肪水解后的小分子，如甘油、短链和中链脂肪酸，很容易被小肠细胞直接吸收进入血液。甘油一酯和长链脂肪酸被吸收后，先在小肠细胞中重新合成甘油三酯，并和磷脂、胆固醇和蛋白质形成乳糜微粒，由淋巴系统进入血液循环。血中的乳糜微粒是一种颗粒最大、密度最低的脂蛋白，是食物脂肪的主要运输形式，可以满足机体对脂肪和能量的需要，最终被肝脏吸收。

由于脂类不溶于水或微溶于水，因此无论是外源性脂类还是内源性脂类，都须形成溶解度较大的脂蛋白复合体，才能在血液循环中转运。肝脏将来自食物中的脂肪和内源性脂肪及蛋白质等合成极低密度脂蛋白，并随血流供应机体其他组织，满足机体对甘油三酯的需要，随着其中甘油三酯的减少，同时又不断地聚集血中的胆固醇，最终形成甘

油三酯少而胆固醇多的极低密度脂蛋白。血流中的极低密度脂蛋白一方面满足机体对各种脂类的需要，另一方面可与细胞中的极低密度脂蛋白受体结合进入细胞，借此适当调节血中胆固醇的浓度。但极低密度脂蛋白过多，可引起动脉粥样硬化等疾病。体内还可合成高密度脂蛋白，其重要功能就是将体内的胆固醇、磷脂运回肝脏进行代谢，起到有益的保护作用。

磷脂的消化吸收和甘油三酯相似。磷脂消化的产物——游离脂肪酸和溶血磷脂一同渗入肠道内微胶粒中，通过和甘油三酯水解产物相同的过程被吸收。胆固醇则可被直接吸收，如果食物中的胆固醇和其他脂类呈结合状态，则先被酶水解成游离的胆固醇，再被吸收。胆固醇是合成胆酸的主要成分。胆酸在乳化脂肪后一部分被小肠吸收，由血液运输到肝脏和胆囊，通过肠肝循环被重新利用；另一部分和食物中未被吸收的胆固醇一起，被膳食纤维（主要为可溶性膳食纤维）吸附，由粪便排出体外。

（四）微量营养素的消化和吸收

蛋白质、脂类、碳水化合物因为需要量多，在膳食中所含的比重大，称为宏量营养素。矿物质和维生素因需要量较少，在膳食中所占比重也小，称为微量营养素。

维生素、矿物质和水是同时通过小肠黏膜细胞吸收的。在吸收的过程中，有许多因素都可以影响维生素和矿物质的生物利用度。每天大约有 8L 的水进出细胞以保证营养素的溶解状态。大多数的维生素和水是以其原本的形式通过被动转运转入小肠黏膜细胞进而吸收入血的。

矿物质的吸收更加复杂，包括三个阶段。首先是吸收阶段，矿物质在消化道内的吸收包括胃和肠道内发生的化学反应和矿物质之间的相互作用。这些反应主要受肠道内的 pH 值以及进入胃的食物组成影响，并且主要影响阳离子。而阴离子，例如氟离子，不会被 pH 或者膳食的组成所影响，而是直接吸收。食糜中的阳离子在胃酸中呈溶解状态，当食糜进入 pH 值较高的小肠中时，阳离子会与其他物质形成不可溶的羟化物。这些阳离子会经常和配体结合促进其吸收，如与氨基酸、某些有机酸以及糖类等形成复合物或螯合物。转运阶段是指矿物质通过细胞膜进入小肠黏膜细胞的过程。阴离子可通过简单扩散转运入细胞。大多数的阳离子可以通过易化扩散或者主动转运进入细胞。大多数的矿物质可以通过不止一种方式进入细胞，这主要取决于某种微量元素在小肠中的浓度。在利用阶段，矿物质或穿过小肠黏膜细胞浆膜层入血或在细胞内与其他物质螯合。比如，铁和锌，或与小肠黏膜细胞中的蛋白质结合，或直接进入细胞内矿物质代谢池。代谢池中的离子穿过浆膜层被转运和利用，与蛋白质结合的离子或被释放出来成为代谢池中的一部分，或保持结合状态，当细胞脱落时，矿物质也会和细胞一同丢失。

胃肠是矿物质之间发生相互作用的重要场所。不同矿物质之间在胃肠内的吸收会产生相互竞争，竞争吸收结合的受体，或相互结合形成不溶的复合物，阻碍吸收。例如，铁补充剂可能会抑制铜的吸收，反过来铜也会降低铁和钼的吸收。在缺铁的患者中，钼的吸收会增加。

第二节 营养素的代谢

代谢又称新陈代谢，是指生物为维持生命而产生的一系列化学反应，包括合成代谢和分解代谢。合成代谢指利用氨基酸、单糖等简单物质合成蛋白质、碳水化合物和脂肪以维持组织和器官的功能，组织和器官就是由这些物质构成的。这些过程所需要的能量来自于营养素的氧化作用和体内食物贮存。氧化作用和其他所有涉及物质化学分解产生排泄物的过程统称分解代谢。营养素在肠道内被吸收后，经血液运输到肝脏进行生化代谢，使之变成可利用的物质，提供机体活动所需要的能量。

一、碳水化合物的代谢

（一）碳水化合物的合成代谢

消化吸收的葡萄糖或体内其他物质转变而来的葡萄糖进入肝脏和肌肉后，可分别合成肝糖原和肌糖原，此种过程称为糖原的合成作用。肝糖原可在肝脏分解为葡萄糖，此种过程称为糖原的分解作用。肌肉中因缺乏葡萄糖-6-磷酸酶，故肌糖原不能直接分解为葡萄糖，但可通过糖酵解作用分解为乳酸，后者随血液流入肝脏后，可通过糖异生作用间接转变为葡萄糖。糖原的合成作用在体内多种组织中存在，但主要在肝脏和肌肉中进行。饥饿 12~18 小时后，肝糖原几乎全部分解而消耗。肌糖原只有在长时间剧烈运动后才趋于耗尽。肝糖原的分解可大量释放葡萄糖，以维持血糖浓度和供应其他组织的消耗利用，肌糖原的分解仅限于提供糖酵解所需要的原料。

由非碳水化合物转变为葡萄糖或糖原的过程称为糖异生。非碳水化合物主要是乳酸、丙酮酸、甘油、丙酸盐及生糖氨基酸。糖异生的主要场所是肝脏。肾皮质也能进行糖异生，但其量甚微，总量不到肝异生的十分之一，只有在严重饥饿的情况下，其功能才明显增强。

（二）碳水化合物的分解代谢

碳水化合物在体内分解过程中，首先经糖酵解途径降解为丙酮酸，在无氧的情况下，丙酮酸在胞浆内还原为乳酸，这一过程称为碳水化合物的无氧氧化。由于缺氧时葡萄糖降解为乳酸的情况与酵母内葡萄糖“发酵”生成乙酸的过程相似，因而碳水化合物的无氧分解也称为糖酵解。在有氧的情况下，丙酮酸进入线粒体，氧化脱羧后进入三羧酸循环，最终被氧化成二氧化碳和水，这个过程称为碳水化合物的有氧氧化。

无氧氧化主要的生理功能是在缺氧时迅速提供能量，正常情况下为一些细胞提供部分能量。糖酵解是碳水化合物有氧氧化的前段过程，这一过程中的一些中间代谢物是脂类、氨基酸等合成的前体。有氧氧化的主要功能是提供能量，人体内绝大多数组织细胞通过碳水化合物的有氧氧化获取能量。