

中等卫生学校护理专业教材

# 生物化学

NURSING

主 编 王承吉

江苏科学技术出版社



中等卫生学校护理专业教材

# 生 物 化 学

**主编** 王承吉

**编者** (以姓氏笔画为序)

王承吉 刘家秀

顾怡生 葛定球

江苏科学技术出版社

中等卫生学校护理专业教材  
生物化学

---

主    编  王承吉  
责任编辑  徐  欣

---

出    版  江苏科学技术出版社  
          (南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)  
发    行  江苏省新华书店  
照    排  南京展望照排印刷有限公司  
印    刷  南京通达彩印厂

---

开    本  787 × 1092 毫米  1/16  
印    张  5.75  
字    数  125 000  
版    次  1998 年 6 月第 1 版  
印    次  1998 年 6 月第 1 次印刷  
印    数  1—30 000 册

---

标准书号  ISBN 7—5345—2415—6/R·419  
定    价  6.90 元

---

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

## 中等卫生学校护理专业教材编委会

**主任委员：**周 珉 胡明琇

**副主任委员：**卜绍唐 姜寿葆 殷冬生

**委 员：**(按姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 马如娅 | 王承吉 | 方茵英 | 刘巧男 |
| 刘振民 | 孙宁生 | 李同仁 | 李信梅 |
| 杨运昌 | 杨祖成 | 张金宏 | 张楨先 |
| 陈锦治 | 金 均 | 郑德峻 | 姚景鹏 |
| 夏泉源 | 钱俊芬 | 唐宁一 | 常唐喜 |
| 龚 塘 | 戴水保 |     |     |

## 序 言

1994年3月,卫生部颁发了全国中等卫生学校护理等12个专业的新教学计划和教学大纲,并组织编写了与新计划、大纲相配套的96种教材,即全国中等医学第三轮规划教材。1997年3月,卫生部在总结三年制护理教育经验的基础上,借鉴和吸收国外护理教育的先进经验,制订、颁发了四年制护理专业教学计划及教学大纲,并要求各省、自治区、直辖市结合实际情况积极推行四年制护理教育。

四年制护理专业教学计划体现了“教育要面向现代化、面向世界、面向未来”的办学方向,改变了护理专业长期沿袭医学专业的学科体系,构建了“突出护理、注重整体、加强人文、体现社区”的护理专业新型课程结构。为适应社会、经济、卫生事业发展对护理人才质量的要求,增加了人文学科比重,增设了老年护理、精神护理等课程,较好地解决了医学基础课理论知识偏多、偏深、偏难的问题,加强了实践教学和社区护理实习,为提高护理人才质量创造了条件,提供了依据。

四年制护理专业教学计划与三年制护理专业教学计划相比,增设了《医学遗传学基础》、《卫生保健》、《精神科护理学》、《老年护理学》、《营养与膳食》、《人际沟通》、《社会学基础》等七门课程,并将原《解剖学与组织胚胎学》和《生理学》综合为《人体解剖生理学》。为此,卫生部组织编写了以上八门课教材。其中,《医学遗传学基础》由江苏科学技术出版社出版。考虑到全国中等护理专业第三轮规划教材与现行四年制护理专业教学大纲不相适应,为更好地贯彻执行四年制护理专业教学计划和教学大纲,江苏省卫生厅组织编写了《正常人体学》、《病因病理学》、《护理学基础》、《内科护理学》、《外科护理学》、《医学检验报告判读》、《药理学》、《卫生保健学》和《社区实习指导手册》等教材。由于时间有限,《儿科护理学》、《妇产科护理学》和《危急症护理》等三种教材尚待继续编写。

本套教材由江苏科学技术出版社出版,除供四年制护理专业使用外,三年制护理专业也可使用。为编好四年制护理专业的配套教材,江苏省卫生厅成立了编委会,负责教材编写工作的组织、指导和管理。教材实行主编负责制,部分教材请主审协助质量把关。

在组织四年制护理专业基础课和专业课教材编写过程中,编委会力求贯彻“以病人(人)为中心”,“强化培养目标,淡化学科意识”的指导思想,以运用护理程序进行整体护理能力为主线来组织教学内容,以期培养具有必要的理论知识、较强的实践技能和良好职业素质与职业道德的护理人才。

由于编写四年制护理专业教材尚属首次,在部分课程的综合上更是新的探索,不足之处在所难免,我们恳切希望从事护理教育的同道提出宝贵意见。

中等卫生学校护理专业教材编委会

1998年5月

## 前 言

为了适应中等护理专业生物化学课程的教学需要,我们根据卫生部 1997 年 3 月颁发的四年制中等护理专业教学计划(含教学大纲)编写了专供中等护理专业使用的教材《生物化学》。

生物化学是一门医学基础理论课,它与护理学关系密切。生物化学课程主要任务是为后续学科提供必要的生物化学基础知识,其次也为护生毕业后知识水平继续提高奠定基础。

本书内容是按教学大纲规定的教学时数——38 学时编写的。全书以物质代谢为主线内容,介绍了生物化学的基础理论和基本知识。编写时力求做到专而不窄、广而有用,概念清楚、重点突出。选材时充分考虑到护生的接受能力。对于生物化学中大量出现的代谢途径,着重于代谢途径的生理意义,扼要介绍代谢过程。后续学科需要的内容也尽量编入,如超氧阴离子即是一例。全书分为两大部分,一是物质代谢部分,主要介绍三大物质代谢、核酸代谢,以及与物质代谢有关的酶及 ATP 等内容;二是临床生化部分,包括水与无机盐代谢、酸碱平衡及肝、肾生物化学。

本书的生物化学专有名词、计量单位及一些数据等内容,以全国高等医学院校教材《生物化学》及中华人民共和国卫生部医政司组织编写的《全国临床检验操作规程》(第二版)等为依据。

本书由江苏省淮阴卫生学校王承吉、刘家秀,浙江省杭州护士学校顾怡生,江苏省盐城卫生学校葛定球共同编写,初稿完成后经编写者集体讨论定稿。在编写过程中特请浙江医科大学生物化学教研室厉朝龙教授审阅了部分章节的内容;承蒙江苏省淮阴卫生学校和浙江省杭州护士学校给予大力支持和帮助,谨此一并致谢。

王承吉

1998 年 6 月

# 目 录

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b> .....               | 1  |
| 一、生物化学概念 .....                    | 1  |
| 二、生物化学与健康的关系 .....                | 1  |
| <b>第二章 酶</b> .....                | 3  |
| <b>第一节 酶的概念与酶促反应特点</b> .....      | 3  |
| 一、酶的概念 .....                      | 3  |
| 二、酶促反应的特点 .....                   | 3  |
| <b>第二节 酶的组成、结构与功能</b> .....       | 4  |
| 一、酶的组成 .....                      | 4  |
| 二、维生素与辅酶 .....                    | 5  |
| 三、酶的结构和功能 .....                   | 5  |
| <b>第三节 影响酶促反应的因素</b> .....        | 6  |
| 一、温度的影响 .....                     | 7  |
| 二、pH 值的影响 .....                   | 7  |
| 三、酶的抑制剂 .....                     | 7  |
| <b>第四节 酶与临床诊断的关系</b> .....        | 9  |
| 一、血清(或血浆)中酶活性改变的原因 .....          | 9  |
| 二、常用的酶活性测定项目 .....                | 9  |
| <b>第三章 糖代谢</b> .....              | 11 |
| <b>第一节 糖的分解代谢</b> .....           | 11 |
| 一、糖酵解 .....                       | 11 |
| 二、糖的有氧氧化 .....                    | 13 |
| 三、磷酸戊糖途径 .....                    | 14 |
| <b>第二节 糖的贮存和糖异生</b> .....         | 15 |
| 一、糖原的合成 .....                     | 16 |
| 二、糖原的分解 .....                     | 16 |
| 三、糖异生 .....                       | 16 |
| <b>第三节 血糖</b> .....               | 17 |
| 一、血糖的来源和去路 .....                  | 18 |
| 二、血糖浓度的调节 .....                   | 18 |
| <b>第四章 三羧酸循环和 ATP</b> .....       | 19 |
| <b>第一节 三羧酸循环</b> .....            | 19 |
| 一、三羧酸循环过程 .....                   | 19 |
| 二、三羧酸循环的生理意义 .....                | 20 |
| <b>第二节 ATP 的作用和 ATP 的生成</b> ..... | 21 |
| 一、ATP 的作用 .....                   | 21 |
| 二、ATP 的生成 .....                   | 21 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| <b>第五章 脂类代谢</b>       | 25 |
| <b>第一节 血脂</b>         | 25 |
| 一、血脂的组成与含量            | 25 |
| 二、血浆脂蛋白               | 26 |
| <b>第二节 脂肪的代谢</b>      | 27 |
| 一、脂肪的动员               | 27 |
| 二、甘油的代谢               | 27 |
| 三、脂肪酸的氧化              | 28 |
| 四、酮体代谢                | 29 |
| <b>第三节 胆固醇代谢</b>      | 30 |
| 一、胆固醇的来源              | 30 |
| 二、胆固醇的去路              | 31 |
| <b>第六章 氨基酸代谢</b>      | 33 |
| <b>第一节 氨基酸的一般代谢</b>   | 33 |
| 一、氨基酸的脱氨基作用           | 33 |
| 二、氨的代谢                | 35 |
| 三、 $\alpha$ -酮酸代谢     | 37 |
| <b>第二节 个别氨基酸代谢</b>    | 37 |
| 一、氨基酸的脱羧基作用           | 37 |
| 二、一碳单位代谢              | 38 |
| <b>第七章 核酸和蛋白质生物合成</b> | 40 |
| <b>第一节 核酸的分子组成和结构</b> | 40 |
| 一、核酸的分子组成             | 40 |
| 二、核酸的分子结构             | 41 |
| <b>第二节 核苷酸代谢</b>      | 42 |
| 一、合成代谢                | 42 |
| 二、分解代谢                | 44 |
| <b>第三节 核酸的生物合成</b>    | 44 |
| 一、DNA 的生物合成           | 44 |
| 二、RNA 的生物合成           | 45 |
| <b>第四节 蛋白质的生物合成</b>   | 46 |
| 一、蛋白质生物合成体系           | 46 |
| 二、蛋白质生物合成过程           | 47 |
| 三、扩充了的中心法则            | 48 |
| <b>第八章 水与无机盐代谢</b>    | 50 |
| <b>第一节 体液</b>         | 50 |
| 一、体液的组成、含量与分布         | 50 |
| 二、体液中电解质含量及特点         | 51 |
| 三、水和无机盐的生理功能          | 51 |
| <b>第二节 水代谢</b>        | 53 |
| 一、水的摄入与排出             | 53 |
| 二、水的动态平衡              | 53 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 三、婴幼儿水代谢的特点 .....         | 53 |
| 第三节 无机盐代谢 .....           | 54 |
| 一、钠、氯代谢 .....             | 54 |
| 二、钾代谢 .....               | 54 |
| 三、钙、磷代谢 .....             | 55 |
| 四、镁代谢 .....               | 57 |
| 五、微量元素 .....              | 57 |
| 第九章 酸碱平衡 .....            | 59 |
| 第一节 体内酸性和碱性物质的来源 .....    | 59 |
| 一、酸性物质来源 .....            | 59 |
| 二、碱性物质来源 .....            | 59 |
| 第二节 酸碱平衡的调节 .....         | 59 |
| 一、血液的缓冲体系 .....           | 59 |
| 二、肺对酸碱平衡的调节 .....         | 60 |
| 三、肾对酸碱平衡的调节 .....         | 61 |
| 四、判断酸碱平衡的常用指标 .....       | 62 |
| 第十章 肝、肾生物化学 .....         | 64 |
| 第一节 肝的生物转化作用 .....        | 64 |
| 一、生物转化的概念 .....           | 64 |
| 二、生物转化的生理意义 .....         | 64 |
| 三、生物转化的反应类型 .....         | 64 |
| 四、影响生物转化的因素 .....         | 65 |
| 第二节 胆色素代谢 .....           | 65 |
| 一、胆红素在单核吞噬细胞中生成 .....     | 65 |
| 二、胆红素在血液中运输 .....         | 65 |
| 三、胆红素在肝细胞内代谢 .....        | 65 |
| 四、胆红素在肠管中变化 .....         | 66 |
| 五、血清胆红素和黄疸 .....          | 66 |
| 第三节 常用肝功能检查与物质代谢的联系 ..... | 68 |
| 一、肝功能检查与蛋白质代谢的联系 .....    | 68 |
| 二、肝功能检查与血清酶的关系 .....      | 69 |
| 第四节 肾脏生化 .....            | 69 |
| 一、肾功能检查与物质代谢的联系 .....     | 69 |
| 二、尿液异常生化成分 .....          | 69 |
| 实验 .....                  | 71 |
| 实验一 温度、pH 对酶促反应的影响 .....  | 71 |
| 实验二 丙二酸对琥珀酸脱氢酶作用的影响 ..... | 72 |
| 实验三 尿蛋白定性试验 .....         | 73 |
| 实验四 尿酮体定性试验 .....         | 73 |
| 实验五 尿三胆测定 .....           | 74 |
| 实验六 血清蛋白醋酸纤维素薄膜电泳 .....   | 76 |
| 本教材名词缩写中英文对照 .....        | 79 |

# 第一章 绪 论

---

## 学 习 目 标

1. 解释生物化学的概念。
  2. 简述生物化学与健康的关系。
- 

### 一、生物化学概念

生物化学是从分子水平上研究生命现象的学科。医学生物化学是以人体为主要研究对象。医学科学中各门不同的学科从不同的角度以不同的方法对人体进行研究,有的是从人体形态结构上进行研究的,有的是从人体功能活动方面进行研究的。医学生物化学主要是运用化学的原理和方法从分子水平上研究人体的生长与发育、遗传与繁殖、衰老与死亡等生命现象。生物化学就是生命的化学。

生物细胞内特有的化合物主要是蛋白质、核酸、复合脂类及多糖等。这些化合物称为生物分子,其分子量大、结构复杂。所谓分子水平的研究,主要是研究生物分子的结构、性质、功能及代谢变化等。其影响已渗透到许多领域,如分子生理学、分子药理学等。大而复杂的生物分子可降解为小而简单的构件分子。构件分子是组成生物分子的基本单位。例如,氨基酸是蛋白质的构件分子,单核苷酸是核酸的构件分子。

人体的生命现象都是通过物质代谢完成的。研究人体内代谢变化及相关的各种物质是生物化学的重要内容。物质在体内的分解与合成的化学过程称物质代谢。由大分子降解为小分子的过程称为分解代谢。由小分子合成大分子的过程称为合成代谢。一般情况下,合成代谢消耗能量,而分解代谢产生能量。人体内物质代谢与产能、耗能的能量代谢是同时进行的。

### 二、生物化学与健康的关系

生物化学与健康的关系十分密切,以下从四个方面进行叙述。

(一) 生物化学与健康的关系 从生物化学的观点出发,健康是人体内所有的代谢反应以正常速率进行着的状态。目前已知,生物、心理和社会因素都能影响体内某个或多个代谢反应或分子功能。例如当人体受到温度剧变、噪声、创伤、感染、拥挤、孤独、恐怖、悲伤等刺激时,体内发生物质分解代谢加快、血糖升高、能量消耗增多、水盐代谢失常等一系列的代谢变化。人体所有疾病都会发生代谢的异常。所以,人体内正常的生物化学过程是健康的基础。

(二) 生物化学与合理营养 维持人体健康的重要条件之一是从饮食中得到各种营养素。营养素包括糖类、脂类、蛋白质、维生素、无机盐等。大多数营养素必须在体内经代谢转变才能生成人体需要的物质并产生能量。有的营养素是物质代谢正常进行不可缺少的物质。生物化学课程中有关营养素在体内代谢变化、生理功能等的论述,为保证人体的合理营养提供了必需的基础知识。例如,膳食纤维的作用在以前营养学上曾被全面否定,认为膳食纤维是不易被人体消化分解的食物成分,没有营养价值。但后来从代谢上进行研究发现,膳食纤维可促使胆汁酸随粪便排出,使体内胆汁酸浓度降低。胆汁酸由胆固醇转化而来,低胆汁酸浓度可促进胆固醇转化为胆汁酸,使血清胆固醇浓度降低,减少心血管疾病的发生。膳食纤维

维中的小麦麸还能降低与结肠癌发生有关的一些酶的活性,减少结肠癌的发生。所以膳食纤维也被列入合理营养不可缺少的物质。

(三) 生物化学与抗衰老 衰老是人体新陈代谢的衰退所引起的。从细胞和分子水平看,细胞不断地进行新陈代谢,产生一系列代谢物。这些产物大多为人体所需要,但其中有些产物如果积聚起来并超过一定水平就会产生致衰老作用。如物质代谢中能产生一些性质极为活泼、能使生物分子失去活性的自由基。自由基是产生衰老的重要祸根,控制人体内的自由基是延缓衰老的措施之一。衰老过程存在着遗传控制。近年来对引起衰老的“衰老基因”或使寿命延长的“长寿基因”也进行了研究。研究表明衰老是许多基因及其各自产物相互作用的结果。有关衰老的基因可受内环境、外环境,特别是自由基等因素的影响,而加速衰老的过程。生物化学在分子水平上探讨人体衰老过程中各种变化的特征,从而阐明衰老的原因和机制,为寻找推迟衰老的措施提供科学的依据。

(四) 生物化学与疾病防治 遗传的物质基础——核酸,是生物化学课程中非常重要的内容。核酸决定了蛋白质的分子结构。因此,核酸分子结构的异常将导致蛋白质分子结构的改变,这是许多疾病直接或间接的原因。一些实验结果显示,性格和行为的异常与核酸分子结构的异常也有一定的关系。研究核酸有关的技术,即分子生物学技术,不仅可用于健康监护和疾病的早期诊断,还可用于疾病的预防和治疗。许多用于预防疾病的疫苗(如肝炎疫苗等),以及治疗疾病的药物(如抗肿瘤和抗病毒的干扰素,治疗糖尿病的胰岛素,治疗侏儒症的生长素等)都可用分子生物学技术进行生产。分子生物学技术还可用于培育供临床组织和器官移植手术所需要的皮肤、耳郭、软骨、动脉甚至肝脏、心脏等组织器官。这就可能解决目前普遍存在的移植器官短缺的难题。用正常的核酸片段替代或矫正异常的核酸分子片段的治疗方法也在积极地研究和试用中。核酸的理论知识和应用技术已为疾病的防治带来了革命性的变化。

21 世纪将是生命科学的年代,是人类可能彻底认识包括人类自身在内的生命本质,并加以有利改造的年代。生物化学在分子水平上进行生命现象研究取得的成果和进展,必将明显地改善和维护人类的健康状况,提高生命的质量。

(江苏省淮阴卫生学校 王承吉)

## 第二章 酶

### 学 习 目 标

1. 解释酶、酶原激活和同工酶的概念。
2. 列举酶促反应的特点。
3. 简述维生素和辅酶的关系。
4. 比较竞争性与非竞争性抑制的特点。
5. 简述酶与临床诊断的关系。

体内代谢的绝大多数化学反应都是在酶的催化下进行的。没有酶的存在,一切物质代谢都不可能实现。所以,酶是人体进行新陈代谢、维持生命活动正常进行的必要条件之一。

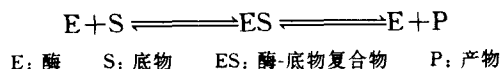
### 第一节 酶的概念与酶促反应特点

#### 一、酶的概念

酶是生物体内特有的催化剂。酶所催化的反应称酶促反应,被酶催化的物质称为底物(又称作用物),酶促反应的生成物称为产物。酶所具有的催化能力称为酶的活性,酶失去催化能力称为酶的失活。

生物体的绝大多数酶类,其化学本质是蛋白质,具有蛋白质的结构和理化性质。酶的催化功能依赖于完整的酶蛋白的空间结构,若是改变了酶的空间结构,酶的催化功能也随之发生改变。此外,极少数的核糖核酸也能作为催化剂。本章讨论的是由蛋白质组成的酶类。

酶在催化底物发生反应时,首先与特定的底物结合,生成酶-底物复合物,然后再分解成产物和酶;酶接着又可与底物结合,继续发挥其催化功能,所以少量的酶可以催化大量的底物发生反应。酶的催化作用可用简式表示如下:



#### 二、酶促反应的特点

与一般催化剂相比较,酶的催化作用主要有以下特点:

(一) 高度的催化效率 酶的催化效率比一般无机催化剂要高得多,其加速化学反应的能力比一般催化剂要大  $10^6 \sim 10^{12}$  倍。例如,1 分子过氧化氢酶每分钟能催化 500 万分子的过氧化氢分解,其催化效率比无机催化剂铁离子要大 100 万倍左右;蔗糖酶催化蔗糖水解的速度比用氢离子催化时要高  $2.5 \times 10^{12}$  倍。

(二) 高度的专一性 酶对其作用的底物的严格的选择性称酶的专一性,又称为酶的特异性。如淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶能分别水解淀粉、脂肪和蛋白质,但不能相互替代。根据酶对底物选择性的严格程度不同,酶的专一性又可分为:

1. 绝对专一性 一种酶只对一种底物起催化作用,并且只能催化一种反应,这种严格的选择性称绝对专一性。如脲酶只催化尿素水解成  $\text{CO}_2$  和  $\text{NH}_3$ ,而对甲基脲等尿素的衍生

物并不起催化作用。

2. 相对专一性 一种酶能作用于一类化合物或一种化学键,这种不太严格的选择性称相对专一性。例如,脂肪酶不仅能催化脂肪水解,也能水解简单的酯类;磷酸酶对一般的磷脂都有水解作用。

(三) 高度的不稳定性 凡是能使蛋白质变性的因素如高温、酸或碱、重金属离子等,都能导致酶蛋白变性而失活,从而影响酶促反应的速度。故在酶促反应中,酶极易受到环境因素的影响。

此外,酶蛋白本身在体内也不断地进行着代谢更新,以及酶促反应无副反应等,都有别于一般的催化剂。在体内,酶的催化作用是受调控的,代谢物及神经、激素等因素都有效地调控着酶促反应的速度。正因为如此,体内的物质代谢才能有条不紊地进行。

## 第二节 酶的组成、结构与功能

### 一、酶的组成

(一) 单纯酶与结合酶 根据酶的分子组成,将酶分成单纯酶和结合酶两大类。

1. 单纯酶 单纯酶的组成成分都是氨基酸。大多数水解酶都属于此类,如蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、核糖核酸酶等。

2. 结合酶 结合酶由蛋白质部分和非蛋白质部分组成。酶的蛋白质部分称为酶蛋白,非蛋白质部分称为酶的辅助因子,这两部分都是结合酶的催化活性所必需的。酶蛋白与辅助因子单独存在时均无催化活性,只有两者结合在一起构成全酶才有催化作用。

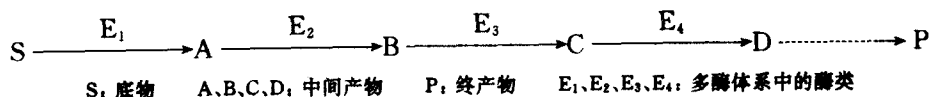
$$\text{全酶} = \text{酶蛋白} + \text{辅助因子}$$

体内大多数的酶都属于结合酶,如多种氧化还原酶等。在酶促反应中,酶蛋白与特定的底物相结合,即决定了酶的特异性;辅助因子有金属离子和小分子有机化合物两种,依其组成不同,而有多种不同的功能。

体内约有 1/3 以上的酶需要金属离子作为辅助因子。有的金属离子与酶蛋白结合十分紧密,是酶的重要组成部分,此类酶称金属酶,如碳酸酐酶含  $\text{Zn}^{2+}$ ,酪氨酸酶含  $\text{Cu}^{2+}$ ,等等。有的金属离子与酶结合比较疏松,但该种金属离子存在时酶才能发挥最大活性,起到激活剂的作用,如己糖激酶的催化反应需  $\text{Mg}^{2+}$  等。金属离子的作用包括:① 稳定酶蛋白分子的空间结构;② 在酶与底物之间起桥梁作用,将酶与底物联接起来;③ 参与酶分子的组成,通过其本身的氧化还原而传递电子(如  $\text{Fe}$ 、 $\text{Cu}$ )等。

另一类辅助因子是小分子有机化合物(通常含 B 族维生素),称为辅酶或辅基。一般地说辅酶与酶蛋白结合比较疏松,而辅基与酶蛋白结合比较牢固,但两者之间并无严格的界线,有时统称为辅酶。在酶促反应中,它们起传递电子、原子、基团等作用。

(二) 多酶体系 在整体的代谢反应中,许多酶常常是在一个连续的反应链中起催化作用,前一个酶促反应的产物正好是后一个酶促反应的底物,多种酶相互连系在一起,反应连续、快速进行,使某一底物经一系列的酶促反应转变为终产物。这种在代谢过程中由若干种酶组成的、催化连续反应的体系称为多酶体系,可简单表示如下:



在多酶体系的反应中,各酶的活性不完全相同,各反应步骤的速度亦不一致,其中反应速度最慢的步骤称为限速步骤。催化限速步骤反应的酶称为限速酶。限速酶活性的大小控制着多酶体系中整个代谢途径的速度。

二、维生素与辅酶

维生素是维持细胞正常功能所必需的一类小分子有机化合物,但需要量很少,人体内大多不能合成或合成不足,则须经常由食物供给。维生素可分为脂溶性和水溶性两大类:脂溶性维生素有 A、D、E、K 四类,水溶性维生素包括多种 B 族维生素和 维生素 C,它们在体内有很重要的功能。脂溶性维生素与人体生长发育和某些生理功能活动密切相关。B 族维生素与体内的新陈代谢关系密切,它们在体内参与辅酶(或辅基)的组成,有的本身就是酶的辅助因子。现将 B 族维生素与辅酶的关系及其作用归纳于表 2-1。

表 2-1 B 族维生素与辅酶的关系

| 维生素             | 学 名 | 辅 酶 形 式                               | 酶促反应中的主要作用                   |
|-----------------|-----|---------------------------------------|------------------------------|
| B <sub>1</sub>  | 硫胺素 | 硫胺素焦磷酸(TPP)                           | $\alpha$ -酮酸脱氢酶系的辅酶          |
| B <sub>2</sub>  | 核黄素 | 黄素腺嘌呤二核苷酸(FAD)<br>黄素单核苷酸(FMN)         | 各种黄素酶(一类氧化还原酶)的辅基,参与递氢作用     |
| PP              | 烟酰胺 | 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NAD <sup>+</sup> ,辅酶 I)    | 多种脱氢酶的辅酶,参与递氢作用              |
|                 | 烟酸  | 烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADP <sup>+</sup> ,辅酶 I) |                              |
| B <sub>6</sub>  | 吡哆素 | 磷酸吡哆醛(磷酸吡哆胺)                          | 氨基酸脱羧酶、氨基转移酶(又称氨基置换酶)等的辅酶    |
| 泛酸              |     | 辅酶 A(CoA)                             | 多种酰基转移酶的辅酶,是酰基的载体            |
| H               | 生物素 | 生物素                                   | 羧化酶的辅酶,是 CO <sub>2</sub> 的载体 |
| 叶酸              |     | 四氢叶酸(FH <sub>4</sub> )                | 一碳单位转移酶的辅酶,是一碳单位的载体          |
| B <sub>12</sub> | 钴胺素 | 甲基钴胺素、脱氧腺苷钴胺素                         | 蛋氨酸合成酶(转甲基酶)的辅酶              |

三、酶的结构和功能

(一)酶的必需基团与活性中心 酶分子上有许多功能基团,其中与酶活性密切相关的基团称为酶的必需基团,又称活性基团。这些必需基团可分布于酶分子不同的肽段,它们集中起来形成具有一定空间结构的区域,能特异地与底物结合并将底物转变为产物,这一区域称为酶的活性中心(图 2-1)。对于结合酶来说,辅助因子亦是活性中心的组成部分。

酶活性中心的必需基团有的能与底物结合,形成酶-底物复合物,称为结合基团;有的具有催化功能,称为催化基团。但两者之间并没有明显的界限。还有一些必需基团位于活性中心之外,为维持酶的空间结构所必需,称活性中心外必需基团(图 2-1)。活性中心是酶发挥催化作用的关键部位,活性中心被破坏或被某种物质占据,酶就会丧失原有的催化功能。

(二)酶原及酶原激活 某些酶在细胞内合成或初分泌时没有催化活性,这种无活性状态的酶的前体称为酶原。在一定条件下,酶原能转化成有活性的酶,称为酶原的激活。在酶原激活过程中,受到特定因素的作用,酶原被断开一个或几个特殊的肽段,其空间结构随之

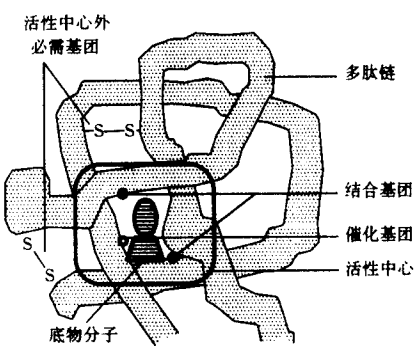


图 2-1 酶的活性中心示意图

发生变化,形成并暴露出活性中心,使酶原转化为有活性的酶(图 2-2)。

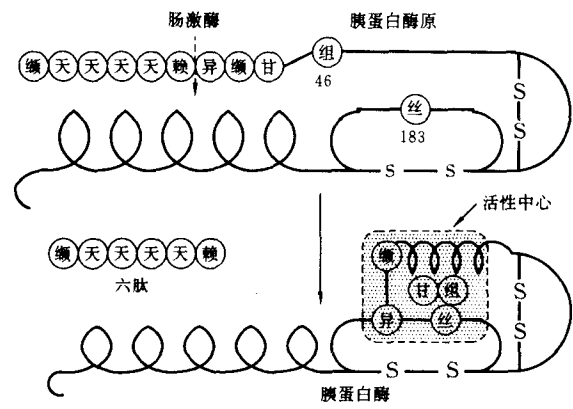


图 2-2 胰蛋白酶原的激活示意图

酶原及其激活具有重要的生物学意义,对人体具有保护作用。例如,正常情况下胰蛋白酶原分泌入肠道经激活后才有水解蛋白质的活性,故胰腺组织本身不会受到酶的作用而破坏。急性胰腺炎时,胰蛋白酶原等在胰腺内被激活,导致严重后果。再如,正常时血管内的血液中虽有大量的凝血因子,但多以酶原形式存在,故不会凝血。当出血时,凝血因子被逐步激活,促使血液凝固。

(三) 同工酶 在同一种属的生物体内,有些酶能催化同一种化学反应,但其酶分子的结构组成、理化性质、生物学性质等却有所不同,这一组酶称为同工酶。如乳酸脱氢酶的同工酶有五种,分别用 LDH<sub>1</sub>~LDH<sub>5</sub> 来表示。心肌中 LDH<sub>1</sub> 活性最高,而骨骼肌和肝中 LDH<sub>5</sub> 较为丰富(表 2-2)。正因为一种酶的同工酶在各组织器官中分布与含量上的差异,临床上可通过分析病人血清中同工酶谱的变化,作为某些组织器官病变的诊断和鉴别诊断的辅助手段。如心肌梗死病人,血清 LDH<sub>1</sub> 活性可明显增高;急性肝细胞损伤病人,血清 LDH<sub>5</sub> 活性明显升高。

表 2-2 一些组织乳酸脱氢酶同工酶的活性(占乳酸脱氢酶总活性的%)

|     | LDH <sub>1</sub> | LDH <sub>2</sub> | LDH <sub>3</sub> | LDH <sub>4</sub> | LDH <sub>5</sub> |
|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 心   | 35~70            | 28~45            | 2~16             | 0~6              | 0~5              |
| 肾   | 28               | 34               | 21               | 11               | 6                |
| 肝   | 0~8              | 2~10             | 3~33             | 6~27             | 30~85            |
| 脑   | 21~25            | 21~26            | 36~54            | 15~20            | 2~8              |
| 肺   | 10               | 20               | 30               | 25               | 15               |
| 骨骼肌 | 1~10             | 4~18             | 8~38             | 9~36             | 40~97            |
| 血 清 | 24~30            | 30~39            | 19~23            | 8~15             | 3~9              |

第三节 影响酶促反应的因素

酶促反应的速度受到多种因素的影响,如温度、pH 值、酶浓度、底物浓度、激活剂、抑制剂等。本节着重讨论温度、pH 值和抑制剂对酶促反应的影响。

### 一、温度的影响

温度对酶促反应速度的影响包括两个方面：一方面，按照一般化学反应的规律，温度升高，反应加快；另一方面，酶蛋白随温度的升高而变性。因此，温度对酶促反应的影响是双重性的。在温度较低时，前一影响较大，反应速度随温度升高而加快；但温度超过一定数值后，酶受热变性的趋势占优势，反应速度反而减慢。在某一温度下，酶促反应的速度最高，通常把这一温度称为酶的最适温度，人体内大多数酶的最适温度在  $37\sim 40^{\circ}\text{C}$  之间(图 2-3)。

低温时酶的活性受到抑制，但并不使酶破坏，温度回升后酶的催化活性又得到恢复，所以利用低温可保存酶制剂。低温麻醉就是利用低温降低酶的活性，以减慢细胞的代谢，提高病人在手术过程中对氧和营养物质缺乏的耐受性。

当温度升高到  $80^{\circ}\text{C}$  以上时，由于酶蛋白的变性，酶活性中心被破坏，酶的催化能力明显降低，甚至完全失活。

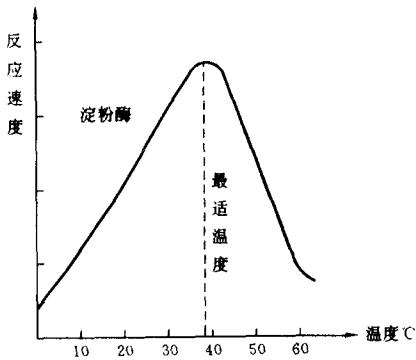


图 2-3 温度对酶促反应速度的影响

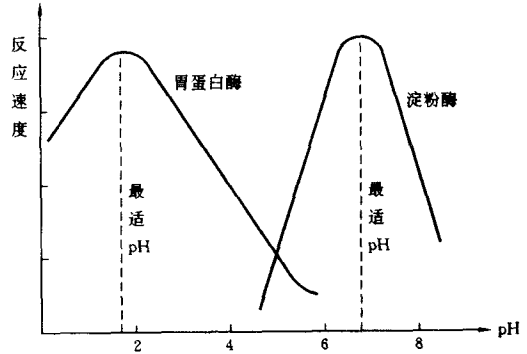


图 2-4 pH 对酶促反应速度的影响

### 二、pH 值的影响

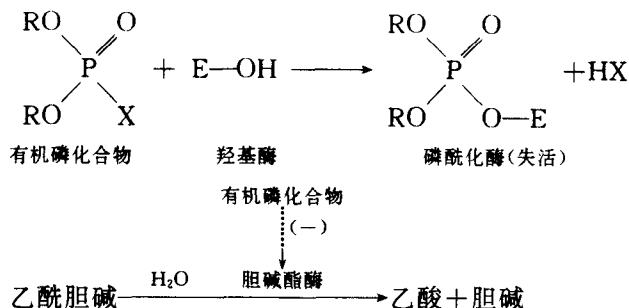
pH 值能影响酶的必需基团的解离程度，也可影响底物和辅酶的解离程度，以致影响酶与底物的结合，改变酶促反应的速度。在某一特定的 pH 条件时，酶的活性最大，酶促反应速度最快，这一 pH 值称为该酶的最适 pH。体内大多数酶的最适 pH 在  $6.5\sim 8.0$  之间，如唾液淀粉酶的最适 pH 为 6.8 左右。但也有例外，如胃蛋白酶的最适 pH 为 1.8 左右。当环境酸碱度偏离最适 pH 时，酶促反应速度会下降；若 pH 过高或过低，可导致酶蛋白的变性失活(图 2-4)。

### 三、酶的抑制剂

凡能降低酶活性或者使酶完全丧失活性的物质称为酶的抑制剂。与一般的蛋白质变性剂(如强酸、强碱等)不同，它不引起酶蛋白的变性，而是直接或间接地影响酶的活性中心而产生抑制作用。酶的抑制剂还具有一定的特异性。根据抑制剂与酶的作用方式的不同，抑制作用可分为两大类：

(一) 不可逆性抑制 此类抑制剂以共价键与酶蛋白结合，破坏酶与底物的结合或者酶的催化作用，不能用透析的方法除去，从而产生不可逆性抑制。

许多毒物是酶的不可逆抑制剂，如重金属离子  $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Hg}^{2+}$  等能与某些酶的活性中心中半胱氨酸的巯基( $-\text{SH}$ )不可逆地结合，使酶丧失活性；有机磷农药能与胆碱酯酶活性中心中丝氨酸的羟基( $-\text{OH}$ )结合，使酶磷酸化，从而抑制酶的活性，使乙酰胆碱在体内堆积，对人体产生毒性作用。



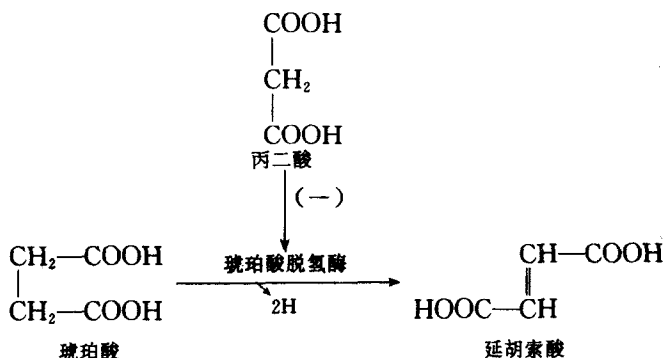
若早期使用解磷定(PAM)等药物,可与有机磷农药结合,使胆碱酯酶与有机磷农药分离而恢复活性。



(二) 可逆性抑制 此类抑制剂与酶以非共价键结合,可以用透析的方法除去,所以是可逆的。可逆性抑制常见的有两类。

1. 竞争性抑制 竞争性抑制剂的结构与底物相似,因而能与底物竞争同一种酶的活性中心,酶的活性中心被抑制剂占据而不能与底物结合,结果产生抑制效应(图 2-5)。竞争性抑制作用的强弱取决于抑制剂浓度与底物浓度的相对比例。在底物浓度不变时,抑制剂只有达到一定浓度才能起到抑制作用;在抑制剂浓度不变时,增加底物浓度能减弱抑制效应。

如琥珀酸脱氢酶能催化琥珀酸转变为延胡索酸,丙二酸、苹果酸等与琥珀酸的结构相似,都能竞争性地与该酶的活性中心相结合,抑制了酶的催化作用。



许多药物都是酶的竞争性抑制剂。磺胺类药物就是其中之一。细菌生长需要利用对氨基苯甲酸等合成二氢叶酸,磺胺类药物的结构与对氨基苯甲酸相似,能竞争性地抑制二氢叶酸合成酶,阻碍了二氢叶酸的合成,故磺胺类药物能抑制细菌的生长与繁殖。

