

医学高等专科学校教材
供护理、中医、口腔专业用

人体机能学

RENTI
JINENGXUE

主 编 柳宝祥 付作昌
副主编 冯国文 李金龙

内蒙古科学技术出版社

高等医学专科学校教材
供护理、中医、口腔专业用

人 体 机 能 学

主 编 柳宝祥 付作昌

副主编 冯国文 李金龙

编 者(以姓氏笔画为序)

王利敏(内蒙古海拉尔铁路中心医院)

付作昌(赤峰学院医学院)

冯国文(赤峰学院医学院)

刘雪梅(赤峰学院医学院)

李金龙(赤峰学院附属医院)

柳宝祥(赤峰学院医学院)

贾晓丽(赤峰学院医学院)

高义(赤峰学院附属医院进修教师)

内蒙古科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

人体机能学 / 柳宝祥,付作昌主编. —赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2008. 4

ISBN 978 - 7 - 5380 - 1628 - 4

I. 人… II. ①柳…②付… III. 人体—机能(生物)—医学院校—教材 IV. R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 051468 号

出版发行:内蒙古科学技术出版社

地 址:赤峰市红山区哈达街南一段4号

邮 编:024000

电 话:(0476)8231924

出 版 人:额敦桑布

组织策划:斯钦巴特尔

责任编辑:许占武 那 明 刘 冲

封面设计:永 胜

印 刷:赤峰地质宏达印刷有限责任公司

字 数:700 千

开 本:850 × 1168 1/16

印 张:25

版 次:2008 年 4 月第 1 版

印 次:2008 年 4 月第 1 次印刷

定 价:36.00 元

前 言

为了深化教育改革,适应医学模式转变,改变传统的医学教育分科过细,内容重复,不利于学生在较短的时间内掌握医学基础知识等弊端,本着“淡化学科界限,重视课程内容”,努力贯彻理论密切联系实际的原则,充分考虑教学对象的接受能力,编写了这本《人体机能学》,将传统的生理学、生物化学知识融为一体,适当加入了心理社会因素对人体机能的影响、营养和健康、基因重组和分子生物学技术等内容。从多方面进行了删减、提炼,做到既阐述准确、精炼,避免理论知识过多、过深、过难,又通俗易懂,语言流畅,使学生获得必需的人体机能学理论知识,并为学习后续课程打下良好的基础。

本教材的编写有以下几个特点:

1. 在教学内容上以“必须”、“够用”为度,并力求突破传统思路与框架,注重突出应用性和实践性,突出基础课为专业课教学和临床实践服务的观念,为阐述疾病发生、诊断、治疗和现代医疗技术原理奠定基础。

2. 将“维持人体内环境稳态、促进人体健康长寿”作为主线贯穿教材始终,应用整体、动态、发展、相互联系和既对立又统一的唯物辩证的思想观点,对人体机能进行阐述,引导学生领悟科学思维方法。

3. 在保证“思想性、科学性”的同时,努力体现“实用性、可读性和创新性”,力争做到符合教学规律,使教师易教,学生易学。

4. 适当介绍人体机能的新理论、新技术和新方法,有助于学生了解本学科的发展动态。

本教材编写中主要参考了全国高等医药院校的生理学、生物化学、医学心理学等教材,在此向有关编者致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间较短,书中定有不妥和错误之处,恳请广大师生给予批评指正。

编写组

2007年12月1日

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 概 述	1
第二节 生命的基本特征	1
第三节 机体与环境	3
第四节 人体功能的调节	3
第二章 细胞的分子结构和基本功能	7
第一节 生物大分子的化学和功能	7
第二节 细胞膜的物质转运功能	37
第三节 受体与细胞的跨膜信号转导	41
第四节 细胞的生物电现象	43
第五节 骨骼肌的收缩功能	47
第三章 营养和健康	54
第一节 人体需要的营养素	54
第二节 能量代谢	61
第三节 营养和健康的关系	67
第四章 人体的物质代谢	68
第一节 食物的消化与吸收	68
第二节 糖代谢	83
第三节 脂类代谢	96
第四节 生物氧化	112
第五节 蛋白质的分解代谢	120
第六节 核酸的代谢	132
第七节 体温及其调节	152
第五章 血 液	158
第一节 概 述	158
第二节 血 浆	158
第三节 血细胞	160
第四节 生理性止血	162
第五节 血型与输血	167
第六章 血液循环	169
第一节 心脏生理	169
第二节 血管生理	183
第三节 心血管活动的调节	190
第四节 心、肺和脑的血液循环	198
第七章 呼 吸	202
第一节 肺通气	202

第二节	呼吸气体的交换	210
第三节	气体在血液中的运输	213
第四节	呼吸运动的调节	217
第八章	肾的排泄功能与水盐代谢	223
第一节	肾脏的结构和血液循环特点	223
第二节	肾小球的滤过功能	227
第三节	肾小管和集合管的重吸收	231
第四节	肾小管和集合管的分泌	234
第五节	尿液的浓缩和稀释	234
第六节	尿生成的调节	237
第七节	血浆清除率	242
第八节	尿液及其排放	243
第九节	水电解质代谢及紊乱	244
第九章	酸碱平衡	275
第一节	体内酸碱物质的来源	275
第二节	酸碱平衡的调节	276
第三节	单纯性酸碱平衡紊乱	282
第四节	混合型酸碱平衡紊乱	287
第十章	肝脏的功能	289
第一节	肝在物质代谢中的作用	289
第二节	肝的生物转化作用	292
第三节	胆汁与胆汁酸的代谢	398
第四节	胆色素的代谢与黄疸	301
第十一章	感觉器官的功能	307
第一节	概 述	307
第二节	视觉器官	307
第三节	听觉器官	314
第四节	内耳的平衡感觉功能	316
第十二章	神经系统的功能	319
第一节	神经元与神经胶质细胞的一般功能	319
第二节	神经元的信息传递	320
第三节	神经系统的感觉分析功能	328
第四节	神经系统对躯体运动的调节	333
第五节	神经系统对内脏活动的调节	341
第六节	脑的高级功能和脑电活动	347
第十三章	内分泌	354
第一节	激素的概况	354
第二节	下丘脑和垂体的内分泌	357
第三节	腺垂体	359
第四节	甲状腺	360
第五节	肾上腺	363
第六节	胰 岛	366

第七节 甲状旁腺和甲状腺 C 细胞	368
第十四章 生殖	369
第一节 男性生殖	369
第二节 女性生殖	370
第十五章 基因重组与分子生物学技术	375
第一节 基因重组	375
第二节 基因工程	376
第三节 DNA 重组技术与医学的关系	380
第四节 分子生物学常用技术	383
第五节 癌基因与抑癌基因	385

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、人体机能学的研究内容

机体(有机体)指的是一切有生命的个体。机体在生命过程中所表现出来的一切功能活动,如循环、呼吸、消化、排泄、肌肉运动等,统称为生命活动。人体机能学是运用物理学和化学的原理和方法来研究人体生命活动及其原理的一门科学。它综合了生理学、生物化学两部分内容。为了更深入地了解机体各种功能,还必须研究某些组织或细胞的微细结构和化学组成,了解细胞内所发生的各种物理和化学变化。我们学习人体机能学就是要认识这些机能和变化发生的原理、发生的条件,以及各种环境条件对它们的影响,从而认识和掌握正常生命活动及其原理。

二、人体机能学与医学的关系

医学的任务是保护和促进人类健康、预防疾病和治疗疾病,而疾病中表现出来的种种病理过程,无疑不是正常的功能发生了量变和质变的结果。因此,医务人员必须掌握正常生命活动及其原理,才能认识疾病和防治疾病,才有可能探索病理变化的规律。人体机能学是一门医学基础课,正是为了进一步学习病理学、药理学以及医学各专业课程打下牢固的基础,为促进人类健康、延长人类寿命提供理论依据。

第二节 生命的基本特征

人体是由物质组成的。构成人体的化学元素主要由碳、氢、氧、氮,还有钠、钾、钙、镁、氯、磷、铁、碘等,由这些元素组成蛋白质、糖、脂类等有机物以及水和其他无机物。近代生物科学的研究表明,人体不是各种元素或物质的简单堆积或聚合。在构成人体的各组织细胞中,各种物质在空间上都有一定的排列和位置,组成了可以实现各种功能的生物学结构。例如,细胞膜主要是由有一定层次和排列方向的脂类和蛋白质等分子构成,这种膜对不同物质和离子有不同的通透性,因而使细胞表现出一定的电性和其他特性;又如在细胞核和胞浆中含有一些具有特异性结构的核酸和蛋白质。可以控制细胞内其他蛋白质和酶的合成,因而可以决定细胞的结构特点和代谢类型等等。在构成人体的固体物质中,各种蛋白质含量约占总量的一半。它们在人体的生命活动中具有重要的意义。在复杂的人类机体内,核酸和蛋白质起着极为重要的作用,决定着体内的新陈代谢和各种生命活动的进行。一切有生命的结构,从单细胞生物到高等的人类,都具有生命的基本特征,包括新陈代谢、兴奋性和生殖等。

一、新陈代谢

新陈代谢是指机体与环境之间进行物质交换和能量交换的过程。生命活动的维持首先依赖于新陈代谢的正常进行。它包括同化作用和异化作用两个方面。同化作用是指机体从外界环境中摄取营养物质来合成机体自身物质的过程;异化作用是指机体把自身物质进行分解,同时释放出能量以供机体生命活动的需要,并把分解后的尾产物排出体外的过程。一般当物质分解时总是伴有能量的释放,而物质的合成则必须供给能量。因此,在新陈代谢过程中,既有物质代谢又有能量代谢,物质的合成和分解称为物质代谢;在物质代谢的过程中伴随着能量的释放、转移和利用,

称为能量代谢。机体只有在不断地与环境进行物质与能量交换的基础上才能实现自我更新。新陈代谢是生命的基本特征之一,新陈代谢一旦停止,生命即告终止。

二、兴奋性

(一)刺激与反应

机体生活在适宜的环境中,这是进行新陈代谢的必要条件。当环境发生变化时,机体能作出相应的反应,以适应环境的变化。例如,外环境温度升高时,机体产热减少,散热增加,以防止体温过高;当环境温度下降时,机体散热减少而产热增加,以防止体温过低。能引起机体发生反应的环境变化,称为刺激。刺激的种类很多,按性质的不同可以分为:①物理性刺激,例如电、机械、温度、声波、光和放射线等。②化学性刺激,如酸、碱、药物等。③生物性刺激,例如细菌、病毒等。④社会心理性刺激,例如,情绪激动、社会变革等。

刺激要引起机体发生反应,除能被机体感受外,还必须具备以下三个条件:

1. 足够的强度。任何形式的刺激必须达到足够的强度,才能引起机体发生反应。当一个刺激的其他参数不变时,引起组织发生反应的最小刺激强度,称为阈强度或阈值。衡量组织兴奋性高低,通常多用刺激强度作指标。阈值的大小与兴奋性的高低呈反变的关系,组织或细胞产生兴奋所需的阈值越高,说明该组织的兴奋性越低;反之,说明该组织的兴奋性越高。刺激强度等于阈值的刺激称为阈刺激;强度高于阈值的刺激称为阈上刺激;强度低于阈值的刺激称为阈下刺激。一个阈下刺激不能引起组织发生反应。

2. 足够的作用时间。在具有一定的作用强度的情况下,还要有一定的作用时间,才能引起组织发生反应。

3. 强度-时间变化率。强度-时间变化率表示单位时间内强度的变化幅度。适宜的强度-时间变化率为一个有效刺激所必需。变化速率过慢或过快,都不能成为有效刺激。

生物体受到刺激而引起的内部代谢过程及其外表活动的改变称为反应。不同组织或细胞受刺激而发生反应时,外部可见的反应形式有可能不同。具体有两种形式——兴奋和抑制。兴奋是指机体接受刺激后由相对静止转为活动或活动状态的加强;抑制是指机体由活动状态转为相对静止或活动状态的减弱。兴奋和抑制是人体功能状态的两种基本表现形式,可随条件改变而相互转化。如各种肌细胞表现机械收缩,腺细胞表现分泌活动等,但所有这些变化都是由刺激引起的,因此把这些反应称之为兴奋。再如当心率过快时,使用阿替洛尔(β_1 受体阻断剂)后,心率减慢。这种反应称为抑制。

(二)兴奋性

兴奋性是机体具有感受刺激发生反应的能力或特性,它是在新陈代谢基础上产生的。

上世纪中后期的生理学家用两栖类动物做实验时,发现青蛙或蟾蜍的某些组织在离体的情况下,也能在一定的时间内维持和表现出某些生命现象。这些生命现象的表现之一是:当这些组织受到一些外加的刺激因素(如机械的、化学的、温热的或适当的电刺激)作用时,可以应答性出现一些特定的反应或暂时性的功能改变。这些活组织或细胞对外界刺激发生反应的能力,就是生理学最早对于兴奋性的定义。例如,把蟾蜍的腓肠肌和支配它的神经由体内剥离出来,制成神经-肌肉标本,这时如果在神经游离端一侧轻轻地触动神经,或通以适当的电流,那么在经过一个极短的潜伏期后,可以看到肌肉出现一次快速的缩短和舒张;如把刺激直接施加于肌肉,也会引起类似的收缩反应;而且只要刺激不造成组织的损伤,上述反应可以重复出现。这就是神经和肌肉组织具有兴奋性的证明。实际上,几乎所有活组织或细胞都具有某种程度的对外界刺激发生反应的能力,只是反应的灵敏度和反应的表现形式有所不同。在各种动物组织中,一般以神经和肌细胞以及某些腺细胞表现出较高的兴奋性;这就是说它们只需接受较小的程度的刺激,就能表现出某种形式的反应,因此称为可兴奋细胞或可兴奋组织。

三、生殖(详见第十四章)

第三节 机体与环境

机体的一切生命或都是在一定的环境中进行的,脱离环境,机体将无法生存。机体的环境有内环境和外环境之分。

一、人体与外环境

人生活在自然界中,所以把自然界称为人体的外环境。人与外环境之间存在两方面的关系。一方面是外环境的变化对人体的作用;另一方面是人的活动对环境的影响。只有这两方面的关系达到良性平衡时,人才能保持正常的生理状态。对人来说,外环境包括自然环境和社会环境,它们对人体的各种功能活动都具有重要的意义。

自然环境的影响按性质可分为物理因素、化学因素和生物因素。例如,气温、气压、光照、湿度等许多理化因素在不断的变化,构成对人体的刺激,引起人体相应的适应性反应。然而人体对自然环境变化的适应能力有一定的限度,例如气温极度升高或降低,人体都无法适应。

社会环境是影响人体功能的另一个重要方面,社会环境的影响包括社会因素和心理因素,统称为心理社会因素。他通过神经系统特别是大脑皮层,影响人体的功能活动。常见的社会环境是人们工作和生活环境的紧张,过度紧张将引起心理状态失去平衡,从而通过神经系统、内分泌系统和免疫系统引起机体功能的变化。

二、内环境与稳态

机体生存在自然环境中,而绝大多数的细胞不与自然环境接触,而是生存在细胞外液当中。细胞外液充满于细胞间隙,细胞浸浴在细胞外液之中,在新陈代谢过程中所需的营养物质直接来自细胞外液,代谢产物首先排放到细胞外液。所以,细胞外液是细胞直接生活的体内环境,称为机体内环境。

机体生存的环境要具备适宜的气候、合适的光照、充足的水源、丰富的物质等,而体内细胞对内环境的要求更加严格,如各种物质的浓度、酸碱度、渗透压、温度等,在正常情况下,其数值的波动只能限于一定范围之内,否则将会严重干扰代谢。内环境的理化性质、各种物质的浓度等保持相对稳定的状态,称为内环境稳态。内环境稳态是细胞进行正常生命活动的必要条件,如果内环境稳态遭到破坏,即可发生疾病,如发热,就是体温超过了正常范围,会对机体产生不利的影响,甚至危及生命。

稳态的维持有赖于人体各器官功能的正常发挥和人体各种调解活动的正常进行。在外环境和细胞新陈代谢不断破坏内环境稳定的同时,人体通过器官的活动与调节使破坏了稳态得以恢复。从这个意义上说,人体的正常生命活动正是在稳态的不断破坏和不断恢复的过程中得以保持和进行的。

第四节 人体功能的调节

一、人体功能的调节方式

(一)神经调节

神经调节是指通过神经系统的活动对人体功能进行的调节。神经调节的基本过程是反射。反射的结构基础为反射弧,包括五个基本环节:感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器(图1-1)。感受器是接受刺激的器官,效应器是产生反应的器官,中枢在脑和脊髓中,传入和传出神经是将中枢与感受器和效应器联系起来的通路。举例来说,在生理情况下动脉血压是保持相对

稳定的,当某种原因使动脉血压高于正常时,分布在主动脉弓和颈动脉窦的动脉压力感受器就能感受这种血压的变化,并将血压的变化转变为一定的神经冲动,后者通过传入神经纤维到达延髓的心血管中枢,心血管中枢对传入的神经信号进行分析,然后通过迷走神经和交感神经传出纤维发出指令,改变心脏和血管的活动,使动脉血压回降到原先的水平。这个反射称为压力感受性反射,也是一个典型的负反馈调控的例子,对于维持动脉血压的稳态起着重要的作用。反射调节是机体重要的调节机制,神经统功能不健全时,调节将发生混乱。巴甫洛夫将反射分成非条件反射与条件反射两类。非条件反射是先天遗传的,同类动物都具有的,是一种初级的神经活动。上述压力感受性反射就是一种简单的非条件反射。条件反射是后天获得的,是个体在生活过程中按照它的生活条件而建立起来的,是一种高级的神经活动。例如,工人进入劳动环境中就会发生呼吸加强的条件反射,这时虽然劳动尚未开始,但呼吸系统已增强活动,为劳动准备提供足够的氧并排出二氧化碳。所以,条件反射是更具有适应性意义的调节。

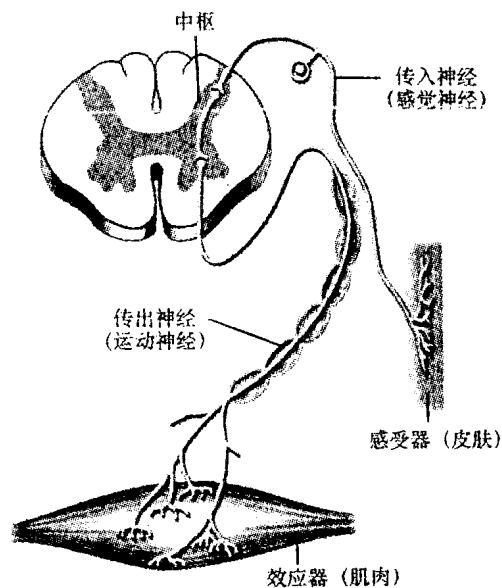


图 1-1 反射弧

(二) 体液调节

体液调节是指血液中的化学物质通过细胞外液或血液循环而作用于机体的某些组织或器官,对机体功能进行的调节。许多内分泌细胞分泌的各种激素,就是借助于体液循环的通路对机体的功能进行的调节。例如,胰岛的B细胞分泌的胰岛素,是一种调节全身组织细胞糖代谢的激素,能促进细胞对葡萄糖的摄取和利用,又有降低血糖的作用,在维持血浆葡萄糖浓度的稳定中起重要的作用。

除激素外,某些组织、细胞产生的一些化学物质(如 CO_2 、 H^+ 、乳酸等),虽不能随血液到身体其他部位起调节作用,但可在局部组织液内扩散,改变邻近组织细胞的活动。这种调节可看作是局部性体液调节,也称为旁分泌调节。

神经调节的一般特点是比较迅速而精确,体液调节的一般特点是比较缓慢、持久而弥散,两者相互配合使生理功能调节更趋于完善。

另外,一些内分泌腺也直接或间接地受到神经系统的调解,在这种情况下,体液调节便成为神经调节的反射弧传出途径的延伸或补充,称为神经-体液调节(图1-2)。例如,肾上腺髓质接受交感神经支配,当交感神经系统兴奋时,肾上腺髓质分泌的肾上腺素和去甲肾上腺素增加,经血液运输,调节相应器官的功能活动。

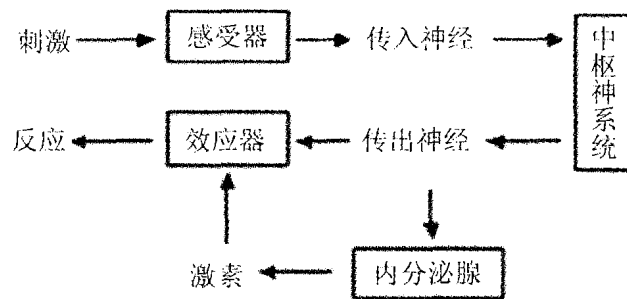


图 1-2 神经调节与体液调节的关系

(三) 自身调节

自身调节是指组织、细胞在不依赖于外来的或体液调节情况下,自身对刺激发生的适应性反应过程。例如,骨骼肌或心肌的初长(收缩前的长度)能对收缩力量起调节作用;当初长在一定限度内增大时,收缩力量会相应增加,而初长缩短时收缩力量就减小。一般来说,自身调节的幅度较小,也不十分灵敏,但对于生理功能的调节仍有一定意义。

有时候一个器官在不依赖于器官外来的神经或体液调节情况下,器官自身对刺激发生的适应性反应过程也属于自身调节。

二、人体功能调节的反馈控制系统

(一) 反馈控制系统

反馈控制系统是一个闭环系统,其控制部分不断接受受控部分的影响,即受控部分不断有反馈信息返输给控制部分,改变着它的活动。这种控制系统具有自动控制的能力。

在不同的反馈控制系统中,传递信息的方式是多种多样的,可以是电信号(神经冲动)、化学信号或机械信号,但最重要的是这些信号的数量和强度的变化中所包含的准确的和足够的信息。在反馈控制系统中,受控部分的活动增加,可通过反馈机制传递至控制部分,如果反馈信号减低控制部分的活动,即为负反馈(negative feedback);如果反馈信号加强了控制部分的活动,即为正反馈(positive feedback)。在负反馈情况时,反馈控制系统平时处于稳定状态。例如当细胞外液 O_2 分压降低和 CO_2 分压稍升高时,机体通过负反馈机制可使延髓呼吸中枢兴奋性增强,呼吸运动加深加快, O_2 分压和 CO_2 分压恢复正常。而正反馈则使某种生理过程快速完成。例如分娩、血液凝固、动作电位产生过程中钠离子通道的开放以及大小便等生理过程都是正反馈所控制的。在病理情况下,则会有许多正反馈情况发生。例如,在大量失血时,心脏射出的血量减少,血压明显降低,冠状动脉的血流量就减少,使心肌收缩力减弱,心脏射出的血量就更少,如此反复,最后可导致死亡。在这个过程中,心脏活动减弱,经过反馈控制,使心脏活动更弱,所以是正反馈。这类反馈控制过程称为恶性循环。

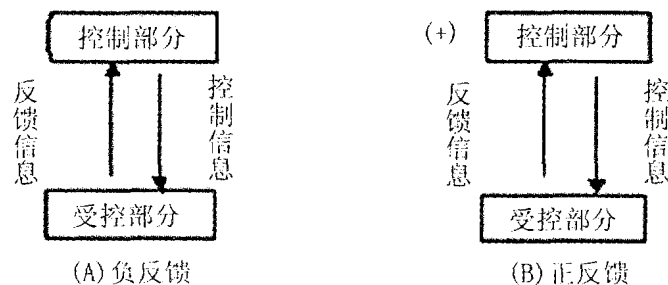


图 1-3 负反馈和正反馈示意图

（二）前馈控制系统

前馈控制系统是指在控制部分向受控部分发出指令的同时,又通过另一个快捷的通路向受控部分发出指令,使受控部分的活动更加准确和适度。前馈控制与反馈相比更为迅速。例如,要求将手伸至某一目标物,脑发出神经冲动指令一定的肌群收缩,同时又通过前馈机制,使这些肌肉的收缩活动能适时地受到一定的制约,因而手不会达不到目标物,也不至伸的过远,整个动作能完成得很准确。条件反射活动也是一种前馈控制活动,例如冬泳时,在人体体温还未降低前,通过视觉、环境等刺激已提前发动了体温调节机制,使产热增加和散热减少。前馈控制系统可以使机体的反应具有一定的超前性和预见性。

（柳宝祥）

第二章 细胞的分子结构和基本功能

第一节 生物大分子的化学与功能

一、蛋白质的化学与功能

蛋白质(protein)是生命的物质基础,约占人体干重 45%。蛋白质的希腊名字(protos)的本意是第一、最初,这足以表明它的重要性。蛋白质是最丰富的生物大分子,存在于所有的细胞及细胞的所有部位。蛋白质的种类更是其他生物分子无法比拟的,在一个细胞中就可以找到数千种蛋白质。蛋白质具有显著的功能多样性,所有的生命活动都离不开蛋白质。

生命的神奇之处就在于它的每一种蛋白质都有特定的功能,而蛋白质的合成过程实际上只是按一定比例选择氨基酸并把它们按一定顺序连接起来,于是各种各样的蛋白质就产生了:酶、激素、抗体、载体以及更多的其他蛋白质,它们均具有特定的生物学作用。

生命活动有一套特定规则。这套规则是生命活动的基础,也是生命活动的本质,用简单的小分子氨基酸合成复杂的大分子蛋白质的过程严格遵守这套规则。只有阐明这些规则,才能真正揭开生命的奥秘。

(一)蛋白质的分子组成

1. 蛋白质的元素组成及特点。根据蛋白质的元素分析结果,证明组成蛋白质分子的元素主要有碳(50% ~ 55%)、氢(6% ~ 8%)、氧(19% ~ 24%)、氮(13% ~ 19%)和硫(0% ~ 4%)。有些蛋白质还含有少量的磷、锰、锌、铜、钴等元素。蛋白质元素组成的一个重要特点是:一切蛋白质都含有氮,而且各种蛋白质的含氮量十分接近,平均为 16%。即每克氮相当于 6.25 克蛋白质。由于体内含氮物质主要是蛋白质,因此,可用定氮法(如凯氏定氮法)测得的样品含氮量乘以 6.25,即可计算出样品的蛋白质含量。

$100\text{g 样品中的蛋白质含量(g\%)} = \text{每克样品中的含氮克数} \times 6.25 \times 100$

2. 蛋白质基本组成单位——氨基酸。不同种类的蛋白质经酸、碱或蛋白水解酶作用后,最终的水解产物都是氨基酸。因此,氨基酸是蛋白质的基本组成单位。

(1)氨基酸结构。自然界中的氨基酸有 300 余种,但组成人体蛋白质的氨基酸仅有 20 种,且除甘氨酸外,均属于 L- α 氨基酸。L- α 氨基酸的结构通式可用下式表示(R 为侧链,图 2-1):



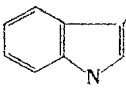
图 2-1 L- α 氨基酸

其特点是:①除脯氨酸为亚氨基酸外,其余 19 种均符合上述通式。②除甘氨酸的 R 为 H 外,其他氨基酸的 α -碳原子都是不对称碳原子,因而有两种不同的构型,即 L 型和 D 型。组成人体蛋白质的氨基酸都是 L 型。③不同氨基酸的 R 侧链各异,它们的分子量、解离程度和化学反应也不相同。

(2) 氨基酸的分类

组成人体蛋白质的 20 种氨基酸,根据其 R 侧链的结构和理化性质不同可分为四类:①非极性疏水氨基酸。②极性中性氨基酸。③酸性氨基酸。④ 碱性氨基酸(表 2-1)。

表2-1 氨基酸分类

结构式	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点 (pI)
1. 非极性疏水性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	甘氨酸	glycine	Gly	G	5.97
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	丙氨酸	alanine	Ala	A	6.00
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	缬氨酸	valine	Val	V	5.96
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	亮氨酸	leucine	Leu	L	5.98
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	异亮氨酸	isoleucine	Ile	I	6.02
$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	苯丙氨酸	phenylalanine	Phe	F	5.48
$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_2 \quad \text{CHCOO}^- \\ \backslash \quad / \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	脯氨酸	proline	Pro	P	6.30
2. 极性中性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$ 	色氨酸	tryptophan	Trp	W	5.89
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	丝氨酸	serine	Ser	S	5.68
$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	酪氨酸	tyrosine	Tyr	Y	5.66
$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	半胱氨酸	cysteine	Cys	C	5.07
$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	蛋氨酸	methionine	Met	M	5.74
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	天冬酰胺	asparagine	Asn	N	5.41

续表					
结构式	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点 (pI)
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	谷氨酰胺	glutamine	Gln	Q	5.65
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	苏氨酸	threonine	Thr	T	5.60
3. 酸性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	天冬氨酸	aspartic acid	Asp	D	2.97
$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	谷氨酸	glutamic acid	Glu	E	3.22
4. 碱性氨基酸					
$\begin{array}{c} \text{NH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	赖氨酸	lysine	Lys	K	9.74
$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{NH}_2-\text{CNH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	精氨酸	arginine	Arg	R	10.76
$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	组氨酸	histidine	His	H	7.59

① 非极性疏水氨基酸。其特征是含有非极性 R 侧链,它们显示出不同程度的疏水性。属于这一类的氨基酸包括甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸。甘氨酸的 R 侧链仅为氢原子,无疏水性。

② 极性中性氨基酸。其特征是含有极性 R 侧链(如侧链上含有羟基或巯基、酰胺基等极性基团),故有亲水性,但在中性水溶液中不电离。这类氨基酸包括色氨酸、丝氨酸、酪氨酸、半胱氨酸、蛋氨酸(又称甲硫氨酸)、天冬酰胺、谷氨酰胺、苏氨酸。

③ 酸性氨基酸。其特征是它们的侧链含有羧基,易解离出 H^+ 而具有酸性。此类氨基酸有两种:天冬氨酸和谷氨酸。

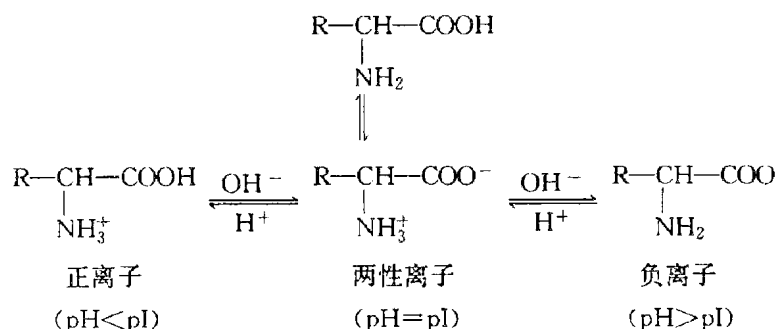
④ 碱性氨基酸。其特征是它们的侧链含有易接受 H^+ 的基团而具有碱性。此类氨基酸有三种:赖氨酸、精氨酸、组氨酸。

除上述 20 种氨基酸外,蛋白质分子中还有一些修饰氨基酸,如羟赖氨酸、羟脯氨酸、焦谷氨酸、碘代氨酸等,它们都是在蛋白质合成过程中或合成后从相应的编码氨基酸经酶促加工、修饰而成的,这些氨基酸在生物体内都没有相应的遗传密码。

(3) 氨基酸的理化性质。

① 两性电离与等电点。所有氨基酸都含有碱性的氨基(或亚氨基),又含有酸性的羧基,故既有碱的性质,又有酸的性质,因此是两性电解质,具有两性游离性质。在不同 pH 值溶液中,可以带不同的电荷。在酸性溶液中羧基与质子(H^+)结合而带正电荷,在碱性溶液中 NH_3^+ 上的 H^+ 与

OH^- 结合而带负电荷。氨基酸的解离过程如下:



由上式可见,当将氨基酸溶液的 pH 值调到某一特定的 pH 值时,其酸性基团所产生的负电荷等于碱性基团所产生的正电荷,即为氨基酸的兼性离子,分子呈电中性。使某氨基酸所带的正、负电荷数相等时溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点,通常用 pI 表示。各种氨基酸所含的氨基、羧基的数目不同,而且各种基团解离度不同,因此不同的氨基酸有各自特定的等电点。

②茚三酮反应。氨基酸与茚三酮试剂共同加热,氨基酸被氧化分解,产生氨及二氧化碳,茚三酮则被还原。在弱酸性溶液中,茚三酮的还原产物可与氨及另一分子茚三酮缩合成蓝紫色的化合物。其颜色的深浅与来自氨基酸的氨基量成正比(脯氨酸产生的颜色例外)。故茚三酮作显色剂可进行氨基酸的定性、定量测定。

此外,氨基酸还有许多重要性质,如亚硝酸、甲醇、2,4-二硝基氟苯或丹硫酰氯等反应。这些反应对氨基酸的含量测定或蛋白质多肽链的末端分析都有很大价值。两分子氨基酸之间可脱水缩合成二肽,氨基酸的这一性质对蛋白质多肽链形成具有重要意义。

(4)氨基酸在蛋白质分子中的连接方式。蛋白质是由氨基酸聚合成的高分子化合物,在蛋白质分子中,氨基酸之间通过肽键相连。氨基酸通过肽键连接起来形成的化合物称为肽(图 2-2)。

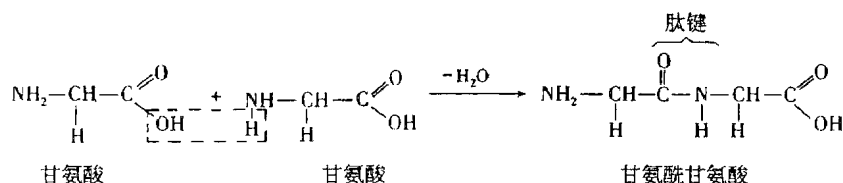


图 2-2 肽与肽键

由两个氨基酸缩合成的肽称为二肽,三个氨基酸缩合成三肽,其余以此类推。通常将十肽以下者称为寡肽,十肽以上者称为多肽。多肽分子中的氨基酸相互衔接,形成长链,称为多肽链。肽链中氨基酸分子因脱水缩合而基团不全,称为氨基酸残基。可见,多肽链的主键是肽键,由肽键连接各氨基酸残基形成的长链骨架即…… $\text{C}_\alpha - \text{CO} - \text{NH} - \text{C}_\alpha$ ……结构称多肽主链,而连接于 C_α 上的各氨基酸残基的 R 基团统称为多肽侧链。

每个肽分子都有一个游离 $\alpha - \text{NH}_2$ 末端(称 N-末端或 N-端,常用“H”表示)和一个游离 $\alpha - \text{COOH}$ 末端(称 C-末端或 C-端,常用“-OH”表示),在书写某肽时,规定 N-端在左,C-端在右,从左至右依次将各氨基酸的中文或英文缩写符号列出。如 H-甘-丙-谷……组-蛋-OH。

每条多肽链中氨基酸残基顺序编号都从 N-端开始。肽的命名也是从 N-端开始指向 C-端,如从 N-端到 C-端依次由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸缩合成的三肽称为谷氨酰半胱氨酰甘氨酸,简称谷胱甘肽(GSH, -SH 表示分子中的自由巯基)。谷胱甘肽(GSH)是一种不典型的三肽,谷氨酸通过 γ -羧基与半胱氨酸的 α -氨基形成肽键,故称 γ -谷胱甘肽。结构式如下: