

RENTI
SHENGLI
XUE

人 体 生 理 学

于吉人 张大成 主编

北京医科大学
中国协和医科大学 联合出版社

人 体 生 理 学

主编

于吉人 张大成

编委

(以姓氏笔划为序)

于吉人 北京医科大学

李 铁 北京医科大学

宋文珍 邯郸医学高等专科学校

张大成 邯郸医学高等专科学校

张茂先 首都医科大学

徐哲龙 华北煤炭医学院

曹小斌 大同医学高等专科学校

北京医科大学
中国协和医科大学 联合出版社

人体生理学
第二版

知
一
代
反

3

1

1

3

定价：14.00 元

编写说明

为适应医学高等专科学校各专业教学的需要,我们几所院校编写了这本《人体生理学》教材。本教材的特点是内容力求精练、求新,注意反映细胞生物学和分子生物学的新进展和适当联系临床实际,内容编排便于自学。

在本书编写过程中,北京医科大学和河北邯郸医学高等专科学校的领导及北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社均给予大力支持和帮助,深表感谢。

本书编写时间仓促,加上编者水平有限,书内缺点和错误在所难免,望同道和读者不吝指正。

编者

1994年10月

出版说明

为了适应医学教育发展和改革的新形势,北京医科大学、首都医科大学、华北煤炭医学院、承德医学院、张家口医学院、大同医学高等专科学校和邯郸医学高等专科学校等8所院校组织了百余名教授、专家,编写了这套医学大专教材。包括解剖学、组织学与胚胎学、生理学、生物化学、寄生虫学、免疫学和微生物学、病理学、病理生理学、药理学、诊断学、内科学、外科学、妇产科学、儿科学、五官科学(耳鼻咽喉科学、眼科学、口腔科学)、皮肤病和性病学、传染病学、中医学及预防医学等。

本套教材是根据医学大专学生的培养目标和教学大纲,总结各校教学经验的基础上编写的。强调少而精和实用性,保证基本理论和基本知识的内容,适当反映学科发展趋势。适用于医学高等专科学校学生(含临床医学、预防医学、口腔医学、护理学、妇幼卫生、精神卫生、医学检验、医学影像等专业),大专层次的成人教育(含电视大学)及专业证书班学生。授课教师可根据专业和学时数,选择重点讲授。

编写过程中,得到8所院校领导的大力支持和各位编审人员的通力合作,在此一并致以衷心的感谢。

因限于时间和条件,有不妥之处,敬请读者批评指正。

目 录

第一章 绪论 (1)

第一节 人体生理学的研究内容和 方法 (1)

- 一、人体生理学的研究内容 (1)
- 二、人体生理学的研究方法 (1)
- 三、人体生理学的发展及其与医学的
关系 (2)

第二节 人体生命活动的基本特征 (3)

- 一、新陈代谢 (3)
- 二、兴奋性 (3)
- 三、适应性 (4)
- 四、生殖 (5)

第三节 人体功能活动的调节 (5)

- 一、人体功能活动的调节方式 (5)
- 二、人体功能的反馈性控制 (6)
- 三、内环境与稳态 (7)

第二章 细胞的基本功能 (8)

第一节 细胞膜的基本结构和功能 (8)

- 一、细胞膜的基本结构 (8)
- 二、细胞膜的物质转运功能 (13)
- 三、细胞膜的受体功能 (15)

第二节 细胞膜的生物电现象及其 产生机制 (16)

- 一、生物电现象的记录方法 (16)
- 二、静息电位 (17)
- 三、动作电位 (19)

第三节 兴奋的引起及传播 (22)

- 一、兴奋的引起 (22)
- 二、兴奋性变化规律 (23)
- 三、兴奋的传播 (24)

第四节 肌细胞的收缩功能 (29)

- 一、骨骼肌的微细结构 (29)
- 二、骨骼肌的收缩机制 (31)
- 三、骨骼肌的兴奋-收缩耦联 (33)
- 四、骨骼肌收缩的外部表现 (35)

第三章 血液 (39)

第一节 概述 (39)

- 一、体液和内环境 (39)
- 二、血液的组成及其功能 (39)

第二节 血浆 (40)

- 一、血浆的化学成分 (40)
- 二、血浆的理化特性 (41)

第三节 血细胞 (42)

- 一、红细胞 (42)
- 二、白细胞 (43)
- 三、血小板 (44)
- 四、血细胞的生成和破坏 (45)

第四节 生理性止血 (48)

- 一、生理性止血 (48)
- 二、血液凝固 (48)
- 三、纤维蛋白溶解 (50)

第五节 血量、输血与血型 (51)

- 一、血量 (51)
- 二、输血与血型 (52)

第四章 血液循环 (54)

第一节 心脏生理 (54)

- 一、心动周期与心音 (54)
- 二、心脏泵血功能的评价 (59)
- 三、心肌细胞生物电活动 (63)
- 四、心肌生理特性 (68)
- 五、心电图 (76)

第二节 血管生理 (79)

- 一、各类血管的结构及功能特点 (79)
- 二、血流量、血流阻力和血压 (80)
- 三、动脉血压和动脉脉搏 (82)
- 四、静脉血压和静脉血流 (85)
- 五、微循环 (87)
- 六、组织液生成、回流与淋巴循环
..... (89)

第三节 心血管活动的调节 (92)

- 一、神经调节 (92)
- 二、体液调节 (98)

第四节 器官循环 (102)

- 一、冠脉循环 (102)

二、脑循环	(104)
第五章 呼吸	(107)
第一节 肺通气	(107)
一、实现肺通气的结构特点及其功能	(107)
二、肺通气的原理	(110)
三、肺容量与肺通气量	(112)
第二节 肺换气与组织换气	(114)
一、气体交换的动力	(114)
二、肺换气	(115)
三、组织换气	(117)
第三节 气体在血液中的运输	(118)
一、O ₂ 的运输	(118)
二、CO ₂ 的运输	(120)
第四节 呼吸运动的调节	(121)
一、中枢神经性调节	(121)
二、机械性反射调节	(123)
三、化学性反射调节	(123)
第五节 肺的非呼吸功能	(125)
一、防御功能	(125)
二、贮血功能	(125)
三、液体交换功能	(125)
四、代谢功能	(125)
第六章 消化和吸收	(126)
第一节 概述	(126)
一、消化道平滑肌的特性	(126)
二、胃肠道的神经支配及其作用	(129)
三、胃肠激素	(130)
第二节 消化道的运动	(131)
一、咀嚼和吞咽	(131)
二、胃的运动	(131)
三、小肠的运动	(133)
四、大肠的运动	(134)
五、排便	(134)
第三节 消化液及其分泌	(134)
一、唾液的分泌	(136)
二、胃液的分泌	(136)
三、胰液的分泌	(140)
四、胆汁的分泌	(141)
五、小肠液的分泌	(142)
第四节 消化道的吸收	(142)
一、吸收的部位	(142)
二、三大营养物质的吸收	(143)

第七章 能量代谢和体温	(147)
第一节 能量代谢	(147)
一、机体能量的来源和转换	(147)
二、能量代谢的测定原理	(148)
三、影响能量代谢的因素	(151)
四、基础代谢	(152)
第二节 体温	(154)
一、体温及其生理变动	(154)
二、体热的产生和放散	(155)
三、体温调节	(158)
第八章 肾脏的排泄功能	(161)
第一节 肾脏结构和功能概述	(161)
一、肾脏的结构特征	(161)
二、肾脏血液循环的特征	(164)
三、肾脏的功能	(165)
四、尿液的化学组成和理化特性	(166)
第二节 尿液生成的过程	(166)
一、肾小球的滤过	(167)
二、肾小管和集合管的重吸收和分泌	(170)
第三节 尿液的浓缩和稀释	(176)
一、尿液浓缩的结构基础——肾髓质高渗梯度	(176)
二、尿液浓缩和稀释的过程	(179)
第四节 肾脏与内环境稳态	(179)
一、肾脏在维持酸碱平衡中的作用	(179)
二、肾脏在水盐代谢中的作用	(180)
第五节 尿液的排放	(181)
一、膀胱和尿道的神经支配	(181)
二、排尿反射	(182)
三、排尿异常	(182)
第九章 神经系统	(183)
第一节 神经元与突触	(183)
一、神经元和神经胶质细胞	(183)
二、神经纤维的分类和传导特征	(183)
三、神经元之间相互作用的方式	(185)
第二节 反射活动的一般规律	(190)
一、反射和反射中枢	(190)
二、中枢神经元的联系方式	(190)
三、中枢抑制	(191)
第三节 神经系统的感觉功能	(192)
一、丘脑的感觉分析功能	(192)

二、大脑皮层的感觉分析功能	(193)	二、激素的分类	(224)
三、痛觉	(194)	三、激素的作用	(225)
第四节 神经系统对躯体运动的调		四、激素分泌的调节	(225)
节	(195)	五、激素的作用机制	(226)
一、脊髓对躯体运动的调节	(195)	六、激素的合成、分泌、运输和	
二、脑干对躯体运动的调节	(197)	代谢	(228)
三、基底神经节对躯体运动的调节		第二节 下丘脑和垂体的内分泌	
.....	(199)	功能及其联系	(229)
四、小脑对躯体运动的调节	(199)	一、神经内分泌概述	(229)
五、大脑皮层对躯体运动的调节 ...	(200)	二、下丘脑—神经垂体系统	(229)
第五节 神经系统对内脏功能的调		三、下丘脑—腺垂体系统	(230)
节	(202)	第三节 腺垂体	(231)
一、植物性神经系统	(202)	一、生长素	(231)
二、下丘脑对内脏活动的调节	(202)	二、催乳素	(232)
第六节 脑的高级功能	(205)	三、促黑素细胞激素	(232)
一、条件反射	(205)	第四节 甲状腺	(232)
二、脑电图和皮层诱发电位	(206)	一、甲状腺激素的合成、贮存、	
三、睡眠	(208)	释放、运输和代谢	(232)
第十章 感觉器官	(210)	二、甲状腺激素的生理作用	(233)
第一节 感受器的一般生理特征 ...	(210)	三、甲状腺功能的调节	(234)
一、感受器的适宜刺激	(210)	第五节 肾上腺	(235)
二、感受器的换能作用	(210)	一、肾上腺皮质	(235)
三、感受器的适应现象	(211)	二、肾上腺髓质	(237)
四、感受器的编码作用	(211)	第六节 胰岛	(238)
第二节 视觉器官	(211)	一、胰岛素	(238)
一、眼折光系统的功能	(212)	二、胰高血糖素	(240)
二、眼感光系统的功能	(215)	第七节 甲状旁腺激素、维生素 D ₃	
三、与视觉有关的几个问题	(216)	和降钙素	(240)
第三节 听觉器官	(217)	一、甲状旁腺激素	(240)
一、传音系统的功能	(217)	二、维生素 D ₃	(241)
二、内耳耳蜗的感音功能	(218)	三、降钙素	(241)
第四节 前庭器官	(220)	第十二章 生殖	(242)
一、椭圆囊和球囊的功能	(220)	第一节 男性生殖	(242)
二、半规管壶腹嵴的功能	(221)	一、睾丸的功能	(242)
第五节 嗅觉和味觉	(222)	二、睾丸功能的调节	(243)
一、嗅觉感受器和嗅觉的一般特征		第二节 女性生殖	(243)
.....	(222)	一、卵巢的功能	(243)
二、味觉感受器和味觉的一般特征		二、月经周期	(244)
.....	(223)	三、卵巢内分泌与月经周期的调节	
第十一章 内分泌	(224)		(244)
第一节 概述	(224)	四、胎盘的内分泌功能	(245)
一、内分泌系统和激素的基本概念			

第一章 绪 论

第一节 人体生理学的研究内容和方法

一、人体生理学的研究内容

人体生理学 (human physiology) 是生物科学的一个分支, 以人类机体的正常生命活动为研究对象。机体的生命活动是组成机体的各器官系统功能的综合。因此, 健康状态下各器官、系统功能, 如心血管系统中血液的循环、呼吸系统对气体的吸入和呼出、消化系统对食物的消化和吸收、泌尿系统对代谢产物的排泄、肌肉的运动、神经冲动的传导以及与这些活动有关的物质代谢和能量代谢等的发生、发展过程、规律; 各器官、系统之间的相互关系; 各器官、系统活动与整体活动的相互关系以及外界环境对机体活动的影响, 都是人体生理学所要研究的内容。

人类是由高等动物进化而来, 在生物界属哺乳类。与脊椎动物, 特别是哺乳动物比较, 人类机体不仅在结构方面与之基本相同, 而且许多基本生命活动也相同。因此, 研究哺乳类的生命活动规律既有助于认识人类生命活动规律, 又可克服在人体进行研究的局限。这也是人体生理学中经常需要引用动物实验资料的理由所在。需要指出, 人类是生物进化的最高阶段, 人体的许多生命活动是动物所不具备的, 不能将对动物研究的结果简单套用在人体上, 还需要在人体再进行观察和验证。对于人类所特有的生命活动规律以直接从人体研究中获得为好。

近年来, 生理学的研究已经从组织、细胞水平发展到亚细胞和细胞内部各种物质分子活动的分子水平, 因而出现了分子生物学。所以, 现代生理学的研究大致可分成整体及器官、系统的生理, 组织和细胞的生理以及亚细胞和分子的生理等几个层次。本书内容以整体和器官、系统的生理为主, 后两个水平的研究, 最终目的还是为了深入理解整体和器官的活动规律。

二、人体生理学研究方法

生理学本身是一门实验科学, 即在人工创造的接近自然的条件下, 对机体某种生命活动进行细致的观察和周密的分析与综合, 进而找出规律性的结论。实验难免对机体造成不同程度的损伤, 在人体不便施为。因此, 大多数实验是以结构和功能与人类有很多共同特点的脊椎动物, 特别是哺乳动物做为研究对象, 应当指出, 随着高新仪器的发展、微量检测和无创伤探测技术的应用, 有越来越多的实验观察是在健康的自愿者身上进行的。

动物实验方法可分为在体 (in vivo) 实验和离体 (in vitro) 实验两种。在体实验又分为急性的和慢性的。急性的在体实验是使动物处于麻醉状态或去除脑髓, 暴露但保持所要观察的器官在体内原有的位置, 以观察该器官在实验条件下的变化规律。在体的慢性实验是以清醒动物为对象, 它们是完整的, 或事先做过某种特殊处理的 (如安装瘘管) 仍能正常生活的动物, 观察其整体活动或某一器官功能在内外环境变化情况下的变化规律。

在体实验的优点在于保存了被研究器官与其它各器官的自然联系和相互作用, 尤其在体的慢性实验保持了动物既往生存的自然条件, 所得的结果更符合被研究器官在正常生活过程中的活动规律。

离体实验是将所要研究的器官、组织或细胞自活的动物体内取出，放置在人工制备的特殊环境中，使它们在一定时间内仍保持生理功能，根据特定的目的进行实验研究。离体实验研究的优点是可以排除无关因素的干扰，器官生存的人工环境条件单纯易于控制，所得实验结果便于分析。

现今，由于高新技术的不断涌现，生理学的研究手段也日渐增多。既然生理学是研究人体生命活动规律的科学，就要求以活着的整体、器官或组织细胞作为实验对象，应用各种手段（如数学模拟、系统分析、分子水平研究等）时，要紧密联系生理学的任务，即揭示人体生命活动的规律。

三、人体生理学的发展及其与医学的关系

人体生理学的形成和发展与医疗实践有着密切的关系。人类在与疾病进行长期斗争中，逐渐积累起医学知识和人体功能活动的知识。在所有记载生理知识的古代文献中，以中国商周时期的甲骨文、金文为最早（距今约有三、四千年），以战国至秦汉时期的《黄帝内经》的记载为最丰富。《内经》的《素问》中就有关于脑、心、肺的记叙，如“诸髓皆属于脑，诸筋皆属于节，诸血皆属于心，诸气皆属于肺”，古人的这些观察与近代解剖生理学是一致的。由于一般自然科学知识的贫乏，生理学还未能成为一门独立的有系统的科学。

到16世纪，欧洲资本主义兴起，社会生产力的发展推动了自然科学的发展，对人体的认识也日趋深化。随着比利时医生维萨利（Andreas Vesalius）《人体的结构》一书的出版，诞生了科学的人体解剖学。1628年，英国医生威廉·哈维（William Harvey）出版了《心脏和血液运动的研究》一书，这是他对鱼、蛙、狗、猪和人的血液循环多年研究的总结。他明确地指出，心脏的搏动是血液循环的动力；血液在心脏和血管中不断地单方向循环流动；以及体循环和肺循环的途径。事实上生理学从这时起便成为一门独立的科学了。哈维也自然的成为生理学的奠基人。

自此以后，随着物理学、化学、生物学、组织学的发展，生理学的实验研究也有较大的进展。1847年Ludwig发明的记纹鼓以及随后使用的各种杠杆和机械检压装置，推动了生理学的发展。到20世纪中期已积累了大量器官生理学的知识。但是人类对自然和人体本身的认识随着科学的发展逐渐地深刻，近50年来，生理学工作者把电子学、电子显微镜、微量化学分析、放射性同位素、免疫学、遗传学、分子生物学及电子计算机等先进技术广泛应用于生理学的研究，通过对细胞、亚细胞和分子、水平的细微研究，来揭示整体生命活动的规律。

人体生理学与医学有着极为紧密的联系。人体生理学既是从人类与疾病斗争的长期实践中形成和发展来的，它又是医学的基础学科之一。医学的任务是防病治病、促进人体健康。因此，医务工作者必须很好地了解健康人体的生命活动是如何进行、又是如何保持正常的。要了解这些知识，就必须学习和熟悉人体生理学。生理学的奠基人哈维就是一位医生，现代研究生理学的不少人是医务工作者。人体生理学不仅仅帮助医生用生理学知识理解疾病，还能对医生认识和处理在临床实践中所遇到的新问题提供理论基础和方法。

人体生理学与医学的其它基础学科的关系也颇为密切。从生理学成为一门独立的科学时就与人类解剖学密不可分。现代生理学的研究成果不仅来自生理学实验室，同时还来自许多兄弟学科的实验室，如解剖学、组织学、生物化学、生物物理学、药理学、病理生理学、免疫学和临床各学科。各学科的发展促进了人体生理学的发展，而人体生理学既是各兄弟学科的基础，医学生只有学好了人体生理学才能学好其它后续课程，又促进了各学科的发展。人体生理学与其它各学科相辅相成。

第二节 人体生命活动的基本特征

人体和所有生物一样，生命活动包括四个基本方面：新陈代谢、兴奋性、适应性和生殖，四者是生物体所特有的，因此，被认为是生命活动的基本特征。

一、新陈代谢

新陈代谢 (metabolism) 是生命现象的基本表现。它包括合成代谢和分解代谢两个方面。机体从环境中摄取营养物质，合成为自身物质的过程称为合成代谢。机体分解其自身成分并将分解产物排出体外的过程称为分解代谢。

机体生命活动的发生必须不断地自外界摄取营养物质，并在体内经过化学变化以及不断地向外界排出自身和外来物质的分解产物，这一过程称为物质代谢。物质代谢是生命的物质基础，使构成细胞的生物分子在物质交换的过程中不断更新，保证生命活动正常运行。

与物质代谢相伴随的是能量的摄取、在体内的转换及排出，这个过程称为能量代谢。物质代谢是能量代谢的基础，是能量的根本来源。物质在体内进行化学转化过程中产生能量，用以机体活动的需要和体温的维持，多余的能量则以热的形式放散到体外。因此，新陈代谢包括两个部分：物质代谢和能量代谢，二者是生命活动必不可少的。

二、兴奋性

兴奋性 (excitability) 是生活机体的另一个重要特征，同时也说明了生活机体与周围环境的另一种关系，即机体生存的环境条件改变时能引起机体活动的变化。这种特性不仅完整机体有，组成机体的每一种生活的组织或细胞也具有这种特性。细胞直接生存的环境（称为内环境）条件改变时同样引起生活的组织或细胞发生活动的变化。生理学将能引起反应的内外环境条件的变化称为刺激，刺激引起的机体或组织细胞活动的变化称为反应。反应是刺激引起的，反应又是生命活动的特性，因此，广义地说，兴奋性是指生活的机体或组织细胞对刺激发生反应的能力。

（一）刺激 (stimulus) 生活的机体或组织细胞所生存的环境，条件复杂、多变，有一些环境条件变化与机体活动无关，有一些能被机体或组织细胞所感受，并使它们的活动发生变化。这种正在变化的并能被机体所感受的内外环境条件才成为刺激。

根据性质不同可将刺激分为：机械的（包括振动、扩张、压力）、化学的、温度的、电的、声的、光的、生物的、放射性的等等。这些因素要引起机体或组织细胞发生反应，除能被机体或组织细胞感受外，还必须具备下列诸条件：

1. 足够的强度 任何性质的刺激没有足够的强度，就不会引起机体或组织细胞的反应。刚刚能引起反应的最小刺激强度称为阈刺激，其强度称为阈强度，或称阈值 (threshold)。不同组织或同一组织处于不同的机能状态时阈值是不同的。小于阈值的刺激称为阈下刺激，不引起反应；大于阈值的刺激称为阈上刺激，阈上的任何强度均可引起反应。

2. 足够的作用时间 刚刚谈到的阈刺激没有对刺激的作用时间予以限制，即刺激作用的时间足够长。假若将刺激强度固定，则作用时间的长短将决定该刺激能否引起反应，时间过短不能引起反应。事实上，在每一个刺激强度条件下，都存在时间的阈值。

3. 强度的时间变化率 一种性质的刺激单纯有足够强度和作用时间，还不能成为有效刺激，还必须具备适宜的强度时间变化率。强度时间变化率是指作用到组织的刺激需多长时间其强度由零达到阈值而成为有效刺激。变化速率过慢或过快，也不能成为有效刺激。

（二）反应（response）

机体对刺激所产生的反应是多种多样的，形式各异，但都属于各器官或组织细胞的特有功能的表现，如肌肉收缩、神经传导、腺体分泌、纤毛运动、变形运动等等。这些功能表现若在感受有效刺激后明显加强，生理学中称其为兴奋（excitation）；感受有效刺激后功能表现明显减弱，则称为抑制（inhibition）。抑制并不是无反应，而是与兴奋过程相对立的另一种主动过程。如在动物实验中，以电刺激家兔颈部交感神经，动物的心跳加快加强（兴奋）；若刺激颈部迷走神经，心跳减慢减弱，甚或停止（抑制）。

神经、肌肉、腺体三种组织在接受有效刺激后，在表现功能变化之前，首先出现的是受刺激部位的电位变化，并迅速地沿神经纤维或肌肉纤维扩布，生理学将这种可扩布的电位变化称为动作电位。此电位变化可用特殊的仪器检测出来（详见第二章）。神经、肌肉、腺体三种组织均能在接受刺激后迅速产生特殊生物电反应，因此三者被称为可兴奋组织（excitable tissue）。

机体或组织对刺激的反应程度或有无，一方面取决于刺激的条件（已如前述），另一方面取决于机体或组织是否具有兴奋性。死亡了的机体或组织没有兴奋性，因此，任何强度的刺激均不能引起反应。不同的生活组织兴奋性不同，同一组织中的不同细胞兴奋性不同，同一组织或细胞处于不同状态时兴奋性亦不同。衡量兴奋性高低的指标是阈值。阈值的大小与兴奋性高低呈反变关系，阈值小说明兴奋性高，阈值大说明兴奋性低。

生活的组织或细胞的兴奋性不是固定不变的，特别是在每一次感受刺激而发生反应时，其兴奋性都要发生一系列规律性的变化。根据其变化的顺序，首先出现的变化是兴奋性降低到零，在此期间给予任何强度的刺激均不引起第二次反应，这段时间短暂，称为绝对不应期（absolute refractory period, ARP）。紧接着绝对不应期，兴奋性开始回升，但仍低于正常的兴奋性，因此阈值增大，即需用大于正常阈值的强度，才能引起组织发生第二次兴奋。这个时期称为相对不应期（relative refractory period, RRP）。此后组织兴奋性不但完全恢复，而且高于正常（兴奋前），阈值减小，即给予正常的阈下刺激就可以引起第二次兴奋。因此，此期被称为超常期（supranormal period, SNP）。在超常期之后，组织兴奋性又低于正常，阈值稍大，即只有阈上刺激才能引起第二次兴奋。

上述规律性的变化历时很短，各类组织亦不相同，一般在 100ms 以内。绝对不应期的存在具有十分重要的生理意义，绝对不应期的长短决定了两次兴奋之间的最小时间间隔，即在单位时间内组织只能产生一定次数的兴奋，不管刺激频率有多快。

三、适应性

完整机体在对外界环境变化所发生的反应中，经常不断地调整体内各部分的机能及相互关系，保持内环境的稳定，以利于正常的生命活动，维持生存。机体这种根据外环境情况而调整体内各部分活动和关系的功能称为适应性（adaptability）。根据反应可将适应分为行为适应和生理适应。行为适应常有躯体活动的改变，如机体处在低温环境中会出现趋热活动，遇到伤害性刺激时会出现躲避活动。这种适应在生物界普遍存在，属于本能性行为适应。在人类，由于大脑皮层的发达，使行为适应更具有主动性，通过意识活动和社会劳动来改造世界，创造更有利于自身生存的条件，生理适应系指身体内部的协调性反应，如人到高海拔低氧环境中生活时，血液中红细胞和血红蛋白均增加，以增强运输氧的能力，使机体在低氧条件下仍能进行正常活动。又如在强光照射时，人的瞳孔缩小，以减少光线进入眼内，使视网膜免遭损伤。这些反应都是适应性的表现。

生理适应则以体内各器官、系统活动的改变为主。如人处在低气压的环境中，血液中的红细胞数量会明显增加。以适应氧稀少的环境变化。又如在低温环境中，甲状腺激素分泌增多，使新陈代谢增强，增加热量，以保持体温不随环境温度降低而下降。

四、生殖

人类和其它生物一样，个体生长发育到一定阶段后，能够产生与自己相似的子代个体，这种功能称为生殖 (reproduction) 或自我复制 (self-replication)。所不同的是人类及高等动物已经分化为雄性与雌性两种个体，各自发育雄性生殖细胞和雌性生殖细胞，由这两种生殖细胞结合以后才能产生子代个体。通过生殖人类和生物均能延续，所以生殖是生命的特征之一。

第三节 人体功能活动的调节

一、人体功能活动的调节方式

人体生存的环境在不断的变化并影响人体，人体为了在不断变化的环境中稳定生存，必须不断地对环境变化作出适应性反应，以协调人体与环境的关系。要实现人体与环境的协调，人体内部各器官、系统活动必须协调。体内各器官各司其职，但却并不孤立，每个器官的活动既受其它器官的影响，又影响其它器官，器官间互相协调，互相配合。人体这两种协调的实现和维持主要依赖神经调节、体液调节和自身调节。

(一) 神经调节

神经调节 (neuroregulation) 是通过神经系统的活动实现的。神经系统活动时能够传导其兴奋时所产生的电位变化，生理学称其为神经冲动。神经系统正是通过神经冲动的传导影响其它器官的活动，这一过程称为神经调节。在整体中，起调节作用的神经冲动是沿着一定的神经结构和顺序传导的，最简单的传导途径是从接受刺激的感受器开始，依次沿着传入神经、神经中枢、传出神经、效应器传导，最后以效应器的活动变化对刺激作出反应。在这个传导途径中，神经中枢是重要环节，它可以将自传入神经传来的神经冲动分析综合，作出判断，并发出指令以神经冲动的形式传向相应的效应器。这种在中枢神经系统参与下完整机体对刺激所发生的规律性反应，称为反射 (reflex)。反射是神经调节的基本方式，完成反射的上述五个部分的神经结构称为反射弧 (reflex arc)。反射弧中的感受器类似换能器，它在感受刺激后将信息转换为电位变化，并沿着反射弧的其它部分依次传导。反射的完成有赖于反射弧结构的完整和功能的正常，任何一部分结构被破坏或功能障碍都不能完成反射活动。

人和高等动物的反射活动可分为两类，一类是先天遗传的，称为非条件反射 (unconditioned reflex)，是维持生命的本能性活动，反射弧及反应都比较固定。如手碰到火时迅速缩回，食物入口而引起的唾液分泌，环境温度升高而引起的发汗等。另一类是个体出生后经过训练获得的，称为条件反射 (conditioned reflex)，刺激性质与反应的关系不是固定不变的，如狗看见食物会流涎，看见每天喂食的饲养员也会流涎。这两种反射都是条件反射，其形成过程与机制详见神经系统。

神经调节的特点是迅速、作用准确、作用时间短暂和表现自动化。这与神经传导速度快、传出纤维与效应器呈对应性联系有关。另外，感受器接受刺激具有特异性，只要某一种特异刺激的强度和变化速率达到一定程度，就能刺激相应的感受器，进而通过反射途径引起有关效应器的规律性反应。

(二) 体液调节

体液调节 (humoral regulation) 是指体内产生的一些化学物质通过组织间液或血液循环影响某种组织或器官的活动的过程。这一类化学物质包括激素 (内分泌腺和散在分布的内分泌细胞分泌的)、细胞代谢产物 (如 CO_2 、乳酸) 以及组织胺、5-羟色胺、腺苷酸等。大部分激素是经过较长距离的血液运输而发挥作用, 这是体液调节的主要方式。小部分激素及细胞代谢产物是扩散到它周围的组织间液中, 调节附近细胞功能状态, 不通过血液运输。有的是直接作用于效应器细胞, 只引起局部效应, 有的是作用于体内的化学感受器, 再经传入神经、神经中枢反射性地作用于效应器, 引起全身性效应。

体液调节和神经调节的密切关系还不止于此。有些激素影响神经系统的生长发育, 如甲状腺分泌的激素是大脑生长发育所必需的, 缺乏这种激素, 大脑发育便不完善, 严重时会出现痴呆。很多激素的分泌直接或间接地受神经系统的控制, 实际上激素的分泌是神经调节的一部分, 是反射弧传出通路上的一个分支和延伸。如交感神经兴奋时, 既通过传出神经直接作用于心血管和胃肠道, 同时又引起肾上腺髓质激素的分泌, 通过血液循环作用于心血管和胃肠道。这种复合调节方式被称为神经-体液调节 (neuro-humoral regulation), 而神经调节起主导作用。

体液调节的特点是传导较慢、作用面广泛、作用持久。这是因为血液运输所需的时间要比神经传导的时间长得多, 而且血液流向全身各个部位。

(三) 自身调节

自身调节 (autoregulation) 是指组织或器官不依赖神经和体液调节而由自身对刺激产生的适应性反应。通常是在组织或器官的活动超过一定限度时, 通过组织或器官的自身活动进行调节, 使之不发生活动过度。这种方式的调节只局限于少部分组织和器官, 在心肌和平滑肌表现明显。如用离体的灌流心脏可以观察到, 当输入心脏的灌流液增加时, 心肌的收缩加强, 心室输出的灌流液相应增加, 使心脏的输出量与输入量保持平衡。离体灌流心脏既无神经支配, 又无激素的影响, 这种平衡的实现完全是心肌自身活动的结果。关于平滑肌的自身调节, 多见于血管的平滑肌, 将在循环系统和泌尿系统评述。自身调节的特点是影响范围小, 效应也小, 对刺激的敏感性较低。

二、人体功能的反馈性控制

人体功能的整体性调节, 是在神经调节为主导, 其它各种调节机制共同参与下协同完成的, 具有自动控制的特征。实现自动控制的关键环节是被触发的某一生理过程反过来影响该过程的发展。借用自动化工程科学中的术语——反馈 (feedback) 来描写这个环节最为适宜。根据反馈后的效应可将反馈分为正反馈、负反馈和前馈。

(一) 正反馈 (positive feedback)

是指被触发的生理活动反过来加强触发因素, 进一步促进该活动的发展。例如, 血液凝固过程中, 当少量的凝血酶原被激活转变为凝血酶后, 凝血酶反过来促进更多的凝血酶原的激活, 加快了血液凝固过程。

(二) 负反馈 (negative feedback)

是指被触发的生理活动反过来减弱触发因素, 从而使该生理活动不再发展或者向相反方向发展。负反馈普遍存在机能调节机制中, 在整体机能调节中起更重要的作用。人体内很多相对稳定的生理功能, 通常都有负反馈调节机制的参与。如胰岛素的作用是降低血糖的, 当血糖浓度过低时, 反过来减少胰岛素的分泌, 以使血糖浓度回升。正常人体血压稳定的维持更是依靠负反馈机制的作用, 这将在循环系统中讨论。

(三) 前馈 (feedforward)

是指干扰因素在生理活动出现之前对触发因素直接作用,以影响其所触发的生理活动。前面提到,负反馈调节可以纠正刺激引起的过度反应,但总是在过度反应出现以后才进行,过度现象的纠正总要滞后一段时间,而且易出现矫枉过正,引起波动。负反馈机制对过度反应的敏感程度愈高,波动愈大;愈不敏感,则滞后愈久。但是,正常人体在内外环境因素的不断干扰中仍能较好地保持各种机能的稳定,少有波动,这是因为干扰因素直接通过内外感受器作用于触发因子,提前纠正可能出现的过度反应。显然,前馈可以避免负反馈调节的波动和滞后等缺陷。例如,冬泳的人在换上泳装准备跳入冰水时,人体内的温度还没有降低,但空气低温已刺激皮肤冷感受器,通过中枢神经系统内信息的传递,提前发动了体温调节机制,增加产热,控制散热,以保持体温相对稳定。甚或在泳者进入泳场更衣室准备换装时,泳场环境产生的视觉、听觉刺激,就已通过条件反射的方式发动体温调节机制了。这些都是前馈的表现。

三、内环境与稳态

内环境系指浸浴细胞的细胞外液,它是细胞直接生存的环境。内环境既能为细胞提供营养物质,又能接受细胞排出的代谢产物。因此,细胞的新陈代谢不断地改变着内环境的成分和理化特性。而内环境的pH、渗透压、各种离子的浓度以及温度等的稳定又是细胞进行新陈代谢的适宜条件,简言之,细胞的生存需要内环境的稳定,通过神经和体液调节能实现内环境的稳定。可见内环境是在波动中实现平衡,这种在变动中的稳定状态被称为稳态(homeostasis)。随着生理学研究及有关科学的发展,稳态的含义已不仅仅指内环境的相对稳定状态,它还包括全身各器官、系统的生理活动经常处于稳定状态。这种稳态的实现和维持仍有赖于神经和体液的精密调节,特别是反馈调节机制。

(于吉人)

第二章 细胞的基本功能

细胞是有机体的结构和生命活动的基本单位。体内所有的生理功能及生化反应，都是在细胞活动的基础上进行的。关于细胞结构和功能的研究在生物科学和医学领域内已占重要地位。特别是近 20 年来，由于高分辨率的形态学研究和日益精密的分子生物学实验技术及方法的应用，人们从分子水平深刻地认识到：细胞及其构成细胞的亚单位（各种细胞器）的结构和功能，是阐明物种进化、生物遗传、个体的新陈代谢及生长、发育、繁殖、衰老等根本生物学现象的基础。离开了对细胞及其亚单位结构和功能的认识，要阐明整个人体及各系统、器官的生命活动的基本原理是不可能的。因此，要了解有机体生命活动的规律，就必须从它的基础——细胞的研究开始。

细胞生理学是研究细胞的生命活动的科学。本章重点讨论细胞膜性结构的基本化学组成；细胞膜的功能以及细胞如何对各种环境因素产生反应，而表现感应性和运动性活动（如神经细胞的生物电现象、神经冲动的传导、肌细胞的收缩等）。

第一节 细胞膜的基本结构和功能

一切动物细胞都被一层薄膜所包被，这就是细胞膜（cell membrane）又称质膜（plasma membrane），它将细胞内容物质与其周围的环境分隔开来。由于细胞膜的存在，可使细胞能够独立于环境而存在。细胞要维持正常的生命活动，就要不断地从周围环境中摄取营养物质和氧气，并排出代谢产物。细胞膜是一个具有特殊结构和功能的半透膜，在细胞内容物与外界环境间形成一道屏障，通过细胞膜对某些物质的选择性通透，从而保持细胞的正常新陈代谢，并严格地保持细胞内物质成分的稳定。细胞内部也存在着类似的膜性结构，它们构成细胞器与一般胞浆间的屏障，使各细胞器保持化学组成上的相对稳定和独立，完成其不同的功能。

目前，有关膜的结构和功能的研究成为分子生物学中最活跃的领域之一，是因为细胞膜不仅是细胞和环境之间的屏障，也是细胞接受外界或其它细胞影响的门户。细胞生存于环境之中，环境中的物理刺激或化学成分的微小变化以及进入机体内的某些异物和药物等，首先作用于细胞膜，然后再影响细胞内的生理过程；细胞膜还同机体的免疫功能和细胞的分裂、分化以及癌变等生理和病理过程有密切的关系。本节着重讲述细胞膜的分子组成及其功能。

一、细胞膜的基本结构

在电子显微镜下观察经过高锰酸钾处理或环氧树脂包埋的从低等生物草履虫到高等哺乳类动物的各种标本可以清晰地看到，所谓膜都是由三层结构所组成，即膜的内外两侧各有一条电子致密带，厚约 2.5nm，中间夹有一层疏松的透明带，厚约 2.5nm，三层的总厚度为 7.5nm。一般将这三层结构型式作为一个单位，称为单位膜（unit membrane）。这种结构不仅见于细胞的细胞膜，亦见于各种细胞器的膜性结构，因此，它被认为是一种细胞中普遍存在的基本结构形式。当然，细胞内不同膜性结构的膜并不完全一致，组成及厚度均有一定差异。可是，整个细胞内膜性结构，就是在单位膜的基础上，将整个细胞统一起来的。

根据对各种细胞膜和细胞中其它膜的微量化学分析结果表明，尽管不同来源的膜中各种

物质的比例和组成有所不同，但其基本的化学成分是脂类、蛋白质和糖类，其中以脂类和蛋白质为主，糖类只有少量。如果用重量计算，膜内蛋白质约为脂类的1~4倍不等，如：红细胞膜中蛋白质约占总重量的60%，脂类约占40%。但因蛋白质分子量大，因此膜中脂质的重量虽不及蛋白质，其所含分子数反较蛋白质多100倍以上。各种生物膜组成成分的比例不一致，脂类与蛋白质所占的比例，其范围可以从1:4~4:1（见表2-1）。

表 2-1 不同生物膜蛋白与脂类含量的比较（重量百分比）

成分	红细胞	髓鞘	线粒体	细菌
蛋白	60	22	76	75
脂质	40	78	24	25

一般来说，功能复杂或多样的膜，蛋白质的比例较大。例如：髓鞘的功能比较简单，主要起绝缘作用，因此其含脂量可高达80%，而蛋白质的含量显著降低，可见膜的化学组成上的差异，是与其不同的功能有关系的。

细胞膜中各种物质（主要是脂类和蛋白质分子）是如何排列和组建起来的呢？它们之间的相互作用又是怎样的呢？这对于阐明膜的功能是十分重要的。从30年代以来就提出了各种有关膜的分子结构的假说，其中得到较多实验事实的支持并至今仍被大多数人所接受的是1972年Singer和Nicolson提出的液态镶嵌模型（fluid mosaic model）（见图2-1）。该假想模型的基本内容是：膜的共同结构特点是以流动的液态脂质双分子层为基架，其中镶嵌着生理功能不同的蛋白质。通过红外光谱来证明，这些功能不同的蛋白质是以 α -螺旋球形蛋白质的形式存在的。流动的脂质分子构成细胞膜的连续主体，蛋白质分子象一群岛屿无规则地分散在脂质分子的海洋中。其主要特点是：①强调膜的流动性，认为膜的结构不是静止的，而是动态的。②脂质双分子层中镶嵌着可移动的膜蛋白，表现出分布的不对称。

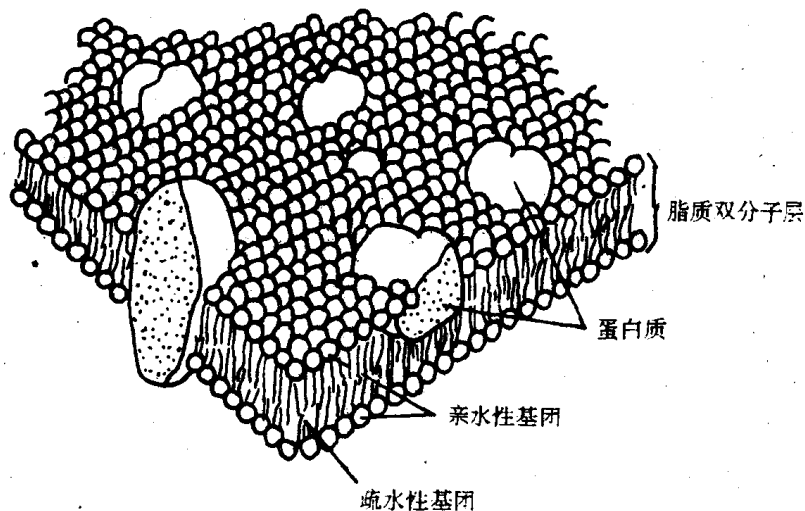


图 2-1 单位膜的液态镶嵌式模型

膜外侧蛋白质和脂质分子上可能存在的糖链未画出

液态镶嵌模型虽然被人们所普遍接受，但也有其不足之处。例如：它忽视了蛋白质分子对脂质分子流动性的控制作用，忽视了膜的各部分流动性的不均匀性等等。尽管如此，目前所流行的关于膜结构的基本观点，仍然是液态镶嵌模型。

（一）脂质双分子层