

ZHONGXIYI JIEHE  
SHENGLIXUE

# 中西医结合

## 生理学

■ 刘天蔚 安 平 丁美玲 李永芳 毕明俊 主编

# 中西医结合生理学

主编 刘天蔚 安平 丁美玲 李永芳 毕明俊



科学技术文献出版社  
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

·北京·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中西医结合生理学 / 刘天蔚等主编. —北京: 科学技术文献出版社, 2017. 7  
ISBN 978-7-5189-2882-8

I. ①中… II. ①刘… III. ①中西医结合—人体生理学 IV. ①R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 141241 号

## 中西医结合生理学

策划编辑: 薛士滨 责任编辑: 孙江莉 杨茜 责任校对: 文浩 责任出版: 张志平

出 版 者 科学技术文献出版社  
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038  
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)  
发 行 部 (010) 58882868, 58882874 (传真)  
邮 购 部 (010) 58882873  
官 方 网 址 [www.stdp.com.cn](http://www.stdp.com.cn)  
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销  
印 刷 者 虎彩印艺股份有限公司  
版 次 2017年7月第1版 2017年7月第1次印刷  
开 本 889×1194 1/16  
字 数 489千  
印 张 18.25  
书 号 ISBN 978-7-5189-2882-8  
定 价 78.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

# 《中西医结合生理学》编委会

---

主 编 刘天蔚 安 平 丁美玲 李永芳 毕明俊

副主编 邵圆愿 于宝新 郝 翠 金丽英 曹 宇

编 委 (按姓氏拼音为序)

葛科立 郭云良 李 旭 刘晓玲 倪同上

滕 蕾 徐颖婕 曾鹏娇 张海燕 张丽娟



# 前 言

---

中西医结合医学是在我国既有中医学又有西医学的历史条件下产生的，是中国特色社会主义卫生事业的重要组成部分。中西医结合医学充分吸收两种医学的特长，并使两者相互沟通、相互融合、相互促进、相互补充，对继承发展中医学、实现中医学现代化、促进我国医学和世界医学的进步，具有重要的意义。

目前，我国中西医结合机构建设已取得了长足进展，但结合工作还存在不少困难和问题。除了中西医结合的人才队伍建设问题外，始终未能形成一整套理论体系也是一个非常突出的问题。2005年，“新世纪全国高等医药院校规划教材”（中西医结合临床医学专业）（第一版）出版并投入使用，获得了师生的普遍好评。但是，当前作为支撑和指导临床的基础性理论教材却明显滞后。

本书编写的目的为针对研究生学习阶段的特点，使中西医结合专业研究生通过学习现代医学知识，以现代医学研究技术为手段，从现代医学的角度研究中医有关理论，使中医和西医专业知识融为一体，相互借鉴、取长补短，实现真正意义上的中西医结合医学，使每位研究生（包括原西医本科、中医本科和中西医结合本科的学生）成为名副其实的中西医结合专业人才。

本书以开拓学生的创新思维、培养中西医结合医学的理念与学习方法为主导思想，实现由基础到临床的顺利过渡，同时也为其开展中西医结合医学研究奠定基础。本书共12章，分别为绪论、细胞的基本功能、血液、血液循环、呼吸、消化和吸收、能量代谢和体温、尿液的生成与排泄、感觉器官、神经系统、内分泌和生殖。本书以生理学的功能系统为主线，分别介绍机体各部分的主要功能及其调节机制，融入与现代生理学认识相一致的中医基础理论知识，引导学生理解中医脏腑理论与生理学相关器官、系统的功能及相互关系，培养学生以人体功能系统为基础，学习中医脏腑理论的思维模式。

本书在编写过程中，得到了“青岛大学研究生教材建设项目（QDYJC14001）”的资助和大力支持，在此表示感谢。虽经多次修改，但由于编者水平有限，加之编写经验不足，仍存在诸多缺憾，甚至错误，恳请各位同道和广大读者给予批评指正。

编 者

# 目 录

第一章 绪论 .....	1	第三节 气体在血液中的运输 .....	111
第一节 生理学概述 .....	1	第四节 呼吸运动的调节 .....	116
第二节 机体的内环境和稳态 .....	3	第五节 中医脏腑功能与呼吸生理 .....	122
第三节 机体生理功能的调节 .....	4	第六章 消化和吸收 .....	125
第四节 中医学与人体系统稳态调控 .....	6	第一节 概述 .....	125
第二章 细胞的基本功能 .....	8	第二节 消化道各段的消化功能 .....	131
第一节 细胞膜的基本结构和物质 转运功能 .....	8	第三节 吸收 .....	143
第二节 细胞的跨膜信号转导 .....	15	第四节 肝脏的生理 .....	147
第三节 细胞的生物电现象 .....	18	第五节 中医脏腑功能与消化生理 .....	150
第四节 骨骼肌的收缩功能 .....	25	第七章 能量代谢和体温 .....	152
第五节 中医脏腑功能与细胞生理 .....	33	第一节 能量代谢 .....	152
第三章 血液 .....	37	第二节 体温及其调节 .....	156
第一节 概述 .....	37	第三节 中医脏腑功能与能量代谢 .....	163
第二节 血细胞生理 .....	41	第八章 尿液的生成与排泄 .....	165
第三节 血液凝固和纤维蛋白溶解 .....	49	第一节 肾脏的结构和血液循环特点 .....	165
第四节 血型与输血 .....	54	第二节 尿液生成的过程 .....	168
第五节 中医脏腑功能与血液生理 .....	57	第三节 尿液生成的调节 .....	177
第四章 血液循环 .....	59	第四节 尿液的浓缩与稀释 .....	180
第一节 心肌的生物电现象和生理 特性 .....	59	第五节 血浆清除率 .....	184
第二节 心脏的泵血功能 .....	68	第六节 尿液的排放 .....	185
第三节 血管生理 .....	74	第七节 中医脏腑功能与泌尿生理 .....	187
第四节 心血管活动的调节 .....	85	第九章 感觉器官 .....	189
第五节 器官循环 .....	94	第一节 概述 .....	189
第六节 循环生理与中医相关内容 研究 .....	98	第二节 视觉器官 .....	191
第五章 呼吸 .....	100	第三节 听觉器官 .....	198
第一节 肺通气 .....	100	第四节 前庭器官与其他感受器 .....	202
第二节 呼吸气体的交换 .....	108	第五节 中医脏腑功能与感官生理 .....	206
		第十章 神经系统 .....	209
		第一节 神经元与神经胶质细胞 .....	209
		第二节 神经元的功能联系 .....	212

第三节	中枢神经系统活动的一般规律 .....	221	第三节	甲状腺 .....	259
第四节	神经系统的感觉分析功能 .....	224	第四节	甲状旁腺和甲状腺 C 细胞 .....	262
第五节	神经系统对姿势和运动的调节 .....	229	第五节	肾上腺 .....	264
第六节	神经系统对内脏活动的调节 .....	237	第六节	胰岛 .....	268
第七节	脑的高级功能 .....	241	第七节	中医脏腑功能与内分泌生理 .....	270
第八节	中医有关神经系统的论述 .....	248	<b>第十二章 生殖</b> .....		272
<b>第十一章 内分泌</b> .....		250	第一节	男性生殖 .....	272
第一节	概述 .....	251	第二节	女性生殖 .....	275
第二节	下丘脑与垂体 .....	254	第三节	妊娠与分娩 .....	280
			第四节	中医脏腑功能与生殖生理 .....	282
			<b>参考文献</b> .....		284

# 第一章

## 绪论

### 第一节 生理学概述

#### 一、生理学的研究对象与任务

生理学 (Physiology) 是生物科学的一个重要分支, 是以机体的基本生命活动、机体各个组成部分的功能及这些功能表现的物理、化学本质为研究对象的一门学科。按研究对象不同, 可分为植物生理学、动物生理学和人体生理学等。随着科学的发展, 人们从不同的角度采用不同的方法对机体的功能进行研究, 生理学就不断产生新的分支, 有些已成为新的独立学科, 如生物化学 (Biochemistry)、生物物理学 (Biophysics)、营养学 (Nutriology) 等。有些还与其他学科的研究结合, 产生了一些新兴学科, 如神经生物学 (Neurobiology)、神经科学 (Neuroscience)。

生理学的任务是研究机体及其各组成部分功能活动规律及其产生机制, 以及内外环境变化时机体功能的影响和机体的调节。生理学与医学有着十分紧密的联系, 生理学既是以解剖学和组织胚胎学为基础, 又是后续学习病理生理学、药理学和临床医学的基础, 所以它是一门承前启后的重要的医学基础课程。中西医临床各专业的学生掌握必要的生理学知识, 不仅为学习其他基础医学和进行科学研究奠定基础, 也为中西医临床实践提供重要的客观诊治依据和检测标准, 还可为

研究中医药理论、继承和发扬中医药传统、加速中医药现代化奠定基础。

#### 二、生理学的研究方法水平

##### (一) 生理学的研究方法

生理学是一门实验性科学, 它的所有知识都来自临床实践和实验研究。根据实验对象的不同, 生理学实验分为动物实验与人体实验。一般生理学研究以动物实验为主, 仅在不损害健康并得到受试者本人同意的情况下, 人体实验才允许有限进行。由于人与动物的机体在结构和功能上具有诸多相似之处, 因此, 利用动物实验的结果来推断人体生理功能是完全可能的。但人体的许多功能活动, 尤其是高级神经活动, 与动物相比已发生质的变化, 因而利用动物进行这方面的实验则有一定的局限性。所以在进行动物实验时, 应根据不同的研究内容选择适当的动物或动物材料。在推断人体功能活动规律时, 需注意人与动物结构和功能上的差异, 不能简单地将动物实验的结果直接套用于人体。

**1. 动物实验** 传统上生理学的动物实验方法分为急性动物实验和慢性动物实验两大类。

(1) 急性动物实验 急性动物实验 (Acute Animal Experiment) 是以完整动物或动物材料为研究对象, 在人工控制的实验环境条件下, 在短时间内对动物某些生理活动进行观察和记录的实验, 实验通常是破坏性的、不可逆的、可造成实验动物的死亡。急性动物实验又分为离体实验和在体



实验。①离体实验 (Experiment In Vitro), 是指从活着的或刚被处死的动物身上取出所要研究的器官、组织、细胞或细胞中的某些成分, 置于一个能保持其正常功能活动的人工控制的实验环境中, 观察某些人为的干预因素对其功能活动的影响。例如, 对离体蛙心或动物血管条进行灌流, 可用于研究某些生物活性物质或药物对心肌或血管平滑肌收缩力的影响等。②在体实验 (Experiment In Vivo), 是在动物清醒或麻醉条件下, 手术暴露某些所需研究的部位, 观察和记录某些生理功能在人为干预条件下的变化。例如, 将玻璃微电极插入脑内某些部位进行细胞内或细胞外记录, 观察神经元在接受某些刺激时放电活动的变化, 以了解这些神经元的生理功能。急性实验的优点是实验条件比较简单, 易于控制, 便于进行直接的观察, 无关因素的影响较少, 结果易于分析等; 离体实验更能深入到细胞和分子水平, 有助于揭示生命现象中最为本质的基本规律。但急性动物实验的结果可能与生理条件下完整机体的功能活动有所不同, 尤其是离体实验的结果。此时被研究的对象, 如器官、组织、细胞或细胞中的某些成分已经脱离整体, 它们所处的环境已发生很大的改变, 实验结果与在整体中的真实情况相比, 可能会有很大的差异。

(2) 慢性动物实验 慢性动物实验 (Chronic Animal Experiment) 以完整、清醒的动物为研究对象, 且尽可能保持外界环境接近于自然, 以便能在较长时间内反复多次观察和记录某些生理功能的改变。通常是在无菌条件下, 对动物施行手术, 暴露、破坏、切除或移植某些器官, 待手术创伤恢复后, 动物在清醒或接近正常生活状态下, 观察其功能缺损、功能紊乱表现等, 以分析各器官、组织在正常状态下的功能活动规律的实验。如在无菌手术下制备各种器官的瘘管 (胃瘘、肠瘘、唾液腺瘘等), 观察各种因素对其分泌的影响。慢性实验最大的优点在于实验动物处在清醒状态, 各器官间保持了自然关系, 其各种功能接近常态。另外, 实验动物能较长时间存活下去, 可多次、重复进行实验观察、分析, 所获得的结果更接近于整体自然状态。但慢性动物实验不宜用来分析某一器官或组织细胞生理功能的详细机制。与急

性动物实验相比, 慢性动物实验的干扰因素较多, 实验条件较难控制。

2. 人体实验 人体实验由于受到伦理学的限制, 目前主要是进行人群资料调查。例如, 人体血压、心率、肺通气量、肾小球滤过率, 以及红细胞、白细胞和血小板数量的正常值就是通过大批人群采样, 再进行数据的统计学分析而获得的。有些实验研究可在志愿者中进行, 例如, 测试人体在高温、低温、低氧、失重和高压等一些特殊环境下某些生理活动的变化。

总之, 实验方法各有其优、缺点。对某种生理功能的研究, 究竟适宜采取哪些实验方法, 应根据实际情况加以选择。

## (二) 生理学的研究水平

机体功能取决于各器官系统的功能, 各器官系统的功能取决于组成这些器官系统的细胞的功能, 细胞功能又取决于亚细胞器和生物分子的相互作用。所以, 要全面探索生理学, 研究应在整体水平、器官和系统水平及细胞和分子水平上进行, 并将各个水平的研究结果加以整合。

1. 细胞和分子水平 细胞是组成人体最基本的结构与功能单位, 而细胞及其亚细胞器又由多种生物大分子构成。因此, 细胞、分子水平的研究, 其主要任务是研究细胞内各亚微结构的功能和生物大分子的理化变化过程, 如细胞兴奋时细胞膜中通道的开放和离子的跨膜移动、腺细胞的分泌、骨骼肌收缩时肌丝滑行的分子机制等。细胞和分子水平的研究有助于对器官、系统功能的深入认识和深入揭示生命活动的本质。

2. 器官和系统水平 人们对生理学的研究最早是在器官和系统水平上进行的。这一水平主要是观察和研究各器官和系统的功能、它们在机体生命过程中所起的作用、它们的功能活动的内在机制, 以及各种因素对它们活动的影响。例如, 心脏的射血、肺的呼吸、小肠的消化和吸收、肾的尿生成及其相关调节等。进行这一水平的研究可应用多种方法, 包括急性和慢性动物实验, 但更多采用急性动物实验的方法, 急性动物实验法既可进行在体实验, 也可进行离体实验。这一水平的研究及其所获得的知识 and 理论称为器官生理学 (Organ Physiology)。例如, 肾脏生理学、消化

生理学、呼吸生理学循环生理学等。

**3. 整体水平** 在整体中,各个器官、系统之间发生相互联系和相互影响,各器官、系统的功能互相协调,从而使机体能够在不断变化着的环境中维持正常的生命活动。因此生理学还必须进行整体水平上的研究,即以完整的机体作为研究对象,观察和分析在环境因素改变和不同生理情况下各器官、系统之间的相互联系、相互协调,以及完整机体所做出的各种反应的规律。例如,机体在运动、创伤、紧张、恐惧等生理和心理因素,地理、气候、社会等环境因素对机体生理功能的影响;机体在环境急剧变化时所产生的应急反应,在某些特殊环境,如高温、低氧(高原)、失重(航天)、高压(潜水)等情况下,机体为适应新环境生存而产生一系列适应性改变。急性和慢性动物实验都可用于这一水平的研究,但由于在实验过程中发生变化的参数,即变量很多,因而结果分析比较困难。然而,变量越多的实验,即综合程度越高,则可能更加接近实际情况。

细胞和分子水平上的研究虽然能更深入了解机体活动规律的机制,但整体水平上的研究却比细胞和分子水平上的研究更为复杂。因此,要想阐明某一种生理功能的机制,必须对细胞和分子、器官和系统及整体三个水平的研究结果加以综合分析,才能得出比较全面和完整的认识。中医就是在整体水平对机体进行的研究,经过几千年的沉淀,中医对机体已经达到了很深刻的认识。

## 第二节 机体的内环境和稳态

### 一、机体的内环境

环境(Environment)一般是指生物体周围一切的总和,它包括空间以及其中可以直接或间接影响生物体生活、发展的各种因素。外环境(External Environment)是指机体赖以生存和生活的自然环境和社会环境。人体的绝大多数细胞并不直接与外界接触,而是浸浴在细胞外液之中,所以细胞外液是细胞在体内直接所处的环境,故称之为内环境(Internal Environment)。内环境是

供体内细胞生存和进行功能活动的环境,以区别于整个机体所处的外环境。机体内的某些液体,如肾小管、汗腺导管和胃肠道内的液体,都是和外环境联通的,不属于内环境。机体的生命活动是在外环境和内环境中发生和发展的。

### 二、内环境的稳态

细胞外液是体内细胞赖以生存和发挥其功能的环境,是机体的内环境。内环境是相对于机体生存的外部自然环境而言。机体内环境的成分和理化性质是保持相对稳定的,而内环境的稳定又是细胞维持正常生理功能的必要条件,也是整个机体维持正常生命活动的必要条件,在高等动物中更是如此。这是生命活动的一个重要的基本规律。内环境的稳态(Homeostasis)是指在正常生理情况下机体内环境中各种成分的理化因素保持相对稳定的状态。内环境理化性质的相对恒定并非固定不变,而是可在一定范围内变动但又保持相对稳定的状态。例如,人的血浆pH在7.35~7.45之间波动;体温可在37℃上下波动,通常每天的波动幅度不超过1℃;葡萄糖浓度、各种离子( $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{H}^+$ 等)、动脉血压、血浆中氧和二氧化碳分压、细胞外液的容积、渗透压等都维持在一个相对恒定的水平。

内环境的稳态是一种动态平衡。稳态并不是不变的,相反,由于细胞不断进行代谢活动,物质交换在细胞外液不断地发生,就会不间断地扰乱或破坏内环境的稳态。细胞外液包括血浆和组织液,在体内处于循环状态,运动着的细胞外液既是细胞发挥功能活动的环境,又是机体各部分细胞间相互联系和与外环境间进行物质交换的媒介。因此,外环境因素的改变也会影响内环境的稳态。稳态为机体各种组织细胞的生化代谢和生理功能的正常进行提供了必需的条件,稳态的维持又是体内各细胞、器官的正常生理活动的结果,故两者互为因果关系。环境的各种理化性质的变动如果超过一定范围,就可能引起疾病;相反,在疾病情况下细胞、器官的活动发生异常,内环境的稳态就会受到破坏,细胞外液的一些成分就会发生变化,变动范围超出正常。临床上给患者做许多检查,目的在于判断有关生理指标是否在

正常的变动范围内, 或者是否发生较大程度的偏离。

### 第三节 机体生理功能的调节

当机体处于不同的生理情况时, 或者外界环境发生改变时, 内环境的成分和理化性质会发生各种改变。这时, 体内的一些器官和组织、细胞的功能活动就会发生相应的改变, 使被扰乱的内环境得到恢复, 内环境的稳态得到维持。这种过程称为生理功能的调节 (Regulation)。机体对各种功能活动进行调节的方式主要有三种, 即神经调节 (Nervous Regulation)、体液调节 (Humoral Regulation) 和自身调节 (Autoregulation)。

#### 一、机体功能的调节方式

机体功能活动主要受神经、内分泌和免疫系统的调节, 自身调节的作用较小。体内的多种生物活性物质 (神经递质、激素和细胞因子等) 是神经、内分泌和免疫调节系统共同的信息物质。机体具有完整复杂的调节机制, 通过调节使各器官、系统的功能活动在空间上和时间内相互配合、相互制约, 从而达到整体功能活动的协调、统一, 称为整合作用 (Integration)。整合作用是机体实现各种功能活动, 进而适应内外环境变化的主要方式。而整合作用的实现则是通过机体内错综复杂的调节形式完成的。

##### (一) 神经调节

神经调节 (Nervous Regulation) 是指通过中枢神经系统的活动, 经周围神经纤维对人体功能发挥的调节作用。神经调节的基本方式是反射 (Reflex)。反射是指机体在中枢神经系统参与下, 对内外环境变化做出有规律性的适应性反应。反射活动的结构基础是反射弧 (Reflex Arc)。反射弧由 5 部分组成: 感受器 (Sensory Receptor)、传入神经 (Afferent Nerve Fiber)、反射中枢 (Reflex Center)、传出神经 (Efferent Nerve Fiber) 和效应器 (Effector)。机体有各种各样的感受器, 每一种感受器能够感受体内外环境的某种特定变化, 并将这种变化转变成一定的神经信号, 通过传入神

经纤维传至相应的反射中枢, 中枢对传入信号进行整合并产生传出信息, 通过传出神经纤维改变相应效应器的功能活动, 即完成一次反射活动。反射分为非条件反射与条件反射两类。神经调节在维持正常生命活动中起着非常重要的作用。在以后各章的学习中, 将会具体叙述神经系统对机体某种功能的调节过程。

神经调节是人体中最重要的调节形式, 其特点是: 反应迅速、精确、作用短暂而影响范围局限。

##### (二) 体液调节

体液调节 (Humoral Regulation) 是指内细胞产生和分泌的某些特殊化学物质, 经体液运输到相应的靶细胞, 从而影响其生理功能的一种调节方式。根据调节范围的大小, 可分为全身性和局部性的体液调节两类。

**1. 全身性体液调节** 是指内分泌腺或内分泌细胞分泌的激素, 通过血液循环或其他体液途径运送到相应的靶器官或靶细胞, 对其功能活动进行的调节。由于内分泌腺和内分泌细胞的活动直接或间接地受神经系统的调节, 故这类体液调节可视为神经调节的一个传出环节, 常称之为神经-体液调节 (Neurohumoral Regulation)。例如, 肾上腺髓质受交感神经节前纤维末梢支配, 交感神经兴奋时, 肾上腺髓质分泌肾上腺素和去甲肾上腺素, 从而使神经与体液因素共同参与机体功能调节。此外, 某些神经元也可分泌激素, 如血管升压素, 它由下丘脑视上核和视旁核的大细胞神经元合成, 先沿轴突运抵神经垂体储存, 然后释放入血, 作用于肾小管上皮细胞和血管平滑肌细胞。由神经元分泌激素的方式称为神经分泌 (Neurocrine)。

**2. 局部性体液调节** 也称为旁分泌 (Paracrine) 调节。是指某些散在的内分泌细胞或其他具有分泌功能的细胞, 在所处环境因素变化时, 分泌的激素或其他生物活性物质, 经组织液扩散到相邻细胞, 对自身 (自分泌) 或相邻细胞功能活动的调节。例如, 生长抑素在胰岛内抑制  $\alpha$  细胞分泌胰高血糖素就是以这种方式进行的。除激素外, 组织细胞代谢产生的组胺、乳酸、 $\text{CO}_2$ 、各种细胞因子、某些气体分子 (如  $\text{NO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  等) 产生的调节作用也视为局部性体液调节。

体液调节的特点是：反应相对迟缓、作用范围广泛、持续时间较长。

### (三) 自身调节

某些组织、细胞不依赖于神经或体液因素，自身对环境刺激发生的一种适应性反应，称为自身调节 (Autoregulation)。例如，肾动脉灌注压在一定范围发生波动时，肾脏小动脉平滑肌可以相应地收缩或舒张以改变血流阻力，使肾血流量基本保持稳定，从而保证肾泌尿活动在一定范围内不受动脉血压改变的影响。

自身调节的特点是：范围和幅度都比较小，其生理意义不及神经与体液调节，但是对于局部器官、组织的生理功能的调节仍有着重要的意义。

机体还存在多种调节方式，如免疫调节、神经免疫调节 (Neuro-immunomodulation) 等。免疫调节 (Immunological Regulation) 是指通过免疫系统的活动对机体防御系统功能的调节。免疫系统是由免疫器官 (骨髓和淋巴结等)、免疫细胞 (淋巴细胞和单核/巨噬细胞等) 和免疫活性分子 (免疫球蛋白和细胞因子等) 组成。免疫系统的主要功能有三个方面：①防止外界病原体的入侵和清除已进入体内的病原体。②对其他有害生物性分子产生免疫反应并将其清除。③清除体内已衰老

和突变的细胞或早期的肿瘤细胞。故从本质上讲，机体免疫系统的功能是识别“自己”和排除“异己”。正常情况下，免疫系统同神经和内分泌系统一起，通过相同的信息物质，构成机体的网络调节系统以维持内环境的稳态。

## 二、机体功能活动的自动控制

人体是一个极其复杂的有机体，各种功能活动的调控多数是在无意识状态下进行的。运用数学和物理学的原理和方法研究时发现，机体功能活动的调节过程与工程技术的控制过程具有极其相似的调节原理和规律。人体内存在多种控制系统 (Control System)，对机体各种活动进行调节。控制系统分为非自动控制系统和自动控制系统两大类。而自动控制系统又分为反馈控制系统和前馈控制系统。任何控制系统都主要由控制部分和受控部分组成。由于机体的功能活动受非自动控制调节较少，现只介绍自动控制系统对机体功能活动的调节。

### (一) 反馈控制系统

每一个自动控制系统都是一个闭合回路，即控制部分—受控部分—监测装置—比较器—控制部分，将此闭合回路联系称为反馈联系 (图 1-1)。

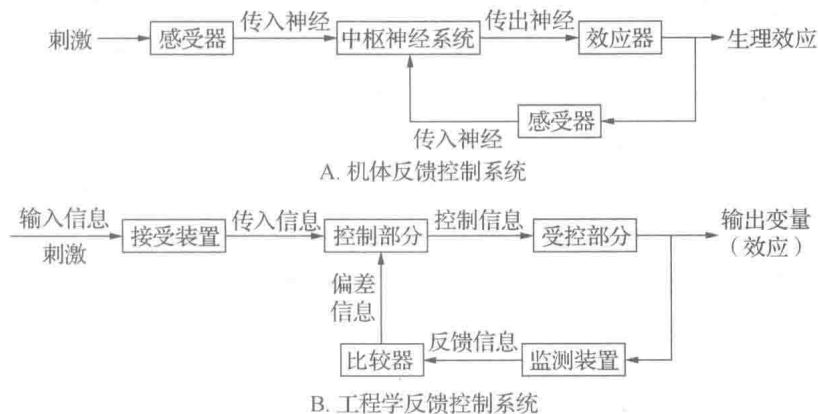


图 1-1 机体反馈系统与工程学反馈控制系统比较示意

与人体的对应关系表明，控制部分 (反射中枢或内分泌细胞) 与受控部分 (效应器、靶细胞) 两者之间也存在着双向联系。由控制部分发出的调节受控部分活动的信息，称为控制信息；由受控部分返回的修正控制部分活动的信息，称为反馈信息，即控制信息到达受控部分，同时受控部

分也会不断地有反馈信息回输至控制部分。反馈信息在不同的控制系统中，其传递信息的形式可以不同，但主要是电信号 (神经冲动) 及化学信号 (激素或生物活性物质) 等。由受控部分将信息通过反馈联系传回到控制部分的过程称为反馈 (Feedback)。反馈又分为负反馈与正反馈。

**1. 负反馈调节** 负反馈 (Negative Feedback) 是指受控部分发出的反馈信息调节控制部分的活动, 最终使受控部分的活动朝着与它原先活动相反的方向改变。当体内某受控部分活动超出正常范围时, 可通过负反馈控制机制使该活动下调或减弱, 反之则可以通过负反馈控制机制使其活动增强。例如, 体温、血压和血液中激素水平的调节等都属于负反馈调节。负反馈调节的作用是维持体内某些功能活动处于相对稳定的状态, 因而可逆的过程, 并具有双向调节的特点。负反馈控制系统在机体内各种调节活动中最常见, 在维持机体生理功能的稳态中具有重要意义。

负反馈控制都有一个调定点 (Set Point)。调定点是指自动控制系统所设定的一个工作点, 使受控部分的活动只能在这个设定的工作点附近的一个狭小范围内变动。事实上, 调定点可被当作各生理指标正常范围的均数。例如, 正常人体体温的调定点约为  $37^{\circ}\text{C}$ , 当各种原因使体温偏离调定点时, 即可通过负反馈控制, 使体温回到正常水平, 从而维持正常体温的相对稳定。调定点并非永恒不变, 而是在一定情况下可发生变动, 这称为重调定。负反馈控制系统是一个闭合回路, 反馈可在回路中反复进行, 经过信息的多次往返才能使偏差逐步缩小, 接近正常值均数, 使调节达到较精确的程度。

**2. 正反馈调节** 正反馈 (Positive Feedback) 是指受控部分发出的反馈信息, 通过反馈联系到达控制部分后, 促进或上调了控制部分的活动, 最终使受控部分的活动朝着与它原先活动相同的方向改变。因此, 正反馈的意义在于打破原先的平衡状态, 产生“滚雪球”效应, 促使某一生理活动过程很快达到高潮并发挥最大效应。例如, 排尿反射、血液凝固和分娩过程都属正反馈调控。正反馈一般对稳态的维持不发挥作用, 但有些正反馈对稳态的维持也有间接作用。例如, 血液凝固的结果是血凝块的形成, 使出血停止, 所以, 从整体的角度看, 凝血对维持循环血量的稳态具有重要作用。

### (二) 前馈控制系统

前馈 (Feed - Forward) 是指控制部分在反馈信息尚未到达前已受到纠正信息 (前馈信息) 的

影响, 及时纠正其指令可能出现的偏差, 从而使活动更加准确的一种自动控制形式。

人体在内、外环境因素的不断变化中, 前馈控制与负反馈调节一起维持各种功能的稳定。如上所述, 负反馈调节中的反馈信息回输到控制部分, 只有在输出变量与控制信息发生较大偏差后, 才能够启动负反馈控制系统, 所以其调节总是出现滞后现象, 并且在纠正偏差时又常常由于矫枉过正而出现波动。通常负反馈调节越敏感则出现的波动越大, 而敏感性越低, 则滞后越久。因此, 负反馈控制往往与前馈相结合发挥调节作用, 以达到互补。例如, 在寒冷环境中, 皮肤的温度感受器受到寒冷刺激或者通过降温预报, 信息通过非条件反射或条件反射迅速传递到中枢神经并立即发出指令增加机体产热、减少散热活动。可见, 机体改变产热和散热活动并不一定是到达寒冷环境, 体温降低之后发生, 所以这种调节属于前馈调节。前馈调节由于临时环境条件变化也会出现失误。另外, 条件反射也是一种前馈控制。如食物的外观、气味等有关信号可在食物进入口腔之前就能引起唾液、胃液分泌等消化活动。

前馈控制的主要意义是可以在生理效应未出现变化之前, 控制部分就对效应器可能出现的变化进行调节。同负反馈控制比较, 前馈控制更为快速, 可避免负反馈调节将出现的较大波动与滞后反应。

## 第四节 中医学与人体系统稳态调控

### 一、中医的整体观念与人体系统稳态调控

整体观念认为人体是一个有机整体, 既强调人体内部环境的统一性, 又注重人与外界环境的统一性, 是对人体自身的完整性及人与自然、社会环境的统一性的认识。

人体是一个有机的整体, 构成人体的各个组成部分之间在结构上不可分割, 在功能上相互协调、互为补充、相互为用, 在病理上则相互影响。人体是一个有机整体, 它具体体现在三大方面:

①就形体结构而言，人体以心、肝、脾、肺、肾五脏为中心，通过经络有规律地循行和交会，把五脏、六腑、五官、九窍、四肢百骸联络起来，组成五大功能系统，即心系统、肝系统、脾系统、肺系统和肾系统，这些脏腑器官系统是相互沟通的，任何局部都是整体的一个组成部分，与整体在形成结构上有着密切的关联。②就基本物质而言，组成各脏腑器官并维持其功能活动的物质是统一的，即精、气、血、津、液，这些物质分布并运行于全身，以完成统一的功能活动。③就功能活动而言，组织结构上的整体性和基本物质的统一性，决定了各种不同功能活动之间密切的联系。它们互根互用、协调制约、相互影响。

人生活在自然和社会环境中，人体的生理功能和病理变化，必然受到自然环境、社会条件的影响。自然界存在着人类赖以生存的必要条件，人与外界环境有着物质统一性，外界环境为人体提供了人类赖以生存的物质条件，自然界的运动变化又可以直接或间接地影响着人体，左右着人的功能活动，迫使人做出相应的反应。如果这类反应处于适度范围，则表现为生理性的适应；如果这类反应超出一定限度，但机体无法适应外界变化，就有可能出现病理性情况，甚至发展为疾病。这就是中医学强调的人与环境的统一性。

在整体观念理论指导下，中医认为人体是一个稳态的调控系统，人的功能活动一方面靠各脏腑组织正常地进行各项功能；另一方面还要靠脏腑组织间相辅相成的协同作用和制约作用，才能使整体功能处于协调稳定状态。维持自身的协调稳定性与自然、社会环境的统一性。

## 二、中医阴阳与人体系统稳态调控

阴阳是对相关事物或现象相对属性或同一事物内部对立双方属性的概括。阴阳具有对立制约、互根互用、相互转化、消长平衡等特点。

阴阳相互对立制约的特性体现在阴阳双方相互抑制、相互约束，在人体系统中表现出阴胜则阳病、阳胜则阴病的错综复杂的动态联系。阴阳互根互用的含义是：在相互依存的基础上体现出相互滋生、相互为用的关系特点，在人的生命过程中体现得更为突出。阴阳对立的双方在一条条

件下可以向其相反的方向转化，即阴转化为阳、阳转化为阴。阴阳的平衡，事物在总体上呈现出相对的稳定，此时就称作“平衡”。因此，从中医学看来，所谓健康的人，是人体阴阳最佳协调的综合表现，这种协调平衡稳态即所谓的“阴平阳秘”，依赖于机体阴阳的自我运动与调控机制。其主要标志就是阴阳的消长处于动态的平衡，如果阴阳之间的消长变化若超出了一定的限度、一定的范围，动态平衡和相对静止状态遭到了破坏人体便可产生疾病。但这种变化必须稳定在一定的范围内，即阴阳平衡，才能维持人体的健康状态，阴阳平衡观强调了整体性和平衡性特点。

## 三、中医五行与人体系统稳态调控

五行学说将脏腑分别归属于五行，并以五行来说明各脏的生理特性。例如，木性曲直，枝叶条达，具有向上、向外、生长、舒展的特性；肝属木，其禀性也喜条达舒畅，恶抑郁遏制，所以说肝主疏泄。火性温热，其势炎上，具有蒸腾、热烈的气势；心属火，所以说心“禀阳气”。五行学说不但将人的组织结构分属于五行，而且还把自然界的五方、五时、五气、五味、五色等与人的生理系统联系起来，认为同一行的事物之间有着“同气相求”的关系，体现了人与自然的联系性和统一性。五行之中存在着相生和相克关系，且生中有克，克中有生，这样，又构成了一个五类要素组成的、协调与稳定的世界模型。

## 四、中医脏腑与人体系统稳态调控

人的各个脏腑、组织、器官有着不同的功能。这些功能都是整体功能活动的组成部分，它一方面受到整体功能活动的制约和影响；另一方面又影响着其他脏腑器官的功能活动，从而使身心功能活动表现出整体统一性。

中医理论认为：人的功能活动一方面靠各脏腑组织正常地进行各项功能，既不过亢，亦非不及；另一方面还要靠脏腑组织间相辅相成的协同作用和相反相成的制约作用，才能使整体功能处于协调稳定状态。在整体中不同脏腑有着各自的分工并相互合作，这体现了局部与整体的统一。

(刘天蔚 郭云良)

## 第二章

# 细胞的基本功能

细胞 (Cell) 是构成人体最基本的结构和功能单位。体内所有的生命现象都是在细胞及其产物的物质基础上进行的。根据结构和功能的不同进行分类, 人体的细胞有 200 余种。这些细胞形态各异, 分布于机体的特定部位, 执行特定的功能。但对所有细胞或者某些细胞群体而言, 许多基本结构和功能活动具有普遍性。本章主要介绍细胞膜的基本结构和物质转运功能; 细胞的跨膜信号转导; 细胞的生物电现象; 骨骼肌的收缩功能; 中医脏腑功能与细胞生理。

### 第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能

细胞膜 (Cell Membrane) 是包围着细胞的一层界膜, 又称质膜 (Plasmalemma)。它把细胞内容物与细胞周围的环境分隔开来, 使细胞能够相对独立

于环境而存在, 这对维持细胞正常的生理功能有着非常重要的作用。此外, 胞内的各种细胞器也被类似的膜性结构所包被, 因此我们把细胞膜和细胞器膜统称为生物膜 (Biological Membrane)。

#### 一、细胞膜的基本结构

细胞膜主要由脂质、蛋白质和少量的糖类组成。其中糖类主要与蛋白质和脂质结合, 分别形成糖蛋白和糖脂。蛋白质和脂质的比例在不同种类的细胞相差很大。功能活跃的细胞, 膜蛋白含量较高; 而功能简单的细胞, 膜蛋白含量较低。关于各种化学成分在细胞膜中的排列形式, 目前广为接受的是 1972 年 Singer 和 Nicholson 提出的液态镶嵌模型 (Fluid Mosaic Model) 学说。该学说的基本内容是: 细胞膜以液态脂质双分子层为基架, 其中镶嵌着具有不同分子结构和功能的蛋白质, 糖类分子与脂质、蛋白质结合后附在膜的表面 (图 2-1)。

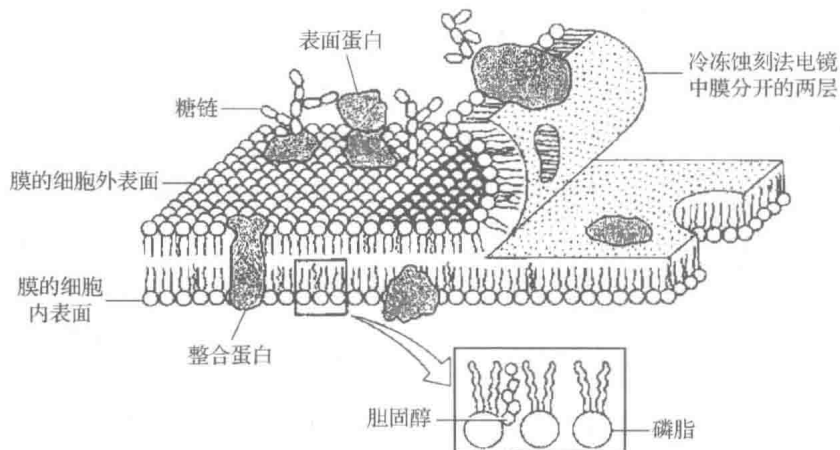


图 2-1 细胞膜的液态镶嵌模型

### (一) 脂质双分子层

膜脂质主要由磷脂、胆固醇和少量糖脂构成。在大多数细胞的细胞质中, 磷脂占脂质总量的70%以上, 其次是胆固醇, 含量不超过30%, 糖脂不超过10%。磷脂是一类含有磷酸的脂类。磷脂中含量最高的是磷脂酰胆碱, 其次是磷脂酰丝氨酸和磷脂酰乙醇胺, 含量最低的是磷脂酰肌醇。各种膜脂质在膜中的分布是不对称的。大部分磷脂酰胆碱和全部糖脂都分布在膜的外层, 含氢基酸的磷脂(磷脂酰丝氨酸、磷脂酰乙醇胺、磷脂酰肌醇)主要分布在膜的内层。其中, 磷脂酰肌醇可作为细胞内第二信使三磷酸肌醇( $IP_3$ )和二酰甘油(DG)的供体, 在跨膜信号转导中发挥重要的作用。

脂质分子都是双嗜性分子, 磷脂分子中头端的磷酸和碱基、胆固醇分子中的羟基和糖脂分子中的糖链等亲水基团分别形成各分子中的亲水端; 分子的另一端则是由磷脂分子较长的脂肪酸烃链形成的疏水端。脂质分子的双嗜特性使之在质膜中以脂质双层(Lipid Bilayer)的形式存在, 即两层脂质分子的亲水端分别朝向细胞外液或胞质, 疏水的脂肪酸烃链则在膜的内部彼此相对, 形成膜内部的疏水区。

膜脂质随温度的改变呈凝胶或溶胶状态。正常人的体温高于膜脂质的熔点, 故膜脂质在人体内呈溶胶状态, 具有一定程度的流动性。脂质双分子层在热力学上的稳定性及其流动性, 使细胞膜能承受很大的压力和变形而不至于破裂。膜脂质的流动性还使嵌入的膜蛋白发生侧向移动、聚集和相互作用。细胞的许多基本活动, 如膜蛋白的相互作用、细胞的运动、分裂、细胞间连接的形成等都有赖于质膜保持适当的流动性。质膜的流动性还与膜脂质的成分及膜蛋白的含量有关。胆固醇与脂肪酸链的结合可限制脂质的流动, 故胆固醇含量越高, 膜的流动性就越低; 脂肪酸烃链长度越长、饱和脂肪酸越多, 膜的流动性也越低; 膜中镶嵌的蛋白质含量增多时也会降低膜的流动性。

### (二) 细胞膜的蛋白

细胞膜的蛋白质分子是以 $\alpha$ 螺旋或球形结构分散镶嵌在膜的脂质双分子层中, 可分为表面蛋

白(Peripheral Protein)和整合蛋白(Integral Protein)两种形式。

表面蛋白占膜蛋白的20%~30%, 主要附着于细胞膜的内表面。表面蛋白通过静电引力与脂质的亲水部分结合或通过离子键与膜中的整合蛋白结合, 但这种结合力较弱, 高盐溶液可使离子键断开, 因而可将表面蛋白从膜中洗脱。

整合蛋白占膜蛋白的70%~80%, 其肽链一次或反复多次穿越膜脂质双分子层, 两端露出在膜的两侧。穿越脂质双层的肽段以疏水性氨基酸残基为主, 肽键之间易形成氢键, 因而多以 $\alpha$ 螺旋结构的形式存在; 露出膜外表面或内表面的肽段则是亲水性的, 分别以直链形式构成连接疏水性跨膜 $\alpha$ 螺旋的细胞外环或细胞内环。整合蛋白与脂质分子结合紧密, 在膜蛋白纯化过程中可用两性洗涤剂使之与脂质分离。

细胞膜的功能在很大程度上同上述的镶嵌蛋白质的功能密切相关。有的蛋白质与物质的跨膜转运有关, 如载体蛋白、通道蛋白、离子泵等; 有的与信息传递有关, 如分布在膜外表面的受体蛋白, 能将环境中的特异性化学物质或信号传递到胞内, 引起细胞功能的相应改变; 还有一类蛋白质与能量转化有关, 如ATP酶能分解三磷酸腺苷(Adenosine Triphosphate, ATP)而提供生理活动所需的能量; 膜内侧存在腺苷酸环化酶系统, 当配体与其特异性受体结合后可被激活, 将膜内胞质中的ATP转变为环腺苷酸(cAMP), 进而引起胞内的生物效应, 所以该酶系既与能量转化有关, 又起到信息传递的作用。

### (三) 细胞膜的糖类

细胞膜上糖类的含量在2%~10%, 主要是一些寡糖和多糖链。它们以共价键的形式与膜的蛋白质或脂质结合, 形成糖蛋白或糖脂。大多数整合蛋白都是糖蛋白, 近1/10的膜脂质是糖脂。结合于糖蛋白或糖脂上的糖链几乎总是伸向细胞膜的外侧, 可作为一种分子标记发挥受体或抗原的作用。例如, ABO血型红细胞膜上系统的抗原就是由结合于糖蛋白和糖脂上的寡糖链所决定的, 其中A型抗原和B型抗原的差别仅在于此糖链中一个糖基的不同; 还有的糖脂或糖蛋白上的糖链作为膜受体的“可识别”部分, 能特异性地与某



种递质、激素或其他化学信号分子相结合。此外，细胞膜中的某些糖类还带有负电荷，可影响某些调节分子与细胞或细胞与细胞之间的相互作用。

例如，血液中红细胞不易发生叠连就与膜上唾液酸携带负电荷有关。表 2-1 概括了细胞膜的结构与功能。

表 2-1 细胞膜的结构与功能

	要点	说明
结构	脂质双层液态镶嵌	以液态的脂质双分子层为基架，镶嵌着不同功能的蛋白质和糖类
功能	屏障	脂质双分子层构成了细胞内容物和细胞环境之间的屏障
	转运	膜上含有载体、通道、离子泵等，起着转运物质的作用
	识别	膜外侧有特异性糖链，可作为细胞的“标记” 膜上有特殊的受体，能识别和传递化学信息
	信号传递	膜对离子有选择通透性，通过生物电活动传递信息

## 二、细胞膜的物质转运功能

细胞膜的物质转运功能是细胞维持正常代谢、进行各项生命活动的基础。细胞在新陈代谢过程中不断有各种各样的物质进出细胞，不同理化性质的物质其转运机制不同。脂溶性物质和少数分子很小的水溶性物质能够直接通过细胞膜，大多数水溶性小分子物质和离子的跨膜转运，都需要依靠镶嵌在膜上的各种特殊蛋白质分子介导来完成。根据跨膜转运是否消耗能量，可将其分为被动转运 (Passive Transport) 和主动转运 (Active Transport) 两大类。而某些大分子物质或物质团块则通过细胞膜以囊泡转运的方式进行。

### (一) 被动转运

物质或离子顺浓度梯度或电位梯度，不需要消耗能量通过细胞膜进出细胞的过程，称为被动转运。根据其是否需要膜蛋白的帮助，又分为单纯扩散和易化扩散两种形式。

**1. 单纯扩散 (Simple Diffusion)** 是指脂溶性 (非极性) 物质或少数不带电荷的极性小分子从细胞膜高浓度一侧向低浓度一侧移动的过程。它是一种物理现象，没有生物学机制的参与，无须代谢耗能。扩散的方向和速度取决于膜两侧该物质的浓度差和膜对该物质的通透性，后者取决于物质的脂溶性和分子大小，扩散的最终结果是该物质在膜两侧浓度差消失。一般来说，脂溶性高而分子质量小的物质容易穿越脂质双分子层。例如，人体内  $O_2$ 、 $CO_2$ 、 $NO$ 、尿素等都属于这类物质，它们都是以单

纯扩散方式进行跨膜转运的。分子较大的非脂溶性物质，如葡萄糖、氨基酸等，很难直接通过膜脂质双层。各种带电离子，尽管其直径很小，却也不能通透膜脂质双层 (图 2-2)。

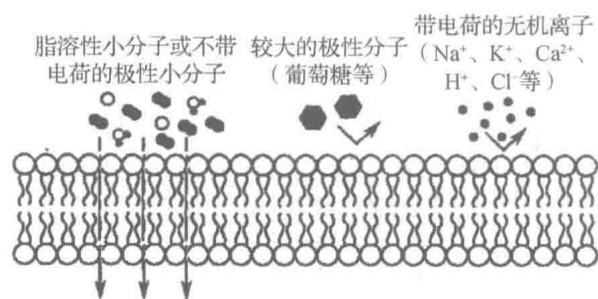


图 2-2 单纯扩散示意

**2. 易化扩散 (Facilitated Diffusion)** 是指在膜蛋白的帮助 (或介导) 下，非脂溶性的小分子物质或带电离子顺浓度梯度和 (或) 电位梯度进行的跨膜转运。如细胞外液中葡萄糖、氨基酸进入胞内， $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$  等离子的跨膜转运，转运特点是它们必须依靠膜上特殊蛋白质的介导来完成。根据参与蛋白质的功能不同，易化扩散可分为经通道易化扩散和经载体易化扩散两种形式。

(1) 经通道易化扩散 (Facilitated Diffusion Via Channel): 指各种带电离子在通道 (Channel) 蛋白的介导下，顺浓度梯度和 (或) 电位梯度的跨膜转运。由于经通道转运的溶质几乎都是离子，因而这类通道也称离子通道 (Ion Channel)。离子通道均无分解 ATP 的能力，它们所介导的跨膜转运都是被动的。离子通道贯穿细胞膜脂质双分子层，中央带有