



普通高等教育“十二五”规划教材  
全国高等医药院校规划教材

供中西医结合、中医学专业及其他相关专业使用

# 中西医结合生理学

主 编 赵铁建



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材  
全国高等医药院校规划教材

供中西医结合、中医学专业及其他相关专业使用

# 中西医结合生理学

主 编 赵铁建

副主编 张志雄 苗维纳 周乐全 吉恩生 尤行宏

编 者 (以姓氏笔画为序)

于化新(辽宁中医药大学)

尤行宏(湖北中医药大学)

孙世晓(黑龙江中医药大学)

李 育(南京中医药大学)

闵建新(江西中医药大学)

苗维纳(成都中医药大学)

周乐全(广州中医药大学)

郑 梅(云南中医学院)

赵蜀军(安徽中医药大学)

高洽平(山西中医学院)

郭 健(北京中医药大学)

黄文华(陕西中医学院)

蒋 筱(广西中医药大学)

储利胜(浙江中医药大学)

王冰梅(长春中医药大学)

吉恩生(河北中医学院)

杜 联(成都中医药大学)

李爱萍(大连医科大学)

张志雄(上海中医药大学)

金 戈(甘肃中医学院)

周 涛(天津中医药大学)

赵铁建(广西中医药大学)

祝美珍(广西中医药大学)

高剑峰(河南中医学院)

黄小平(湖南中医药大学)

彭 芳(贵阳中医学院)

韩艳梅(河北大学医学部)

谢佐福(福建中医药大学)

学术秘书 孙雪莲(广西中医药大学)

彭 岳(广西中医药大学)

科学出版社

北 京

· 版权所有 侵权必究 ·

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303(打假办)

## 内 容 简 介

本书以培养学生创新思维、树立中西医结合的医学理念、实现基础向临床过渡为主导思想,内容突出介绍生理学基本知识及与中医基础理论的关系,旨在促进两者的有机结合。为体现中西医结合的学科体系特点,本书在编写过程中探索性地将中医基础理论与生理学基本知识进行穿插编写、有机融合,结合临床案例,生动有趣地介绍教学内容。全书共12章,分别为绪论、细胞的基本功能、血液、血液循环、呼吸、消化和吸收等。全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基本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。

本书为全国高等医药院校中西医结合专业、中医学专业及相关其他专业的本科生教材,亦可作为研究生、教师及临床医师的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

中西医结合生理学 / 赵铁建主编. —北京:科学出版社,2013.6  
普通高等教育“十二五”规划教材·全国高等医药院校规划教材  
ISBN 978-7-03-037859-0

I. 中… II. 赵… III. 中西医结合-人体生理学-医学院校-教材  
IV. R33

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第130390号

责任编辑:郭海燕 / 责任校对:张怡君

责任印制:肖 兴 / 封面设计:范璧合

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2013年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013年6月第一次印刷 印张:20

字数:591 000

定价:49.80元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

为了适应当前深化教育改革和发展高等中医药教育的实际需求,培养传承中医药文明、继承中医药事业的复合型、实用型高等中医药专业人才,根据《教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》和全国高等中医药院校本科培养规划和要求,科学出版社在总结过去教材出版成功经验的基础上,组织出版全国中医药院校本科案例式教改教材。

本教材编委会由全国 25 所中西医院校的生理学专家、教授组成,他们几十年来一直从事生理学教学及教改工作,对中医学基本理论亦有深刻认识,对教材的功能理解深刻,并熟悉目前国内外教材的编写内容和形式。在接受科学出版社组织编写的任务后,编委会对本书的编写目的和要求进行了认真讨论,统一编写的思想、内容和形式。在编写过程中,坚持对现代生理学与中医生理学采取比较分析的方法,重点阐述现代生理学理论,也介绍了中医生理学的研究进展。按中医药院校中医类和中西医结合专业的教学大纲进行编写,将精选案例和课程内容有机地结合,做到叙述简明,重点突出。本教材增加了学习要求、学习框架和复习思考题等栏目,将各章知识点进行适当整合并联系临床。结合生理学知识的介绍,适当地渗入有关中医理论的现代研究进展。

本教材将生理学知识框架和中医生理学知识相融合,同目前国内外的生理学教材比较,具有如下特点:①“案例”既使生理学知识得以适度的外延,又具有激发学习兴趣的作用。②整合融入中医知识,使宏观的中医认识与微观的现代生理研究相结合,培养学生对案例与问题的思考和分析能力。③教材渗透相关中医理论现代生理学研究内容,可激发学生求知欲望,形成正确的专业思想和探索精神,有利于培养传承中医药文明、继承中医药事业的复合型、实用型专业人才。

本教材努力把握中医药本科教学内容和课程体系的改革方向,在突出课程的基础理论、基本知识和基本技能,即“三基”的基础上,体现思想性、科学性、启发性、先进性和适用性,即“五性”的原则,尽可能使教材通俗易懂、重点突出、贴近教学,符合学校实际的教学需求。在编写中力求概念清楚、准确,语言精练、简洁,便于学生学习和理解。在编排形式上为使学生明确目标、把握要点,各章前列出学习要求和各章后列出学习框架、复习思考题,在教材后附有常用术语中英对照,便于学生预习、总结、复习之用。

本教材可作为五年制中医学、中西医结合、针灸推拿、康复医学等专业学生的生理学教材,亦可作为临床各专业成人教育本科学生的生理学教材,还可供医药学专科学生和从事基础、临床教学的教师参考。

本教材的编写得到了广西中医药大学各级领导的大力支持和相关学科专家的热忱帮助,参编各院校的领导和对本书的编写给予了极大的支持和帮助,章增加教授、农慧博士、谢海源博士等协助了本书部分内容的编写,在此一并表示感谢。

由于本教材内容涉及学科领域较多,尤其在中西医结合的形式、程度与内容等方面仍然存在诸多缺憾,加之编写经验不足,书中如存在不当之处,恳请广大同仁和读者提出宝贵意见和建议,以便再版时加以改正。

《中西医结合生理学》编委会

2013年4月

# 目 录

前言	
第一章 绪论	(1)
第一节 生理学概述	(1)
第二节 生命活动的基本特征	(3)
第三节 机体功能活动与环境	(4)
第四节 机体功能的调节与自动控制	(5)
第五节 中医学与人体系统稳态调控	(8)
第二章 细胞的基本功能	(11)
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能	(11)
第二节 细胞的跨膜信号转导	(17)
第三节 细胞的生物电现象	(20)
第四节 骨骼肌的收缩功能	(27)
第五节 中医脏腑功能与细胞生理	(33)
第三章 血液	(38)
第一节 概述	(38)
第二节 血细胞生理	(42)
第三节 血液凝固和纤维蛋白溶解	(49)
第四节 血型与输血	(54)
第五节 中医脏腑功能与血液生理	(57)
第四章 血液循环	(60)
第一节 心肌的生物电现象和生理特性	(60)
第二节 心脏的泵血功能	(69)
第三节 血管生理	(75)
第四节 心血管活动的调节	(86)
第五节 器官循环	(96)
第六节 循环生理与中医相关内容研究	(100)
第五章 呼吸	(103)
第一节 肺通气	(103)
第二节 呼吸气体的交换	(112)
第三节 气体在血液中的运输	(115)
第四节 呼吸运动的调节	(121)
第五节 中医脏腑功能与呼吸生理	(127)
第六章 消化和吸收	(131)
第一节 概述	(131)
第二节 消化道各段的消化功能	(137)
第三节 吸收	(149)
第四节 肝脏的生理	(154)
第五节 中医脏腑功能与消化生理	(156)

<b>第七章 能量代谢和体温</b> .....	(160)
第一节 能量代谢 .....	(160)
第二节 体温及其调节 .....	(164)
第三节 中医脏腑功能与能量代谢 .....	(172)
<b>第八章 尿液的生成与排出</b> .....	(174)
第一节 肾脏的结构和血液循环特点 .....	(174)
第二节 尿液生成的过程 .....	(177)
第三节 尿液生成的调节 .....	(186)
第四节 尿液的浓缩与稀释 .....	(190)
第五节 血浆清除率 .....	(194)
第六节 尿液的排放 .....	(196)
第七节 中医脏腑功能与泌尿生理 .....	(197)
<b>第九章 感觉器官</b> .....	(200)
第一节 概述 .....	(200)
第二节 视觉器官 .....	(201)
第三节 听觉器官 .....	(209)
第四节 前庭器官与其他感受器 .....	(214)
第五节 中医脏腑功能与感官生理 .....	(218)
<b>第十章 神经系统</b> .....	(221)
第一节 神经元与神经胶质细胞 .....	(221)
第二节 神经元的功能联系 .....	(224)
第三节 中枢神经系统活动的一般规律 .....	(233)
第四节 神经系统的感觉分析功能 .....	(237)
第五节 神经系统对姿势和运动的调节 .....	(242)
第六节 神经系统对内脏活动的调节 .....	(251)
第七节 脑的高级功能 .....	(255)
第八节 中医有关神经系统的论述 .....	(261)
<b>第十一章 内分泌</b> .....	(264)
第一节 概述 .....	(265)
第二节 下丘脑与垂体 .....	(268)
第三节 甲状腺 .....	(273)
第四节 甲状旁腺和甲状腺 C 细胞 .....	(277)
第五节 肾上腺 .....	(279)
第六节 胰岛 .....	(283)
第七节 中医脏腑功能与内分泌生理 .....	(286)
<b>第十二章 生殖</b> .....	(288)
第一节 男性生殖 .....	(288)
第二节 女性生殖 .....	(292)
第三节 妊娠与分娩 .....	(297)
第四节 中医脏腑功能与生殖生理 .....	(299)
<b>主要参考文献</b> .....	(302)
<b>名词术语中英文对照</b> .....	(303)

# 第一章 绪论

## 学习要求

1. 掌握兴奋性、机体功能调节方式和负反馈。
2. 熟悉生理学的研究水平、正反馈。
3. 凡列入教学除掌握、熟悉的内容外,其余均为了解内容;相关中医内容结合其他课程自学。

## 第一节 生理学概述

### 一、生理学的研究对象与任务

生理学(physiology)是以生物机体生命活动现象及其各组成部分的功能为研究对象的一门科学,是生物科学的一个重要分支。按研究的对象不同,可分为植物生理学、动物生理学和人体生理学等。由于研究机体功能的方法、角度不同,生理学不断产生新的分支,有些已成为新的独立学科,如生物化学、营养学等;有些与其他科学的研究结合,产生了一些新兴学科,如神经生物学。

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,以及内外环境变化对机体功能的影响和机体的调节。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、药理学和临床科学的基础,所以它是一门承前启后的重要医学基础课程之一。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 with 水平

#### (一) 生理学的研究方法

生理学是一门实验性很强的科学,生理学的知识主要是在实验中获得。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,只有在不影响机体健康的情况下,才允许在人体上进行实验观察。由于人与动物在进化程度上有很大的差异,而且动物实验是在特定条件下进行的,虽然在动物体上获得的资料与人体具有某些共性,但不能将实验结果视为人体的规律,更不能将动物实验资料不加区别地用于人体。传统上生理学的动物实验方法分为急性和慢性实验两大类。

1. 急性实验 根据实验目的不同又可分为离体实验和在体实验两种:①离体实验是指从活的或刚被处死的动物体中摘取出所要研究的器官、组织或细胞等,放置于人工控制的实验环境中进行观察,分析其功能活动规律及原理的实验。如把蛙的心脏离体置于任氏液中,观察其在不同温度中的节律活动的变化等。②在体实验是指用药物先将实验动物麻醉或破坏脑和脊髓后,进行手术,暴露所需要进行实验的器官,施加各种因素进行各种预定的观察、记录等。如解剖暴露动物的迷走神经和心脏,电刺激迷走神经,观察心脏频率和收缩力的变化。急性实验的优点是实验条件易于控制、观察直接、无关因素的影响少、结果易于分析等,所以实验结果比较明确。

2. 慢性实验 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痿管(胃痿、肠痿、唾液腺痿等),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。但慢性实验方法复杂,影响因素较多。

## (二) 生理学的研究水平

人体的各种功能活动是以相应的结构为基础的。在结构上,人体是由器官、系统组成的,器官、系统是由组织细胞构成,细胞又是由许多分子所构成,特别是一些生物大分子(如核酸、蛋白质)在机体的生命活动中发挥非常重要的作用。所以,对机体功能活动的研究通常是在三个水平——细胞和分子水平、器官和系统水平、整体水平上进行的。

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,组成细胞的基本成分是生物大分子。因此,细胞的生理特性是由构成细胞的细胞器和各种生物大分子的理化特性所决定的。细胞、分子水平的研究,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,如腺细胞的分泌、神经细胞的信息传导与传递、肌细胞收缩的分子机制等。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。这一水平主要是研究机体各器官和系统的活动规律、调节机制和内外环境变化的影响等。例如,肾生成尿液的过程,在不同机体功能状态下尿量和成分变化的机制,以及肾在内环境稳态中的作用等。在器官水平上研究获得的基本知识构成了器官生理学(organ physiology)。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 以完整的机体作为研究对象,研究机体各器官、系统之间功能活动的内在联系与规律,以及内外环境因素变化对整体功能活动的影响。如,研究机体运动时体内代谢、循环、呼吸和其他功能系统的活动变化及机制,生物和心理以及社会因素对整体功能活动的影响。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,中医对机体的认识是很深刻的。

## 三、中医学对人体生理功能的认识

《黄帝内经》是我国在 2000 多年前编著而成的医学经典著作,在对人体的功能活动进行的描述中指出,心主血脉,肺主气司呼吸,肾主水、主骨等。有关“心主血脉”,气血循行体内“如环之无端,莫知其继,周而复始”的叙述,类似现代生理学血液循环的概念;在“心为君主之官”和“怒伤肝,喜伤心,思伤脾,忧伤肺,恐伤肾”等的解释中,表明人体调节系统对整体调控的主导地位,以及人的情感和意志等对体内多种功能活动的影响;尤其认为经络遍布全身,统率脏腑,联络肢体,通表达里,沟通上下,是机体之间的联系通路。若经络失常、气血不和,则导致机体功能紊乱,表明了人体是一个统一的整体,人体与环境之间有着密切的联系。通过进一步发展,建立了独特而完整的中医学脏腑功能的理论体系。中医学认为,精气是构成人体和维持生命功能的物质基础。维持生命活动的精气分为阴、阳两方面,两者既对立又统一,阴阳相互消长转化是体内各种功能发生变化的根本原因。阴阳平衡,整体生命活动正常;阴阳失调,则表现为疾病。

中医学以中国古代朴素的唯物论和辩证法思想为核心,用气血、阴阳、五行等重要的学术理论,从宏观层面解释人体的各种生命现象和调控机制、各脏腑功能及其相互关系、人体内外环境的相互影响,并在此基础上建立了阴阳五行学说、藏象学说、气血津液学说、经络学说、体质学说等,用于解释人体的生命现象。随着现代医学的发展,许多有识之士从基础理论、临床实践等方面进行中西医汇通的研究。当代中医基础理论研究的热点就是通过实验研究证明中医人体生理功能和调节机制的正确性,并通过实验研究找到中医学某些理论的客观物质基础。

## 第二节 生命活动的基本特征

各种生物体均能够以各自特点进行多种形式的生命活动,这些活动的基本特征是新陈代谢、兴奋性、适应性与生殖。

### 一、新 陈 代 谢

**新陈代谢**(metabolism)是指机体与环境之间不断地进行物质和能量交换,实现自我更新的过程。它包括物质代谢和能量代谢两个方面,物质代谢又分为合成代谢与分解代谢两种。

在生命活动进行过程中,机体从外界环境中获取营养物质并将之转变成自身的组成物质,同时储存能量;另一方面,机体又不断地将自己原有物质分解为代谢产物并排出体外,同时释放出能量供给机体生命活动的需要。前一过程叫做合成代谢或同化作用,后一过程叫做分解代谢或异化作用。在新陈代谢过程中,物质的变化与能量的转化是同一活动中的两个方面,两者是紧密联系的。物质的合成代谢是贮存能量的过程,其分解代谢是释放能量的过程。新陈代谢一旦停止,生命也将结束。

### 二、兴 奋 性

各种生物体都在一定的环境中生活,其生活的内外环境不断在发生变化。细胞、组织或有机体对于内外环境变化发生反应的能力或特性,称为**兴奋性**(excitability);而这种能够引起机体产生反应的内外环境变化,称为**刺激**。生理学将由刺激引起机体内部代谢及外部活动发生相应的改变称为**反应**(reaction)。反应有两种表现形式:一种由相对静止变为活动状态,或由活动较弱变为活动较强的过程,称为**兴奋**(excitation);另一种反应与兴奋相反,在接受刺激后由活动转为静止状态,或由活动较强转为活动较弱的过程,称为**抑制**(inhibition)。对活体组织或细胞进行刺激究竟引起兴奋还是抑制,一方面取决于刺激的质和量,同时也由组织、细胞的功能状态和特性来决定。

不同组织和细胞的兴奋性是不一样的,在机体中神经细胞、肌细胞和腺细胞的兴奋性最高,因此,在生理学中将此类细胞称为**可兴奋细胞**(excitable cell)。兴奋的表现形式多种多样,如腺细胞的分泌、肌细胞的收缩、神经细胞的神经冲动等。三种可兴奋细胞虽然在兴奋时有不同的外部表现,但在细胞水平均有一个共同的变化,即产生可传导的跨膜电位变化——动作电位,故动作电位通常被认为是可兴奋性细胞发生兴奋的标志。

### 三、适 应 性

**适者生存**是生物进化过程中的基本规律之一。机体会根据内外环境的变化,调整其体内各部分的功能及相互关系,以保持内环境和机体生理功能的稳定,保持生命活动的正常进行,机体的这种生命活动特性称为**适应性**(adaptability)。机体的适应性是生物在进化过程中所获得的一种能力和特性。适应又分为行为适应和生理适应两种。

生物体长期生存在某一特定的环境中,在不断变化的环境影响下,能够形成一种与环境相适应的自身生存模式,并随着生物不断进化而增强。人的适应性远高于其他动物,当人体遇到各种突然而强烈的环境变化时,能够迅速产生各种适应性反应,以保护机体免受其损害。但机体的适应性是有一定限度的,如果超过限度,就会产生适应不全,甚至导致病理性损害。

### 四、生 殖

生物体生长发育到一定阶段后,具有产生与自己相似的子代个体的功能称为**生殖**(repr-

oduction)。通过个体的生殖功能实现了种族的不断繁衍和生命活动的延续,所以生殖也是生命活动的基本特征。随着克隆(clone)技术的不断发展与成熟,使人类无性繁殖成为可能。

综上所述,新陈代谢是一切生命活动的基础,机体对环境因素的变化具有发生反应和产生适应的能力。同时,使机体发育成熟后获得创造新生命的能力。生命是一个单向运动的过程,衰老和死亡是生命活动的最后阶段,是生命活动发展的必然结果。

### 第三节 机体功能活动与环境

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。

#### 一、机体与外环境的关系

##### (一) 人类与自然环境的共生关系

自然界是人类赖以生存和发展的基础以及物质来源,人类利用自然界中的物质经转化后构成其生命的组分。机体从自然环境的植物和其他动物中获取全面的营养物质,并从大气中摄入代谢所需的 $O_2$ ,同时将细胞代谢的产物(有机废物和 $CO_2$ 等)以及多余的物质和热量排出体外。所以,自然环境与人类的活动是息息相关的,环境限制生物,生物适应环境,即“适者生存”。人体依据外环境的变化调整自身生理功能和心理活动的过程称为适应(adaptation)。这种适应通常表现在形态、生理和行为等种种变化上。例如,人从明亮处突然进入暗处,起初一无所见,随着眼对光的敏感性提高,逐渐恢复了暗视觉,这就是眼的暗适应过程。

##### (二) 机体与社会环境的和谐关系

机体从社会环境中获得生活所需的条件。生态因子(ecological factors)是环境中对生物生长、发育、生殖、行为和分布起作用的环境要素。其中,生物因子(biological factors)是指同种生物的其他有机体(种内关系)和异种生物的其他有机体(种间关系)。例如,当人变换生活环境时,起初会在人际关系、饮食起居等方面产生不适应,出现胃纳不佳、睡眠不深、生疏孤独等现象。经过一段时间的自我调适、互相关照、沟通理解,就能适应新的生活学习环境。但人类对环境的适应,并不是完全的、绝对的,而是有限的、相对的。

#### 二、内环境及其稳态

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。在高等动物更是如此,这是生命活动一个重要的基本规律。内环境中各种成分的理化因素保持相对稳定的状态,称为稳态(homeostasis)。例如,血浆pH维持在7.4左右,体温在 $37^{\circ}C$ 上下,葡萄糖浓度、各种离子( $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $H^+$ 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,由于细胞不断代谢活动,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。

#### 案例思考

患者,男性,30岁,4d前淋雨后出现咳嗽,咳铁锈色痰,少量。发热,伴寒战,体温波动于38.5~39.7℃。自觉前胸隐痛,气短,周身乏力。无明显喘息,无腹痛腹泻,无尿频,无头晕头痛。查体:体温(T)39.2℃,脉搏(P)110次/min,呼吸(R)20次/min,血压(BP)125/80mmHg。神志清楚,精神萎靡,颜面潮红。右下肺叩诊实音,呼吸音粗。心律齐。腹软,无压痛。血常规白细胞(WBC)13×10<sup>9</sup>/L,中性分叶核粒细胞(N)0.82。X线胸片:右肺下叶大片密度增高影。

中医辨证:脉:浮滑数。舌:舌质红,苔薄黄腻。二便:大便调,小便短黄。

西医诊断:右下叶肺炎。中医诊断:咳嗽(风热犯肺证)。

#### 问题与思考:

- (1) 如何理解内环境稳态是一种动态平衡?
- (2) 肺炎主要临床症状和引起机体内环境理化性质改变的关系是怎样的?

#### 提示:

- (1) 维持体温在37℃上下是机体内环境稳态的重要指标。感染源为细菌,是机体外致热原,激活机体产生内致热原,作用于体温中枢,导致产热增加、散热减少出现发热。
- (2) 发热,感染,增加机体耗氧量,会出现心率和呼吸频率的增快以代偿。
- (3) 发热使机体各组织尤其大脑代谢受到一定影响,肺部感染导致机体缺氧等,患者会表现出精神萎靡。

## 第四节 机体功能的调节与自动控制

生理功能的调节(regulation)是指通过机体的内在控制机制,保持各种功能活动在内外环境因素变化时能相对稳定的过程。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、体液调节和自身调节。

### 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 action)。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)。反射弧由五个部分组成:感受器、传入神经、反射中枢(reflex center)、传出神经和效应器。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,都将会具体叙述到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)是指体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。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,由神经元分泌激素的方式称为神经分泌。

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(如胃肠道内的)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。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,自身对周围环境变化所发生的适应性反应,称为自身调节(autoregulation)。例如,动脉血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,使肾血流量不会发生较大起落变化,以保证尿液的正常生成。

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(neuroimmunomodulation)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的: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

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,对机体各种活动进行调节。控制系统分为非自动控制和自动控制两大类。任何控制系统都主要由控制部分和受控部分组成。体内的控制系统包括神经中枢、内分泌腺和细胞信息传递中的控制部分等,受控系统主要包括组织和细胞、参与反应的酶、信息传递中的某些信息分子等。

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。自动控制系统是一闭合回路,存在反馈和前馈两种调节形式。

### (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)。

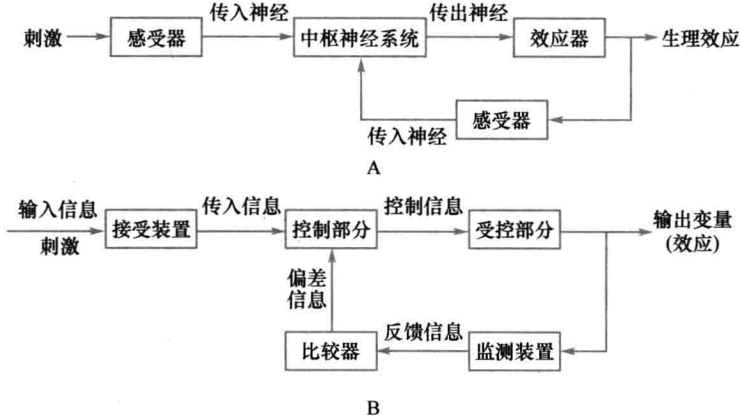


图 1-1 机体反馈控制系统与工程学反馈控制系统比较示意图

A. 机体反馈控制系统; B. 工程学反馈控制系统

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整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功能,最终使受控部分的活动向其原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,因而是可逆的过程,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,机体各种功能活动的正常进行和内环境稳态的维持,就是通过相应的负反馈控制系统发挥其作用来实现的。

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小范围内变动。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。

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向它原先活动相同的方向改变。因此,正反馈不是维持系统的稳态或平衡,而是打破原先的平衡状态,使整个调控系统处于一种不断地重复与加强状态。如排尿反射、血液凝固和分娩过程都属正反馈调控。正反馈控制能使一些生理活动过程快速完成。有人认为,正常机体中的一些正反馈机制可看成是维持整个机体稳态的一个组成部分。例如,血液凝固的结果是血凝块的形成,使出血停止,全身血量的稳态能得以维持。

## (二) 前馈控制系统

前馈控制 (feed-forward control) 是指控制部分发出信号指令受控部分进行某一活动的同时,又通过另一快捷途径向受控部分发出前馈信号,及时地调控受控部分的活动,使活动更加准确。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。

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。

## 第五节 中医学与人体系统稳态调控

### 一、中医整体观念

整体观念是中医学的基本特点之一,贯穿在整个中医理论体系中,指导着中医对人体的生理、病理、诊法、辨证、养生和治疗等方面的认识和实践。其主要内涵包括两方面:一方面,机体是一个以心为主宰、以五脏为中心的有机整体。藏象学说认为人体是以心、肝、脾、肺、肾五脏为中心,以精、气、血、津液为物质基础和载体,通过经络有规律地循行和交会,把五脏、六腑、五官、九窍和四肢百骸联络起来,组成五个功能系统,即心系统、肝系统、脾系统、肺系统和肾系统。各功能系统不仅有自身特定的功能,还通过体内的调控机制进行着调节和控制,使机体整体功能处于有序、协调和稳定状态。以五脏为主体的功能系统,能通过自身内部的调节来适应不断变化的自然环境和社会环境,以维持机体功能的稳定和协调。另一方面,机体与自然、社会环境也是一个有机统一的整体。

以“整体观念”和“天人相应”为基本理论的中医生理学是典型的整体调控研究。在“整体观念”指导下,以“藏象”、“阴阳”、“五行”学说为理论基础,对机体功能活动规律进行了整体性阐释,并系统阐释了在不断变化的外界环境影响下人体功能的适应性变化。

### 二、中医脏腑调控系统

#### (一) 阴阳平衡与内环境稳态

中医从整体观念出发,以阴阳为总纲阐释人体生理功能活动的规律。机体根据内部功能规律有序的程度分成:最佳有序状态、有序状态、亚有序状态、有序破坏等四种不同的状况。最佳有序状态,即体内各脏腑器官功能协调运行处于内环境稳态,亦所谓达到了阴阳平衡。若阴阳二气出现“偏盛”或“偏衰”,即内环境遭到某种程度的破坏而失衡,此时机体可能处于有序状态或亚有序状态,但是通过体内的调控机制可调节到最佳有序状态,即阴阳恢复平衡。

“阴阳自和”是阴阳的根本属性和自发趋势。张仲景《伤寒论》指出:“凡病,若发汗、若吐、若下、若亡血、亡津液、阴阳自和者,必自愈。”这里提出了疾病自愈的机制:即通过阴阳双方的对立制约、互根互用、消长转化等交互作用的自我调节,达到阴阳“和”的状态。由此可见,机体具有“阴阳自和”能力,即体内存在着自我调控机制。

## (二) 五脏调控与机体稳态

机体达到阴阳平衡,主要是通过体内自我调控机制——五脏调控系统而实现。五脏调控系统主要包括了五脏系统的自我调控和五脏系统与外部环境之间的调节两个方面。一方面,五脏功能系统既分别主司各自功能和代谢活动,又相互联系组成一个统一整体,从而保证五脏六腑功能活动的相互协调,维持人体内环境的稳定。另一方面,五脏调控系统调节并维持五脏系统与外部环境之间的协调。中医学根据人体脏腑器官的生理功能及病理表现的不同特点,运用五行学说将人体心、肝、脾、肺、肾五脏分别归属于火、木、土、金、水五行。五脏调控系统依据五行生克制化的规律,通过反馈联系进行调节和控制,使机体内环境保持相对稳定,维持正常的生理活动。

## (三) 五行制化与机体调控

五行的生克制化,是指五行之间既相互资生,又相互制约,以维持五行之间的协调与稳定。五行之间的相生相克是维持体内动态平衡不可分割的两种方式:没有相生,就没有事物的发生与成长;没有相克,事物就会产生过度的亢奋而失去协调。只有生中有克、克中有生、相辅相成、协调平衡,事物才能生化不息。五行之间的制化调节,具体可归纳如下:木生火,火生土,木又克土;火生土,土生金,火又克金;土生金,金生水,土又克水;金生水,水生木,金又克木;水生木,木生火,水又克火——如此往复循环。通过上述生克制化关系可知:五行之中的任何“一行”,都存在着来自于其他事物的“生我”、“我生”及“克我”、“我克”的联系,从而确保五行之间任一阶段的协调和稳定。

现代研究认为,五行的生克制化观点与控制论的反馈调节原理有密切的联系。五行中的每一行既是控制系统,也是受控对象。五行的生与克,实际上就是代表控制信号和反馈信号。从控制论来看,五行生克制化运行规律,在结构上是一个闭环的反馈控制系统,两种相互关联的脏腑、器官之间由信息传递构成一个反馈系统。由控制部位输出的信息控制受控部位,而受控部位的反馈信息又影响着控制部位的决策,如此反复进行着多级的控制和反馈调节,保持着整体的协调平衡。五行中的每一行,皆可同时发出和接收相生、相克两种相反的控制信息,因而五行的反馈调节表现为正反馈和负反馈两种形式。当某一行发出相生(或相克)的信息,另一行接收到的也是相生(或相克)信息时,是正反馈作用;当某一行发出的是相生(或相克)信息,另一行接收到的是相克(或相生)信息时,是负反馈作用。五行的反馈调节以负反馈为主,通过五行之间的负反馈调节,维持系统整体的稳定。例如,机体某个系统在内外因素的干扰下发生太过或不及等偏离正常状态的变化,五脏调控系统就通过反馈联系,调动其他系统对它进行调控,从而恢复平衡状态;若通过自我调节不能恢复正常平衡,五脏各系统之间的平衡被打破,控制信号与反馈信号的传递过程就会紊乱,而出现“母子相及”、“相乘”、“相侮”等异常的相生、相克现象,内环境的稳态则被破坏。

五行学说作为一种普遍规律,能够说明有关各类事物联系的协调平衡。例如,以现代内分泌学研究五行生克乘侮的调节机制为例,下丘脑-腺垂体-肾上腺皮质轴的激素调节就可用五行生克乘侮的调节系统加以说明(图1-2)。

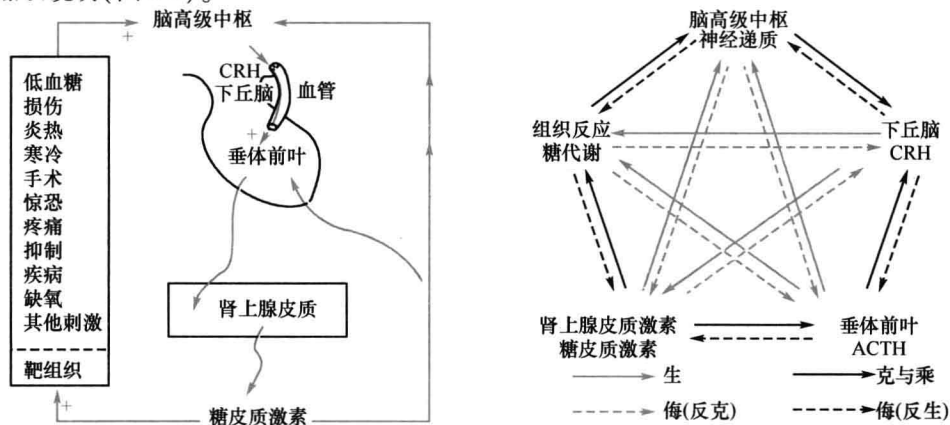
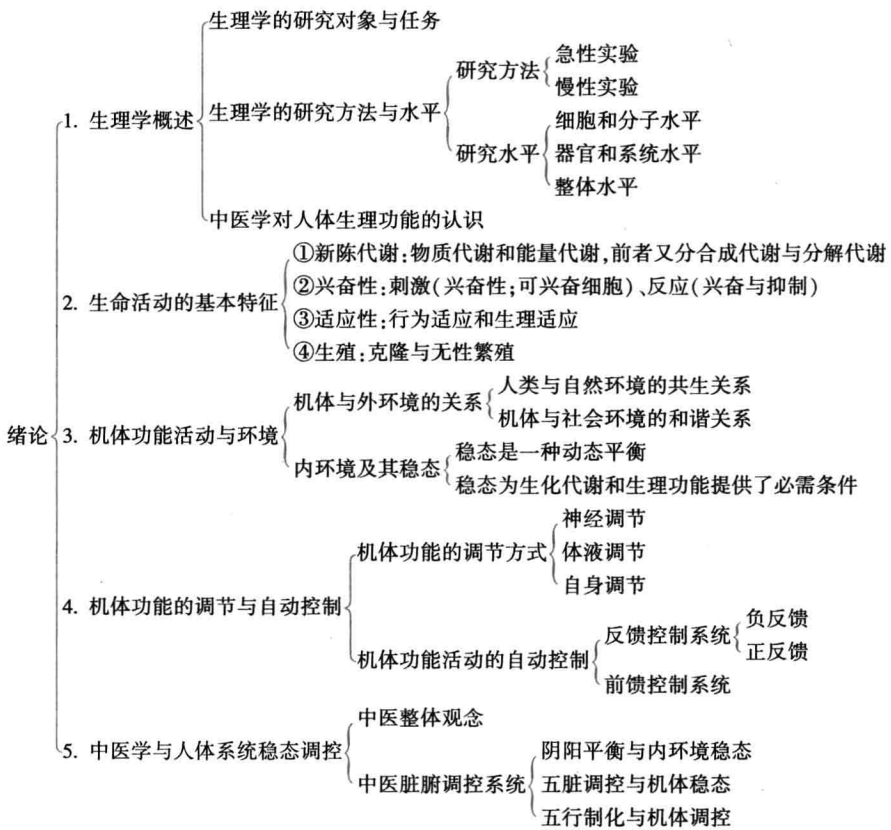


图 1-2 下丘脑-腺垂体-肾上腺皮质轴的五行生克乘侮关系



控制论运用反馈控制系统和前馈控制系统理论,对机体各种生理功能之间的动态平衡产生和调控机制进行了比较深入的论述。五行学说理论不仅对人体组织结构、生命活动基本物质进行归类,而且更重要的是通过五行生克制化理论,对整体各脏腑器官之间的功能协调统一、相互之间动态平衡关系的自动调控机制及其规律等进行了解释。在人体功能自动控制机制的认识上,控制论与五行生克制化理论之间有着某些共同点,两种理论均认为:在绝大部分控制系统与受控系统之间存在反馈联系,机体功能活动的各种信息通过反馈联系相互协调、相互制约。此外,该两种理论又各自有着明显的侧重点。自动控制理论特别强调某一脏腑或系统内部功能活动的调控机制,如循环系统中的血压调节、呼吸系统中的呼吸运动调节机制等;而五行生克制化理论则重在强调脏腑与脏腑、系统与系统功能活动之间的调控机制。由此可见,五行生克制化理论在一定程度上弥补了自动控制论对脏与脏、系统与系统之间相互制约、调控关系的认识不足;而自动控制理论对脏腑与系统内的功能调控机制的阐明,又为五行生克制化理论对脏腑与系统间的制约、调控机制的深入认识奠定了理论基础。

## 学习框架



## 复习思考题

1. 试述生理学的研究可分为哪几个水平。
2. 简述生命活动的基本特征。
3. 机体功能活动的调节方式主要有哪些?有何特点及意义?
4. 何谓正反馈和负反馈?试举例说明它们在生理功能调节中的作用及意义。

(储利胜 赵铁建 张志雄)