



全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材



全国高等中医药院校规划教材（第十版）

生理学基础

（供中药学、药学、管理学、护理学等专业用）

主编 于远望

全国百佳图书出版单位
中国中医药出版社

全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材

全国高等中医药院校规划教材（第十版）

生理学基础

（供中药学、药学、管理学、护理学等专业用）

主 编

于远望（陕西中医药大学）

副主编（以姓氏笔画为序）

苗 戎（天津中医药大学）

单德红（辽宁中医药大学）

徐 颖（上海中医药大学）

储利胜（浙江中医药大学）

编 委（以姓氏笔画为序）

王冰梅（长春中医药大学）

刘海梅（广州中医药大学）

刘慧敏（山东中医药大学）

李 峰（湖南中医药大学）

李白雪（成都中医药大学）

李海燕（北京中医药大学）

闵建新（江西中医药大学）

张松江（河南中医药大学）

陈 嵘（云南中医学院）

段雪琳（广西中医药大学）

姚小卫（湖北中医药大学）

顾 静（甘肃中医药大学）

曾 群（山西中医学院）

韩 曼（陕西中医药大学）

中国中医药出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

生理学基础 / 于远望主编. —北京: 中国中医药出版社, 2016.8

全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5132 - 3420 - 7

I . ①生… II . ①于… III . ①人体生理学 - 中医药院校 - 教材
IV . ①R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 114422 号

请到“医开讲 & 医教在线”(网址: www.e-lesson.cn)
注册登录后, 刮开封底“序列号”激活本教材数字化内容。



中国中医药出版社出版

北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 16 层

邮政编码 100013

传真 010 64405750

廊坊市晶艺印务有限公司印刷

各地新华书店经销

开本 850 × 1168 1/16 印张 14.5 字数 347 千字

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

书号 ISBN 978 - 7 - 5132 - 3420 - 7

定价 36.00 元

网址 www.cptcm.com

如有印装质量问题请与本社出版部调换

版权专有 侵权必究

社长热线 010 64405720

购书热线 010 64065415 010 64065413

微信服务号 zgzyycbs

书店网址 csln.net/qksd/

官方微博 <http://e.weibo.com/cptcm>

淘宝天猫网址 <http://zgzyycbs.tmall.com>

编审专家组

组 长

王国强（国家卫生计生委副主任、国家中医药管理局局长）

副组长

张伯礼（中国工程院院士、天津中医药大学教授）

王志勇（国家中医药管理局副局长）

组 员

卢国慧（国家中医药管理局人事教育司司长）

严世芸（上海中医药大学教授）

吴勉华（南京中医药大学教授）

王之虹（长春中医药大学教授）

匡海学（黑龙江中医药大学教授）

王 键（安徽中医药大学教授）

刘红宁（江西中医药大学教授）

翟双庆（北京中医药大学教授）

胡鸿毅（上海中医药大学教授）

余曙光（成都中医药大学教授）

周桂桐（天津中医药大学教授）

石 岩（辽宁中医药大学教授）

黄必胜（湖北中医药大学教授）

前言

为落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010-2020年）》《关于医教协同深化临床医学人才培养改革的意见》，适应新形势下我国中医药行业高等教育教学改革和中医药人才培养的需要，国家中医药管理局教材建设工作委员会办公室（以下简称“教材办”）、中国中医药出版社在国家中医药管理局领导下，在全国中医药行业高等教育规划教材专家指导委员会指导下，总结全国中医药行业历版教材特别是新世纪以来全国高等中医药院校规划教材建设的经验，制定了“‘十三五’中医药教材改革工作方案”和“‘十三五’中医药行业本科规划教材建设工作总体方案”，全面组织和规划了全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材。鉴于由全国中医药行业主管部门主持编写的全国高等中医药院校规划教材目前已出版九版，为体现其系统性和传承性，本套教材在中国中医药教育史上称为第十版。

本套教材规划过程中，教材办认真听取了教育部中医学、中药学等专业教学指导委员会相关专家的意见，结合中医药教育教学一线教师的反馈意见，加强顶层设计和组织管理，在新世纪以来三版优秀教材的基础上，进一步明确了“正本清源，突出中医药特色，弘扬中医药优势，优化知识结构，做好基础课程和专业核心课程衔接”的建设目标，旨在适应新时期中医药教育事业发展和教学手段变革的需要，彰显现代中医药教育理念，在继承中创新，在发展中提高，打造符合中医药教育教学规律的经典教材。

本套教材建设过程中，教材办还聘请中医学、中药学、针灸推拿学三个专业德高望重的专家组成编审专家组，请他们参与主编确定，列席编写会议和定稿会议，对编写过程中遇到的问题提出指导性意见，参加教材间内容统筹、审读稿件等。

本套教材具有以下特点：

1. 加强顶层设计，强化中医经典地位

针对中医药人才成长的规律，正本清源，突出中医思维方式，体现中医药学科的人文特色和“读经典，做临床”的实践特点，突出中医理论在中医药教育教学和实践工作中的核心地位，与执业中医（药）师资格考试、中医住院医师规范化培训等工作对接，更具有针对性和实践性。

2. 精选编写队伍，汇集权威专家智慧

主编遴选严格按照程序进行，经过院校推荐、国家中医药管理局教材建设专家指导委员会专家评审、编审专家组认可后确定，确保公开、公平、公正。编委优先吸纳教学名师、学科带头人和一线优秀教师，集中了全国范围内各高等中医药院校的权威专家，确保了编写队伍的水平，体现了中医药行业规划教材的整体优势。

3. 突出精品意识，完善学科知识体系

结合教学实践环节的反馈意见，精心组织编写队伍进行编写大纲和样稿的讨论，要求每门

教材立足专业需求,在保持内容稳定性、先进性、适用性的基础上,根据其在整个中医知识体系中的地位、学生知识结构和课程开设时间,突出本学科的教学重点,努力处理好继承与创新、理论与实践、基础与临床的关系。

4. 尝试形式创新,注重实践技能培养

为提升对学生实践技能的培养,配合高等中医药院校数字化教学的发展,更好地服务于中医药教学改革,本套教材在传承历版教材基本知识、基本理论、基本技能主体框架的基础上,将数字化作为重点建设目标,在中医药行业教育云平台的总体构架下,借助网络信息技术,为广大师生提供了丰富的教学资源和广阔的互动空间。

本套教材的建设,得到国家中医药管理局领导的指导与大力支持,凝聚了全国中医药行业高等教育工作者的集体智慧,体现了全国中医药行业齐心协力、求真务实的工作作风,代表了全国中医药行业为“十三五”期间中医药事业发展和人才培养所做的共同努力,谨向有关单位和个人致以衷心的感谢!希望本套教材的出版,能够对全国中医药行业高等教育的发展和中医药人才的培养产生积极的推动作用。

需要说明的是,尽管所有组织者与编写者竭尽心智,精益求精,本套教材仍有一定的提升空间,敬请各高等中医药院校广大师生提出宝贵意见和建议,以便今后修订和提高。

国家中医药管理局教材建设工作委员会办公室

中国中医药出版社

2016年6月

编写说明

本教材属于全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材，主要供全国高等中医药院校中药学、药学、管理学、护理学等专业使用。

本教材编委会是在全国高等中医药教材建设研究会和国家中医药管理局教材办公室及中国中医药出版社共同主导下，通过自主申报、院校审核、专家评审等程序遴选产生的。编委会由全国 18 所中医药院校从事生理学教学科研的一线优秀专业教师组成。

《生理学基础》教材包括纸质教材和教材数字化两部分，既保留了以往纸质教材的特色，又融入“互联网+”元素，满足了线上线下教学活动的需要，对实现以教师为中心的教学模式向以学生为中心的新模式转变起到了积极作用。《生理学基础》纸质教材在编写思路，着力强调基本理论、基本知识和基本技能的学习与训练，注重学生提出问题、分析问题和解决问题能力的培养，充分体现思想性、科学性、先进性、启发性和适用性；在内容取舍上，力求删繁就简、突出重点、贴近教学；在文字描述上，力求表达准确、用词规范、语言精练；在编写形式上，文字、图表合理结合，力求图文并茂。

《生理学基础》教材编委会根据 2015 年 10 月 14 日在北京召开的全国中医药行业高等教育“十三五”规划教材主编会议精神，先后在陕西中医药大学和浙江中医药大学召开了编写分工、审稿会议，最后由主编统稿定稿。本教材的完成是大家共同努力的结果，在此，衷心感谢各编委单位为本教材编写提供的大力支持，感谢中国中医药出版社领导和编审人员对编写工作的指导与帮助。本教材在编写过程中参考了施雪筠、张志雄、牛欣、朱大年、朱妙章、王庭槐、李国彰等教授编写的生理学教材，在此向他们表示真诚的感谢。本教材数字化工作是在国家中医药管理局中医药教育教学改革项目的支持下，由中国中医药出版社资助展开的。该项目（编号：GJYJS16081）由于远望、韩曼负责，编委会全体人员参与。

恳请广大师生在使用本教材时，多提宝贵建议，以便在再版修订时加以提高。

《生理学基础》编委会

2016 年 6 月

目 录

第一章 绪论	1		
第一节 生理学的任务和研究方法	1		
一、生理学及其任务	1		
二、生命活动的基本特征	1		
三、生理学的研究方法	2		
四、生理学研究的三个水平	3		
第二节 机体的内环境与稳态	3		
一、体液与内环境	3		
二、稳态	4		
第三节 机体功能调节和自动控制原理	4		
一、机体功能活动的调节	4		
二、机体功能活动的自动控制原理	5		
第二章 细胞的基本功能	7		
第一节 细胞膜的基本结构和跨膜物质转运	7		
一、细胞膜的基本结构	7		
二、细胞膜的跨膜物质转运方式	8		
第二节 细胞的跨膜信号转导	11		
一、G 蛋白耦联受体介导的信号转导	12		
二、酶耦联受体介导的信号转导	12		
三、离子通道受体介导的信号转导	13		
第三节 细胞的生物电现象	14		
一、静息电位及其产生原理	14		
二、动作电位及其产生原理	15		
三、细胞兴奋的引起及其在同一细胞上的传导	17		
第四节 骨骼肌细胞的收缩功能	19		
一、骨骼肌细胞的微细结构及其收缩的分子机制	19		
二、骨骼肌的兴奋 - 收缩耦联	22		
三、骨骼肌收缩的表现形式	22		
第三章 血液	24		
第一节 血液的组成与特性	24		
一、血液的基本组成及血量	24		
二、血液的理化特性	25		
三、血液基本生理功能	25		
第二节 血细胞	26		
一、红细胞	26		
二、白细胞	27		
三、血小板	29		
第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解	30		
一、生理性止血的基本过程	30		
二、血液凝固	30		
三、抗凝系统	33		
四、纤维蛋白溶解	33		
第四节 血型与输血	34		
一、血型	34		
二、红细胞血型	34		
三、输血	35		
第四章 血液循环	37		
第一节 心脏的泵血功能	37		
一、心动周期与心率	37		
二、心脏的泵血功能及其机制	38		
三、心脏泵血功能的评价	40		
四、影响心脏泵血功能的因素	41		
五、心脏泵血功能的储备	44		

六、心音	44	一、呼吸中枢和呼吸节律的形成	82
第二节 心肌细胞的生物电现象和生理特性	45	二、呼吸运动的反射性调节	84
一、心肌细胞的分类	45	第六章 消化和吸收	87
二、工作细胞的跨膜电位及其形成机制	45	第一节 概述	87
三、自律细胞的跨膜电位及其形成机制	47	一、消化与吸收的概念	87
四、心肌细胞的生理特性	49	二、消化道平滑肌生理特性	87
五、体表心电图	52	三、消化道的神经支配及其作用	88
第三节 血管生理	53	四、消化道内分泌功能	90
一、各类血管的结构及功能特点	53	第二节 口腔内消化	91
二、血流量、血流阻力和血压	54	一、唾液	91
三、动脉血压和动脉脉搏	55	二、咀嚼与吞咽	92
四、微循环	57	第三节 胃内消化	93
五、组织液和淋巴液的生成与回流	59	一、胃液	93
六、静脉血压和静脉回心血量	61	二、胃的运动	97
第四节 心血管活动的调节	62	第四节 小肠内消化	98
一、神经调节	62	一、胰液	98
二、体液调节	66	二、胆汁	100
三、自身调节	68	三、小肠液	102
第五节 冠脉循环	68	四、小肠的运动	102
一、冠脉循环的解剖特点	68	第五节 大肠的功能	103
二、冠脉循环的血流特点	68	一、大肠液和大肠内细菌的作用	104
三、冠脉循环血流量的调节	69	二、大肠的运动和排便	104
第五章 呼吸	70	第六节 吸收	105
第一节 肺通气	70	一、吸收的部位及途径	105
一、呼吸道和肺泡的结构与功能	70	二、主要营养物质的吸收	106
二、肺通气原理	72	第七章 能量代谢和体温	108
三、评价肺通气的功能指标	74	第一节 能量代谢	108
第二节 呼吸气体的交换	76	一、机体能量的来源与去路	108
一、气体交换的原理	76	二、能量代谢的测定	108
二、气体交换的过程	77	三、影响能量代谢的主要因素	110
三、影响肺泡气体交换的因素	78	四、基础代谢	110
第三节 气体在血液中的运输	78	第二节 体温及其调节	111
一、氧的化学结合运输	79	一、人体正常体温及其生理变动	111
二、二氧化碳的化学结合运输	80	二、机体的产热与散热	112
第四节 呼吸运动的调节	82	三、体温调节	115

第八章 肾的排泄功能 117

第一节 肾的结构和血流特点	117
一、肾的结构特点	117
二、肾的血液循环	119
第二节 尿生成的过程	120
一、肾小球的滤过功能	120
二、肾小管和集合管的重吸收功能	122
三、肾小管和集合管的分泌功能	126
四、尿的浓缩和稀释	128
第三节 尿生成的调节	131
一、神经调节	131
二、体液调节	131
第四节 尿的排放	134
一、膀胱与尿道的神经支配	134
二、排尿反射	135

第九章 内分泌 136

第一节 概述	136
一、激素的分类	136
二、激素的传递方式	138
三、激素作用的一般特征	138
四、激素作用的机制	139
第二节 下丘脑与垂体	141
一、下丘脑与垂体的联系	141
二、腺垂体	143
三、神经垂体	145
第三节 甲状腺	146
一、甲状腺激素的合成与代谢	146
二、甲状腺激素的生理作用	148
三、甲状腺功能的调节	150
第四节 甲状旁腺和甲状腺C细胞	152
一、甲状旁腺激素	152
二、降钙素	152
第五节 肾上腺	153
一、肾上腺皮质激素	153
二、肾上腺髓质激素	155
第六节 胰岛	156

一、胰岛素	157
二、胰高血糖素	158
第七节 性腺	158
一、睾丸	158
二、卵巢	159
三、胎盘	160

第十章 神经系统 162

第一节 神经系统的基本组成与功能	162
一、神经元与神经纤维	162
二、神经胶质细胞	164
第二节 神经元间的信息传递	164
一、突触的结构与分类	165
二、突触传递的过程	166
三、神经-骨骼肌接头的传递过程	167
四、神经递质和受体	169
第三节 反射中枢活动的一般规律	173
一、中枢神经元的联系方式	173
二、反射中枢内兴奋传递的特征	174
三、中枢抑制	174
第四节 神经系统的感觉功能	176
一、脊髓的感觉传导功能	176
二、丘脑及其感觉投射系统	177
三、大脑皮层的感觉分析功能	178
四、痛觉	179
第五节 神经系统对躯体运动的调节	180
一、脊髓对躯体运动的调节	180
二、脑干对肌紧张和姿势的调节	183
三、小脑对躯体运动的调节	184
四、基底神经节对躯体运动的调节	186
五、大脑皮层对躯体运动的调节	187
第六节 神经系统对内脏活动的调节	188
一、自主神经系统的结构与功能特点	188
二、内脏活动的中枢调节	190
第七节 脑的高级功能	192
一、大脑皮层的生物电活动	192
二、觉醒与睡眠	193
三、学习与记忆	195

四、语言中枢和大脑皮层功能的一侧 优势	196	三、与视觉有关的几种生理现象	203
第十一章 感觉器官	198	第三节 听觉器官	204
第一节 概述	198	一、外耳和中耳的传音作用	204
一、感受器与感觉器官	198	二、内耳的感音作用	205
二、感受器的一般生理特性	198	第四节 前庭器官	206
第二节 视觉器官	199	一、前庭器官的感受装置和适宜刺激	206
一、眼的折光功能	199	二、前庭反应和眼震颤	206
二、视网膜的感光功能	202	附录：中英文术语	208

第一章 绪论

第一节 生理学的任务和研究方法

一、生理学及其任务

生理学 (physiology) 是研究生物体及其各组成部分正常功能活动规律的一门科学, 是生物科学的一个分支。生物体 (organism) 是自然界中有生命的物体的总称, 包括一切动物、植物和微生物。因此, 根据研究对象的不同, 生理学可以分为动物生理学、植物生理学和人体生理学。本书主要阐述人体生理学 (human physiology) 的相关知识和原理。组成人体的各器官、各系统在正常情况下都会表现出一定的功能活动, 如心脏跳动、血液循环、呼吸运动、消化吸收、大脑思维等。人体生理学的主要任务是阐明机体及其各组成部分所表现出的各种正常的功能活动规律及其产生机制, 机体内环境变化对这些功能活动的影响, 以及机体为适应环境变化和维持整体生命活动所做出的相应调节。

人体生理学是一门重要的基础医学理论课程。它以人体解剖学、组织学为基础, 同时又是药理学、病理学等后续基础课程和临床课程的基础, 对于认识、理解疾病的发生机制、发展规律和新药研发都具有重要的作用。基础医学和临床医学的发展息息相关, 基础医学的新进展, 可以指导临床; 临床医学又经常会为基础医学提出新的研究课题。在中医药类专业开设生理学, 有利于学生运用西医学研究方法, 从中药中寻找新药物、发现新作用, 也有利于揭示中医药防治疾病的现代生物学机制, 推进中医药走向世界。

二、生命活动的基本特征

只有具有生命的生物体才能表现出各种功能活动。新陈代谢、兴奋性、生殖与适应性是生物体具有生命活动的基本特征。

(一) 新陈代谢

新陈代谢 (metabolism) 是生命活动的最基本特征。新陈代谢是指机体与环境之间不断地进行物质交换与能量交换, 以实现自我更新的过程, 包括同化作用 (assimilation) 和异化作用 (dissimilation)。同化作用是指机体从外界摄取营养物质并形成体内的组织和贮备能量的过程。在这个过程中, 从消化道吸收的小分子物质被合成为结构复杂的物质, 又称为合成代谢 (anabolism), 是吸能反应。异化作用是指体内的组织成分不断分解释放能量以供机体生命活动的需要, 同时将分解的终产物排出体外的过程。在这个过程中, 结构复杂的物质被分解为简单物质, 又称分解代谢 (catabolism), 是放能反应。机体的一切生命活动都是在新陈代谢的基础上进行的, 新陈代谢一旦停止, 生命也即终止。

(二) 兴奋性

机体组织或细胞具有对刺激发生反应的能力,称为**兴奋性 (excitability)**。能被机体、组织、细胞所感受的生存环境条件的改变,称之为**刺激 (stimulus)**,如电、温度、压力、化学刺激等。由刺激引起机体内部代谢过程及外部活动的改变称为**反应 (reaction)**。反应可有两种表现形式,一种是由相对静止转变为活动状态,或由活动减弱转变为活动加强,称为**兴奋 (excitation)**。另一种反应与兴奋相反,它们可表现为活动的减弱或静止,这种反应称为**抑制 (inhibition)**。刺激究竟引起兴奋还是抑制,一方面取决于刺激的质和量,同时也取决于组织、细胞的机能状态和特性。

(三) 生殖

生物体生长发育到一定阶段后,能够产生与自己相近似的子代个体的功能称为**生殖 (reproduction)**。通过生殖功能实现了人类或生物的种族延续,即生命活动的延续。如果生殖功能丧失,种系则不能延续,物种将被淘汰,所以生殖也是生命活动的特征之一。

(四) 适应性

生物体长期生存在某一特定的生活环境中,逐渐形成一种与环境相适应的、适合自身生存的反应模式。生物体对环境所产生的这种适应能力和特性,称为**适应性 (adaptability)**。适应性是生物进化过程中逐渐发展和完善形成的。人类不但能被动适应生存环境,还能利用科学技术成果改造自然环境,达到主动适应环境的目的。

三、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。1628年,英国医生 William Harvey 发表的《心血运动论》一书,标志着近代生理学的诞生。由于对人体的实验必须遵守非创伤性原则,所以生理学研究大多是利用动物实验开展的。通常将动物实验分为急性实验与慢性实验两类。

(一) 急性实验法

急性动物实验 (acute animal experiment) 是以完整动物活动为研究对象,在人工控制的实验环境下,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,不可逆的,可造成实验动物的死亡。急性动物实验又分为**在体实验 (the experiment in vivo)** 与**离体实验 (the experiment in vitro)**。

1. **在体实验** 是在动物清醒或麻醉条件下,手术暴露某些组织、器官,观察记录某些生理功能在人为干预条件下的变化。如心脏的期前收缩与代偿间歇的实验,在体实验的优点是实验条件易于控制、观察分析较为客观。

2. **离体实验** 是从活的或刚刚处死的动物身上取出所需要的器官、组织、细胞或细胞中的某些成分,置于能保持其正常生理活动的人工环境中,观察某些人为的干预因素对其功能活动的影响。如离体蛙心灌流实验,离体实验的优点是排除了许多无关因素的影响,实验因素单纯,结果易于分析。

(二) 慢性实验法

慢性实验 (chronic animal experiment) 是指在无菌条件下,对动物施行手术,暴露、摘除、破坏或移植某些器官,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

能活动规律或功能缺损、功能紊乱表现的实验。慢性实验的优点是在清醒条件下反复多次观察某一功能活动，其结果更接近正常状态。如巴甫洛夫（Ivan Petrovich Pavlov）创造的多种消化瘘管（唾液、胰液等瘘管）对食物化学性消化的研究。

四、生理学研究的三个水平

构成人体的基本单位是细胞；许多不同的细胞构成器官；具有某种生理功能的器官互相联系，构成不同的器官系统。人体的整体就是由各个器官系统互相联系、互相作用、互相协调而构成的一个复杂而又统一的整体。为了探讨生命活动的过程、规律及原理，往往需要从不同层次进行分析研究。生理学研究就是在细胞和分子、器官和系统、整体这三个水平上进行的。

（一）细胞、分子水平

细胞是组成人体最基本的结构与功能单位。人体的各种功能活动最终都是在细胞内进行的物理与化学反应。随着分子生物学的发展，生理学研究领域也深入到构成细胞的各种分子，特别是生物大分子（核酸与蛋白质）的理化特性及功能研究，如肌细胞的收缩是由特殊蛋白质分子排列方式的改变形成的，心肌细胞电生理学特性决定了它们的生理学特性及心动周期的活动等。

（二）器官、系统水平

该水平研究是以器官和系统为研究对象，研究各器官、系统的功能及调节机制，从而阐明各器官、系统的活动规律和它们在整体生理功能中所起的作用，以及各种因素对其活动的影响。如食物在口腔、胃肠内的消化与吸收，以及神经、体液因素对它们活动的影响等。

（三）整体水平

以人或动物完整机体作为研究对象，探讨整体功能活动的过程、整体内各种功能活动的相互关系，以及环境、社会因素对人体功能活动的影响等，这些都属于整体水平的研究范畴。

必须指出的是，三个水平的研究是人为区分，整体功能活动绝不是各组成部分功能活动的机械、简单的总和，而是在整体条件下协调统一的结果。同样，细胞、器官的功能活动也不是各自独立地进行，而是相互联系、补充、协调统一的。所以对于每一项研究成果都必须进行客观的评价，最终才能得出符合客观实际的结论。

第二节 机体的内环境与稳态

一、体液与内环境

体液（body fluid）是机体内液体的总称。正常成年人的体液约占体重的60%，其中2/3分布在细胞内，称为细胞内液（intracellular fluid）；另外1/3分布于细胞外，称之为细胞外液（extracellular fluid）。细胞外液中组织液约占3/4，血浆接近占1/4，此外，还有少量的淋巴液和脑脊液。细胞外液是组织、细胞直接接触的生存环境，以区别机体生存的外部自然环境，故将细胞外液称为机体的内环境（internal environment）。外环境的变化不能直接作用于组织细胞，必须通过细胞外液即内环境才能对组织细胞产生影响。

细胞内液以细胞膜与组织液相隔开，而组织液则以毛细血管壁与血液中的血浆相隔开。细胞膜与毛细血管壁均是具有一定通透性的半透膜。细胞内液是各种细胞进行生命活动的理化反应场所，细胞外液也是生命活动进行中最为活跃的场所，尤其血浆不停地循环流动，成为沟通各部分体液与外环境的媒介。所以，血浆成分及理化性质的改变能直接反映组织代谢的情况。因此，血液学检验已成为临床诊治疾病的重要依据。

二、稳态

机体内环境的理化因素，如温度、渗透压、酸碱度、各种离子浓度等经常保持相对稳定的状态，称为**稳态 (homeostasis)**。稳态包括两方面的含义：一方面是指细胞外液理化特性总是在一定水平上保持相对恒定，不随外界环境的变动而明显变化。如自然环境中温度有四季的变化，但人体的体温总是恒定在 37℃ 左右，生理状态下每天变动范围不会超过 1℃；另一方面是指这一恒定状态不是完全固定不变的，它是一种相对的动力平衡，是在微小的波动中保持相对恒定。因此稳态是一个相对稳定的状态。

内环境稳态的保持是一个复杂的生理过程。从这个意义上理解，机体的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。如果稳态不能保持，内环境的理化特性将发生较大的变化，若超过人体的调节能力，将损害人体的正常功能。如临床上的酸中毒，就是内环境的 H^+ 浓度超过正常界限，破坏了内环境的正常酸碱环境，如不迅速纠正，将会危及生命。

第三节 机体功能调节和自动控制原理

一、机体功能活动的调节

机体各部分的功能活动之所以能够相互配合、统一协调，并能适应内、外界环境的变化，使机体成为一个统一的整体，就是由于机体具有完善的调节机制。机体功能活动调节方式主要有神经调节、体液调节及自身调节三种方式。

(一) 神经调节

神经调节 (neuroregulation) 是指通过神经系统的活动对机体功能进行的调节，是机体最主要的调节方式，在整个调节机制中起主导作用。神经调节的基本方式是**反射 (reflex)**。反射是指在中枢神经系统的参与下，机体对内、外环境变化所做出的有规律的具有适应意义的反应。完成反射的结构基础是**反射弧 (reflex arc)**，它由感受器、传入神经、反射中枢、传出神经及效应器五部分组成。反射弧的五个部分缺一不可，如果其中任何一个部分被破坏或出现功能障碍，则反射活动不能完成。反射弧结构和功能的完整性是反射活动正常进行的必要条件。

人类和动物的反射，按照建立的方式不同，可分为**非条件反射 (unconditioned reflex)** 与**条件反射 (conditioned reflex)**。非条件反射是先天遗传的，反射弧和反应方式都比较固定，多为人与动物维持生命的本能活动，如吮吸反射、吞咽反射、瞳孔对光反射等。条件反射是个体后天获得的，是个体在生活过程中，在非条件反射的基础上建立起来的反射，如望梅止渴。条

件反射是一种高级神经活动，它大大提高了人适应环境变化的能力。

神经调节的特点是反应迅速、精确，作用局限、短暂。

(二) 体液调节

体液调节 (humoral regulation) 是指激素等化学物质通过体液的运输，对机体各部分发挥的调节作用，包括全身性体液调节和局部性体液调节。

体液调节反应相对较迟缓，但作用持久、广泛，主要调节机体的代谢、生长、发育和生殖等生理活动。

由于体内大多数内分泌腺或内分泌细胞直接或间接地接受神经系统的支配。在这种情况下，体液调节实际上成为神经调节反射弧传出神经通路上的分支或延长。这种以神经为主导、有体液参与的复合调节方式，称为**神经-体液调节 (neuro-humoral regulation)**。它将两种调节的优点联合起来，使机体调节的效果更加合理、准确，使机体与环境的协调统一更加完善。如在应急状态下，交感神经-肾上腺髓质系统被激活，交感神经兴奋引起肾上腺髓质释放大量去甲肾上腺素和肾上腺素，从而使神经与体液因素共同参与机体的调节活动。

(三) 自身调节

自身调节 (autoregulation) 是指某些组织细胞或器官不依赖神经、体液调节，而自身对环境的改变做出一定的适应性反应。如在一定限度内，骨骼肌收缩前的初长度愈长，则产生的收缩力愈强；反之，则产生的收缩力愈小。自身调节幅度小、灵敏度低，对某些组织、器官的生理功能具有一定的生理意义。

二、机体功能活动的自动控制原理

运用数学和物理学的原理和方法，分析研究机器和动物（包括人）体内的控制和通信的一般规律的科学，称为**控制论 (cybernetics)**。机体功能活动的控制方式主要有两种：一种是开环式的非自动控制系统；另一种是闭环式自动控制系统。

开环式非自动控制系统实质上就是单一的反射过程。它的特点是从感受器接受刺激到效应器产生动作是单方向一次性完成的，它的中枢不受效应器的反作用，因此它不具有自动控制的特征。这种控制系统在机体功能调节中不多见。

闭环式自动控制系统，是机体功能调节中最普遍的方式。机体自动控制系统与一般的工程学自动控制系统在原理上是相似的，但其灵巧、复杂、精确及自动化程度均优于工程学自动控制系统。每一个控制系统都是一个闭合回路，都由控制部分与受控部分组成（图 1-1）。

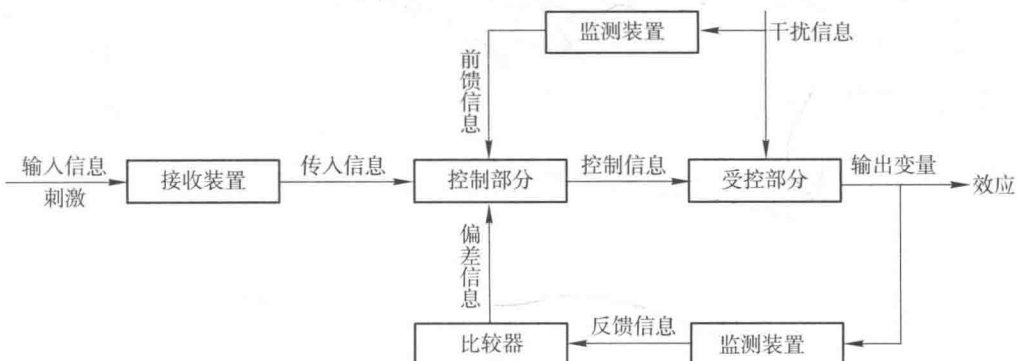


图 1-1 机体反馈控制系统和前馈控制系统示意图 (自制)

在控制部分（反射中枢或内分泌腺）与受控部分（效应器、靶器官或靶细胞）两者之间存在着双向联系。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；由受控部分返回的调控控制部分的信息称为反馈信息。神经调节和体液调节都存在着反馈。通过反馈调节机制，可使调节的效应更加精确、完善，达到最佳调节效果。

（一）反馈控制系统

根据反馈对控制系统原有效应的作用不同，可以把反馈分为负反馈和正反馈两类。

1. 负反馈控制系统 受控部分发出的反馈信息调整控制部分的活动，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，称为**负反馈（negative feedback）**。例如，当动脉血压（受控部分）升高时，反馈信息通过一定的途径抑制心血管中枢（控制部分）的活动，使血压下降；相反，当动脉血压下降时，反馈信息又通过一定的途径增强心血管中枢的活动，使血压升高，从而维持动脉血压的相对恒定。

负反馈控制系统在机体内各种调节活动中最为多见，其生理意义在于维持机体功能活动的相对稳态。

2. 正反馈控制系统 受控部分发出的反馈信息调整控制部分的活动，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，称为**正反馈（positive feedback）**。控制信息与反馈信息反复往来，使受控部分的活动逐渐加强、加速直至完成，如排尿反射、排便反射、血液凝固、分娩、射精等均属正反馈调节。在机体功能活动调控系统中正反馈较为少见，其意义不在于维持稳态平衡，而是促使某些生理过程逐渐加强，直至完成。

（二）前馈控制系统

虽然负反馈控制是维持机体稳态的一种重要的自动控制系统，但它存在调节效果滞后、波动较大的不足。因为负反馈信息回输到控制部分，只有与原有的调节信息出现较大的偏差后，才会启动负反馈调控系统。所以总是要滞后一段时间才会出现纠偏，而且纠偏过程中往往由于矫枉过正会出现一系列的调节效果的波动。负反馈系统对偏差信息敏感度越高，则出现的波动就越大；敏感度越低，则滞后越久。由于机体自动控制系统内还存在前馈控制系统，因而可以弥补负反馈的不足。

从图 1-1 可看出，输出变量不发出反馈信息，监测装置在检测到干扰信息后发出前馈信息，作用于控制系统，调整控制信息以对抗干扰信息对受控系统的作用。这就可能在输出变量尚未出现偏差发动负反馈调控之前，已对受控部分提前发出预见性的纠正信号，用以纠正偏差信息引发的负反馈，使机体调控过程不致出现较大的波动和滞后反应，从而使输出变量保持稳定。这种干扰信号对控制部分的直接作用称为**前馈（feedforward）**。前馈控制系统所起的作用是预先监测干扰，防止干扰的扰乱，及时做出适应性反应。条件反射活动是一种前馈控制系统的活动，它可使机体的反应更具有预见性和超前性。