



高等医学院校教材

医用生理学

孙庆伟 王东吉 齐淑芳 吴建新 主 编

北京大学医学出版社

高等医学院校教材

医 用 生 理 学

主 编 孙庆伟 王东吉 齐淑芳 吴建新
副主编 赵晓莲 念 红 沈行良 蒋绍祖
主 审 邱春复 李汉汀
编 者 (以姓氏笔画为序)

王东吉	毛红娇	齐淑芳	孙庆伟
李汉汀	李良东	李耀华	吴建新
邱春复	沈行良	陈宝平	念 红
周 萍	尚改萍	赵晓莲	高云峰
黄 诚	黄志华	蒋绍祖	

北京大学医学出版社

YIYONG SHENGLIXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

医用生理学/孙庆伟等主编. —北京: 北京大学医学出版社, 2004. 8
高等医学院校教材
ISBN 7-81071-550-X

I. 医... II. 孙... III. 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 (2004) 第 051467 号

医 用 生 理 学

主 编: 孙庆伟 王东吉 齐淑芳 吴建新

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100083) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 莱芜市圣龙印务书刊有限责任公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 张彩虹 责任校对: 于 明 责任印制: 张京生

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 18.5 字数: 470 千字

版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2006 年 4 月第 2 次印刷 印数: 7101—10100 册

标准书号: ISBN 7-81071-550-X/R·550

定 价: 24.50 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

编写说明

本教材已经多次修订再版。本版《医用生理学》在前几版的基础上又作了进一步的修订，使教材内容更加完善。本教材内容丰富（部分内容用小字排版，使用院校可根据学时数的多少选择讲授），插图较多（共 210 幅，部分插图是作者在长期的教学实践中总结出来的），说理清楚。教材内容理论联系实际，基础结合临床；不但着重阐述了生理学的基本理论与基本知识，还适当介绍了较成熟的新进展；既从专科生的实用出发，也考虑到他们“考研”、“专升本”及参加工作后再提高的需要；论述深入浅出，文句通顺易懂。

本教材主要供三年制医学高等专科学校及高职（包括成人教育）各专业使用，也可供四、五年制本科非临床医学专业使用，还可作为临床医生业务提高、“考研”及医师资格考试复习用。

由于参编人员较多，修订时间较仓促，以及编作者水平所限，本版教材虽经再次修订，书中不当之处和疏漏在所难免，希望广大读者指正。

孙庆伟

2004 年 5 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 生理学的内容及与医学的关系	(1)
一、生理学的内容	(1)
二、生理学与医学的关系	(2)
第二节 机体的内环境、稳态和人体功能活动的调节	(2)
一、机体的内环境与稳态	(2)
二、人体功能活动的调节	(4)
第二章 细胞的基本功能	(8)
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能	(8)
一、细胞膜的基本结构	(8)
二、细胞膜的物质转运功能	(9)
第二节 细胞的生物电活动	(14)
一、刺激、反应及兴奋性	(14)
二、细胞的生物电活动及其产生机制	(15)
第三节 细胞之间的信号传递功能	(23)
一、化学性传递机制	(23)
二、相邻细胞之间的电联系	(25)
第四节 肌细胞的收缩功能	(25)
一、神经-骨骼肌接头的兴奋传递	(25)
二、骨骼肌的微细结构	(27)
三、骨骼肌的收缩原理	(29)
四、肌肉收缩的外部表现和力学分析	(31)
五、平滑肌的收缩机制	(33)
第三章 血液	(34)
第一节 概述	(34)
一、血液的组成	(34)
二、血液的主要功能	(34)
第二节 血浆	(35)
一、血浆的化学成分	(35)
二、血浆的理化特性	(36)
第三节 血细胞	(38)
一、红细胞	(38)
二、白细胞	(40)
三、血小板	(43)
第四节 血液凝固与纤维蛋白溶解	(45)

一、血液凝固	(45)
二、纤维蛋白溶解	(48)
第五节 血量、输血与血型	(49)
一、血量	(49)
二、失血与输血	(50)
三、血型	(50)
第四章 血液循环	(54)
第一节 心脏的功能	(54)
一、心动周期和心率	(54)
二、心脏泵血过程及其机制	(55)
三、心音	(57)
四、心脏泵血功能的评价	(58)
五、影响心脏泵血功能的因素	(59)
六、心脏泵血功能的贮备	(61)
第二节 心肌的生物电活动和生理特性	(61)
一、心肌细胞的生物电活动	(62)
二、心肌的生理特性	(66)
三、体表心电图	(71)
第三节 血管生理	(73)
一、各类血管的功能特点	(73)
二、血流量、血流阻力和血压	(74)
三、动脉血压和动脉脉搏	(76)
四、静脉血压和静脉血流	(79)
五、微循环	(81)
六、组织液	(83)
七、淋巴液的生成与回流	(85)
第四节 心血管活动的调节	(85)
一、神经调节	(85)
二、体液调节	(90)
三、自身调节	(92)
四、动脉血压的短期调节和长期调节	(93)
第五节 器官循环	(93)
一、冠脉循环	(94)
二、肺循环	(96)
三、脑循环	(97)
第五章 呼吸	(99)
第一节 肺通气	(99)
一、肺通气的结构基础	(99)
二、肺通气的原理	(100)
三、肺容量与肺通气量	(106)

第二节 呼吸气体的交换·····	(108)
一、气体交换的动力·····	(108)
二、气体交换的过程·····	(109)
三、影响肺部气体交换的因素·····	(109)
第三节 气体在血液中的运输·····	(111)
一、O ₂ 的运输 ·····	(111)
二、CO ₂ 的运输 ·····	(114)
第四节 呼吸运动的调节·····	(116)
一、呼吸中枢和呼吸节律的形成·····	(116)
二、呼吸的神经反射性调节·····	(118)
三、化学因素对呼吸的调节·····	(119)
四、运动时呼吸的变化和调节·····	(121)
第六章 消化与吸收·····	(123)
第一节 概述·····	(123)
一、消化道平滑肌的生理特性·····	(123)
二、消化腺的分泌功能·····	(124)
三、消化道的神经支配·····	(124)
四、消化器官功能活动的激素调节——胃肠激素·····	(126)
第二节 口腔内消化·····	(127)
一、唾液的成分、作用及其分泌的调节·····	(127)
二、咀嚼与吞咽·····	(128)
第三节 胃内消化·····	(129)
一、胃液及其分泌·····	(129)
二、胃的运动及其控制·····	(134)
第四节 小肠内消化·····	(136)
一、胰液的分泌·····	(136)
二、胆汁的分泌与排出·····	(138)
三、小肠液的分泌·····	(140)
四、小肠的运动·····	(140)
第五节 大肠内消化·····	(142)
一、大肠液的分泌·····	(142)
二、大肠内细菌的活动·····	(142)
三、大肠的运动和排便·····	(142)
第六节 吸收·····	(143)
一、吸收的部位·····	(143)
二、吸收的途径与机制·····	(144)
三、小肠内主要营养物质的吸收·····	(145)
第七章 能量代谢与体温·····	(149)
第一节 能量代谢·····	(149)
一、机体能量的来源和转移·····	(149)

二、能量代谢测定的原理和方法	(150)
三、影响能量代谢的因素	(152)
四、基础代谢	(153)
第二节 体温及其调节	(154)
一、体温及其正常变动	(155)
二、机体的产热和散热	(156)
三、体温调节	(158)
第八章 肾脏的排泄功能	(160)
第一节 概述	(160)
一、排泄和排泄途径	(160)
二、肾脏的功能	(160)
三、肾脏的结构特点	(161)
四、肾脏血液循环的特点	(162)
第二节 尿的生成过程	(164)
一、肾小球的滤过功能	(164)
二、肾小管和集合管的重吸收功能	(167)
三、肾小管与集合管的分泌与排泄功能	(172)
第三节 尿液的浓缩和稀释	(174)
一、尿液浓缩和稀释的原理——逆流学说	(174)
二、影响尿液浓缩与稀释的因素	(176)
第四节 肾脏泌尿功能的调节	(177)
一、肾神经的调节作用	(177)
二、抗利尿激素	(177)
三、醛固酮	(178)
四、心房钠尿肽	(179)
第五节 血浆清除率	(180)
一、血浆清除率的概念和计算法	(180)
二、测定血浆清除率的意义	(180)
第六节 尿的排放	(181)
一、膀胱和尿道的神经支配	(181)
二、排尿反射	(182)
第九章 感觉器官	(183)
第一节 概述	(183)
一、感受器与感觉器官的定义和分类	(183)
二、感受器的一般生理特性	(183)
第二节 视觉器官	(184)
一、眼的折光功能及其调节	(185)
二、视网膜的感光功能	(188)
三、与视觉有关的几种生理现象	(191)
第三节 听觉器官	(193)

一、外耳和中耳的传音作用·····	(193)
二、耳蜗的感音换能作用·····	(194)
第四节 前庭器官·····	(198)
一、前庭器官的结构·····	(198)
二、前庭器官的感受装置和适宜刺激·····	(199)
三、前庭器官的反射·····	(200)
第五节 嗅觉和味觉·····	(201)
一、嗅觉·····	(201)
二、味觉·····	(201)
第十章 神经系统·····	(203)
第一节 神经元的一般功能·····	(203)
一、神经元的一般结构与功能·····	(203)
二、神经纤维的分类与功能·····	(204)
三、神经的营养性作用·····	(205)
第二节 神经元之间的信息传递·····	(206)
一、突触传递·····	(206)
二、神经递质·····	(208)
三、神经递质作用的受体·····	(211)
四、中枢神经元的联系方式·····	(213)
五、兴奋在中枢传播的特征·····	(214)
六、中枢抑制·····	(215)
第三节 神经系统的感觉功能·····	(216)
一、脊髓的感觉传导功能·····	(216)
二、丘脑·····	(216)
三、感觉投射系统·····	(218)
四、大脑皮层的感觉分析功能·····	(219)
五、痛觉·····	(220)
第四节 神经系统对躯体运动的调节·····	(222)
一、脊髓对躯体运动的调节·····	(222)
二、脑干对肌紧张和姿势的调节·····	(225)
三、基底神经节对躯体运动的调节·····	(226)
四、小脑对躯体运动的调节·····	(227)
五、大脑皮层对躯体运动的调节·····	(229)
第五节 神经系统对内脏活动的调节·····	(231)
一、自主神经系统的结构特征·····	(231)
二、自主神经系统的功能特点·····	(231)
三、内脏活动的中枢调节·····	(234)
第六节 觉醒、睡眠与脑电活动·····	(238)
一、脑电活动·····	(238)
二、觉醒与睡眠·····	(240)

第七节 脑的高级功能	(241)
一、学习与记忆	(241)
二、大脑皮层的语言中枢和一侧优势	(244)
第十一章 内分泌	(246)
第一节 概述	(246)
一、激素的分类、作用和作用的一般特性	(247)
二、激素的作用原理	(248)
第二节 下丘脑的神经内分泌功能	(251)
一、下丘脑与垂体在形态和功能上的联系	(251)
二、下丘脑的调节性多肽	(252)
三、下丘脑释放调节性多肽的神经与激素控制	(253)
第三节 垂体	(254)
一、腺垂体	(254)
二、神经垂体	(256)
第四节 甲状腺	(257)
一、甲状腺激素的合成和运输	(257)
二、甲状腺激素的生理作用	(259)
三、甲状腺激素分泌的调节	(260)
第五节 肾上腺	(261)
一、肾上腺皮质	(261)
二、肾上腺髓质	(264)
第六节 胰岛	(266)
一、胰岛素	(266)
二、胰高血糖素	(268)
第七节 甲状旁腺、甲状腺 C 细胞和维生素 D	(269)
一、甲状旁腺激素	(269)
二、降钙素	(270)
三、1,25-二羟维生素 D ₃	(270)
第八节 其他激素	(271)
一、松果体激素	(271)
二、前列腺素	(272)
三、瘦素	(273)
第十二章 生殖	(274)
第一节 男性生殖	(274)
一、睾丸的生精作用	(274)
二、睾丸的内分泌功能	(274)
三、睾丸功能的调节	(275)
四、精子的成熟、贮存和排出	(276)
第二节 女性生殖	(276)
一、卵巢的生卵作用	(276)

二、卵巢的内分泌功能..... (277)

三、卵巢功能的调节..... (279)

四、月经周期及其调节..... (279)

第三节 妊娠..... (281)

一、受精..... (281)

二、着床..... (282)

三、胎盘及其激素..... (282)

四、分娩与哺乳..... (283)

参考书目..... (284)

第一节 生理学的研究内容及与医学的关系

一、生理学的研究内容

生理学 (physiology) 是生物学的一个分支, 是研究生命活动规律的科学。人体生理学是研究人体各种生命活动规律的科学, 医用生理学即着重研究与医学有关的各种生命活动的规律和机制 (mechanism)。生命活动即生命现象, 如呼吸、心跳、血液循环、胃肠运动与分泌、泌尿、出汗、生殖、行为表现和思维活动等等。生理学要研究的就是这些生命活动产生的原理和条件、正常活动规律和体内外环境变化对它们的影响, 以及在整体生命活动中的意义。由于在整体中每种生命活动都起一定的作用, 即实现一定的生理功能, 所以生理学也可以说是研究机体 (organism, 由于人体的各个组成部分在结构上和功能上都是有机地结合和联系组成一个有机的整体, 称之为有机体, 简称机体) 各个部分及整个机体功能的科学。根据研究对象的不同, 生理学有许多分支, 如细菌生理学、植物生理学、动物生理学、人体生理学等等。由于人体生理学主要研究正常人体的各种生命活动, 即正常的生理活动, 所以也叫正常人体生理学 (通常简称为生理学)。而研究人体各种异常即患病机体的生命活动的科学叫病理生理学。

由于人体的功能十分复杂, 而人体的结构又可以分为许多层次 (细胞→组织→器官→系统→整体), 因此, 研究人体的生理功能时可以从不同的结构水平出发。目前生理学的研究内容大致可以分为三个不同的水平, 即器官、系统水平; 细胞、分子水平和整体水平。

1. 器官、系统水平 研究体内各个器官、各个系统活动的规律即特殊性、影响因素及其调节, 以及它在整体生命活动中的意义和作用。例如, 心脏是一个器官, 它的功能就是有规律的舒缩即跳动 (心跳), 并把血液推动到动脉里去, 起“泵”的作用。我们就要研究心跳从心脏的什么部位开始, 心脏收缩与舒张的规律, 心脏舒缩过程中心腔内容积、压力、瓣膜启闭、血流方向的变化, 心脏活动时产生的声音和电的变化, 这些变化在体内受哪些因素的影响以及心脏活动对整个生命活动的影响等等。有关这一水平的研究内容称为器官生理学 (organ physiology) 和系统生理学, 例如, 心脏生理学、胃肠生理学、肾脏生理学、呼吸生理学等。

2. 细胞、分子水平 细胞是构成人体的最基本的结构功能单位。因此, 整个机体的生命活动或器官、系统的功能活动都与其结构单位——细胞的功能活动有关, 而细胞的功能活动归根到底又取决于构成细胞的各个物质, 特别是大分子物质, 如蛋白质 (包括酶) 和核酸的物理—化学特性。蛋白质和酶又是由细胞核染色质上的基因 (gene) 决定的。为了研究各器官活动的本质和产生的机制, 还要深入到细胞的亚微结构和分子水平与基因水平, 来探讨生命活动的最基本的物理—化学过程和分子生物学特性。例如, 心脏主要是由心肌细胞所构

成的，心肌细胞为什么能有规律地舒缩。通过细胞、分子水平的研究，了解到心肌细胞中含有特殊的蛋白质，其分子有一定的组合排列方式，在某些离子变化和酶的作用下排列方式发生变化，发生收缩或舒张活动。又例如，许多激素的作用是通过调节细胞基因的转录（表达），诱导产生一些特殊功能或结构的蛋白质（包括酶）来实现的。在这一水平的研究内容称为细胞生理学（cells physiology）或普通生理学（general physiology）。

3. 整体水平 机体的各种正常生命活动是互相联系、互相制约、互相配合的，同时机体的生命活动与周围环境也是密切联系的。环境的变化会影响机体的生命活动，机体的生命活动则必须与环境变化相适应。整体水平的研究就是研究完整机体各个系统功能活动之间的相互关系，以及完整机体与环境之间的对立统一关系。例如，研究在整体活动中各系统功能活动的调节机制与互相配合的规律；研究自然环境的变化（如温度、湿度、气压、氧含量的变化以及加速运动或失重等）对人体功能活动的影响，以及机体处于特殊状态（如劳动、运动、做气功等）下生理功能的改变与人体对这些情况的适应过程；研究人们在社会实践活动中的各种活动、社会条件、思想情绪即社会心理因素等对人体整体及各系统功能活动的影响（注：社会心理因素对人体的影响已形成专门的科学，即社会行为医学和心理学）。近年来由于电子计算机遥控、遥测技术、体表无创伤检测，如核磁共振成像、正电子发射成像、彩色多普勒等技术的应用，使整体生理学研究水平有了很大提高。

本书主要介绍器官生理学和整体水平研究（主要是有关机体功能活动的调节）的生理学知识，对一些基本的生命现象适当地介绍细胞或分子水平的知识。

二、生理学与医学的关系

生理学是一门重要的医学基础理论课，它与医学有密切的关系。因为只有了解和掌握机体正常的生命活动规律，才能理解和掌握机体异常的生命活动规律，对患病时所发生的一切病理现象才能理解，并通过医务人员和患者的主观努力，使异常向正常方面转化。这样我们才能在防病治病中掌握主动，不会盲从，不但知其然，而且知其所以然，提高医疗水平。例如，只有了解和掌握正常体温维持相对恒定的原理，才能了解和认识发热以及退热药作用的机制。而且，只有认识和掌握了机体的正常生命活动规律，才能更好地维持它的正常进行，防止它发生异常，从而达到预防疾病和延年益寿的目的。再则，生理学本身的发展可促进临床医学和预防医学的发展。例如，对生殖生理的深入研究，促进了计划生育及妇产科疾病防治的发展。而临床医学的长期实践又为生理学的发展提供了许多宝贵资料，促进了生理学发展。此外，一些基础医学，如病理学、病理生理学、微生物学、药理学等，均需要生理学作基础，要学好这些学科，必须先学好生理学。正因为生理学与医学的关系如此密切，所以在诺贝尔生理学或医学奖中，将生理学和医学放在一起。

第二节 机体的内环境、稳态和人体功能活动的调节

一、机体的内环境与稳态

人体的结构很复杂，大约由 100 万亿个结构和功能不同的细胞组成不同的组织、器官和系统。因此，除了少数细胞外，人体绝大多数细胞并不直接与经常变化的大气环境即外部环境接触，而是浸浴在细胞外液之中（图 1-1）。这样，细胞外液就成为细胞生活的直接液体环

境，细胞新陈代谢所需要的养料由细胞外液提供，细胞的代谢产物也排到细胞外液之中。法国著名生理学家克劳德·伯尔纳（Claude Bernard, 1813~1878）称之为机体的内环境（internal environment），以区别整个机体所生存的外环境即大气环境。

人体内的水分（称体液总量）占体重的50%~70%，平均为60%，其中40%位于细胞内（称细胞内液），20%位于细胞外（称细胞外液）。细胞外液包括血浆（占5%）和组织间液（简称组织液，占15%）（图1-2）。体液总量与体内脂肪总量呈反相关，由于女性体内脂肪含量一般多于男性，故女性体液总量比男性少。

内环境本身的一个很大的特点是它的物理—化学特性，如温度、渗透压、酸碱度、各种化学成分变动非常小，比较恒定。也正由于内环境变动非常小，才使得机体在外环境不断变化的情况下，仍能维持正常的生命活动。例如，如果空气干燥，人可以在120℃的室温下停留15min，并无不良反应，体温仍保持稳定。而在此温度下，只需13min，就可使牛肉烤熟。因为在此温度下人体通过大量出汗而散热，使体温保持稳定。伯尔纳说过：“内环境恒定是机体自由和独立生存的首要条件。”即是细胞维持正常的生命活动的必要条件。但内环境理化性质的恒定是相对的，是在不断变化中所达到的相对平衡状态，即动态平衡，所谓稳态（homeostasis）。这是由于一方面细胞不断进行着新陈代谢，不断消耗细胞外液中的养料和O₂，并不断向细胞外液排出代谢产物、CO₂和释放热量（图1-1），所以新陈代谢本身不断破坏着内环境的稳定；另一方面，外环境的强烈变化也直接或间接通过机体活动的改

变而影响内环境的稳定，例如，大气压的迅速下降可以使机体很快减少O₂的供应，从而使细胞外液中O₂含量下降。但机体通过对血液循环、呼吸、消化、排泄等功能协调活动，又能使变化的内环境恢复。例如，呼吸系统摄入O₂与排出CO₂，消化系统提供营养物质、水和电解质，肾脏排泄代谢终产物、水和电解质，心血管系统即产生动力，推动血液在全身周流不息（图1-2）。因此，任何内环境的变化都必将引起限制这种变化的反应。但是机体对内环境稳定的协调和调节能力总是有一定限度的，当内外环境的变化过于剧烈而超过机体的调节能力时，就可能导致内环境发生大幅度变动，以致稳态不能维持——失稳态，这就是病理状态，严重时可危及生命。例如，血浆中的钾浓度过高或过低时可引起心律失常；氢离子浓度过高时会导致酸中毒，过低时会导致碱中毒；体温过高会影响中枢神经系统的功能和内

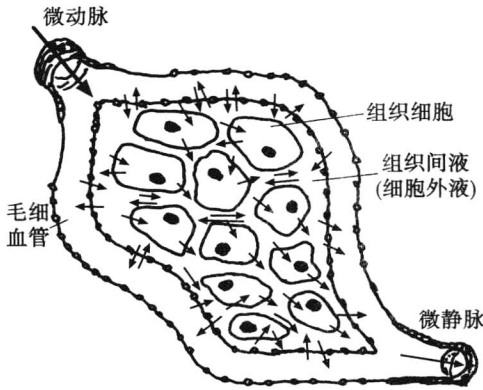


图 1-1 组织细胞“浸浴”在细胞外液中

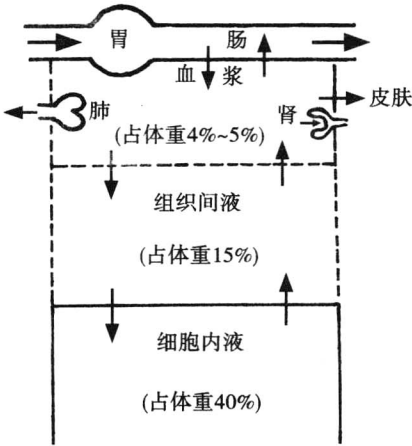


图 1-2 体液分布及其物质交换示意图

脏活动等等。

目前，生理学中稳态的概念不仅指细胞外液理化因素保持相对稳定的状态，而且已发展到包括机体各种生理功能保持协调、稳定的生理过程。这种广义的稳态是通过机体的调节机制即稳态机制实现的。

二、人体功能活动的调节

如前所述，机体的内环境经常受到体内组织细胞代谢和外环境变化的影响。另外，机体各器官、系统的功能活动不但非常精确、稳定，而且密切配合、协调、互相制约，有机地组合成一个完整的统一体。机体内环境的稳定以及机体功能活动的这种整体性与适应性是通过调节实现的。机体的调节功能主要有神经调节、体液调节和自身调节。

（一）神经调节

神经调节 (neural regulation) 是通过神经系统的调节，其基本方式是反射 (reflex)。反射就是机体在中枢神经系统的参与下对体内、外环境变化的刺激发生的规律性反应。反射活动的结构基础是反射弧 (reflex arc)，它由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个部分组成 (图 1-3)。感受器是专门接受各种刺激的结构，是一种能量转换器，可把各种能量形式的刺激转化为生物电信号——神经冲动。效应器是产生反应的器官。神经中枢是位于脑和脊髓内参与某一反射活动的神经细胞群或神经元网络，它能综合、分析来自传入神经的传入冲动，并发出冲动经传出神经传至支配的效应器。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。当感受器受到刺激时，即把刺激的信息转变为

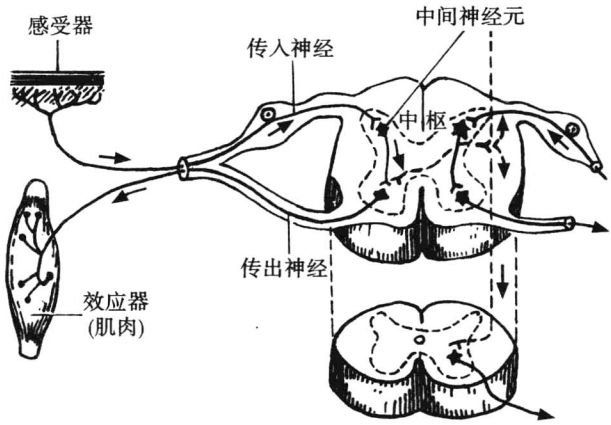


图 1-3 反射弧及其组成示意图

神经冲动，经传入神经传至中枢，经中枢综合、处理后，产生新的冲动，再经传出神经传至一定的效应器，使之产生适应性反应。例如，伤害性刺激作用于肢体皮肤引起该肢体屈曲；强光作用于视网膜引起瞳孔缩小；食物入口引起唾液分泌等都是反射的例子。反射弧的任何环节如发生障碍或被破坏，这一反射活动就发生紊乱或不出现。

反射又可分为非条件反射 (unconditioned reflex) 和条件反射 (conditioned reflex) 两类。非条件反射是先天遗传的同一种族所共有的反射，有固定的反射弧，所以当某种刺激作用于某一感受器时，就规律地呈现相应的反射。其反射中枢在中枢神经系统的较低部位，但通常在高级中枢大脑皮层存在下，要受到高级中枢的影响。上面列举的反射都是较简单的非条件反射。条件反射是后天获得的，是个体在生活过程中按照所处的生活条件，在非条件反射的基础上建立起来的，因此是个体所特有的，是一种高级神经活动。例如，见到或谈论食物时引起唾液分泌 (详见第十章第六节)。

（二）体液调节

体液调节 (humoral regulation) 主要是指内分泌细胞所分泌的激素 (hormone)，经血

液或淋巴循环到全身各处，以影响对激素敏感的器官、组织和细胞的活动。例如，甲状旁腺分泌的甲状旁腺素经血液运输到骨组织，使骨钙释放入血，血钙升高。受激素作用的器官、组织和细胞分别叫靶器官（target organ）、靶组织（target tissue）和靶细胞（target cell）。此外，组织细胞可产生一些化学物质（如组胺、缓激肽、5-羟色胺等）或代谢产物（如 CO_2 、乳酸等），通过局部组织液扩散，作用于其邻近的细胞或血管，影响它们的功能活动，这叫局部体液调节。这种调节的作用可使局部与全身的功能活动相互配合、协调一致。

神经调节和体液调节各有其特点：神经调节作用迅速而准确，作用部位比较局限，作用时间比较短暂；体液调节则作用缓慢，受影响部位广泛，作用时间持久，它主要调节新陈代谢、生长、发育、生殖等较为缓慢的生理过程。对大多数器官，两种调节是密切联系、相辅相成的。一般地，神经调节起主导作用。由于一些内分泌腺或内分泌细胞本身也直接或间接地接受中枢神经系统的控制，这样，体液调节就成为神经调节的传出径路的延长部分，这称为神经-体液调节（neurohumoral regulation）。例如，运动时交感神经兴奋，肾上腺素分泌增加（肾上腺髓质受交感神经支配），引起心跳加快加强，使心输出量增加，血压升高，血液循环加快等反应，就属于神经-体液调节。

（三）自身调节

自身调节（autoregulation）指内外环境变化时，组织、细胞可不依赖于神经或体液的调节而产生的适应性反应。例如，脑血流量的调节，血压变动于60~140mmHg范围内，脑血流量仍可维持恒定，因为血压升高，脑血管自发收缩，阻力增加，使脑血流量不致因血压升高而增加过多；血压下降，脑血管舒张，使脑血流量不致因血压降低而过多减少。自身调节的调节幅度和范围虽较小，也不十分灵敏，但对生理功能调节仍有一定的重要意义。

（四）生理功能调节的自动控制原理

神经或体液对效应器或靶器官进行了调节，调节的效果如何？有无过度或是不足，即是否符合神经中枢或内分泌腺预定的“指令”，往往还要由效应器或靶器官发出信息（即由效应器内或邻近的感受器，如骨骼肌内的肌梭和腱器官发出神经冲动，或效应器、靶器官本身的结果）返回到神经中枢或内分泌腺，以便随时纠正和调整神经调节或体液调节，如调节过度便减弱之，调节不足则加强之，使调节精确。这种联系称为反馈（feedback）联系。因此，神经调节和体液调节都是一个闭合回路（closed loop），而不是开放回路（open loop），犹如工程学中的自动控制系统。一个自动控制系统包括：①接受装置（相当于感受器的功能），专门接受输入信息；②控制部分（相当于神经中枢或内分泌腺），根据接受装置送来的信息进行处理，并发出“指令”（控制信息），从而决定受控部分应如何动作；③执行装置即受控部分（相当于效应器、靶器官），按控制部分的指令作出反应。此时其所处的状态或所产生的效应称为输出变量；④监测装置，将受控部分活动的结果（输出变量）不断地返回给控制部分，控制部分据此与输入信息进行比较，为控制部分进一步发放“指令”做参考，它相当于存在于效应器附近的内感受器。监测装置与控制部分的连接线路称为反馈联系，从它发出的反映输出变量的信息称为反馈信息（图1-4）。

在自动控制系统中，反馈信息具有特别重要的意义。因为受控部分的活动不但是在控制部分的预定“指令”下进行工作的，而且会受到体内外多种因素的干扰，从而改变受控部分的活动状态，这种情况下一旦调节不可能就很精确。由于受控部分不断把其活动的实际情况返回控制部分，控制部分则可按照监测装置传送的反馈信息不断纠正与调整对受控部分的影响，从而达到自动精确的调节作用。受控部分发出的反馈信息对控制部分的活动产生抑制作

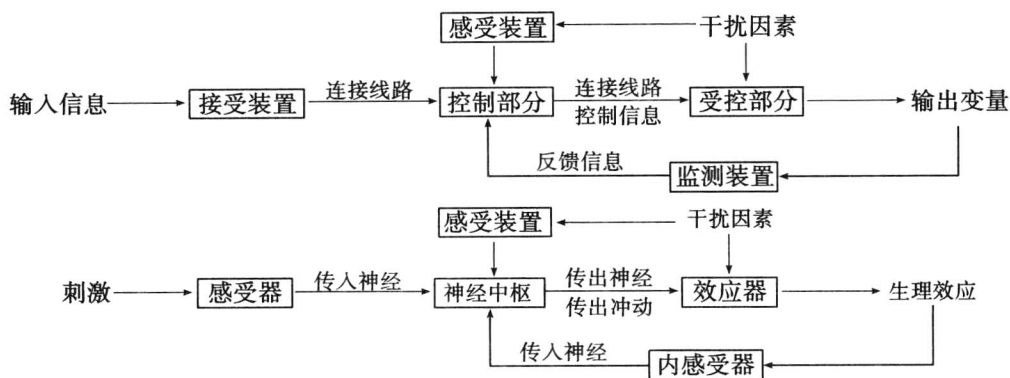


图 1-4 反馈控制系统模式图

用，使其活动减弱，称为负反馈（negative feedback）；反之，受控部分发出的反馈信息促进控制部分的活动，使其活动更加强，称为正反馈（positive feedback）。例如人的体温能保持相对恒定就是一种负反馈的调节。在常温下，产热器官和散热器官（受控系统）在体温调节中枢（控制系统）的控制下，使产热与散热维持平衡，从而维持正常体温（输出变量）。当环境温度突然降低时（属于干扰因素的作用），机体散热增加，致使体温降低；体温降低刺激体内温度感受器（监测装置）并使之产生神经冲动（反馈信息），神经冲动经传入神经传至下丘脑的体温调节中枢（控制系统），体温调节中枢发出神经冲动（控制信息）到产热器官和散热器官，使产热器官产热增加、散热器官散热减少，体温回升。正常时血钙浓度能保持相对恒定也是一种负反馈调节。血钙浓度降低时，刺激甲状旁腺分泌甲状旁腺素，使血钙浓度升高；而当血钙浓度过高时，又可反过来作用于甲状旁腺，抑制其分泌甲状旁腺素，结果使血钙浓度降低。又如排尿反射，膀胱储尿达到一定程度时，刺激膀胱壁内的牵张感受器，后者产生神经冲动，通过传入神经传到脊髓排尿中枢，反射地引起逼尿肌收缩（排尿）。尿液流经尿道又刺激尿道的感受器（监测装置），后者产生的神经冲动（反馈信息）传到排尿中枢，排尿中枢进一步发出传出冲动，使逼尿肌收缩进一步增强，直至尿液排完为止，这是一种正反馈。正常情况下，体内发生的正反馈过程较少。除排尿反射外，分娩、血液凝固、钠通道的开放过程也存在正反馈调节。

在机体功能的调节中负反馈作用较多见，它是机体维持稳态最重要的调节方式。由于它是在输出变量出现偏差以后，通过反馈来加以纠正，因此总要滞后一定时间才能纠正偏差，并且在纠正偏差的过程中会产生忽强忽弱的波动（出现矫枉过正的现象），需经过一系列波动后才能调整到规定的目标。然而，当干扰因素作用于受控系统，将引起输出变量改变时，还可通过感受装置直接作用于控制系统，控制系统可在输出变量出现偏差产生反馈信息之前，对可能出现的偏差预先调整控制信息，以对抗干扰信号对受控系统的作用。这就避免了因干扰信号而引起输出变量的偏差，使反射活动更为精确，即控制系统发出更符合当时实际情况的控制信息。干扰信号对控制系统的作用称为前馈（feed forward）。显然，前馈可以避免负反馈所具有的滞后和波动现象。条件反射就是一种前馈系统的活动。例如，在上述环境温度降低（干扰因素）引起体温降低的例子中，触发体温负反馈调节的温度感受器是在身体内部的，此外，皮肤上也有温度感受器，感受外部环境温度变化。环境温度突然降低，也刺激皮肤温度感受器，后者发出前馈信息到体温调节中枢，甚至环境温度降低的一些信号，例