

全国高等医学院校规划教材

医用生理学

· 第6版 ·

孙庆伟 周 萍 王 杨 吴建新 © 主编



北京大学医学出版社

全国高等医学院校规划教材

医 用 生 理 学

(第6版)

主 编 孙庆伟 周 萍 王 杨 吴建新

副主编 蒋绍祖 吴敏范 温二生 刘万蓉

编 者 (以姓氏笔画为序)

王 杨	毛慕华	朴伶华	刘万蓉	孙庆伟
刘云霞	李良东	李耀华	吴建新	吴敏范
邹晓琴	周 萍	胡志革	欧阳娟	黄志华
蒋绍祖	温二生			

制 图 孙 涌

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. —6 版. —北京:
北京大学医学出版社, 2016. 8
ISBN 978-7-5659-1441-6
I. ①医… II. ①孙… III. ①人体生理学—医学院校—教材 IV. ①R33
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 184675 号

医用生理学 (第 6 版)

主 编: 孙庆伟 周 萍 王 杨 吴建新
出版发行: 北京大学医学出版社
地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内
电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495
网 址: <http://www.pumpress.com.cn>
E - mail: booksale@bjmu.edu.cn
印 刷: 中煤 (北京) 印务有限公司
经 销: 新华书店
责任编辑: 靳新强 法振鹏 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸
开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19.5 字数: 491 千字
版 次: 2004 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 6 版 2016 年 8 月第 1 次印刷
书 号: ISBN 978-7-5659-1441-6
定 价: 38.00 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

本教材已经进行过多次修订，这次是第5次修订。这次修订更新和更换了部分内容：删除了部分应用性少的内容，增加了部分与临床联系密切的内容，更换了部分临床病例分析，增加了少量插图，更换了部分插图，对原有部分插图也做了进一步处理，使教材内容更加丰富、新颖、实用，插图更加准确、示意性更好。本版教材的特点是：内容丰富（为了减少篇幅，部分内容用小五号宋体字排版，授课教师可根据专业及学时数选讲或供学生自学）、适用性强、新颖，编写时参考了国外近年出版的、大部分是北京大学医学图书馆收藏的二十余种英文原版生理学教材，对一些生理正常值也是反复比较多种教材后确定的；精选内容，取各教材之所长，说理简明，解释清楚，内容深入浅出，叙述循序渐进，文句通顺易懂；插图多，对大部分插图进行了精心处理和修改，部分插图是作者在长期的教学实践中总结出来的；插图形象、示意性好，不少插图是从整体到局部放大，有助于读者更好地理解内容；内容紧密联系临床和生活实际（这方面的内容用小五号楷体字排版）；举例和比喻多，科学性与趣味性相结合。

本教材可供临床医学及非临床医学专业（如预防、麻醉、检验、口腔、药学、康复以及公共卫生事业管理和护理专业等）使用。还可作为临床医生业务提高、考研及国家执业医师资格考试复习用。

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

孙庆伟

2016年4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)
三、生理学的方法.....	(2)
第二节 机体的内环境和稳态.....	(3)
一、机体的内环境.....	(3)
二、内环境的稳态.....	(3)
第三节 人体生理功能的调节.....	(4)
一、生理功能的调节方式.....	(4)
二、体内的控制系统.....	(5)
第二章 细胞的基本功能.....	(9)
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能.....	(9)
一、细胞膜的基本结构.....	(9)
二、细胞膜的物质转运功能.....	(10)
第二节 细胞的生物电活动.....	(16)
一、刺激、反应及兴奋性.....	(16)
二、细胞的生物电活动及其产生机制.....	(16)
第三节 细胞之间的信号传递功能.....	(24)
一、化学性传递机制.....	(24)
二、相邻细胞之间的电联系.....	(27)
第四节 肌细胞的收缩功能.....	(27)
一、神经-骨骼肌接头的兴奋传递.....	(27)
二、骨骼肌的微细结构.....	(29)
三、骨骼肌的收缩原理.....	(31)
四、肌肉收缩的外部表现和影响因素.....	(34)
五、骨骼肌纤维的类型.....	(36)
六、平滑肌的收缩机制.....	(37)
临床案例分析——重症肌无力.....	(37)
第三章 血液.....	(38)
第一节 概述.....	(38)
一、血液的组成.....	(38)
二、血液的主要功能.....	(38)
第二节 血浆.....	(39)
一、血浆的化学成分.....	(39)

二、血浆的理化特性	(40)
第三节 血细胞	(42)
一、红细胞	(42)
二、白细胞	(45)
三、血小板	(47)
第四节 血液凝固与纤维蛋白溶解	(49)
一、血液凝固	(49)
二、纤维蛋白溶解	(53)
第五节 血量、输血与血型	(54)
一、血量	(54)
二、失血与输血	(55)
三、血型	(55)
临床病例分析——特发性血小板减少性紫癜	(58)
第四章 血液循环	(60)
第一节 心脏的泵血功能	(60)
一、心动周期和心率	(60)
二、心脏泵血过程及其机制	(61)
三、心音	(63)
四、心脏泵血功能的评价	(64)
五、影响心脏泵血功能的因素	(65)
六、心脏泵血功能的贮备	(67)
第二节 心肌的生物电活动和生理特性	(68)
一、心肌细胞的生物电活动	(68)
二、心肌的生理特性	(72)
三、体表心电图	(78)
第三节 血管生理	(80)
一、各类血管的功能特点	(80)
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	(89)
七、淋巴液的生成与回流	(91)
第四节 心血管活动的调节	(91)
一、神经调节	(91)
二、体液调节	(96)
三、自身调节	(99)
四、动脉血压的短期调节和长期调节	(99)
第五节 器官循环	(100)
一、冠状动脉循环	(100)

二、肺循环·····	(102)
三、脑循环·····	(103)
临床病例分析——出血性休克·····	(104)
第五章 呼吸·····	(105)
第一节 肺通气·····	(105)
一、肺通气的结构基础·····	(105)
二、肺通气的原理·····	(106)
三、肺容量与肺通气量·····	(112)
第二节 呼吸气体的交换·····	(115)
一、气体交换的动力·····	(115)
二、气体交换的过程·····	(116)
三、影响肺部气体交换的因素·····	(116)
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 ·····	(121)
第四节 呼吸运动的调节·····	(122)
一、呼吸中枢和呼吸节律的形成·····	(122)
二、呼吸的神经反射性调节·····	(124)
三、化学因素对呼吸的调节·····	(125)
临床病例分析——通气过度引起的低钙抽搐·····	(128)
第六章 消化与吸收·····	(129)
第一节 概述·····	(129)
一、消化道平滑肌的生理特性·····	(129)
二、消化腺的分泌功能·····	(130)
三、消化道的神经支配·····	(130)
四、消化器官功能活动的激素调节——胃肠激素·····	(132)
第二节 口腔内消化·····	(133)
一、唾液的成分、作用及其分泌的调节·····	(133)
二、咀嚼与吞咽·····	(134)
第三节 胃内消化·····	(135)
一、胃液及其分泌·····	(135)
二、胃的运动及其控制·····	(139)
第四节 小肠内消化·····	(142)
一、胰液的分泌·····	(142)
二、胆汁的分泌与排出·····	(144)
三、小肠液的分泌·····	(146)
四、小肠的运动·····	(147)
第五节 大肠的功能·····	(148)
一、大肠液的分泌·····	(148)
二、大肠内细菌的活动·····	(148)

三、大肠的运动和排便·····	(149)
第六节 吸收·····	(150)
一、吸收的部位·····	(150)
二、吸收的途径与机制·····	(151)
三、小肠内主要营养物质的吸收·····	(151)
临床案例分析——胆石症·····	(155)
第七章 能量代谢与体温·····	(156)
第一节 能量代谢·····	(156)
一、机体能量的来源和转移·····	(156)
二、能量代谢测定的原理和方法·····	(157)
三、影响能量代谢的因素·····	(159)
四、基础代谢·····	(160)
第二节 体温及其调节·····	(161)
一、体温及其正常变动·····	(162)
二、机体的产热和散热·····	(163)
三、体温调节·····	(165)
临床案例分析——低体温·····	(167)
第八章 肾的排泄功能·····	(169)
第一节 概述·····	(169)
一、排泄和排泄途径·····	(169)
二、肾的功能·····	(169)
三、肾的结构特点·····	(170)
四、肾血液循环的特点·····	(172)
第二节 尿的生成过程·····	(173)
一、肾小球的滤过功能·····	(173)
二、肾小管和集合管的重吸收功能·····	(177)
三、肾小管与集合管的分泌与排泄功能·····	(181)
第三节 尿液的浓缩和稀释·····	(183)
一、尿液浓缩和稀释的原理——逆流倍增学说·····	(184)
二、影响尿液浓缩与稀释的因素·····	(186)
第四节 肾泌尿功能的调节·····	(186)
一、神经调节·····	(186)
二、体液调节·····	(187)
第五节 肾排泄功能的评价——血浆清除率·····	(189)
一、血浆清除率的概念和计算法·····	(189)
二、测定血浆清除率的意义·····	(190)
第六节 尿的排放·····	(191)
一、膀胱和尿道的神经支配·····	(191)
二、排尿反射·····	(191)
临床案例分析——乙醇中毒·····	(193)

第九章 特殊感觉器官	(194)
第一节 概述	(194)
一、感受器与感觉器官的定义和分类	(194)
二、感受器的一般生理特性	(194)
第二节 视觉器官	(195)
一、眼的折光功能及其调节	(196)
二、视网膜的感光功能	(199)
三、与视觉有关的几种生理现象	(202)
第三节 听觉器官	(203)
一、外耳和中耳的传音作用	(204)
二、耳蜗的感音换能作用	(205)
第四节 前庭器官	(208)
一、前庭器官的结构	(208)
二、前庭器官的感受装置和适宜刺激	(209)
三、前庭器官的反射	(210)
第五节 嗅觉和味觉	(211)
一、嗅觉	(211)
二、味觉	(212)
临床病例分析——双颞侧偏盲	(212)
第十章 神经系统	(213)
第一节 神经元和神经胶质细胞的一般功能	(213)
一、神经元	(213)
二、神经胶质细胞	(215)
第二节 神经元之间的信息传递	(216)
一、突触传递	(216)
二、神经递质	(218)
三、神经递质作用的受体	(221)
四、中枢神经元的联系方式	(223)
五、兴奋在中枢传播的特征	(224)
六、中枢抑制	(225)
第三节 神经系统的感觉功能	(227)
一、脊髓的感觉传导功能	(227)
二、丘脑	(228)
三、感觉投射系统	(228)
四、大脑皮质的感觉分析功能	(229)
五、痛觉	(230)
六、痒	(232)
第四节 神经系统对躯体运动的调节	(232)
一、脊髓对躯体运动的调节	(233)
二、脑干对肌紧张和姿势的调节	(235)

三、基底神经节对躯体运动的调节·····	(237)
四、小脑对躯体运动的调节·····	(238)
五、大脑皮质对躯体运动的调节·····	(240)
第五节 神经系统对内脏活动的调节·····	(241)
一、自主神经系统的结构特征·····	(242)
二、自主神经系统的功能特点·····	(243)
三、内脏活动的中枢调节·····	(245)
第六节 觉醒、睡眠与脑电活动·····	(248)
一、脑电活动·····	(248)
二、觉醒与睡眠·····	(250)
第七节 脑的高级功能·····	(252)
一、学习与记忆·····	(252)
二、大脑皮质的语言中枢和一侧优势·····	(255)
临床案例分析——顺行性遗忘症·····	(257)
第十一章 内分泌·····	(258)
第一节 概述·····	(258)
一、激素的分类、作用和作用的一般特征·····	(259)
二、激素的作用原理·····	(260)
第二节 下丘脑的神经内分泌·····	(262)
一、下丘脑与垂体在形态和功能上的联系·····	(262)
二、下丘脑的调节性多肽·····	(262)
三、下丘脑释放调节性多肽的神经与激素控制·····	(263)
第三节 垂体内分泌·····	(264)
一、腺垂体内分泌·····	(264)
二、神经垂体内分泌·····	(266)
第四节 甲状腺内分泌·····	(267)
一、甲状腺激素的合成和代谢·····	(267)
二、甲状腺激素的生理作用·····	(269)
三、甲状腺激素分泌的调节·····	(271)
第五节 肾上腺内分泌·····	(272)
一、肾上腺皮质内分泌·····	(272)
二、肾上腺髓质内分泌·····	(276)
第六节 胰岛内分泌·····	(277)
一、胰岛素·····	(277)
二、胰高血糖素·····	(280)
第七节 甲状旁腺、甲状腺 C 细胞内分泌和维生素 D ₃ ·····	(280)
一、甲状旁腺激素·····	(281)
二、降钙素·····	(281)
三、1,25-二羟维生素 D ₃ ·····	(282)
第八节 其他器官内分泌·····	(283)

一、松果体激素..... (283)

二、前列腺素..... (283)

三、瘦素..... (284)

临床案例分析——长胡须的女子糖尿病..... (285)

第十二章 生殖..... (286)

第一节 男性生殖..... (286)

一、睾丸的生精作用..... (286)

二、睾丸的内分泌功能..... (287)

三、睾丸功能的调节..... (287)

四、精子的成熟、贮存和排出..... (288)

第二节 女性生殖..... (289)

一、卵巢的生卵作用及周期性变化..... (289)

二、卵巢的内分泌功能..... (290)

三、卵巢功能的调节..... (292)

四、月经周期及其形成机制..... (292)

第三节 妊娠..... (294)

一、受精..... (294)

二、着床..... (294)

三、胎盘及其激素..... (294)

四、分娩与哺乳..... (295)

临床案例分析——运动引起的闭经..... (296)

参考文献..... (297)

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, 是研究生物体及其各个组成部分生命活动即正常功能活动规律的科学。人体生理学是研究人体及其组成部分的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、心搏、血液循环、胃肠运动和分泌、泌尿、出汗、生殖、行为表现和思维活动等。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、体内外环境变化对它们的影响以及机体为适应环境变化和维持整体生命活动所作的相应调节。而研究人体各种异常即患病机体的生命活动的科学称为病理生理学。

由于人体的功能十分复杂, 而人体的结构又可分为许多层次 (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。

(一) 器官、系统水平

器官、系统水平研究体内各个器官、系统活动的规律、内在机制、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。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、肾脏生理学、呼吸生理学、消化生理学等。

(二) 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-化学过程。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、亚细胞水平和分子与基因水平, 来探讨生命活动的最基本的物理-化学过程。有关这方面的研究内容传统上称为普通生理学 (general physiology) 或细胞和分子生理学 (cellular and molecular physiology)。近年来, 生理学分子水平的研究取得很大进展, 但是分子水平的研究成果并不能完全说明这些分子在完整的生命机体中的意义。

(三) 整体水平

机体的正常生命活动, 首先是机体本身作为一个完整的统一体而存在的, 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和协调, 以及完整机体与环境之间的对立统一关系。近年来由于电子计算机遥控、遥测技术, 体表无创伤检测, 如磁共振成像、正电子发射成像、彩色多普勒、功能性磁共振成像等

技术的应用，使整体生理学研究水平有了很大发展。

上述三个不同水平的研究是紧密相关的，彼此可以相互补充。将这三方面研究的结果进行整合，才能更全面、更深刻地认识人体作为一个整体的生命活动规律。将不同水平的研究结果联系和综合起来，以求得对机体功能更全面和整体性的认识，就称为**整合生理学**（integrative physiology）。本教材主要介绍器官、系统水平和整体水平研究（主要是有关机体功能活动的调节）的生理学知识，对于一些基本的生命现象适当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，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。而且，认识和掌握了机体的正常生命活动规律，就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。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，促进了生理学的发展。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，所以在诺贝尔奖中，将生理学和医学放在一起。

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。而生理学真正成为一门实验性科学是从17世纪开始的。17世纪初，英国医生哈维（Harvey）首先在动物身上用活体解剖和科学实验的方法研究了血液循环，证明心脏是血液循环的中心，血液由心脏射入动脉，再由静脉回流入心。1628年，哈维出版了他的著作《心与血的运动》，是历史上第一部基于实验的生理学著作。随后发明了显微镜，发现了毛细血管，证实了哈维对血液循环的正确推论。

生理学实验主要在动物身上进行。仅在不损害健康，并得到受试者同意的情况下，才允许进行有限的人体实验。由于人与动物的基本结构和功能有许多相似之处，因此利用动物实验结果来推断人体生理功能是完全可能的。但是，人体的许多功能活动，尤其高级神经活动与动物相比，有质的不同，因此不能将动物实验结果直接套用于人体。

（一）动物实验

1. 急性实验 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。

（1）**在体实验** 动物在清醒或麻醉条件下，手术暴露某些所需研究部位，观察和记录某些生理功能在人为干预条件下的变化。急性实验的优点是实验条件比较简单，易控制，便于进行直接的观察和细致的分析。缺点是可能与正常生理条件下的完整机体的功能活动仍有差别。

（2）**离体实验** 从活着或刚处死的动物身上取出所需的器官、组织、细胞或细胞中的某些组分，置于一个能保持其正常活动的人工环境中，观察某些人为干预因素对其功能活动的影响。其优点是能更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。缺点是实验结果与整体中的真实情况会有很大差异。

2. 慢性实验 在无菌条件下对健康动物进行手术，暴露要研究的器官或摘除或破坏某一器官，然后尽可能在接近正常生活的条件下，观察所暴露器官的功能，观察摘除或破坏某器官的功能改变。其优点是便于观察某一器官在正常情况下的功能以及在整体功能活动中的作用地位。缺点是不便于具体分析该器官功

能的详细机制。

(二) 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，血压、心率、肺通气功能、肾小球滤过率以及血液成分的正常数值等，就是通过对大批人群采样，再进行数据的统计学分析而得到的。有些实验可在志愿者中进行，例如测试人体在特殊环境（如高温、低温、失重、低压、高压等）中某些生理功能的变化。

第二节 机体的内环境和稳态

一、机体的内环境

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外环境接触，而是浸浴在细胞外液之中。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），以区别于整个机体所生存的外环境。

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（组织液，占 15%）（图 1-1）。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。

二、内环境的稳态

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、各种化学成分变化得非常小，比较恒定（例如，人的正常体温只在 37℃ 上下波动，每日波动范围不超过 1℃，体液渗透压约为 300mOsm/kgH₂O，血浆 pH 维持于 7.35~7.45，血 K⁺ 浓度仅为 3.5~5.5 mmol/L 等）。也正由于内环境变动得非常小，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。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。”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。20 世纪 40 年代，美国生理学家坎

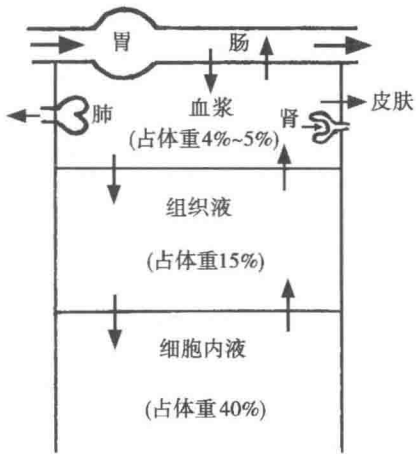


图 1-1 体液分布及其物质交换示意图

农（W. B. Cannon）将这种平衡状态称之为稳态或自稳态（homeostasis）。这是因为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，所以细胞的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。但内环境的变化，机体通过血液循环、呼吸、消化、排泄等功能协调活动，又能使之恢复，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，肾排泄代谢终产物，调节水、电解质平衡，心血管系统推动血液在全身循环往复运输营养物质和代谢产物，沟通全身各器官。

这样便使细胞外液中的理化因素保持相对稳定（图 1-1）。因此，内环境的变化都必将引起机体的各种调节机制精确地调节，以限制与恢复这种变化，稳态的维持需要全身各系统和器官的共同参与和相互协调。

稳态具有十分重要的意义：由于细胞的各种代谢活动都是酶促生化反应，因此，不但需要细胞外液有足够的营养物质、 O_2 和水；也需要维持一定的离子浓度、酸碱度、渗透压和温度等。细胞膜两侧一定的离子浓度分布也是可兴奋细胞保持其正常兴奋性和产生生物电的重要保证。稳态的破坏将影响细胞功能活动的正常进行，如高热、低体温、低氧、水与电解质以及酸碱平衡紊乱等都将导致细胞功能的严重损害，引起疾病，甚至危及生命。例如，血浆中的钾离子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及代谢等。不仅如此，稳态机制长期紊乱还可引起细胞的异常生长（可能引起肿瘤）、产生自身抗体（引起自身免疫性疾病）和细胞过早死亡等。

现在，稳态已经不仅指细胞外液理化性质保持相对稳定的状态，还发展到包括机体内各种生理功能保持协调、稳定的生理过程，例如，血压的调节，各种反射活动的协调等。并且还包括细胞内进行的各种生化反应的精细调节。这种广义的稳态是通过机体的调节机制即稳态机制（主要是负反馈调控机制）实现的。因此，稳态及其调节是生理学的中心议题，也是本书每一章的基本内容之一。

第三节 人体生理功能的调节

一、生理功能的调节方式

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人体内、外环境变化的刺激发生规律性的反应。

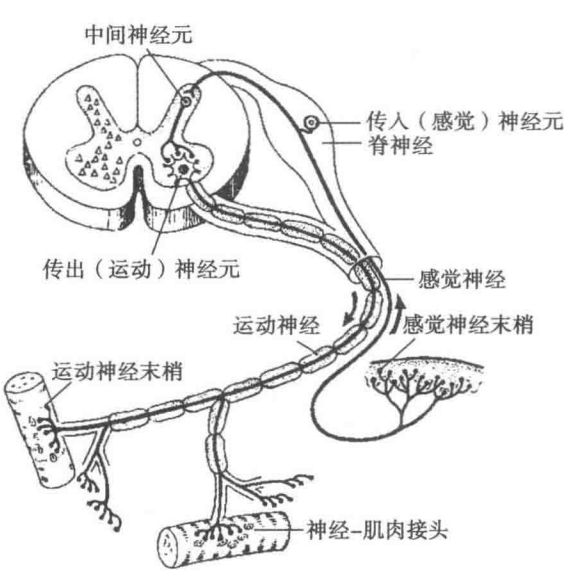


图 1-2 反射弧及其组成示意图

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 1-2）。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变为生物电信号——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，它综合、分析来自传入神经的传入冲动，并发出传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神经冲动，经传入神经传至中枢，经中枢整合、处理后，产生新的神经冲动，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和条件反射两类。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级部位，但通常在高级中枢大脑皮质存在下，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的例子。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就是一种条件反射（详见第10章）。

神经调节的特点：神经调节作用迅速而准确，作用部位有局限性，作用时间比较短暂。

（二）体液调节

体液调节（humoral regulation）主要是内分泌细胞所分泌的激素，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，甲状腺分泌的甲状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、组织和细胞分别称为靶器官、靶组织和靶细胞。有些内分泌细胞产生的激素，不经过血液循环的运输，而是通过组织液扩散，作用于邻近的效应细胞，这称为**旁分泌**（paracrine）。例如，胰岛的D细胞分泌的生长抑素，可通过组织液扩散，作用于邻近的A细胞和B细胞，分别抑制其分泌胰高血糖素和胰岛素。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），对局部的细胞或血管的活动进行调节，称之为**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。

体液调节的特点：体液调节作用缓慢，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。

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**（neuro-humoral regulation）。例如，运动时交感神经兴奋，使肾上腺素分泌增加，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由该组织细胞本身活动的改变产生的适应性反应。例如，脑血流量的调节，血压变动于60~140 mmHg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。

上述三种调节方式以神经调节为主，体液调节为辅，自身调节作为必要的补充。

二、体内的控制系统

人体功能的调节过程与工程技术的自动控制过程具有共同的规律，根据控制论原理，即把人体的功能调节分为两个控制系统。

（一）反馈控制系统

神经或体液因素对效应器或靶器官进行了调节，调节的效果（反应）如何，有无过度或是不足，即是否符合神经中枢或内分泌腺要达到的预定值（理想值、调定点），往往还要由

效应器或靶器官发出信息（即由效应器或其邻近的感受器发出神经冲动，或效应器、靶器官本身的活动）返回到神经中枢或内分泌腺，以便随时纠正和调整效应器或靶器官的活动，如反应过度便抑制之，反应不足则加强之，使调节（反应）更为精确。这个过程称为反馈（feedback）。因此，神经调节和体液调节基本上都是一个闭环（closed loop）系统，极少是开环（open loop）系统，犹如工程学中的自动控制系统（图 1-3）。

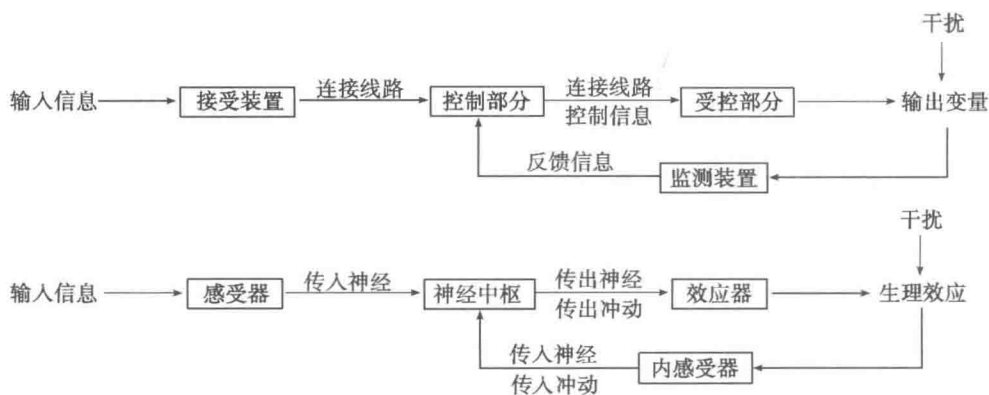


图 1-3 反馈控制系统示意图

1. 定义 受控部分在产生输出变量（即受控部分产生的活动）时，此变化信息返回作用于控制部分，影响其活动，称为反馈。来自受控部分反映输出变量变化情况的信息称为反馈信息。控制部分所设定的一个期望值（正常值），称为调定点（set point）。

2. 分类 根据反馈信息的作用效果将反馈分为两类：

（1）负反馈 反馈信息作用所引起的反应是使输出变量向原来变化相反的方向变化，以维持稳态，称为负反馈（negative feedback）。它是维持稳态的重要方式，体内大多数调节属于负反馈。如体温、血压和血糖的恒定。

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，从而维持正常的体温。当环境温度突然降低时（干扰因素的作用），机体散热增加，致使体温降低；体温降低刺激体内的温度感受器（监视装置）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），体温调节中枢到有关效应器的传出冲动增加，结果引起皮肤血管收缩、身体蜷曲（可减少散热）、战栗以及代谢率增加（增加产热），从而使体温回升到原有的水平（图 1-4）。又如，正常时血钙浓度能保持相对恒定也是一种负反馈调节。血钙降低时，刺激甲状旁腺分泌甲状旁腺素，使血钙升高（使骨钙→血钙）；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。

（2）正反馈 反馈信息的作用与控制信息的作用方向一致，使输出变量更加向原来相同的方向变化，起促进与加强作用，称为正反馈（positive feedback）。它使某一生理过程逐步加强直至完成。正常情况下，体内发生的正反馈过程较少，主要有排尿、分娩、血液凝固、钠通道开放过程和卵巢激素分泌的调节等（参见有关章节）。

膀胱储尿达到一定程度时，刺激膀胱壁内的牵张感受器，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，传入冲动到排尿中枢，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（图 1-5）。

在病理情况下，正反馈可导致恶性循环。例如，人急性大出血→心输出量减少、血压下降→冠状动脉血流减少→心肌缺血→心肌收缩力降低→心输出量进一步减少、血压进一步降低，如此循环下去可导致死亡。医生的责任是要采取必要的措施中断有害的正反馈循环即恶性循环。