

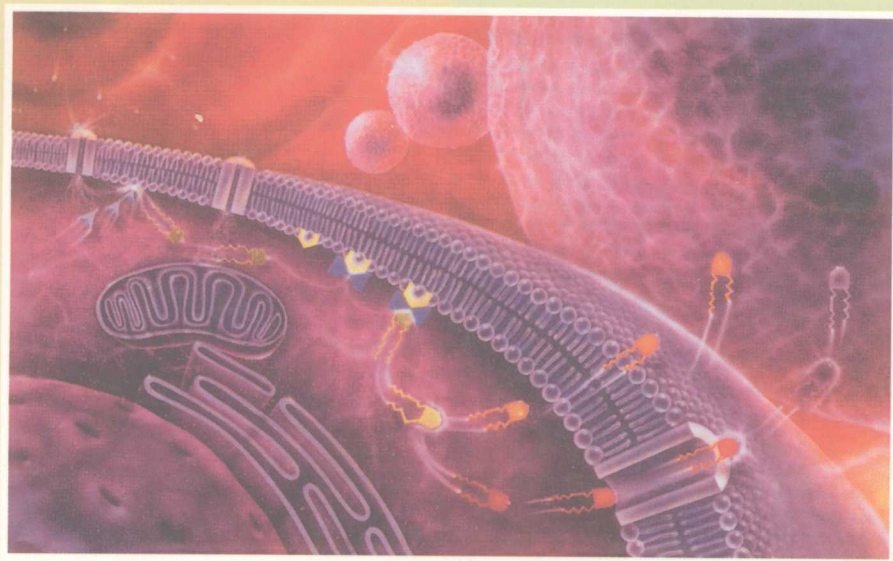
借

高等医学院校教材

人体生理学

Human Physiology

主编 祝世功 张志文



北京大学医学出版社

第 2 版

第 2 版

人体生理学

Human Physiology

主编 王德明 李国瑞



第 2 版

高等医学院校教材

人 体 生 理 学

主 编 祝世功 张志文

编 者 (以姓氏笔画为序)

于英心 王 宪 李 烁 肖 兰

张志文 张振民 范少光 郭 玲

祝世功 唐朝枢 黄之瑜

北京大学医学出版社

RENTI SHENGLIXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

人体生理学/祝世功, 张志文主编. —北京: 北京医科大学出版社, 2002.8

ISBN 7-81071-313-2

I. 人… II. ①祝…②张… 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 (2002) 第 055464 号

人体生理学

主 编: 祝世功 张志文

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.pumppress.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: 冯智勇 责任校对: 冯智勇 责任印制: 张京生

开 本: 787mm × 1092mm 1/16 印张: 18.25 字数: 460 千字

版 次: 2002 年 8 月第 1 版 2005 年 2 月第 2 次印刷 印数: 5101-8100 册

书 号: ISBN 7-81071-313-2/R · 313

定 价: 25.80 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)

前 言

21 世纪是我国教育飞速发展的时期，多媒体技术和因特网技术的发展大大推动了教学模式和学习模式的更新。当前多手段相结合的教学模式正在蓬勃发展。多媒体课件、CAI 课件层出不穷，不断丰富我国的教育资源。2000 年教育部启动了“新世纪网络课程建设工程”，各大专院校先后建立了校园网，大学成立了网络教育学院。北京大学医学部率先成立了医学网络教育学院。为适应当前医学教育形势的发展，同时配合本科生在因特网上学习生理学，我们在研制人体生理学网络课件的同时，编写了这本《人体生理学》教材。

《人体生理学》在编写内容上主要特点有以下三方面：1. 充分借鉴了国外 2000 年和 2001 年出版的著名生理学教科书，在内容上有一定的先进性。2. 适当增加了图表比例，便于读者更好地理解。3. 为了增加本书的可读性和系统性，参考了 21 世纪课程教材和规划教材，保持对经典生理学理论认识的一致。

本书编写时间较仓促，加上编者水平有限，书内缺点和错误在所难免，望同行和读者批评指正。

编者

2002 年 8 月

目 录

第一章 绪论..... (1)	第三节 细胞间信息的传递及信号转导..... (28)
第一节 生理学的研究内容和任务..... (1)	一、细胞间信息的传递..... (28)
一、生理学的任务..... (1)	二、受体及细胞信号转导..... (30)
二、生理学研究的三个水平..... (2)	三、总结..... (31)
第二节 机体的内环境..... (3)	第四节 骨骼肌的兴奋和收缩..... (31)
第三节 生命活动的基本特征..... (3)	一、骨骼肌纤维的结构..... (32)
一、新陈代谢..... (3)	二、神经-骨骼肌接头处兴奋的传递..... (33)
二、兴奋性..... (4)	三、兴奋-收缩耦联..... (34)
三、适应性..... (4)	四、肌纤维收缩的总和..... (36)
四、生殖..... (5)	五、肌肉收缩的力学分析..... (37)
第四节 生理功能的调节..... (5)	第三章 血液..... (39)
一、神经调节..... (5)	第一节 概述..... (39)
二、体液调节..... (6)	一、体液和内环境..... (39)
三、自身调节..... (7)	二、血液的组成..... (40)
第五节 体内的控制系统..... (7)	三、血液的一般性质..... (41)
一、非自动控制系统..... (8)	四、血液的功能..... (41)
二、反馈控制系统..... (8)	第二节 血浆..... (41)
三、前馈控制系统..... (9)	一、血浆的化学成分..... (41)
第二章 细胞的基本功能..... (10)	二、血浆的渗透压功能..... (42)
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能..... (10)	三、血浆的缓冲功能..... (42)
一、细胞膜的化学组成与分子结构..... (10)	第三节 血细胞..... (43)
二、细胞膜的物质转运功能..... (11)	一、红细胞..... (43)
三、小结..... (15)	二、白细胞..... (45)
第二节 细胞的兴奋性和生物电现象..... (16)	三、血小板..... (46)
一、兴奋性和刺激引起兴奋的条件..... (16)	第四节 生理性止血和血液凝固..... (47)
二、细胞膜的生物电现象及其原理..... (18)	一、生理性止血..... (47)
三、动作电位的引起和传导..... (24)	二、血液凝固..... (47)
四、神经信息传递的特点和神经干的动作电位..... (27)	三、纤维蛋白溶解..... (50)
	第五节 血量、输血与血型..... (50)
	一、血量..... (50)
	二、输血与血型..... (51)
	三、Rh 血型..... (52)
	第四章 血液循环..... (53)

第一节 心脏的泵血功能	(53)	一、O ₂ 和 CO ₂ 在血液中存在的形式	(103)
一、心脏的周期性活动	(53)	二、O ₂ 的运输	(104)
二、心脏泵血及其过程	(54)	三、CO ₂ 的运输	(107)
三、心脏泵血功能的评定	(54)	第四节 呼吸运动的调节	(109)
四、心脏泵血功能的调节	(55)	一、中枢神经系统的调控机制	(109)
五、心音和心音图	(57)	二、外周化学感受器的调节	(111)
第二节 心肌的生物电现象和生理特性	(57)	第六章 消化和吸收	(113)
一、心肌细胞生物电活动	(57)	第一节 概述	(113)
二、心肌电生理特性	(59)	一、消化道平滑肌的特性	(114)
三、心电图	(65)	二、胃肠的神经支配及其作用	(115)
第三节 血管生理	(66)	三、消化腺的分泌功能	(117)
一、各类血管的结构及功能特点	(66)	四、消化道的内分泌功能	(118)
二、血流量、血流阻力和血压	(66)	第二节 口腔内消化	(120)
三、动脉血压和动脉脉搏	(68)	一、唾液分泌	(121)
四、静脉血压和静脉回心血量	(70)	二、咀嚼	(122)
五、微循环	(72)	三、吞咽	(122)
六、组织液生成	(74)	第三节 胃内消化	(123)
七、淋巴循环	(75)	一、胃的分泌	(123)
第四节 心血管活动的调节	(76)	二、胃的运动	(129)
一、神经调节	(76)	第四节 小肠内消化	(130)
二、体液调节	(81)	一、胰液的分泌	(130)
第五节 器官循环	(83)	二、胆汁的分泌与排出	(133)
一、冠脉循环	(83)	三、小肠液的分泌	(134)
二、脑循环	(85)	四、小肠的运动	(135)
第五章 呼吸	(87)	第五节 大肠内消化	(137)
第一节 肺通气	(87)	一、大肠液的分泌	(137)
一、实现肺通气的功能解剖	(88)	二、大肠的运动和排便	(137)
二、肺通气原理	(91)	第六节 吸收	(138)
三、肺容积和肺容量	(97)	一、吸收过程概述	(138)
四、肺通气量	(98)	二、小肠吸收功能的结构基础	(139)
第二节 气体的交换	(99)	三、小肠内主要营养物质的吸收	(139)
一、气体交换的原理	(99)	第七章 能量代谢和体温	(144)
二、气体交换的过程	(100)	第一节 能量代谢	(144)
三、影响肺部气体交换的因素	(101)	一、机体能量的来源、转移、贮存和利用	(144)
四、肺扩散容量	(103)		
第三节 气体在血液中的运输	(103)		

二、能量代谢测定的原理和方法	(145)	三、神经递质	(182)
三、影响能量代谢的因素	(146)	四、神经递质的受体	(184)
四、基础代谢和基础代谢率	(147)	五、外周和中枢神经递质	(187)
第二节 体温及其调节	(147)	第二节 神经系统活动的一般规律	(193)
一、体温	(148)	一、神经反射	(193)
二、机体的产热和散热	(148)	二、条件反射与非条件反射	(194)
三、体温调节	(150)	三、中枢抑制	(196)
第八章 尿的生成与排出	(152)	第三节 神经系统的感觉功能	(197)
第一节 肾脏的机能解剖	(152)	一、感受器(受体)	(197)
一、肾脏的解剖学特点	(152)	二、脊髓在感觉功能中的作用	(198)
二、肾脏的神经支配	(153)	三、脑干网状结构与非特异投射系统	(198)
三、肾脏的血液循环	(153)	四、丘脑的作用	(199)
第二节 尿生成过程	(154)	五、皮层感觉区	(199)
一、肾小球的滤过机能	(155)	六、感觉信息的编码	(199)
二、肾小管的重吸收和分泌	(157)	第四节 神经系统的运动调控功能	(201)
第三节 尿生成的调节	(165)	一、脊髓对运动的调节	(201)
一、肾内自身调节	(165)	二、脑干对运动功能的调节作用	(203)
二、神经体液调节	(165)	三、高位中枢对低位反射中枢的调节作用	(203)
第四节 尿液的浓缩和稀释	(169)	四、随意运动	(204)
一、尿液的稀释	(169)	第五节 自主神经系统(或植物神经系统)	(206)
二、尿液的浓缩	(169)	一、自主传入神经	(206)
三、髓质渗透梯度形成的机制	(170)	二、自主传出神经	(209)
四、直小血管在保持肾髓质高渗中的作用	(171)	三、自主神经系统的整合作用	(213)
五、尿生成调节小结	(171)	四、肠壁神经系统	(217)
第五节 肾功能检查	(172)	第十章 内分泌	(218)
一、清除率的概念	(172)	第一节 概述	(218)
二、尿的浓缩稀释试验	(173)	一、内分泌系统和激素的基本概念	(218)
三、血液透析	(174)	二、激素的分类	(218)
第六节 尿的排出	(174)	三、激素作用的一般特性	(220)
一、膀胱与尿道的神经支配	(174)	四、激素作用的机制	(221)
二、排尿反射	(174)	五、激素分泌及其调节	(224)
三、排尿异常	(174)		
第九章 神经系统	(176)		
第一节 神经系统的基本结构的功能	(176)		
一、神经元	(176)		
二、突触	(180)		

第二节 下丘脑的内分泌功能·····	(224)	一、眼的折光系统及其调节·····	(241)
一、下丘脑调节肽·····	(224)	二、视网膜的结构和两种感光换能系统·····	(244)
二、调节下丘脑肽能神经元活动的递质·····	(226)	三、视杆细胞的感光换能系统·····	(245)
第三节 垂体·····	(226)	四、视锥系统的换能和颜色视觉——三原色学说·····	(246)
一、腺垂体·····	(226)	五、与视觉有关的其他现象·····	(246)
二、神经垂体·····	(229)	第三节 听觉器官·····	(247)
第四节 甲状腺·····	(230)	一、人耳的听阈和听域·····	(247)
一、甲状腺激素的合成与代谢·····	(230)	二、外耳和中耳的传音作用·····	(248)
二、甲状腺激素的生理作用·····	(232)	三、耳蜗的感音换能作用·····	(248)
三、甲状腺功能的调节·····	(232)	第四节 前庭器官·····	(249)
第五节 甲状旁腺和甲状腺 C 细胞·····	(233)	一、前庭器官的感受装置和适宜刺激·····	(250)
一、甲状旁腺激素·····	(233)	二、前庭反应和眼震颤·····	(251)
二、降钙素·····	(234)	第十二章 生殖系统·····	(252)
第六节 肾上腺·····	(235)	第一节 男性生殖·····	(252)
一、肾上腺皮质·····	(235)	一、睾丸的精子生成·····	(252)
二、肾上腺髓质·····	(237)	二、睾丸的内分泌功能·····	(253)
第七节 胰岛·····	(237)	三、睾丸功能的调节·····	(253)
一、胰岛素·····	(237)	第二节 女性生殖·····	(255)
二、胰高血糖素·····	(237)	一、卵巢卵泡的发育·····	(255)
第十一章 感觉器官·····	(239)	二、黄体的形成·····	(256)
第一节 概述·····	(239)	三、卵泡发育的激素调节·····	(257)
一、感受器、感觉器官的定义和分类·····	(239)	四、卵巢的内分泌功能·····	(259)
二、感受器的生理特性·····	(239)	五、妊娠·····	(261)
第二节 视觉器官·····	(240)	生理学常用词汇·····	(265)

第一章 绪 论

内 容 提 要

生理学 (physiology) 是一门研究生物体生命活动规律的科学。它是生物科学的一个分支。人体生理学侧重于探讨人体及组成部分的生命活动的规律和机制。本章主要介绍生理学的研究对象、基本任务、生理学的基本研究方法, 机体稳态及其调控对机体生命活动的重要意义, 生理学与其他自然科学的关系, 生理学在医学中的地位。

第一节 生理学的内容和任务

一、生理学的任务

生理学 (physiology) 是生物科学的一个分支, 它是一门研究生物机体及各组成部分功能及活动规律的科学。单细胞生物体的全部生命活动都发生在一个细胞内, 在多细胞生物, 不同的细胞群构成各个器官和系统, 行使不同的功能, 如消化、呼吸、循环、肌肉收缩、腺体分泌等。生理学是以活生命体 (包括活器官、活细胞) 为研究对象, 研究各种生命现象的活动变化规律。人体生理学则以人体及组成人体的各个系统、器官及细胞为研究对象, 研究人体及各个器官、细胞功能表现的内部机制; 不同细胞、器官、系统之间的相互联系和相互作用, 从而使人们认识到人体作为一个整体, 其各部分的功能活动是如何相互协调、相互制约, 在复杂多变的环境中维持正常的生命活动。

生理学的发展与医学的发展有非常密切的关系, 人们必须在了解正常人体各个组成部分功能的基础上, 才能理解在各种疾病情况下身体某个或某些部分发生的变化, 器官在疾病时发生的功能变化与形态变化之间的关系, 一个器官发生病变如何影响其他器官等等。因此生理学也是一门基础医学科学。

生理学不仅是一门理论性很强的科学, 而且也是一门实验性科学。生理学的理论主要来自于实验研究。从生理学的发展史来分析, 生理学真正成为一门实验性科学是从 17 世纪开始的。在此之前, 我国和其他国家虽然也有不少著作描述人体器官的生理功能, 但这些描述多为推测性的。在 17 世纪初, 英国生理学家哈维 (William Harvey) 首先用活体解剖和科学实验的方法研究了动物的血液循环, 证明心脏是循环系统的中心, 血液由心脏射入动脉, 再由静脉回流入心, 不断循环。1628 年, Harvey 的著作《心与血的运动》面世, 这是历史上第一本基于实验证据的生理学著作。

作为一门实验性科学，生理学的发展与其他自然科学的发展有着不可分割的密切关系，并且相互促进。其他自然科学的发展，以及新的技术也不断被应用于生理学实验中。显微镜的问世，使微循环变化规律的研究取得进展；生物电放大记录系统的问世，使人们可以观察细胞膜生物电变化，有力地推动了心肌及神经活动规律的研究；集成电路技术、激光技术、纳米技术、电化学技术、分子生物学技术等等，均使生理学的知识和理论不断得到丰富和新的发展。使人们对生命活动现象及规律产生本质性认识。

二、生理学研究的三个水平

构成机体的最基本功能单位是细胞 (cell)，由许多不同的细胞构成器官 (organ)。行使某生理功能的不同器官互相联系，构成一个器官系统 (organ system)。整个身体就是由各个器官系统互相联系、互相作用而构成的一个复杂的整体。因此，生理学研究可以从分子和细胞、器官和系统、整体三个水平进行。这三个水平的功能又是紧密联系的。

(一) 细胞和分子水平的研究

这个水平主要是指细胞和构成细胞的分子，这方面的理论称为细胞生理学 (cell physiology) 或普通生理学 (general physiology)。各种细胞的特性决定着各器官的功能，例如，肌肉的功能是由肌细胞的生理特性决定的，腺体的分泌功能是由腺细胞的生理特性决定的。从细胞的水平上进行的研究，在多数情况下，需将某种组织细胞从整体取下后，在一定的环境条件下对其功能进行研究。因此，在分析研究结果时，必须注意到一定的结果是在一定的条件下获得的，不能简单地把在离体实验中得到的结果直接用来推测或解释该细胞在完整机体中的功能或所起的作用。在完整机体内，细胞所处的环境比在离体实验时复杂得多，因此对于某种细胞在完整机体中的生理功能的分析，必须考虑到细胞在体内所处的环境条件及这些环境条件可能发生的变化。

细胞的生理特性是由构成细胞的各个分子的物理化学特性决定的，特别是生物大分子。例如肌肉细胞发生收缩，是由于肌细胞内含有若干种特殊的蛋白质分子，在某些离子浓度改变及酶的作用下发生变化的结果。细胞的生理特性又取决于其特殊的基因，在不同环境条件下基因的表达也可发生改变。其表达产物蛋白质分子也将出现相应的变化，导致功能变化。

(二) 器官和系统水平的研究

这方面着重于阐明器官或系统的功能、它在机体中所起的作用、它的功能活动的内在机制，以及调控其活动的各种影响因素。例如要了解循环系统中心脏如何射血、血液在血管系统中流动的规律、各种神经和体液因素对心脏和血管活动的影响等，就要以心脏、血管和循环系统作为研究对象进行研究。

(三) 整体水平的研究

从整体水平上的研究，就是以完整的机体为研究对象，观察和分析在各种生理条件下不同的器官、系统之间互相联系、互相协调的规律。在整体情况下，机体活动并不等于心、肺、肾等器官生理功能的简单总和。只有各个器官、系统之间发生相互联系和相互影响，各种功能互相协调，才能使机体成为一个完整的整体，在变化的环境中维持正常的生命活动。

上述三个水平的研究，它们相互间不是孤立的，而是互相联系、互相补充的。要阐明某一生理功能的机制，一般需要对细胞和分子、器官和系统以及整体三个水平的研究结果进行分析和综合，得出比较全面的结论。

第二节 机体的内环境

机体所处的外界环境称为外环境 (external environment), 如阳光、空气等。社会环境也影响人体的功能, 也属于外环境范畴。机体不断调整功能状态以适应外环境的变化。机体内细胞所直接生存的环境称为内环境 (internal environment), 也称为细胞外液 (extracellular fluid), 包括血浆和组织液 (interstitial fluid)。而分布在细胞内的部分称为细胞内液 (intracellular fluid)。二者总共占体重的 60% (见图 1-1)。



图 1-1 体内液体的分布和比例

细胞外液和细胞内液的成分有很大差别。这种差别得以维持取决于细胞膜的结构以及细胞膜上的一些特殊的蛋白质分子的功能 (详见第二章)。细胞外液主要由组织液和血浆组成。不仅为细胞直接提供必要的物理和化学条件, 而且为细胞生存提供营养物质并接受细胞代谢产生的尾产物。对细胞而言, 它是细胞生存的外环境, 但对机体而言则是机体的内环境。机体内环境中的各项物理、化学因素是保持相对稳定的, 称为内环境稳态 (homeostasis)。内环境稳态是一个非常重要的生理学概念。内环境稳态是细胞维持正常生理功能的必要条件, 也是机体维持正常生命活动的必要条件。内环境稳态并不是说内环境的理化因素是静止不变的, 相反, 由于细胞不断进行代谢, 就不断与内环境发生物质交换, 也就不断地扰乱或破坏内环境的稳态; 外界环境因素的改变也可影响内环境稳态。体内各个器官、组织的功能往往都是从某个方面参与维持内环境稳态。例如肺的呼吸活动可补充细胞代谢消耗的 O_2 , 并排出代谢产生的 CO_2 , 维持细胞外液 O_2 和 CO_2 分压的稳态; 胃肠道的消化、吸收可补充细胞代谢所消耗的各种营养物质; 肾的排泄功能将各种代谢产物排出体外, 从而使细胞外液中各种营养物质和代谢产物的浓度维持相对稳定。总之, 内环境稳态是细胞、器官维持正常生存和活动的必要条件; 各种细胞、器官的活动又能维持内环境稳态。生理学的大量内容都是关于各个器官、细胞是如何在维持内环境稳态中起作用的, 细胞外液的各种因素 (例如 O_2 和 CO_2 的分压、pH、各种离子和葡萄糖浓度等), 在正常生理状态下都保持在一定的水平, 其变动范围很小, 如超出一定的范围, 就可能引起疾病; 反过来, 在疾病情况下, 细胞外液的某些成分会发生变化, 超出正常变化范围。一般而言, 当某些环境变化或疾病时, 内环境发生改变, 机体许多器官可发生代偿性的活动改变, 使内环境的各种成分重新恢复正常; 如果器官、细胞的活动改变不能使内环境的各种成分恢复正常, 则内环境可进一步偏离正常, 使细胞和整个机体的功能发生严重障碍, 甚至死亡。

第三节 生命活动的基本特征

人体生命活动包括四个基本特征: 新陈代谢、兴奋性、适应性和生殖。

一、新陈代谢

新陈代谢 (metabolism) 是生命现象的基本表现。它包括合成代谢和分解代谢两个方面。

机体从环境中摄取营养物质，合成为自身物质的过程称为合成代谢（anabolism）。机体分解其自身成分并将分解产物排出体外的过程称为分解代谢（catabolism）。

机体生命活动需要不断地自外界摄取营养物质，并在体内经过化学变化以及不断地向外界排出自身和外来物质的分解产物，这一过程称为物质代谢。物质代谢是生命的物质基础，使构成细胞的生物分子在物质交换的过程中不断更新，保证生命活动正常运行。

与物质代谢相伴随的是能量的摄取及其在体内的转换、利用、贮存和排出，这个过程称为能量代谢。物质代谢是能量代谢的基础，也是能量的根本来源。物质在体内进行化学转化过程中产生能量，用以机体活动的需要和体温的维持，多余的能量则以热的形式散发到体外。因此，新陈代谢包括两个部分：物质代谢和能量代谢，二者是生命活动必不可少的。

二、兴奋性

兴奋性（excitability）是生活机体的另一个重要特征，同时也说明了生活机体与周围环境的另一种关系，即机体生存的环境条件改变时能引起机体活动的变化。这种特性不仅完整机体有，组成机体的每一种活组织或活细胞也具有这种特性。细胞直接生存的环境（称为内环境）条件改变时同样引起活组织或活细胞发生活动的变化。生理学将能引起反应的内外环境条件的变化称为刺激（stimulus），刺激引起的机体或组织细胞活动的变化称为反应（response）。反应是刺激引起的，反应本身又是生命活动的特征，因此，广义地说，兴奋性是指生活的机体或活组织细胞对刺激发生反应的能力。近些年来，人们对兴奋性提出了更本质的理解。认为兴奋性的实质是细胞在受刺激时产生动作电位的能力。兴奋就是指产生了动作电位。

1. 刺激 生活的机体或组织细胞所生存的环境，条件复杂、多变，有一些环境条件变化与机体活动无关，有一些能被机体或组织细胞所感受，并使它们的活动发生变化。这种正在变化的并能被机体所感受的内外环境条件被称为刺激（stimulus）。

根据性质不同可将刺激分为：机械的（包括振动、扩张、压力）、化学的、温度的、电的、声的、光的、生物的、放射性的等等，都存在时间的阈值。

2. 反应 反应（response）是机体、器官、组织细胞对各种刺激所产生的特异性功能表现。如肌肉收缩、神经传导、腺体分泌、纤毛运动、变形运动等等。这些功能表现若在感受有效刺激后明显加强，生理学中称其为兴奋（excitation）；感受有效刺激后功能表现明显减弱，则称为抑制（inhibition）。抑制并不是无反应，而是与兴奋过程相对立的另一种主动过程。如在动物实验中，以电刺激家兔颈部交感神经，动物的心跳加快、加强（兴奋）；若刺激颈部迷走神经，心跳减慢、减弱，甚至停止（抑制）。

3. 可兴奋组织 神经、肌肉、腺体三种组织在接受有效刺激后，在表现功能变化之前，首先出现的是受刺激部位的电位变化，并迅速地沿神经纤维或肌肉纤维扩布，生理学将这种可扩布的电位变化称为动作电位。此电位变化可用特殊的仪器检测出来。神经、肌肉、腺体三种组织均能在接受刺激后迅速产生特殊生物电反应，因此三者被称为可兴奋组织（excitable tissue）。

三、适应性

完整机体在对外界环境变化所发生的反应中，经常不断地调整体内各部分的机能及相互关系，保持内环境的稳定，以利于正常的生命活动，维持生存。机体这种根据外环境情况而

调整体内各部分活动和关系的功能称为适应性 (adaptability)。根据反应可将适应分为行为适应和生理适应。

行为适应常有躯体活动的改变,如机体处在低温环境中会出现产热活动,遇到伤害性刺激时会出现躲避活动。这种适应在生物界普遍存在,属于本能性行为适应。在人类,由于大脑皮层的发达,使行为适应更具有主动性,通过意识活动和社会劳动来改造世界,创造更有利于自身生存的条件。

生理适应系指身体内部的协调性反应,如人到高海拔低氧环境中生活时,血液中红细胞和血红蛋白均增加,以增强运输氧的能力,使机体在低氧条件下仍能进行正常活动。又如在强光照射时,人的瞳孔缩小,以减少光线进入眼内,使视网膜免遭损伤。这些反应都是适应性的表现。生理适应则以体内各器官、系统活动的改变为主。

四、生殖

人类和其他生物一样,个体生长发育到一定阶段后,能够产生与自己相似的子代个体,这种功能称为生殖 (reproduction) 或自我复制 (self-replication)。所不同的是人类及高等动物已经分化为雄性与雌性两种个体,各自发育雄性生殖细胞和雌性生殖细胞,由这两种生殖细胞结合以后才能产生子代个体。通过生殖人类和生物得以延续,所以生殖是生命的特征之一。

第四节 生理功能的调节

在机体处于不同的生理情况时,或当外界环境发生改变时,体内一些器官、组织的功能活动会发生相应的改变,最后使机体能适应各种不同的生理情况和外界环境的变化,也可使被扰乱的内环境重新得到恢复,这种过程称为生理功能的调节 (regulation)。机体对各种功能活动的调节方式主要有三种,即神经调节 (nervous regulation 或 neuroregulation), 体液调节 (humoral regulation) 和自身调节 (autoregulation)。

一、神经调节

神经调节 (neuroregulation) 是通过神经系统的活动实现的。神经系统活动时能够传导其兴奋时所产生的电位变化,生理学称其为神经冲动。神经系统正是通过神经冲动的传导影响其他器官的活动的,这一过程称为神经调节。神经系统活动的基本过程是反射 (reflex), 反射活动的结构基础称为反射弧 (reflex arc)。反射弧由五个基本成分组成,即感受器、传入神经纤维、神经中枢、传出神经纤维和效应器。感受器能够感受体内某部位或外界环境的变化,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神经中枢,中枢对传入信号进行分析,并作出反应,通过传出神经纤维改变效应器的活动。在各章学习中,都会具体讲述神经系统对机体某种生理功能的调节过程。这里以肢体躲避反射为例,当肢体皮肤接触铁钉时,皮肤感受器将信息经传入神经传给脊髓反射中枢,整合后发出冲动经传出神经传给肢体肌肉,屈肌收缩产生躲避反应,免受伤害 (见图 1-2)。再如,在生理情况下动脉血压是保持相对稳定的,当动脉血压高于正常时,分布在主动脉弓和颈动脉窦的压力感受器能感受血压的变化,并将血压变化转变为神经冲动,后者通过传入神经纤维到达延髓的心血管中枢,心血管中枢对传入的神经信号进行分析,然后通过迷走神经和交感神经传出纤

维，改变心脏和血管的活动，最后使动脉血压回降。这个反射称为压力感受性反射，也称为减压反射，对于维持动脉血压的稳态起着十分重要的作用（见第四章）。神经系统对骨骼肌运动的调节，使机体的动作能够准确、精巧、协调，因而具有重要的生理意义。

神经调节的特点是迅速、作用准确、作用时间短暂和表现自动化。这与神经传导速度快、传出纤维与效应器成对应性联系有关。另外，感受器接受刺激具有特异性，只要某一种特异刺激的强度和变化速率达到一定程度，就能刺激相应的感受器，进而通过反射途径引起有关效应器的规律性反应。

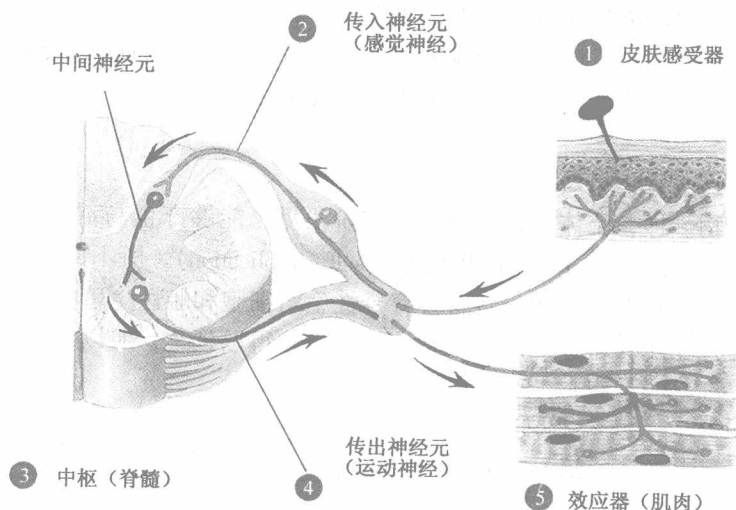


图 1-2 反射弧的基本组成

二、体液调节

体液调节 (humoral regulation) 是指体内产生的一些化学物质通过组织液或血液循环影响某种组织或器官的活动。这一类化学物质包括激素（内分泌腺和散在分布的内分泌细胞所分泌）、细胞代谢产物（如 CO_2 、乳酸）以及组胺、5-羟色胺、腺苷酸等。

激素 (hormone) 随体液运到全身或某些特殊的组织细胞，通过细胞上相应受体，调节这些组织细胞的活动。例如胰岛 B 细胞分泌的胰岛素能调节细胞的糖代谢，促进细胞对葡萄糖的摄取和利用，在维持血糖浓度稳定中起重要作用。有一些激素可不经血液运输，而是经由组织液扩散作用于邻近的细胞，调节这些细胞的活动，称为旁分泌 (paracrine)，是一种局部性的体液调节。另外，下丘脑内有一些神经细胞也能合成激素，激素随神经轴突的轴浆流至末梢，由末梢释放入血，这种方式称为神经分泌 (neurosecretion)。有的激素分泌后作用于该细胞本身，称自分泌 (autocrine)。除激素外，体内有些物质，包括某些代谢产物（例如 CO_2 ），对有些细胞、器官的功能也能起调节作用。

体液调节的特点是传导较慢、作用面广泛、作用持久，比神经传导的时间长得多，而且随血液流向全身各个部位。

许多激素的分泌直接或间接地受神经系统的控制，实际上激素的分泌成为神经调节的一部分，是反射弧传出通路上的一个分支和延伸。如交感神经兴奋时，既通过传出神经直接作用于心血管和胃肠道，同时又引起肾上腺髓质激素的分泌，通过血液循环作用于心血管和胃肠道。这种复合调节方式被称为神经-体液调节 (neuro-humoral regulation)，而神经调节起主

导作用（见图 1-3）。

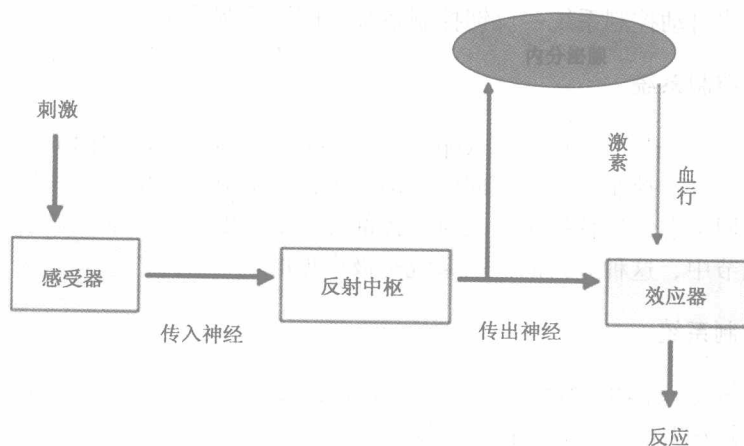


图 1-3 神经—体液调节模式图

三、自身调节

许多组织、细胞自身也能对周围环境变化发生适应性的反应，这种反应是组织、细胞本身的生理特性，并不依赖于外来的神经或体液因素的作用，所以称为自身调节（autoregulation）。自身调节的特点是影响范围小，效应也小，对刺激的敏感性较低。图 1-4 为离体肾血流量和肾动脉灌注压的关系实验坐标图，当肾动脉灌注压在 80 ~ 180 mmHg（10.7 ~ 24 kPa）范围内变动时，肾血流量保持不变。因为当肾动脉压力升高时，对血管壁的牵张刺激增加，小动脉的血管平滑肌收缩，使小动脉的口径缩小，因此其血流量不致增大。这种自身调节对于维持组织局部血流量的相对恒定起一定的作用。

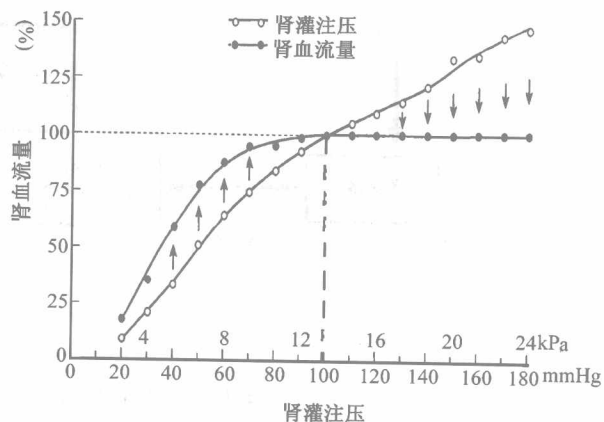


图 1-4 肾血流量的自身调节

第五节 体内的控制系统

利用工程技术的控制论原理来分析人体许多功能的调节，可见功能调节过程和控制过程有共同的规律。人体内存在着数以千计的各种控制系统。在一个细胞内也存在着许多极其精细复杂的控制系统，从细胞和分子水平上对细胞的各种功能进行调节。这些将在细胞生物学、分子生物学和生物化学等课程中学习，生理学课程只侧重于讲授器官和整体水平上的各种控制系统，即器官内各个部分之间的功能调控以及不同器官之间的功能调控。例如，神经系统对呼吸系统功能活动的调控，可以使机体内环境中 O_2 和 CO_2 的分压保持稳态；神经系统和多种体液因素对心血管系统功能活动的调控，可以使动脉血压保持稳态，等等。

任何控制系统都由控制部分和受控部分组成。从控制论（cybernetics）的观点来分析，控制系统可分为非自动控制系统、反馈控制系统和前馈控制系统三大类。

一、非自动控制系统

非自动控制系统是一个开环系统（open-loop system），即系统内受控部分的活动不会影响控制部分的活动。这种控制方式是单向的，即只由控制部分发出活动指令控制受控部分，受控部分则不能返回信息。这种控制方式对受控部分的活动实际上不能起调节作用。在人体正常生理功能的调节中，这种方式的控制系统是极少见的。

二、反馈控制系统

反馈控制系统是人体生命活动最常见的控制系统，它是一个闭环系统（closed-loop system），即控制部分发出信号指示受控部分发生活动，受控部分则发出反馈信号返回到控制部分，使控制部分能根据反馈信号来改变自己的活动，从而对受控部分的活动进行调节。可见，在这样的控制系统中，控制部分和受控部分之间形成一个闭环联系。在反馈控制系统中，反馈信号对控制部分的活动可发生不同的影响。在正常人体内，大多数情况下反馈信号能减低控制部分的活动，即负反馈（negative feedback）；在少数情况下反馈信号能加强控制部分的活动，为正反馈（positive feedback）（见图 1-5）。

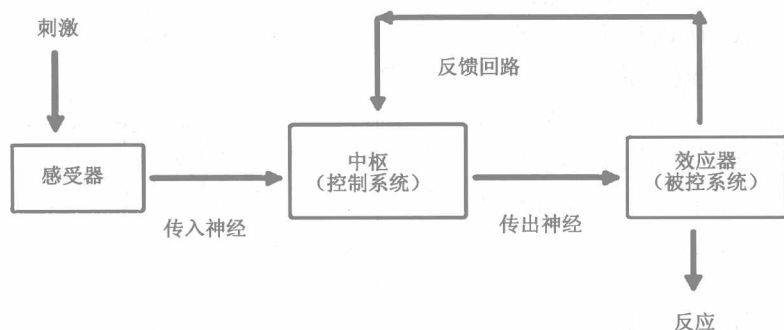


图 1-5 机体功能的自动控制系统模式图

（一）负反馈控制系统

机体内的负反馈控制系统对于维持内环境稳定非常重要。正常情况下，一个系统的活动处于某种平衡或稳定状态。如果在某种外界因素的作用下，使该系统的受控部分活动增强，则该系统原先的平衡或稳态遭受破坏。但在负反馈控制系统存在情况下，活动增加的受控部分可通过反馈机制传递至控制部分，控制部分经分析后，发出指令使受控部分活动转为减弱，使反应再向平衡恢复的方向发展；反之，如果受控部分活动过低，可通过反馈机制使其活动增强，结果也向平衡状态恢复的方向转变。因此，负反馈控制系统的作用是使系统保持稳定。机体内环境之所以能维持稳态，就是因为机体内有许多负反馈控制系统的存在。

例如，细胞外液中的 O_2 和 CO_2 通过肺呼吸与外界大气进行交换。呼吸运动则是由脑内呼吸中枢控制，组织、细胞的新陈代谢需要不断从细胞外液中摄取 O_2 ，并将代谢产物释放到细胞外液；当组织、细胞的代谢明显增强时，细胞外液就可能发生 O_2 的减少和 CO_2 的积聚，而不利于细胞生存。然而，当细胞外液中 O_2 分压稍有降低或 CO_2 分压稍有升高时，这些信息就能很快反馈到呼吸中枢，后者发出指令使呼吸运动加深加快，从而增加肺部气体的