



新世纪高等中医药院校中西医结合系列教材
XINSHIJIGAODENGZHONGYIYAORYUANXIAO
ZHONGXIYIJIEHEXILIEJIAOCAI

主编◎许 红

生理学

SHENGLIXUE

[供各类高等中医、中西医结合专业用]



中医古籍出版社

新世纪高等中医药院校中西医结合系列教材

生 理 学

(供各类高等中医、中西医结合临床专业用)

主 编 许 红

编 委 (按姓氏笔画为序)

王 慧 史 琴 许 红 陈代勇

周 慧 国忠良 彭 芳

主 审 殷松生

中医古籍出版社

责任编辑 刘从明 孙志波

封面设计 于天水

图书在版编目 (CIP) 数据

生理学/许红编著. —北京: 中医古籍出版社, 2004.8

ISBN 7-80174-257-5

I. 生… II. 许 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 077254 号

中医古籍出版社出版发行

(北京东直门内南小街 16 号 100700)

全国各地新华书店经销

北京市兴怀印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开 17.75 印张 450 千字

2004 年 8 月第一版 2004 年 8 月第一次印刷

印数: 0001~4500 册

ISBN 7-80174-257-5/R·256

定价: 25.00 元

编写说明

本教材编写指导思想的确基于以下几点：

首先，在医学基础学科范围内，生理学是研究正常人体生命活动规律的重要基础学科之一。现代生理学从哈维发现血液循环奠基算起已有近四百年的历史，但仍然是一门年轻的、朝气蓬勃的、发展日新月异的学科，尤其是近年来由于大量现代科学技术知识、方法和手段的引入，生理学自身的理论体系、研究方法和手段正在发生深刻的变化，不少传统的经典的理论认识正受到新的质疑和挑战，生理学和医学临床实践的关系日益紧密，因此，人体各个系统的生理学教学内容都需要更新，以适应现代临床医学模式从传统的“经验医学模式”向新兴的“循证医学模式”的转变。本系列教材的编写，是为适应培养新世纪中西医结合人才的需要，要求具有必备的中西医基础理论知识和较强的实际工作能力，因此必须注意全面推进素质教育，给学生将来的发展奠定较为扎实的基础。我们在编写这本教材时，确定了较高的目标，希望能在全套教材总的指导思想的指导下，结合生理学课程改革的最新进展，编写出一本具有自身特色的、质量较高的、适应面较宽的教材。在编写内容上既强调“必备”和“实用”，又重视一些新的思想观念和知识、方法的引入，特别强调对学生创新意识和实际应用知识能力的培养。

其次，多年来，国内不少生理学工作者和中医工作者合作，致力于中西医结合在生理学领域内的基础理论研究和实验研究，取得了相当多的成果，有关中西医结合生理学研究的专著已出版多部，但笔者认为，从总体上讲，中西医结合生理学作为一门独立学科，仍然处于建构的过程之中。作为中医药院校的生理学工作者，当前最重要的任务是如何利用生理学的知识和研究方法、手段，更好地为中医药事业，包括中医药教育、科研、医疗和产品开发服务，中西医结合生理学的建立，应该是我们的一个长远目标。因此，本教材的设计，仍然保持了传统的生理学学科体系框架，在中西医结合方面务求恰当，力戒牵强附会地把中医传统理论与现代生理学知识捏合。

第三，我们曾经在生理学的教学方法和实验教学改革方面进行过一些初步的探索，取得了一定的成效。其中“发现式教学法在生理学教学中的应用

研究”获1993年全国普通高校优秀教学成果国家级二等奖，“中医院校生理学实验教学改革研究”获2001年全国普通高校优秀教学成果省级二等奖。在完成以上两个教学研究课题中，我们注意应用创造教育的一些思想和方法，寓德育于智育之中，让学生在学习生理学知识和方法的过程中，受到潜移默化的先进的认识论、方法论的熏陶，树立严谨的科学作风，培养崇尚真理的科学精神和“只唯实”的科学态度。我们还注意从青年学生的心理特点出发来安排教学内容及讲授方式，注意各个教学环节都要符合认知规律和教学规律，有利于学生知识、能力和素质的协调发展，促进学生全面素质的提高。在制定本教材的编写计划时，我们也希望能把以上思想和方法渗透到教材中去，使我们在生理学教学方法改革中获得的一些新认识和新成果能够在本教材中得到一定程度的体现。

基于以上三点和系列教材编审委员会确定的指导思想和目标，我们对本教材的编写确定了下列指导思想和原则：

根据专业总体培养目标的要求，在本学科范围内，介绍最基本的必须的生理学知识，为学生进行后续课程的学习及进入临床专业课的学习奠定较扎实的生理学基础。在不影响生理学学科体系完整性的前提下，强调必备、够用和临床联系最密切的基础知识的阐述。适当结合生理学发展史上典型事件的介绍，把辩证唯物主义的方法论思想及其创造性思维贯穿在具体知识的传授中。恰当地应用生理学的理论知识解释中医学在有关病因、病机、症状、体征上的发现和论述，但注意不要牵强附会。本教材编写不要求面面俱到，而应给教师在使用本教材时，留有较多的可以发挥的空间。对于本学科学术的新进展，特别是与临床关系密切的新知识，可作适当的介绍。

全体编委对本教材的编写工作十分重视，曾经多次会议交流、讨论，各尽其力，反复修改，方得以完成全书，但由于我们水平所限，虽然进行了一些新的探索，确定的目标并未能完全实现，教材中的不妥甚至错误之处均在所难免，祈望同行专家和广大师生给予批评、指正。

编 者

2004年3月1日

目 录

第一章 绪言	(1)
第一节 生理学概述	(1)
第二节 生理研究的三个水平	(2)
一、细胞、分子水平的研究	(2)
二、器官、系统水平的研究	(2)
三、整体水平的研究	(3)
第三节 生理功能的调节	(3)
一、神经调节	(3)
二、体液调节	(4)
三、自身调节	(4)
第四节 生理功能的自动控制原理	(4)
一、反馈控制系统	(4)
二、前馈控制系统	(5)
第二章 细胞的基本功能	(6)
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能	(6)
一、细胞膜的结构和化学组成	(6)
二、细胞膜的物质转运功能	(7)
三、胞纳与胞吐	(10)
第二节 细胞的跨膜信号转导功能	(10)
一、G 蛋白耦联受体介导的信号转导	(11)
二、酶耦联受体介导的信号转导	(13)
三、离子通道介导的信号转导	(14)
四、缝隙连接介导的跨膜转导	(14)
第三节 细胞的生物电现象	(14)
一、生物电现象的观察和记录方法	(15)
二、细胞的跨膜静息电位和动作电位	(15)
三、动作电位的引起和传导机制	(19)
第四节 骨骼肌的收缩	(22)
一、骨骼肌的微细结构	(22)
二、骨骼肌的兴奋收缩耦联	(24)
三、骨骼肌的收缩机制	(24)
四、骨骼肌收缩的外部表现和力学分析	(26)
第三章 血液	(29)
第一节 血液的组成和理化特性	(29)

一、血液的基本组成	(29)
二、血浆的成分及功能	(29)
三、血液的理化特性	(30)
四、血液的生理功能	(31)
第二节 血细胞生理	(32)
一、红细胞	(32)
二、白细胞	(33)
三、血小板	(35)
四、血细胞的生成及破坏	(38)
第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解	(42)
一、血液凝固	(42)
二、抗凝系统	(46)
三、其它影响血凝的因素	(47)
四、纤维蛋白溶解系统和纤溶抑制物	(47)
第四节 血型与输血	(51)
一、红细胞凝集现象	(51)
二、血型抗原和血型抗体	(51)
三、ABO 血型系统	(52)
四、Rh 血型系统	(55)
五、血量和输血原则	(56)
第四章 血液循环	(58)
第一节 血液循环的发现	(58)
一、古代自然哲学时期对血液循环现象的认识	(58)
二、文艺复兴时代为血液循环的最终发现作了充分的准备	(61)
三、哈维发现血液循环, 从而最终完成了为现代生理学的奠基	(62)
四、血液循环发现史给我们的几点启迪	(63)
第二节 血液循环系统概述	(65)
第三节 心肌细胞的生物电现象	(66)
一、心肌细胞的功能结构特点	(66)
二、心肌细胞的生物电活动	(67)
第四节 心肌细胞的生理特性	(69)
一、自动节律性	(69)
二、传导性	(70)
三、兴奋性	(71)
四、收缩性	(73)
第五节 心脏的泵血功能	(74)
一、心动周期和心率	(74)
二、心脏的泵血过程	(75)
三、心脏泵血功能的评价	(76)

四、影响心输出量的因素	(77)
五、心泵功能储备	(78)
第六节 心音与心电图	(78)
一、心音	(78)
二、心电图	(79)
第七节 血管生理	(81)
一、各类血管的结构和功能特点	(81)
二、动脉血压	(82)
三、动脉脉搏	(85)
四、静脉血压和静脉回流	(87)
五、微循环	(89)
六、组织液和淋巴液	(91)
第八节 心血管活动的调节	(94)
一、神经调节	(94)
二、体液调节	(100)
三、自身调节	(103)
四、动脉血压的长期调节	(103)
第九节 心、肺和脑的血液循环	(104)
一、冠脉循环	(104)
二、肺循环	(105)
三、脑循环	(106)
第五章 呼吸生理	(109)
第一节 肺通气	(109)
一、呼吸道的结构特征和功能	(109)
二、肺泡的结构和功能	(110)
三、肺通气原理	(113)
四、肺容积和肺容量	(116)
五、肺通气量	(118)
第二节 呼吸气体的交换	(119)
一、气体交换的原理	(119)
二、肺换气	(120)
三、组织换气	(122)
第三节 气体在血液中的运输	(122)
一、气体在血液中的存在形式	(122)
二、氧的运输	(123)
三、二氧化碳的运输	(125)
第四节 呼吸运动的调节	(126)
一、呼吸中枢与呼吸节律的形成	(127)
二、呼吸运动的反射性调节	(129)

第六章 消化和吸收	(134)
第一节 消化生理学发展史	(134)
一、18 世纪及其以前的消化生理学	(134)
二、著名的马丁胃痿试验及其历史意义	(135)
三、巴甫洛夫的巨大贡献	(135)
四、结语	(137)
第二节 概述	(138)
一、消化方式	(138)
二、消化道平滑肌	(138)
三、消化腺的分泌功能	(139)
四、胃肠道的神经支配及其作用	(140)
五、消化道的内分泌功能	(141)
第三节 口腔内消化	(142)
一、唾液分泌	(143)
二、咀嚼和吞咽	(143)
第四节 胃内消化	(144)
一、胃液分泌	(144)
二、胃运动	(149)
第五节 小肠内消化	(151)
一、胰液分泌	(151)
二、胆汁的分泌和排出	(152)
三、小肠液的分泌	(154)
四、小肠运动	(154)
第六节 大肠内消化	(156)
一、大肠液的分泌及其作用	(156)
二、大肠内细菌的作用	(156)
三、大肠运动和排便反射	(157)
第七节 吸收	(157)
一、吸收的部位	(157)
二、吸收的途径	(158)
三、小肠内主要营养物质的吸收	(159)
第七章 能量代谢与体温	(162)
第一节 能量代谢	(162)
一、机体的能量来源和能量转化	(162)
二、能量代谢的测定	(163)
三、能量代谢率和基础代谢率	(165)
四、影响能量代谢的主要因素	(166)
第二节 体温及其调节	(166)
一、体温	(166)

二、机体的产热和散热	(168)
三、体温的调节	(169)
第八章 尿的生成和排出	(171)
第一节 肾脏的结构和血液循环特点	(171)
一、肾脏的功能结构特点	(171)
二、肾血液循环的特征及其调节	(174)
第二节 肾小球的滤过功能	(175)
一、滤过膜及其通透性	(176)
二、有效滤过压	(177)
三、影响肾小球滤过的因素	(178)
第三节 肾小管和集合管的重吸收	(179)
一、肾小管与集合管的重吸收方式	(179)
二、几种重要溶质和水的重吸收	(179)
第四节 肾小管和集合管的分泌	(182)
一、 H^+ 的分泌	(182)
二、 K^+ 的分泌	(183)
三、 NH_3 的分泌	(183)
第五节 尿液的浓缩和稀释	(183)
一、尿液的稀释	(183)
二、尿液的浓缩	(183)
三、肾髓质高渗梯度的形成和保持	(184)
第五节 尿生成的调节	(186)
一、肾内自身调节	(186)
二、神经和体液调节	(187)
第六节 血浆清除率	(191)
一、肾小球滤过率的测定法	(191)
二、肾血流量的测定方法	(191)
第七节 尿的排放	(192)
一、膀胱与尿道的神经支配	(192)
二、排尿反射	(192)
第九章 内分泌	(194)
第一节 概述	(194)
一、内分泌系统和激素的概念	(194)
二、激素的分类	(194)
三、激素的运输途径	(194)
四、激素的一般作用特征	(195)
五、激素作用的机制	(196)
第二节 下丘脑与垂体	(197)
一、下丘脑的内分泌功能	(197)

二、神经垂体.....	(198)
三、腺垂体.....	(199)
第三节 甲状腺.....	(201)
一、甲状腺激素的代谢.....	(201)
二、甲状腺激素的生理作用.....	(202)
三、甲状腺功能的调节.....	(203)
第四节 肾上腺.....	(204)
一、肾上腺皮质.....	(204)
二、肾上腺髓质.....	(206)
第五节 胰岛.....	(207)
一、胰岛素.....	(207)
二、胰高血糖素.....	(208)
第六节 甲状旁腺激素、维生素 D ₃ 和降钙素	(208)
一、甲状旁腺激素.....	(208)
二、维生素 D ₃	(209)
三、降钙素.....	(209)
第七节 性腺.....	(210)
一、睾丸的内分泌功能.....	(210)
二、卵巢的内分泌功能.....	(211)
三、胎盘的内分泌功能.....	(213)
第十章 神经系统.....	(215)
第一节 神经元活动的一般规律.....	(215)
一、神经元和神经纤维.....	(215)
二、神经胶质细胞.....	(217)
第二节 突触传递.....	(218)
一、突触的结构及分类.....	(218)
二、化学突触传递的过程.....	(219)
三、神经递质和受体.....	(220)
第三节 中枢活动的一般规律.....	(225)
一、反射、反射弧和反射中枢.....	(225)
二、中枢神经元的联系方式.....	(226)
三、反射中枢内兴奋传递的特征.....	(226)
四、中枢抑制.....	(228)
第四节 神经系统的感觉分析功能.....	(229)
一、脊髓的感觉传导功能.....	(229)
二、丘脑及其感觉投射系统.....	(230)
三、大脑皮层的感觉功能.....	(231)
四、痛觉.....	(232)
第五节 神经系统对姿势和运动的调节.....	(235)

一、脊髓对躯体运动的调节	(236)
二、脑干对肌紧张和姿势的调节	(238)
三、小脑对躯体运动的调节	(240)
四、基底神经节对躯体运动的调节	(241)
五、大脑皮层对躯体运动的调节	(243)
第六节 神经系统对内脏活动的调节	(244)
一、交感和副交感神经系统的结构特征	(244)
二、自主神经系统的功能特点	(245)
三、自主神经系统各级中枢的功能	(247)
第七节 大脑皮层的电活动和脑的高级功能	(250)
一、大脑皮层的电活动	(250)
二、觉醒和睡眠	(251)
三、脑的高级功能	(252)
第十一章 视觉、听觉、前庭觉	(256)
第一节 视觉	(256)
一、眼的折光系统及其调节	(256)
二、眼的感光系统	(258)
三、与视觉有关的几个问题	(260)
第二节 耳的听觉功能	(262)
一、传音系统的功能	(262)
二、感音系统的功能	(263)
第三节 内耳的平衡感觉功能	(264)
一、前庭器官的感受装置和适宜刺激	(264)
二、前庭反应和眼震颤	(265)
附录	(267)
《生理学》教学大纲	(268)

第一章 绪 言

第一节 生理学概述

生理学是一门研究人体正常生命活动规律的科学。它的研究任务是揭示生命活动的过程及其发生的原理，以及人体内外环境对它的影响。

生理学真正成为一门现代意义上的科学，是从 17 世纪初开始的。1628 年，英国的外科医生威廉·哈维（William Harvey, 1578~1657）发表了一篇著名的研究论文《心与血的运动》，这篇论文在西方医学界引起极大的震动，因为它不是普通的研究论文，而是一篇实验研究论文，哈维用动物实验的方法证明了血液是有限的，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。《心与血的运动》是历史上第一篇以实验结果为根据的生理学论文。人们发现，对于生命活动规律的了解，有了一种新的研究方法，人们不再仅以观察、推测来理解生命活动，而是可以通过设计周密的实验来探索未知的奥秘，这显然可以极大地拓宽研究的领域，不断推动生命科学的发展。从此，生理学被人们承认是一门真正的、独立的、现代的科学。哈维则成为当之无愧的现代生理学的奠基人。

生理学是一门实验性科学。所有的生理学理论都来源于生理学实验。实验是生理学知识的唯一来源。但是实验对机体总是有伤害的，医德规范不允许轻易在人体上进行医学实验，因此生理学实验主要在动物身上进行。从生物进化的角度看，人属于脊椎动物的哺乳类。实践经验证明，研究动物的，特别是哺乳类动物的生命活动现象，对于认识人体的生命活动规律，是有重要参考价值的。当然，人体的生命活动，还有许多是人类特有的，对于这些人类所特有的生命活动规律的认识，只能从以人为实验对象的研究中获得。对于许多人和动物所共有的生命活动规律的认识，也不能把动物实验的结果毫无区别地简单地移用于人体，还必须在人体上再进行观察验证。

现代生理学和古代生理学的差别，就在于它抛弃了依靠直观经验和原始的哲学思辩，代之以设计完善的实验研究。恩格斯在 100 多年前就指出，“理论思维的发展需要假说（学说）”。生理学实验研究，就是一个以实验来验证、修正、发展假说的过程。一个新的现象被观察到了，旧有的理论不能解释它，此时就必须提出一个新的假说。新的假说必须建立在已有的实验结果之上，然后设计实验来验证这个假说。在接受一个生理学结论的时候，我们还会关心这个实验是怎么做的，结果是否可靠，从而学习一些生理学研究的思维方法和实验研究技术。

生理学还是一门年轻的科学。生理学诞生于 17 世纪初，但在 18、19 世纪，发展都相当缓慢，只有在 20 世纪 20 年代以后、随着整个科学技术水平的进步，生理学才得到迅速的发展。人类在探索自然的过程中，大到宇宙空间，小到基本粒子，可以说功勋卓著，但人类对自身的认识，更是很不够的，特别是对于神经系统的高级神经活动，更是知之甚

少。科学家预言,本世纪将是生物学世纪,我们对自身功能的了解有望在本世纪有较大的突破。

生理学是一门重要的医学基础课。19世纪法国著名的生理学家克劳·伯尔纳(Claude Bernard)说过这样一句话,“医学是关于疾病的科学,而生理学是关于生命的科学。因此后者比前者更有普遍意义。这就是为什么说生理学必然是医学的科学基础。一个医生要研究生病的人,要用生理学的来阐明和发展关于疾病的科学”。这句话首先说明的是“不理解正常就不理解疾病”,进一步强调的是,一个医生在临床实践中必然会遇到许多新的问题,这些问题在前人的著作中是找不到现成答案的(如果都能找到,医学就不会再发展),认识 and 解决这些问题将推动医学科学向前进步。此时就常常要求助于生理学的理论和方法。临床医学常常给生理学提出研究课题,而生理学的任何突破,都可能会极大地推动临床医学的进步。例如微循环理论的研究,更新了对休克(shock)发生和发展的认识,使过去在抢救休克患者时使用缩血管药物改为使用舒血管药物,从而收到很好的疗效,挽救了很多垂危病人。可见,对人体正常功能的认识越精确,对疾病状态的认识,对预防和治疗采取的措施就越正确。

第二节 生理学的三个水平

对机体生命活动规律的研究可以从不同的水平着手。构成身体的最基本的结构单位和功能单位是细胞(cell)。许多不同的细胞构成器官(organ)。功能联系密切的器官组成系统(system)。许多系统互相联系、互相作用构成一个复杂的整体。因此,生理学研究就是从细胞、器官和系统,以及整体这三个水平进行的。

一、细胞、分子水平的研究

各器官的功能是由构成该器官的细胞特性决定的。例如肌肉细胞可以收缩,腺细胞可以分泌。肌肉细胞之所以可以缩短是由于肌细胞内存在着特殊的具有收缩功能的蛋白质分子,因此生理学研究又深入到分子水平。细胞、分子水平的研究需要细胞的分离培养技术、电子显微镜技术、生物电子技术、超微量检测技术、同位素示踪技术等帮助。该水平的研究可以揭示生命活动最基本的物理化学过程。

二、器官、系统水平的研究

从细胞或分子水平所获得的知识,有助于对器官、系统的深入认识。器官、系统的功能不是细胞和分子功能的简单总和,故必须在器官、系统水平上进行研究。器官、系统水平的研究,主要是研究体内各器官、各系统的功能活动有什么特殊性、怎样进行活动、它的活动受到那些因素的控制以及整体生命活动中起什么作用等。例如心脏如何射血,血液在血管中如何流动,各种神经、体液因素对心脏和血管活动的影响等。生理学从17世纪初诞生以来,一直到19世纪,都主要在这个水平上进行研究,人体各器官、系统的功能在此期大体上得到了阐明。

三、整体水平的研究

就人体生理学的实际应用而言,分子、细胞、器官、系统的研究,都是为了能更深刻地掌握整个人体生命活动的规律。所以整体水平的研究是至关重要的。整体水平的研究,就是以完整机体为研究对象,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。例如人类在劳动、运动及高温、低温、高原、航空、太空、潜水等情况下,循环、呼吸、消化、泌尿、神经、内分泌等功能是如何相互协调的。整体水平的研究是一个比较复杂的研究领域,需要采用很多遥测、遥控、无创伤检测以及微电脑技术等。

上述三个水平的研究不是孤立的,而是紧密相关的不同层次的研究。事实上,对于任何重要生命现象的理解,都是不同水平研究的综合结果。本书中不少问题都是从整体、器官、细胞水平进行描述和讨论的,但对于一些重要的基本生命活动,则也从分子水平作重点介绍。

第三节 生理功能的调节

在动物进化过程中,机体的结构和功能不断地得到发展。一方面,构成机体的细胞和组织越来越趋于分化和特殊化,并在此基础上形成了各器官系统。另一方面,各器官、系统之间的相互联系越来越完善,从而形成高度统一的整体。所谓生理功能的调节,就是使机体各部分的活动能够互相配合,互相协调,从而使各部分之间经常保持动态平衡,使机体内环境保持相对稳定,使机体活动能够适应外界环境。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)、体液调节(humoral regulation)和自身调节(autoregulation)

一、神经调节

神经调节是指神经系统的活动通过神经纤维的联系对机体功能的调节。神经调节的基本方式是反射(reflex)。反射的结构基础称为反射弧(reflex arc)。通常由五部分组成,即感受器、传入神经、反射中枢、传出神经和效应器。感受器接受一定的刺激后,将这种刺激转变成神经冲动,通过传入神经传到相应的神经中枢,中枢经过分析,发出神经冲动经传出神经送达效应器,改变效应器的活动。反射弧的任何环节发生障碍或破坏,这一反射活动就会发生紊乱或不能出现。例如在正常生理情况下,动脉血压是保持相对恒定的。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,并将血压变化转变成神经冲动,后者经传入神经达到延髓的心血管中枢。心血管中枢对传入信号进行分析,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,对于维持动脉血压相对恒定起着重要作用。

神经调节的特点是:迅速、准确、短暂。神经调节是人体内最主要的调节方式。

二、体液调节

体液调节主要指内分泌细胞所分泌的激素，经体液运送到全身各处或某些特殊的组织细胞，通过作用于细胞上的相应受体，对细胞活动进行调节。体内有多种内分泌细胞，能分泌各种激素，激素由血液运输至全身各处，调节细胞的活动。有一些激素不经过血液运输，只经由组织液扩散作用于邻近细胞，称为局部性体液调节，也称为旁分泌（paracrine）。另外，下丘脑内有一些神经细胞也能合成激素，激素在神经末梢释放入血，经过血液运输再对远离的器官、细胞进行调节，这种方式称为神经分泌（neurosecretion）。能分泌激素的神经细胞称为神经内分泌细胞，神经细胞分泌的激素称为神经激素。此外，由于大多数内分泌腺细胞直接或间接受神经系统控制，体液性调节经常处于神经系统控制之下，此时，体液调节就成了神经调节反射弧中传出通路的一个延长部分。这种形式称为神经-体液调节。

体液调节的特点是缓慢、广泛而持久。

三、自身调节

自身调节是指内外环境变化时，组织、细胞不依赖于神经或体液而产生的适应性反应。自身调节多限于一个细胞或一小部分组织。调节幅度较小，不很灵敏，但对于人体功能的调节仍有一定意义。

第四节 生理功能的自动控制原理

美国数学家维纳（Wiener Norbert 1894~1964）1948年出版了《控制论》，标志着控制论的正式诞生。控制论就是研究动物（包括人类）和机器内部的控制和通信的一般规律的科学，着重研究的是上述过程的数学关系，而不涉及过程的物理、化学或生物学特征。

人体是一个极其复杂的有机体，人体内存在着数以千计的各种控制系统。从控制论角度，人体功能调节主要依赖反馈控制系统和前馈控制系统。

一、反馈控制系统

反馈控制系统是一个闭环系统。即控制部分和受控部分之间存在着双向的信息联系。控制部分发出控制信息到达受控部分，受控部分也有信息（反馈信息）到达控制部分，以纠正或调整控制部分对受控部分的影响。根据反馈信息对控制部分的影响，可分为负反馈（negative feedback）和正反馈（positive feedback）。

（一）负反馈

大多数情况下，反馈信息能降低控制部分的活动，称为负反馈。例如当动脉血压升高时，来自动脉（受控部分）压力感受器的反馈信息增多就会使心交感中枢、交感缩血管中枢（控制部分）的活动减弱，从而使血压恢复正常。反之当血压下降时，反馈信息减少，又可通过反馈机制使这些控制部分活动增强，其结果也是使血压恢复正常。所以，负反馈的调节是双向性的，负反馈的作用是使机体各种生理功能维持相对恒定。机体内环境之所

以能维持稳态，就是因为有许多负反馈控制系统的存在和作用。

(二) 正反馈

少数情况下反馈信息能加强控制部分的活动，又通过控制部分增加的传出信息，使受控部分的活动再加强，加强的受控部分再通过反馈，使控制部分的活动进一步增强，如此循环反复，称为正反馈。即人体某些活动，一经发动就逐步加强、加速，直到完成，例如血凝过程、排尿、排便、分娩等。与负反馈相反，正反馈不仅不能维持系统的稳态和平衡，而是破坏原先的平衡状态。

二、前馈控制系统

负反馈调节的特点是当受控部分活动出现偏差以后，才通过反馈信息来调整控制部分的活动，因而这种调整总是滞后的，而且易于矫枉过正，而产生一系列波动。实际上，正常机体在环境因素的不断干扰下，之所以能保持良好稳态，是因为还存在着前馈调节(feed-forward)。前馈调节是指当环境变化的干扰因素出现后，可直接作用于控制部分，控制部分发出信息提前作用于受控部分，对可能出现的偏差及时发出纠正信息，以防患于未然。例如从温暖的室内到寒冷的室外，寒冷刺激可通过体温调节中枢(控制部分)发出控制信息，以减少散热，增加产热，在体温还未下降前提前作好准备，以维持体温的相对恒定。