

高等医学院校教材

人体

生理学

(供本科各类专业用)

孙庆伟 李东亮 主编

中国医药科技出版社



图书馆

DF05/17

高等医学院校教材

人体生理学

(供本科各类专业用)

孙庆伟 李东亮 主编



中国医药科技出版社

R33-43
SQW



A1C01122180

登记证号：(京) 075 号

内 容 提 要

本书由八所医学院校生理教师联合编写，编写者大多数是教学经验丰富的教授、副教授，本书吸取国内外生理学教材之所长，着重阐述了人体生理学的基本知识和基本理论。分十二章介绍了细胞的基本功能，血液、血液循环、呼吸、消化与吸收、能量代谢与体温、肾脏的排泄功能、感觉器官、神经系统、内分泌、生殖等生理学内容。阐述简明，文句通顺。

本书适合于医学院校五年制各类专业及综合性大学、师范学院生物系师生，广大临床医学工作者。

高等医学院校教材

人 体 生 理 学

(供本科各类专业用)

孙庆伟 李东亮 主编

*

中国医药科技出版社 出版
(北京西直门外北礼士路甲 38 号)
(邮政编码 100810)

本社 激 光 照 排 部 排版
国防工业出版社印刷厂印刷

全国各地新华书店 经销

*

开本 787×1092mm^{1/16} 印张 25.25

字数 610 千字 印数 1--6000

1994 年 7 月第 1 版 1994 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 7-5067-1199-0/G·0052

定价：16.00 元

主 编 孙庆伟 李东亮

副主编 张景祥 滕芳美 祁金顺 许继德 邢 莹

主 审 李子瑜 丁报春

编 委 孙庆伟 李东亮 祁金顺 滕芳美 许继德 张景祥
邢 莹 李楚芬 钱朝霞 王东吉 王秀国 王春梅
邱 俭 金秀东

编 者 (以姓氏笔划为序)

万光瑞 王东吉 王合轩 王秀国 王春梅 邢 莹
吉恩生 孙庆伟 祁金顺 李东亮 李楚芬 许继德
邱 俭 邱春夏 岳文杰 林甘棠 金秀东 张景祥
钱朝霞 陶惠然 滕芳美

前 言

本教材由赣南医学院、新乡医学院、长治医学院、牡丹江医学院、承德医学院、佳木斯医学院、宁夏医学院和海南医学院共八所高等本科院校的生理教师联合编写，编写者绝大多数都是教学经验丰富的教授、副教授。在编写过程中参阅了近年国内外出版的多种高校生理学教材及有关专著，吸收了这些教材的优点和长处，并结合作者的经验，根据五年制本科生的培养目标，精选内容和图表。本书注意理论联系实际，基础医学结合临床实践；既着重阐述了生理学的基本知识和基本理论，又适当介绍了生理学的新进展。

本书主要供高等医学院校本科五年制各类专业及综合性大学、师范院校生物系作教材用，也可作为临床医生业务提高及自学考试者复习的参考书。书中小五楷字为参考内容。

本书大部分章节的初稿承江西医学院李子瑜教授和湖南医科大学丁报春教授审阅，提出了宝贵的意见，在此深表谢意。

由于参编人员较多，编写时间又较匆促，加上作者水平有限，书中错误和疏漏之处在所难免，恳切希望读者指评和指正。

编者

1994年7月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 生理学的研究内容和方法	(1)
第二节 生命的基本特征	(3)
第三节 机体的内环境、稳态和人体功能活动的调节	(5)
第四节 习服和生物节律	(9)
第二章 细胞的基本功能	(12)
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能	(12)
第二节 细胞的生物电活动	(20)
第三节 细胞间的信息传递	(31)
第四节 肌细胞的收缩功能	(37)
第三章 血液	(51)
第一节 概述	(51)
第二节 血细胞生理	(54)
第三节 凝血与止血	(63)
第四节 血量、输血与血型	(70)
第四章 血液循环	(76)
第一节 心脏的泵血功能	(76)
第二节 心肌的生物电现象和生理特性	(87)
第三节 体表心电图	(100)
第四节 血管生理	(104)
第五节 心血管活动的调节	(117)
第六节 血量的调节	(128)
第七节 器官循环	(130)
第五章 呼吸	(137)
第一节 肺通气	(137)
第二节 呼吸气体的交换	(147)
第三节 气体在血液中的运输	(152)

第四节	呼吸运动的调节	(157)
第六章	消化与吸收	(164)
第一节	概述	(164)
第二节	口腔内消化	(170)
第三节	胃内消化	(172)
第四节	小肠内消化	(181)
第五节	大肠内消化	(188)
第六节	吸收	(189)
第七章	能量代谢与体温	(196)
第一节	能量代谢	(196)
第二节	体温及其调节	(204)
第八章	肾脏的排泄功能	(215)
第一节	概述	(215)
第二节	尿的生成过程	(220)
第三节	尿的浓缩和稀释	(232)
第四节	肾脏泌尿功能的调节	(236)
第五节	肾泌尿功能的测定	(240)
第六节	尿的排放	(243)
第九章	感觉器官	(246)
第一节	概述	(246)
第二节	视觉器官	(248)
第三节	听觉器官	(259)
第四节	前庭器官	(264)
第五节	嗅觉和味觉	(267)
第十章	神经系统	(268)
第一节	神经元活动的一般规律	(268)
第二节	反射活动的一般规律	(283)
第三节	神经系统的感觉机能	(291)
第四节	神经系统对躯体运动的调节	(300)
第五节	神经系统对内脏活动的调节	(313)
第六节	脑的高级功能	(323)
第十一章	内分泌	(334)

第一节	概述	(334)
第二节	下丘脑的神经内分泌功能	(342)
第三节	垂体	(346)
第四节	甲状腺	(351)
第五节	甲状旁腺、甲状腺 C 细胞和维生素 D	(358)
第六节	肾上腺	(362)
第七节	胰岛	(371)
第八节	其它内分泌器官和物质	(377)
第十二章	生殖	(382)
第一节	男性生殖	(382)
第二节	女性生殖	(385)

第一章 绪 论

第一节 生理学的研究内容和方法

一、生理学的研究内容

生理学 (physiology) 是生物学的一个分支, 它是研究生命活动的道理即规律的科学。人体生理学是研究人体各种生命活动规律的科学。生命活动即生命现象, 如呼吸、心跳、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, 以及体内外环境变化对它们的影响。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 (类) 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, 所以也叫正常人体生理学 (简称生理学)。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。由于人体正常的功能与异常活动, 在一定条件下可以互相转化, 了解异常活动有助于从反面加深理解正常的功能, 所以本书也适当介绍患病时生理功能改变。

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, 即整体水平; 器官、系统水平和细胞、分子水平。

(一) 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, 以及完整机体与环境之间的对立统一关系。例如, 从整体水平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、思想情绪等对人体整体和各系统功能活动的影响^{*}; 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。近年来由于电子计算机、遥控、遥测、体表无创伤检测等技术的应用, 使整体生理学研究水平有了很大的提高。

* 社会条件对人体的影响已形成一门科学, 叫社会医学。

（二）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。有关这方面的研究内容称为器官生理学（organ physiology）。例如，心脏生理学、胃肠生理学、生殖生理学等。

（三）细胞、分子水平

细胞是构成人体的最基本的结构和功能单位。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决定于构成细胞的各个物质的物理化学特性。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，来探讨生命活动的最基本的物理-化学变化过程。有关这方面的研究内容称为细胞生理学（cell physiology）或普通生理学（general physiology）。

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结合起来进行综合分析，能更全面、更深刻地认识人体生命活动的规律。本教材主要介绍器官生理学和整体水平研究的生理学知识，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权，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的机制，才能理解用物理方法和药物退热的原理。而且，认识和掌握了机体的正常生命活动的规律，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。例如，对生殖生理的深入研究，促进了计划生育及生殖系统疾病的防治的发展。而临床医学的长期实践又为生理学的发展提供许多宝贵资料，促进生理学发展。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。

三、生理学的研究方法

生理学知识来自实践，来自对生命现象的客观观察和科学实验。所谓观察，主要是指在不损害人体健康的自然生活条件下，如实地观察、记录和分析功能活动的客观表现。例如，观察正常人群安静时的血压、脉搏频率和呼吸频率，描记正常人的心电图和脑电图等，并对所得数据进行统计学处理，而得出正常人上述生理功能的正常数值。此外，对人体观察也包括前面提到的、近年来应用一些高新尖技术对人体整体生理学的研究内容。所谓生理实验，一般要人工地创造一定条件，以利于对平时不能从外表观察到的隐蔽或微细的生

命活动进行观察，进而探讨其机理。由于进行这种研究时会给机体造成一定的损害，甚至危及生命，因此一般都用动物做生理实验，只有在不影响健康的情况下，才允许在人体进行实验。可是，人与动物尤其是高等动物虽有许多基本相似的构造和功能，但在应用动物实验获得的生理知识来探讨人体的某些生理功能时必须考虑到人与动物的差别，不能把动物实验结果简单地套用于人体。

生理学常用的动物实验方法有急性和慢性两种。前者又可分为在体 (in vivo) 和离体 (in vitro) 两种。

(一) 急性实验方法

(1) 在体实验法 又叫活体解剖实验法，动物在麻醉或破坏它的大脑的条件下进行解剖，暴露所要研究的器官组织，进行实验研究。例如，对胃肠运动、胆汁分泌、肾脏泌尿活动等的研究。

(2) 离体实验法 即离体细胞、组织、器官实验法。此方法是从动物体内取出所欲研究的器官(如心脏)或组织(如肌肉、神经)，置于一人工环境中，并在一定时间内保持它的生理功能，以进行研究。目前已能运用细胞分离培养技术，深入研究细胞各亚微结构的功能和细胞内生物分子的各种物理-化学变化。

离体组织、器官实验和活体解剖实验过程一般时间较短(细胞培养例外)，实验后动物死亡，故称急性实验法。它的优点是实验条件比较简单，易于控制，能对研究对象进行直接的观察和细致地分析；缺点是所得结果不完全符合清醒完整动物的情况，故有一定的局限性。

(二) 慢性实验法

主要是在无菌条件下对健康动物进行手术，暴露要研究的器官(如各种造瘘术)或摘除、破坏某一器官(如摘除某一内分泌腺、破坏迷路)、或埋藏电极于神经中枢作为刺激或引导电极，待伤口长好后，于接近正常生活条件下进行实验，研究整体中某一器官或部位的功能。这种方式有利于观察某一器官在正常情况下的功能活动及在整体功能中的地位，但不便于细致分析这一器官的生理特性。

第二节 生命的基本特征

既然生理学是研究生命活动的，那么什么是生命呢？生命(指所有有生命的物体)的基本特征又是什么呢？

一、新陈代谢

恩格斯在《自然辩证法》中指出：“生命是蛋白体的存在方式，这个存在方式的基本因素在于和它周围的外部自然界不断地新陈代谢，而且这种新陈代谢一停止，生命随之停止，结果便是蛋白体的分解。”这里所谓的蛋白体主要是指核酸和蛋白质。从病毒这样简单的生物体到复杂的人体，都需要不断地从周围环境中摄取营养物质，并将这些物质转变为自身

的组成物质（同化作用，anabolism）；同时，自身的组成物质又不断地分解，所分解的最终产物又不断地排泄到周围环境中去（异化作用，catabolism）。物质分解时释放能量，物质合成时要吸收能量，因此，新陈代谢过程中既有物质变化，又有能量变化，前者叫物质代谢（substance metabolism），后者叫能量代谢（energy metabolism）。新陈代谢是生命活动的基础和最基本的特征，新陈代谢一旦停止，生命活动立即停止，机体也就死亡。

二、兴奋性

生命活动的另一个基本特征是兴奋性（excitability），即机体或其组成部分细胞、组织具有对环境的变化产生反应的能力或特性。当环境发生改变时，常常引起生命活动的改变，包括体内代谢过程及内脏、躯体活动的变化。能被机体感受并引起机体产生某种反应的体内、外环境变化称为刺激（stimulus），包括物理的（声、光、电、机械、温度、放射性的）、化学的和精神性因素等。刺激与反应是生理学常用的一对密切联系的术语。一般地说，机体的反应都是由某种刺激所引起的。人及动物的神经、肌肉、腺体对刺激发生反应的能力比其它组织大，发生反应较明显、较迅速，即兴奋性较高，这些组织称为可兴奋组织（excitable tissue）。

从外部表现来看，机体对刺激发生反应有两种形式：一种是由相对静止转变为活动，或由活动弱变为活动强，称之为兴奋（excitation）；另一种是由活动状态转变为相对静止，或由活动强变为活动弱，称为抑制（inhibition），它意味着兴奋的减弱或不易发生兴奋。例如，刺激交感神经引起心跳加快加强即为兴奋；刺激迷走神经使心跳变慢变弱即为抑制。人体内各种组织兴奋的具体外部表现虽然各异（如肌肉表现为收缩，腺体表现为分泌，纤毛上皮表现为纤毛摆动，白细胞表现为游走等），但其“内部”共同的表现是生物电变化（详见第二章）。一个刺激究竟引起机体兴奋还是抑制，与刺激的性质、强度和作用时间有关，也与机体当时所处的机能状态有关，例如，肾上腺素使未孕子宫舒张（抑制），而使有孕子宫收缩（兴奋）。机体对环境变化（刺激），有的产生兴奋反应，有的产生抑制反应，这样才能更好地适应环境，这也是保证生命活动能正常进行的根本条件。

三、适应性

机体对环境的变化不仅能产生反应，而且这些反应通常都具有适应于环境变化的性质。例如，人体在炎热环境中，汗腺分泌汗液，汗的蒸发能降低体温，从而保持体温的恒定；强光照射眼睛，引起瞳孔缩小，以减少光线进入眼内，使视网膜免受损伤；高山缺氧，刺激造血器官的造血功能，使红细胞数量增加，从而使血液运输氧的能力加强，以适应高山缺氧的环境条件。机体这种对周围环境的变化能产生适应的能力称为适应性（adaptability）。它是以兴奋性为基础的。

适应性是在动物进化过程中发展起来的，动物越高等，机体对环境的适应越完善，到了人类，不仅能被动地适应环境，而且能主动地改造自然环境以适应自己的生理需要。

第三节 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 75 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，人体绝大部分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。

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、各种化学成分变动得非常小，比较恒定。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农 (W. B. Cannon) 将这种平衡状态称为稳态 (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 O_2 ，并不断向细胞外液排出代谢产物、 CO_2 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 O_2 的供应，从而使细胞外液中 O_2 含量下降。但内环境的变化，机体通过血液循环、呼吸、消化、排泄等功能的协调活动，又能使之恢复，例如，呼吸系统摄入 O_2 与排出 CO_2 ，消化系统提供营养物质、水和电解质，肾脏排泄代谢终产物，调节水盐平衡，心血管系统推动和引导血液在全身周流不息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限制这种变化的反应。但是机体维持内环境稳定的能力是有一定限度的，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。

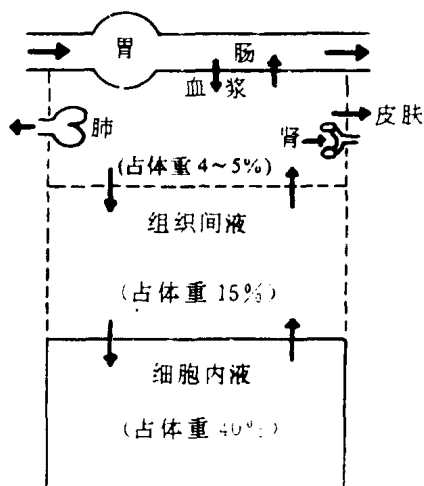


图 1-1 体液分布及物质交换示意图

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，而且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。

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机制

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、系统的功能活动并不是孤立地各自活动，而是密切配合、互相协调、互相制约，有机地组合成一个完整的统一体而存在和活动的；机体的功能与其所生存的环境有着密切不可分割的联系，即对环境的变化能产生适应性反应。机体内环境的相对稳定以及机体功能活动的这种协调性、整体性与适应性是通过机体的调节实现的。机体的调节机制主要有神经调节、体液调节和自身调节。

(一) 神经调节

神经调节 (neural regulation) 的基本方式是反射 (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。例如，伤害性刺激 (如针刺、热烫) 作用于肢体皮肤引起该肢体屈曲；食物入口引起唾液分泌；膀胱充满尿液引起排尿等都是反射。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化为生物电讯号——神经冲动。效应器是产生反应的器官。神经中枢是指位于脑和脊髓内参与某一反射活动的神经细胞群，它能对传入的神经冲动进行加工处理 (所谓整合作用, integration)，并发出冲动经传出神经传至所支配的效应器。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。反射弧任何环节如发生障碍或破坏，这一反射活动就发生紊乱或不出现。

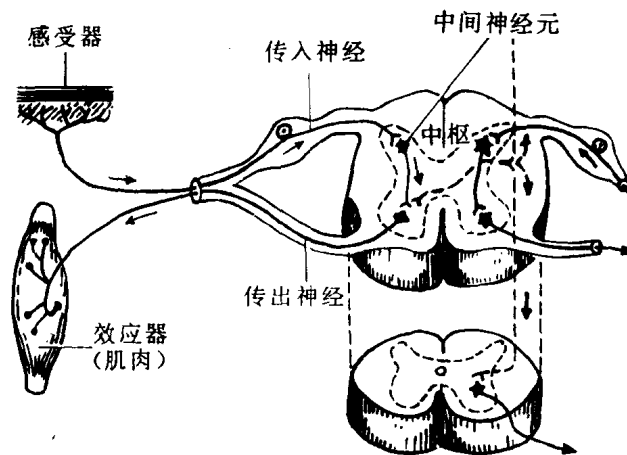


图 1-2 反射弧及其组成

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级部位，但正常在高级中枢大脑皮层存在下，要受到高级中枢的控制，使之能更好地与环境相适应。上面例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“脑的高级功能”一节）。

（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，以影响和调节对激素敏感的器官、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、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，这叫旁分泌 (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（如组织胺、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，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，作用部位有局限性，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经路的延长部分，这称为神经-体液调节 (neurohumral regulation)。例如，运动时交感神经兴奋，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 $8.0\sim 18.7\text{kPa}$ ($60\sim 140\text{mmHg}$) 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，但对生理功能的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？究竟是过度或是不足，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（即由效应器上或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神经调节或体液调节，如调节过度便抑制之，调节不足加强之，使调节更为精确。这种联系叫反馈（feed back）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控制系统（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），从而决定受控系统应如何动作；③受控系统（执行装置，相当于效应器、靶器官），按控制系统的指令作出反应。此时其处的状态或所产生的效应称为输出变量。④监视装置，将受控系统活动的结果（输出变量）不断地返回给控制系统，为控制系统进一步发放“指令”做参考，它相当存在于效应器或其附近的内感受器。其与控制系统的联结线路称为反馈联系。从它发出的反映输出变量的信息称为反馈信息（图 1-3）。

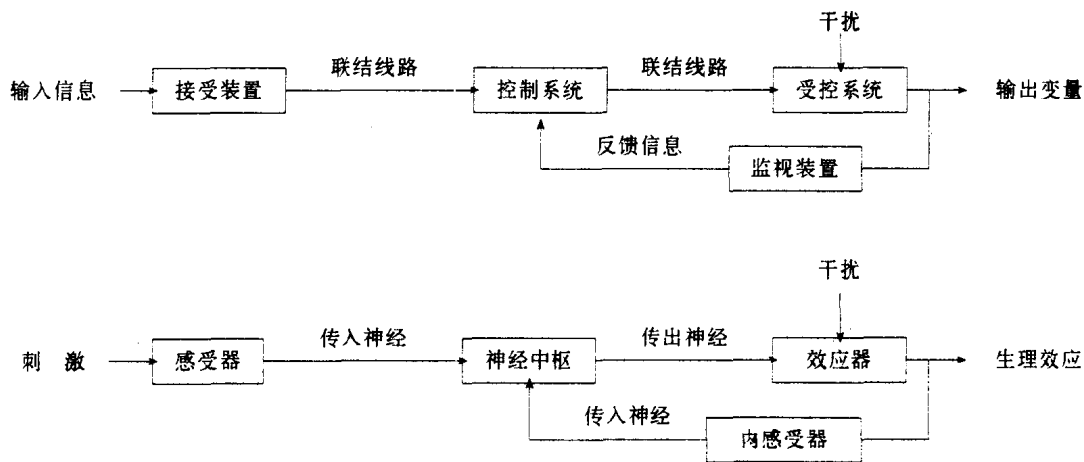


图 1-3 反馈联系模式图

在自动控制系统中，反馈信息具有特别重要的意义。因为受控系统的活动不但是在控制系统的预定“指令”下进行工作的，而且会受到体内外多种因素的干扰，从而改变受控系统的活动状态，故一次调节不可能就很精确。由于受控系统不断把其活动的实际情况返回控制部分，控制系统则可按照监视装置送回的反馈信息与根据输入信息处理后发出的预定指令（控制信息）进行比较，不断纠正与调整控制系统对受控系统的影响，从而达到自动精确的调节作用。如反馈信息的作用与控制信息的作用相反，即倾向于促进输出变量向与原来相反的方向变化，因而制约控制信息的效应，称为负反馈（negative feedback）；反之，如反馈信息与控制信息的作用方向相同，即不是制约而是促进与加强控制系统的作用，使输出变量向原来变化的方向变化就叫正反馈（positive feedback）。例如，人的体温能保持相对恒定就是一种负反馈调节。当环境温度突然降低时，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，体温调节中枢发出传出冲动（指令）到有关效应器产生反应，如皮肤血管收缩（可减少散热）、身体卷曲和战栗（增加产热），从而使体温回升到原有的水平。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。正常情况下，体内发生的正反馈过程较少，只有排尿、分娩、血液凝固等属于正反馈。正反馈一旦启动起来，就逐步增强、加速，直至过程的完成。在某些病理情况下正反馈形成的恶性循环，常导致机体死亡。例如，假如一个人突然失血2L，结果使心输出量减少、血压降低→冠脉血流减少→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，如此反复进行下去，直至死亡。

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，经过一系列波动后才能调整到规定的目标。然而，当干扰信号作用于受控部分，将引起输出变量改变时，还可直接通过感受（监视）装置（sensor）作用于控制系统，控制系统可根据当时的干扰信号的实际情况发出纠正信号，这就有可能在输出变量未出现偏差引起反馈信息之前，控制系统就可对可能出现的偏差预先发出纠正指令。这就避免了因干扰信号而引起输出变量的偏差。干扰信号对控制系统的直接作用称为前馈（feed-forward）（图 1-4）。例如，在上述环境温度改变（干扰因素）引起体温降低（变量）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，在皮肤上也有温度感受器，而且其作用是感受外部温度的。当外部温度降低时，虽然这时尚未引起体温下降，但体表温度感受器已把这一信息传到体温调节中枢，后者发出信息到皮肤血管和肌肉，从而预先就采取了相应的“措施”。因此前馈能对输出变量（体温）的变化进行前瞻性调节，可加快机体稳态反应的速度，使输出变量的变化减到最小。

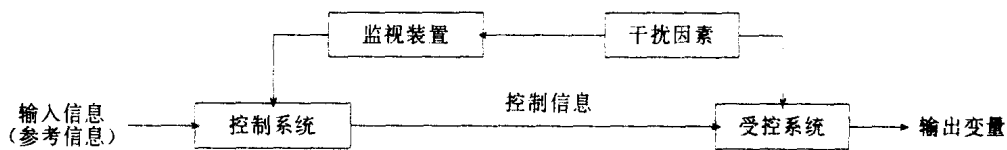


图 1-4 前馈模式图

第四节 习服和生物节律

一、习服

适应性是指有利于生物机体在特殊环境中生存的特性，是一种遗传特性。然而人体适应特殊环境（应激）的能力不是固定不变的，它能够通过延长接触应激而增强，而不改变其遗传特性，这种适应性叫习服（acclimatization）。现以在热环境中的出汗反应为例加以说明。如今一个人在高温的室内做站立运动 30 分钟，不久体温升高，开始出汗。出汗是增加身体散热的一个机制，它有助于减小体温的升高。从第 2 天起，每天在热室内做 1~2 小时运动。在第 8 天又进行与第 1 天相同的运动试验（第 1 天和第 8 天都测出汗量）。结果发现，受试者出汗开始时间比第 1 天提前，出汗量也比第 1 天多得多，因此体温也就没有升高到第 1 天那样高。我们说这个人耐热已习服，即他已经受过对热的适应性变化，对热的适应