

高等医药院校教材

医学生理学

孙庆伟 刘锡仪 胡尚嘉 李东亮 主编

人民卫生出版社

医学生理学

孙庆伟 等 主编

人民卫生出版社出版发行
(100078北京市丰台区方庄芳群园3区3号楼)

三河市潮河印刷厂印刷

新华书店经销

787×1092 16开本 23.25印张 531千字
1999年8月第1版 1999年8月第1版第1次印刷
印数:00 001—4 970

ISBN 7-117-03403-3/R·3404 定价:24.50元

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

著作权所有,请勿擅自用本书制作各类出版物,违者必究。

前 言

本教材主要根据教育部高教司规定的“全国普通高校临床医学专业本科主要课程基本要求”和五年制医学本科生的培养目标进行编写的。在编写过程中参阅了卫生部规划教材《生理学》(第四版)以及近年国外出版的多种生理学教材,吸收了这些教材的优点和长处,精选了教材内容和图表编写中注意理论联系实际,基础结合临床,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最新进展。

本教材主要供高等医学院校五年制各类专业使用,也可作为医学专科生、临床医生业务提高及医师资格考试复习用。书中小字部分为参考内容。

参加本教材编写的单位有赣南医学院、广东医学院、吉林医学院、新乡医学院、镇江医学院、承德医学院和天津武警医学院6所本科院校,编者绝大多数是长期从事生理学教学的教授和副教授。

由于参编人员较多,编写时间又较仓促,加上作者水平有限,不当之处,盼各院校师生及读者指出,以便再修订时改进。

孙庆伟

1999年4月

目 录

第一章 结论	(1)
第一节 生理学的研究内容	(1)
一、生理学的研究内容.....	(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.....	(3)
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.....	(10)
第二节 细胞的生物电活动	(16)
一、刺激与反应.....	(16)
二、细胞的生物电现象及其产生机制.....	(17)
三、细胞兴奋后兴奋性的变化.....	(26)
第三节 细胞间的信息传递	(26)
一、由通道完成的跨膜信号传递.....	(27)
二、由受体蛋白、G蛋白质和第二信使组成的跨膜信号传递系统.....	(30)
第四节 肌细胞的收缩功能	(31)
一、神经-骨骼肌接头处的兴奋传递.....	(31)
二、骨骼肌的微细结构.....	(33)
三、骨骼肌的收缩机制.....	(36)
四、骨骼肌的兴奋-收缩耦联.....	(37)
五、骨骼肌收缩的外部表现和力学分析.....	(38)
六、骨骼肌纤维的分类.....	(43)
七、平滑肌的结构和生理特性.....	(43)
第三章 血液	(46)
第一节 概述	(46)
一、体液与内环境.....	(46)
二、血液的基本组成.....	(46)
三、血液的基本功能.....	(46)
第二节 血浆	(47)
血浆的理化特性.....	(47)
第三节 血细胞生理和造血调节	(48)
一、红细胞.....	(48)

二、白细胞	(52)
三、血小板	(54)
第四节 止血、凝血和纤维蛋白溶解	(56)
一、止血	(56)
二、血液凝固	(57)
三、抗凝和纤维蛋白溶解	(60)
第五节 血量、输血与血型	(63)
一、血量相对稳定的意义	(63)
二、失血与输血	(63)
三、血型	(67)
第四章 血液循环	(68)
第一节 心脏的泵血功能	(68)
一、心率	(68)
二、心动周期	(68)
三、心脏泵血过程和机制	(69)
四、心脏泵血功能的评定	(72)
五、心脏泵血功能的调节	(74)
第二节 心肌的生物电现象和生理特性	(78)
一、心肌细胞的生物电现象	(79)
二、心肌的生理特性	(84)
第三节 体表心电图	(91)
一、正常心电图的波形及其意义	(91)
二、心电图与心肌细胞电变化的关系	(93)
第四节 血管生理	(93)
一、各类血管的功能特点	(93)
二、血流量、血流阻力和血压	(94)
三、动脉血压和动脉脉搏	(96)
四、静脉血压和静脉血流	(99)
五、微循环	(101)
六、组织液	(103)
七、淋巴液的生成与回流	(104)
第五节 心血管活动的调节	(105)
一、神经调节	(105)
二、体液调节	(112)
三、自身调节	(115)
四、动脉血压的速效调节与长效调节	(116)
第六节 血量的调节	(116)
一、血量的神经和体液调节	(116)
二、急性大失血时的生理反应	(117)

第七节 器官循环	(118)
一、冠状循环	(118)
二、肺循环	(120)
三、脑循环	(122)
第五章 呼吸	(125)
第一节 肺通气	(125)
一、实现肺通气的功能解剖	(125)
二、肺通气原理	(126)
三、基本肺容积和肺容量	(133)
四、肺通气量	(135)
第二节 呼吸气体的交换	(136)
一、气体交换原理	(136)
二、气体在肺的交换	(137)
三、气体在组织的交换	(139)
第三节 气体在血液中的运输	(140)
一、氧和二氧化碳在血液中的存在形式	(140)
二、氧气的运输	(140)
三、二氧化碳的运输	(144)
第四节 呼吸运动的调节	(145)
一、呼吸中枢与呼吸节律的形成	(146)
二、呼吸的反射性调节	(148)
三、化学因素对呼吸的调节	(149)
四、运动时呼吸的变化和调节	(152)
第六章 消化系统	(153)
第一节 概述	(153)
一、消化道平滑肌的特性	(153)
二、消化腺的分泌功能	(154)
三、消化道的神经支配及其作用	(155)
四、胃肠激素	(156)
第二节 口腔内消化	(158)
一、唾液分泌	(158)
二、咀嚼与吞咽	(159)
第三节 胃内消化	(160)
一、胃液分泌	(160)
二、胃的运动	(166)
第四节 小肠内消化	(168)
一、胰液的分泌	(168)
二、胆汁的分泌和排出	(171)
三、小肠液的分泌	(173)

四、小肠的运动·····	(174)
第五节 大肠的功能·····	(175)
一、大肠液的分泌·····	(176)
二、大肠的运动和排便·····	(176)
三、大肠内细菌的活动·····	(177)
第六节 吸收·····	(177)
一、吸收的部位·····	(177)
二、吸收的机制·····	(178)
三、几种主要营养物质的吸收·····	(178)
第七章 能量代谢与体温·····	(183)
第一节 能量代谢·····	(183)
一、机体能量的来源和转移·····	(183)
二、能量代谢测定的原理和方法·····	(184)
三、影响能量代谢的因素·····	(187)
四、基础代谢·····	(188)
第二节 体温及其调节·····	(190)
一、体温·····	(190)
二、机体的产热、散热和体热平衡·····	(191)
三、体温的调节·····	(195)
第八章 肾的泌尿功能·····	(199)
第一节 肾的功能解剖和血液循环·····	(199)
一、肾单位和集合管·····	(199)
二、肾的血液循环·····	(201)
第二节 尿的生成过程·····	(202)
一、肾小球的滤过功能·····	(202)
二、肾小管与集合管的转运功能·····	(205)
第三节 尿液的浓缩和稀释·····	(212)
一、尿液的稀释·····	(212)
二、尿液的浓缩·····	(212)
第四节 肾泌尿功能的调节·····	(215)
一、肾内自身调节·····	(215)
二、神经和体液调节·····	(217)
第五节 血浆清除率·····	(220)
一、血浆清除率的概念和算法·····	(220)
二、测定血浆清除率的意义·····	(221)
第六节 尿的排放·····	(222)
一、膀胱与尿道的神经支配·····	(223)
二、排尿反射·····	(223)
第九章 感觉器官·····	(225)

第一节 概述	(225)
一、感受器的分类	(225)
二、感受器的一般生理特性	(225)
第二节 视觉器官	(227)
一、眼球结构	(227)
二、眼的折光功能及其调节	(228)
三、视网膜的感光功能	(231)
四、与视觉有关的一些现象	(237)
第三节 听觉器官	(238)
一、耳廓及外耳的功能	(238)
二、中耳的功能	(239)
三、耳蜗的感音功能	(240)
第四节 前庭器官	(244)
一、前庭器官的结构	(244)
二、前庭器官的反射	(245)
三、前庭器官的反射	(245)
第五节 嗅觉和味觉	(247)
一、嗅觉	(247)
二、味觉	(247)
第十章 神经系统	(249)
第一节 神经元活动的一般规律	(249)
一、神经元和神经纤维	(249)
二、神经元之间的信息传递	(253)
第二节 反射活动的一般规律	(263)
一、反射与反射弧	(263)
二、中枢神经元的联系方式	(265)
三、中枢内兴奋的传播	(266)
四、中枢抑制	(268)
第三节 神经系统的感觉功能	(270)
一、脊髓的感觉传导功能	(270)
二、丘脑及其感觉投射系统	(270)
三、大脑皮层的感分析功能	(273)
四、痛觉	(275)
第四节 神经系统对躯体运动的调节	(278)
一、脊髓对躯体运动的调节	(278)
二、脑干对肌紧张的调节	(282)
三、小脑对躯体运动的调节	(283)
四、基底神经节对躯体运动的调节	(286)
五、大脑皮层对躯体运动的调节	(288)

第五节 神经系统对内脏活动的调节	(290)
一、自主神经系统的结构特征	(291)
二、自主神经系统的功能特点	(291)
三、内脏活动的中枢调节	(294)
第六节 脑的高级功能	(299)
一、条件反射	(299)
二、学习与记忆	(301)
三、大脑皮层的语言功能和一侧优势	(303)
四、大脑皮层的电活动	(305)
五、觉醒和睡眠	(307)
第十一章 内分泌	(310)
第一节 概述	(310)
一、激素的分类	(310)
二、激素的作用	(310)
三、激素的传递方式及作用的一般特征	(310)
四、激素的合成、释放、运输与代谢	(312)
五、激素的作用原理	(313)
第二节 下丘脑的内分泌功能	(316)
一、下丘脑与垂体在形态和功能上的联系	(316)
二、下丘脑的调节性多肽	(317)
三、下丘脑释放调节性多肽的神经和激素控制	(320)
第三节 垂体	(320)
一、腺垂体	(321)
二、神经垂体	(323)
第四节 甲状腺	(324)
一、甲状腺激素的合成与代谢	(324)
二、甲状腺激素的生物学作用	(327)
三、甲状腺功能的调节	(329)
第五节 甲状旁腺和甲状腺 C 细胞	(330)
一、甲状旁腺激素	(330)
二、降钙素	(331)
附：维生素 D ₃	(332)
第六节 肾上腺	(333)
一、肾上腺皮质	(333)
二、肾上腺髓质	(337)
第七节 胰岛	(339)
一、胰岛素	(339)
二、胰高血糖素	(341)
第八节 松果体、胸腺及前列腺素	(342)

一、松果体	(342)
二、胸腺	(343)
三、前列腺素	(343)
第十二章 生殖	(346)
第一节 男性生殖	(346)
一、睾丸的功能	(346)
二、睾丸功能的调节	(348)
第二节 女性生殖	(348)
一、卵巢的生卵作用	(349)
二、卵巢的内分泌功能	(349)
三、卵巢功能的调节	(351)
四、月经周期及其调节	(352)
第三节 妊娠	(354)
一、受精	(354)
二、着床	(355)
三、胎盘及其激素	(355)
四、分娩与授乳	(357)

第一章 绪 论

第一节 生理学的研究内容

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。医学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。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 (通常简称生理学)。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的改变。

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) 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、呼吸生理学、胃肠生理学、肾脏生理学等。

(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-化学过程。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呢? 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。有关这方面的研究内容称为细胞生理学或普通生理学（general physiology）。

（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，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中的各种活动、社会条件、思想情绪等对人体整体及各系统功能活动的影响（注：社会条件对人体的影响已形成一门科学，叫社会医学）；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（主要是机体功能的调节机制）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，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，视觉生理研究的成果促进了眼病的防治。而临床医学的长期实践又为生理学的发展提出了许多宝贵资料，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。

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。例如，如果空气干燥，人可以在 120℃ 室温下停留 15 分钟，并无不良反应，体温仍保持稳定。而在此温度下，只需 13 分钟，就可使牛肉烤熟。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，肾排泄代谢终产物，调节水盐平衡，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等等。

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，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。

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而存在和活动的。机体内环境的稳定以及机体功能活动

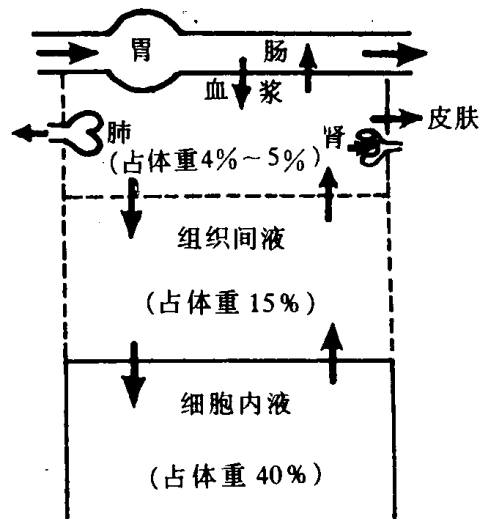


图 1-1 体液分布及其物质交换示意图
其中 % 表示占体重的 %

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规律性的反应。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 1-2)。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, 使之产生适应性反应。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。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。

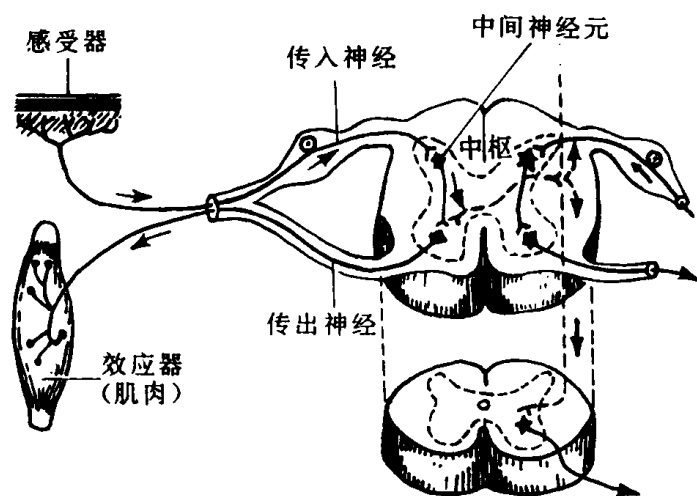


图 1-2 反射弧及其组成示意图

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, 但在高级中枢大脑皮层存在下, 要受到高级中枢的影响。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8.0~18.7kPa（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？是否过度或是不足，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）。

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系统，控制系统则可按照监视装置送的反馈信息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，因而制约和削弱控制信息的效应，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，增加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。在常温下,产热器官和散热器官在体温调节中枢的控制下,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,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,体温调节中枢到有关效应器的传出冲动增加,结果引起皮肤血管收缩(可减少散热)、身体卷曲、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。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。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,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,这是一种正反馈。正常情况下,体内发生的正反馈过程较少。

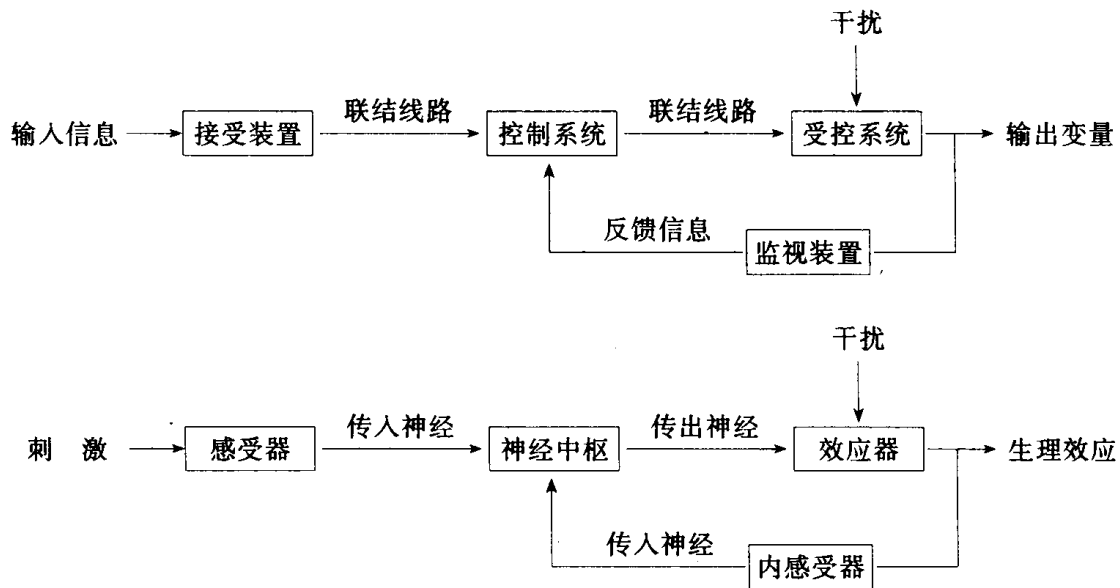


图 1-3 反馈联系模式图

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(干扰因素)作用于受控系统,将引起输出变量改变时,还可通过监测装置作用于控制系统,控制系统调整控制信息以对抗干扰信号对受控系统的作用,从而使输出变量保持稳定,即可避免干扰信息引起的输出变量的偏差,使反射活动更为精确。干扰信号对控制系统的作用(通过监测装置)称为前馈(feed forward),监测装置监测到干扰信号后发出的信息叫前馈信息。条件反射就是一种前馈系统的活动。在上述环境温度改变(干扰因素)引起体温降低的例中,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,其作用是感受外部环境温度的。当环境温度突然降低时,虽然这时尚未引起体温下降(输出变量改变),但体表温度感受器(监测装置)已把这一信号转换成前馈信息输送体温调节中枢,甚至环

境温度降低的一些信息（例如刮风、冬泳前见到的河水、语言文字等）通过视听监测装置输送到体温调节中枢，后者发出控制信息到皮肤血管和肌肉，从而预先采取了相应的“措施”，即加强机体的产热和减少散热。因此前馈系统的冲动能对输出变量（例如体温）的变化进行前瞻性的调节，可加快机体稳态反应的速度，防止干扰信号的干扰，使输出变量的变化减到最小。

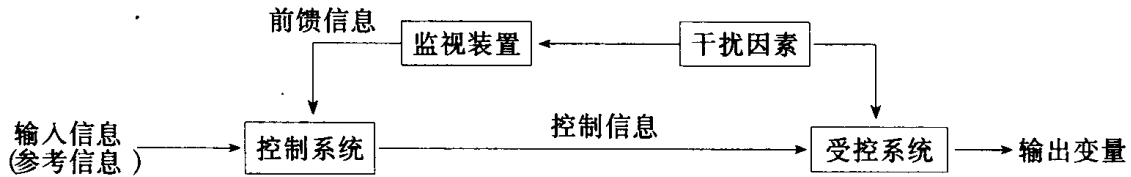


图 1-4 前馈模式图

(五) 生物节律

生物体内的各种生理功能活动除保持稳态外，又常按一定的时间顺序周而复始地发生变化，这种变化称为节律性变化，其节律称为生物节律（biologic rhythm）。人和动物的生物节律可按其频率的高低而分为高、中、低频三类。高频节律其节律周期低于一天，如心脏活动的周期性变化，呼吸自动节律等；中频节律是周期为一天的节律（又叫昼夜节律、日节律），体内最常见。例如，觉醒与睡眠、体温、一些激素的分泌、血细胞数、血压、尿液离子含量和各种代谢过程的强度均有昼夜变化（图 1-5）。低频节律有月周期（例如女性的月经周期）和年节律（例如候鸟的迁徙）等。

生物节律是由机体内部启动的，环境因素只规定节律的实际时间。生物节律的调节中枢可能在下丘脑的视交叉上核，其传入信息来自眼和神经系统的其它一些部位。

生物节律给稳态控制系统添加一个“预见性”成分，使前馈反应在没有监视装置的情况下起作用。我们知道，负反馈是“纠正”反应，即它是在稳态遭到破坏之后启动的，而生物节律使稳态在很可能遭到破坏之前就立即自动地启动。例如，尿排钾节律：白天排钾高，夜间排钾低，这是因为从食物中摄入钾是在白天，而不是在夜间睡眠时，因此尿排钾的昼夜节律可使体内钾的总量波动减小。此外，一些生理功能活动（如激素分泌）的周期性变化可影响机体对细菌和药物的耐受性，因此临床上可根据生理功能活动和药物反应的日周期变化的特征来提高药物治疗效果。

（赣南医学院 孙庆伟）

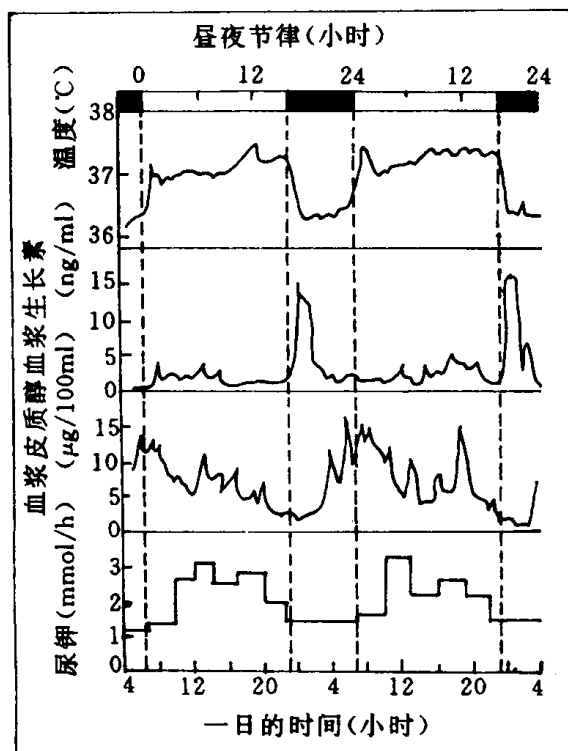


图 1-5 人体一些生理指标的昼夜节律