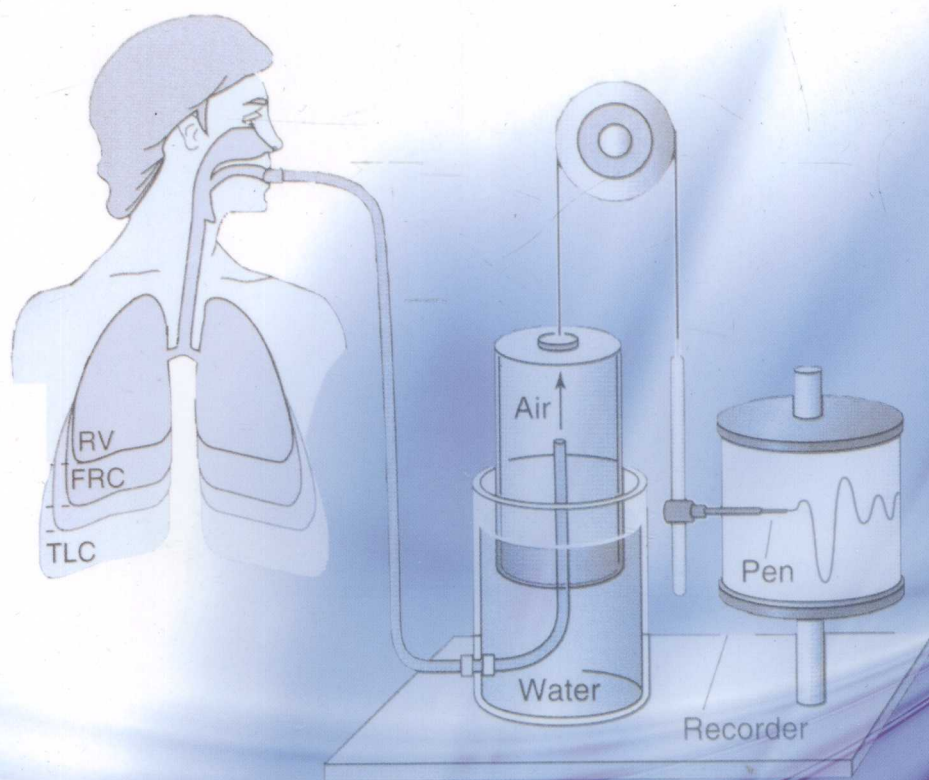


高等医学院校教材

人体生理学

(第二版)

主编 孙庆伟 周光纪 白洁 吴敏范



高等医学院校教材

要 要 容 内

人 体 生 理 学

(第二版)

主 编 孙庆伟 周光纪 白 洁 吴敏范
副主编 张兆强 张绪东 潘桂兰 周 旭
编 者 (以姓氏笔画为序)

白 洁 冯同道 孙庆伟 祁金顺
吴敏范 陈晓霞 周 旭 周光纪
张兆强 张绪东 陶 虹 高 振
蒋绍祖 潘桂兰

 中国医药科技出版社

内 容 提 要

本书由多所医学院校教学经验丰富的教授联合编写而成,本书吸收国内外生理学教材之所长,既介绍人体生理学的基本知识和基本理论,还适当介绍生理学的一些新进展。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、尿的生成和排出、感觉器官、神经系统、内分泌、生殖等生理学内容。每章后有一篇结合临床的小专论。

本书适合高等医学院校本科各专业学生、医务工作者晋级及资格考试和生理学教师教学参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

人体生理学/孙庆伟等主编.—2版.—北京:中国医药科技出版社,2009.8

ISBN 978-7-5067-4261-0

I. 人… II. 孙… III. 人体生理学 IV. R33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第147294号

美术编辑 陈杞君

出版 中国医药科技出版社

地址 北京市海淀区文慧园北路甲22号

邮编 100082

电话 发行:010-62227427 邮购:010-62236938

网址 www.cspyp.cn

规格 787×1092mm¹/₁₆

印张 28¹/₂

字数 713千字

初版 1994年7月第1版

版次 2009年8月第2版

印次 2009年8月第2版第3次印刷

印刷 廊坊市华北石油华星印务有限公司

经销 全国各地新华书店

书号 ISBN 978-7-5067-4261-0

定价 49.00元

本社图书如存在印装质量问题请与本社联系调换

前 言

本教材初版于1994年7月(1995年2月重印一次),至今已有15年了,由于种种原因未能及时再版修订。现根据读者需要,进行修订再版。第二版《人体生理学》的参编单位和作者都与第一版有很大不同,内容也作用了全面和彻底的修订,绝大多数章节的内容基本上都是重新编写的。本版教材的特点是:内容丰富(全书将近70万字,为了减少篇幅,部分内容用小号字排版:次要内容用小5宋字,联系临床及小专论用小5楷字)、取材新颖,编写时参考了国外近年出版的十多种原版生理学教材和多种国内生理学教材(见书后的参考文献),取各教材之所长;说理简明、清楚,循序渐进,内容深入浅出,语句通顺易懂,形象生动;插图多(共300余幅),有些插图是主编长期教学实践中总结出来的,大部分插图系引自国外生理学教材,这些插图主要由赣南医学院孙涌绘制、修改和处理,插图形象、示意性好,有助于理解生理学理论和机制;理论联系实际,基础结合临床,不但正文中能自然地结合临床,而且每章后附有一篇生理知识紧密结合临床知识的小专论;教材既着重阐述了生理学的基本知识和概念,也适当介绍了生理学的新进展,对一些生理机制和理论也采用了较新的解释。

限于作者的水平和修订、编写时间较仓促,书中不当和疏漏之处在所难免,希望广大读者指正。

主 编

2009年6月

目 录

人 体 生 理 学

第一章 绪论	(1)
第一节 生理学的研究内容及与医学的关系	(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	(3)
一、机体的内环境与稳态	(3)
二、人体功能活动的调节	(4)
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	(11)
第二节 细胞的生物电活动	(18)
一、刺激、反应及兴奋性	(19)
二、细胞的生物电现象及其产生机制	(20)
三、细胞兴奋后兴奋性的变化	(31)
第三节 细胞间的信息传递	(32)
一、化学性传递机制	(32)
二、相邻细胞之间的电联系	(39)
第四节 肌细胞的收缩功能	(40)
一、骨骼肌	(40)
二、平滑肌	(51)
小专论 骨骼肌纤维的分类、肌肉疲劳和肌肉的适应性变化	(54)
第三章 血液	(57)
第一节 概述	(57)
一、血液的基本组成和血容量	(57)
二、血浆的成分、理化特性和生理功能	(58)
第二节 血细胞生理	(61)
一、血细胞的生成	(61)
二、血细胞生成的调节	(62)

人 体 生 理 学

三、红细胞生理	(65)
四、白细胞生理	(67)
五、血小板生理	(70)
第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解	(72)
一、正常生理性止血的基本过程	(72)
二、血液凝固	(73)
三、抗凝系统	(77)
四、纤维蛋白溶解系统	(78)
第四节 血型与输血原则	(80)
一、血型与红细胞凝集	(80)
(1) 二、输血	(83)
(1) 三、白细胞、血小板血型与器官移植	(84)
(1) 小专论 人类白血病抗原与造血干细胞移植	(84)
第四章 血液循环	(87)
第一节 心脏的泵血功能	(87)
(8) 一、心动周期和心率	(88)
(4) 二、心脏泵血过程及其机制	(89)
(9) 三、心音	(91)
(9) 四、心脏泵血功能的评价	(92)
(9) 五、心脏泵血功能的调节	(94)
(1) 第二节 心肌的生物电活动和生理特性	(99)
(81) 一、心肌细胞的生物电活动	(100)
(91) 二、心肌的生理特性	(105)
(09) 三、体表心电图	(113)
(16) 第三节 血管生理	(115)
(52) 一、血管的功能特点	(115)
(58) 二、血流量、血流阻力和血压	(116)
(98) 三、动脉血压和动脉脉搏	(119)
(04) 四、静脉血压和静脉血流	(122)
(04) 五、微循环	(124)
(12) 六、组织液的生成与回流	(127)
(42) 七、淋巴液的生成与回流	(128)
(7) 第四节 心血管活动的调节	(129)
(72) 一、神经调节	(129)
(72) 二、体液调节	(138)
(82) 三、自身调节	(142)
(16) 四、动脉血压的短期调节和中、长期调节	(143)
(1) 第五节 器官循环	(144)
(58) 一、冠脉循环	(144)

二、肺循环	(146)
三、脑循环	(149)
小专论 离子对心脏活动的影响	(150)
第五章 呼吸	(155)
第一节 肺通气	(155)
一、肺通气的机制	(155)
二、肺通气功能的指标	(163)
第二节 肺换气和组织换气	(167)
一、肺换气和组织换气的基本原理	(167)
二、肺换气	(168)
三、组织换气	(170)
第三节 气体在血液中的运输	(171)
一、氧和二氧化碳在血液中的形式	(171)
二、氧的运输	(171)
三、二氧化碳的运输	(175)
第四节 呼吸运动的调节	(177)
一、呼吸中枢	(177)
二、呼吸节律的形成机制	(179)
三、呼吸的反射性调节	(180)
四、异常呼吸	(184)
小专论 肺的非呼吸功能	(185)
第六章 消化与吸收	(188)
第一节 概述	(188)
一、消化道平滑肌的生理特性	(188)
二、消化腺的分泌功能	(189)
三、消化道的神经支配	(189)
四、消化道的内分泌功能——胃肠激素	(191)
五、胃肠血流的一般特点	(193)
第二节 口腔内消化	(193)
一、唾液的成分、作用及其分泌的调节	(193)
二、咀嚼与吞咽	(195)
第三节 胃内消化	(196)
一、胃液及其分泌	(197)
二、胃的运动及其控制	(202)
第四节 小肠内消化	(204)
一、胰液的分泌	(204)
二、胆汁的分泌和排出	(207)
三、小肠液的分泌	(209)
四、小肠的运动	(210)

第五节 大肠内的消化	(212)
一、大肠液的分泌	(212)
二、大肠的运动和排便	(212)
三、大肠内细菌的活动	(213)
第六节 吸收	(214)
一、吸收过程概述	(214)
二、小肠的吸收功能	(216)
三、大肠的吸收功能	(220)
小专论 摄食调节	(221)
第七章 能量代谢与体温	(224)
第一节 能量代谢	(224)
一、机体能量的来源与利用	(224)
二、能量代谢测定的原理和方法	(225)
三、影响能量代谢的因素	(228)
四、基础代谢	(229)
第二节 体温及其调节	(231)
一、体温	(231)
二、机体的产热和散热	(233)
三、体温调节	(236)
小专论 体温过高和体温过低	(238)
第八章 尿的生成和排出	(241)
第一节 肾脏的功能解剖和肾血流量	(241)
一、肾脏的功能解剖	(242)
二、肾脏血液供应的特点及肾血流量的调节	(245)
第二节 肾小球的滤过功能	(247)
一、有效滤过压	(247)
二、影响肾小球滤过的因素	(248)
第三节 肾小管和集合管的物质转运功能	(250)
一、肾小管和集合管中物质转运的方式	(250)
二、肾小管和集合管中物质转运的途径	(250)
第四节 尿液的浓缩和稀释	(256)
一、尿液的稀释	(257)
二、尿液的浓缩	(257)
第五节 尿生成的调节	(261)
一、肾内自身调节	(261)
二、肾交感神经的调节作用	(262)
三、体液调节	(262)
第六节 血浆清除率	(267)

一、血浆清除率的概念和计算方法	(267)
二、测定血浆清除率的意义	(267)
第七节 尿的排放	(269)
一、膀胱和尿道的神经支配	(269)
二、排尿反射	(270)
三、排尿异常	(270)
小专论 利尿药作用的生理学基础	(271)
第九章 感觉器官	(273)
第一节 概述	(273)
一、感受器与感觉器官的定义和分类	(273)
二、感受器的一般生理特性	(273)
第二节 视觉器官	(276)
一、眼的折光功能及其调节	(276)
二、视网膜的感光功能	(279)
三、与视觉有关的几种生理现象	(286)
第三节 听觉器官	(287)
一、外耳和中耳的传音作用	(288)
二、耳蜗的感音功能	(290)
第四节 前庭器官	(293)
一、前庭器官的结构	(293)
二、前庭器官的感受装置和适宜刺激	(294)
三、前庭器官的反射	(295)
第五节 嗅觉和味觉	(297)
一、嗅觉	(297)
二、味觉	(298)
小专论 眩晕	(299)
第十章 神经系统	(301)
第一节 神经元与神经胶质细胞	(301)
一、神经元与神经纤维	(301)
二、神经胶质细胞	(304)
第二节 神经元之间的信息传递	(305)
一、神经元之间信息传递的方式	(305)
二、神经递质	(312)
三、神经递质的受体	(317)
第三节 反射活动的一般规律	(322)
一、反射概念	(322)
二、反射弧	(322)
三、中枢神经元的联系方式	(323)

四、中枢抑制	(324)
第四节 神经系统的感觉分析功能	(326)
一、躯体感觉	(326)
二、内脏感觉	(332)
三、中枢对特殊感觉的分析	(334)
第五节 神经系统对姿势和躯体运动的调节	(335)
一、运动调节基本机制	(335)
二、中枢对肌紧张和姿势的调节	(336)
第六节 神经系统对内脏活动和情绪的调节	(349)
一、自主神经系统的功能	(350)
二、内脏活动的中枢调节	(352)
第七节 脑的电活动与觉醒、睡眠机制	(356)
一、脑电活动	(356)
二、觉醒与睡眠	(359)
第八节 脑的高级功能	(362)
一、学习与记忆	(362)
二、大脑皮层的语言功能	(366)
三、大脑皮层功能的一侧优势	(367)
四、两侧大脑皮层功能的相关	(368)
小专论 内源性镇痛系统	(368)
第十一章 内分泌	(373)
第一节 概述	(373)
一、激素的分类	(375)
二、激素的作用	(375)
三、激素的传递方式及作用的一般特征	(376)
四、激素作用的机制	(377)
五、激素分泌的调节	(380)
第二节 下丘脑-垂体的内分泌	(381)
一、下丘脑-腺垂体系统	(381)
二、下丘脑-神经垂体系统	(387)
第三节 甲状腺	(388)
一、甲状腺激素的合成与代谢	(388)
二、甲状腺激素的作用	(391)
三、甲状腺功能的调节	(394)
第四节 甲状旁腺、甲状腺 C 细胞和维生素 D ₃	(396)
一、甲状旁腺激素	(396)
二、降钙素	(397)
三、维生素 D ₃	(398)
第五节 胰岛	(400)

一、胰岛素	(400)
二、胰高血糖素	(405)
第六节 肾上腺	(405)
一、肾上腺皮质	(406)
二、肾上腺髓质	(411)
第七节 其他激素	(412)
一、松果体激素	(412)
二、前列腺素	(413)
三、脂肪激素	(414)
小专论 牙的生理学	(415)
第十二章 生殖	(419)
第一节 男性生殖	(419)
一、睾丸的功能	(419)
二、睾丸功能的调节	(423)
第二节 女性生殖	(425)
一、卵巢的生卵功能	(425)
二、卵巢的内分泌功能	(428)
三、月经周期及月经周期的调节	(431)
四、妊娠	(432)
第三节 性生理学	(435)
一、性的成熟和特征	(435)
二、性兴奋与性行为	(436)
三、性兴奋和性行为的调节	(438)
小专论 环境雌激素与人类生殖健康	(439)
参考文献	(442)

第一章

绪 论

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, 它是研究生命活动的道理即规律的科学。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。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生命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。由于人体生理学主要研究正常人体的各种生命活动, 所以也称为正常人体生理学 (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称为病理生理学。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, 即器官、系统水平, 细胞、分子水平, 整体水平。

(一) 器官、系统水平

研究体内各个器官、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。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,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。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其排列方式发生变化,发生收缩或舒张活动。又如许多激素的作用是通过调节细胞基因的表达(转录),诱导产生一些特殊功能或结构的蛋白质(包括酶)来实现的。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)。近几十年来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说明这些分子在完整生命机体中的意义。

(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,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等)对人体功能活动的影响,以及机体处于特殊状态(如运动、体力劳动、做气功、失重等)下生理功能的改变与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,称为社会医学);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、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,它与医学有密切的关系。因为只有理解和掌握机体正常的生命活动规律,才能理解和掌握机制异常的生命活动规律,才能对患病时所发生的一切病理现象进行阐述,并通过医务人员和患者的主观努力,使异常向正常转化。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防治的发展;胰岛素的发现及其作用机制的研究促进了糖尿病的防治;在分子水平上对离子通道的研究成果,认识和阐明了许多过去不了解的疾病。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,人体的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(图 1-1)。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 年)称之为机体的内环境(internal environment),以区别整个机体所生存的外环境。

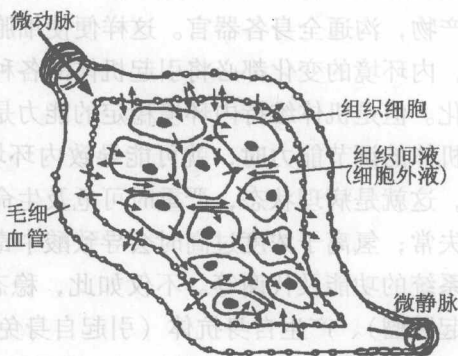
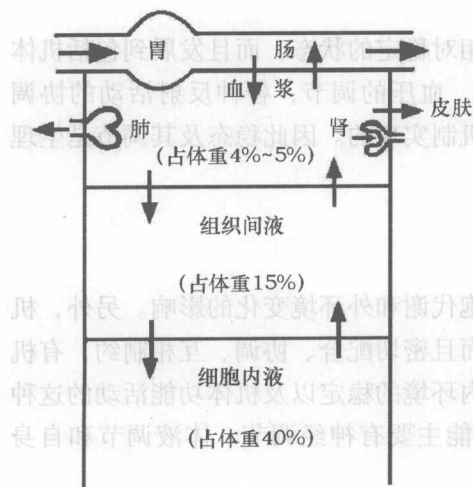


图 1-1 组织细胞“浸浴”在细胞外液中

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 1-2)。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。



(图 1-2 体液分布及其物质交换示意图)

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。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 15min,并无不良反应,体温仍保持稳定。而在此温度下,只需 13min,就可使牛肉烤熟。因为在此温

度下,人体通过大量出汗而散热,使体温保持稳定。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。”即是细胞维持正常的生命活动的首要条件。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 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1-2)。因此,内环境的变化都必将引起机体的各种调节机制,它们精确地调节,以限制与恢复这种变化。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;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。

维持稳态机制的能力在人的一生中是不同的,出生时某些稳态机制没有充分发展;有些稳态机制随着年龄的增长而衰退。例如,新生儿不能像成人一样浓缩尿,因此对缺水的耐受能力差;老年人对应激(如运动、气候变化等)的耐受能力不如年轻人。

传统上,稳态是指浸浴组织的细胞外液的情况,但也适用于细胞内的情况,事实上维持恒定的内环境的最终目的是促成细胞内稳态。细胞内进行的大量生化反应是受到精细调节的,因为细胞内的代谢反应是受酶催化的,而酶的活性受许多因素的影响或控制。

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,例如,血压的调节,各种反射活动的协调等。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。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。

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产生规律性的反应。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 1-3)。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, 它能对传入的神经冲动进行加工处理 (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。

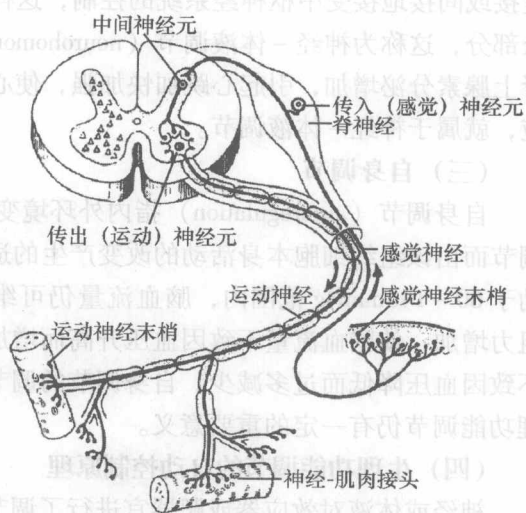


图 1-3 反射弧及其组成示意图

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。以上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 (详见第十章“脑的高级功能”一节)。

(二) 体液调节

体液调节 (humoral regulation) 主要是指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, 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。

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(neurohumoral 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,脑血液量的调节,血压变动于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?有无过度或是不足,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基本上都是一个闭合回路(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;此时其所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1-4)。

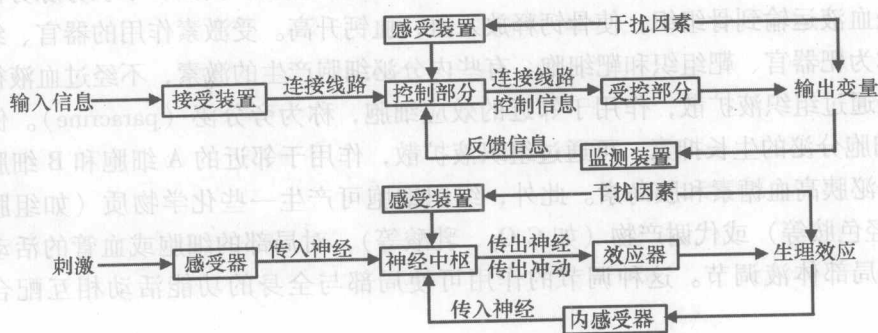


图1-4 反馈控制系统模式图

上行前馈;下行反馈