

高等医药院校大专教材

# 人体生理学

RENTI

SHENGLIXUE

主编 姚运伟 章茜 吴筱茵 张朝 王金山

河南医科大学出版社

# 编 委

(以姓氏笔画为序)

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 王金山 | 孙贤奎 | 许继田 |
| 张朝  | 李宗明 | 吴筱茵 |
| 姚运伟 | 章茜  | 崔金娟 |

## 编写说明

本书为高等医药专科学校各专业(临床医学、预防医学等)三年制学生用生理学教科书。它从整体水平、器官、系统水平和细胞分子水平全面论述了人体生命活动的现象以及发生的机理。根据我们多年来在教学中的经验和体会,选择了作为一个医学专科生必须掌握的生理学基本理论、基本知识和基本技能的内容,并对一些重点、难点问题作了较为详细、有据的阐述,适当选入一些得到公认的生理学新进展。

随着医学成人教育的不断普及与提高,为使在校和在职的中级以上医务人员提高医学基础理论知识,在编写过程中力图注意便于学生自学和独立思考,文字通顺、易懂,深入浅出,并精选了插图。全书侧重于科学性和适用性。

生理学名词术语,以全国自然科学名词审定委员会发行的《生理学名词》一书为准。重要的名词概念以黑体标出,并附加相应的英文。全书均采用法定计量单位,少数惯用的非法定计量单位附于括号内,以供参考。

李鸿勋教授在本书编写中,特别是在后期的文字修饰、内容的审定等工作中做了富有成效的工作,在此表示衷心的感谢。

本教材在形式和内容上都有些变化。书中定会有错误和不当之处,诚肯地希望广大读者批评指正,以便修正。

姚运纬

1998年6月

# 目 录

|                        |      |
|------------------------|------|
| 第一章 绪论 .....           | (1)  |
| 什么是生理学 .....           | (1)  |
| 生命活动的基本特征 .....        | (1)  |
| 机体的内环境 .....           | (3)  |
| 机体功能活动的调节 .....        | (5)  |
| 第二章 神经纤维和骨骼肌 .....     | (9)  |
| 第一节 细胞膜跨膜的物质转运功能 ..... | (9)  |
| 扩散 .....               | (10) |
| 主动运输 .....             | (12) |
| 胞吐和胞纳 .....            | (13) |
| 第二节 神经纤维的功能 .....      | (14) |
| 神经纤维的生物电活动 .....       | (14) |
| 兴奋的引起和兴奋的传导 .....      | (19) |
| 神经纤维兴奋开始后兴奋性的变化 .....  | (23) |
| 第三节 骨骼肌的兴奋与收缩 .....    | (23) |
| 神经肌接头处兴奋的传递 .....      | (24) |
| 骨骼肌的收缩 .....           | (26) |
| 第三章 血液 .....           | (34) |
| 第一节 血浆 .....           | (34) |
| 血浆的成分 .....            | (35) |
| 血浆的理化特性 .....          | (35) |
| 第二节 血细胞 .....          | (37) |
| 红细胞 .....              | (37) |
| 白细胞 .....              | (39) |
| 血小板 .....              | (41) |
| 第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解 .....  | (42) |
| 血液凝固 .....             | (42) |
| 纤维蛋白溶解 .....           | (45) |
| 第四节 血型 .....           | (46) |
| ABO 血型系统 .....         | (46) |

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Rh 血型系统.....             | (48)  |
| <b>第四章 血液循环</b> .....    | (49)  |
| 第一节 心脏的泵血功能 .....        | (49)  |
| 心动周期的概念 .....            | (50)  |
| 心室射血与充盈过程 .....          | (50)  |
| 心音 .....                 | (52)  |
| 心脏泵血功能的评价 .....          | (53)  |
| 心脏泵血功能的调节 .....          | (55)  |
| 第二节 心肌的生物电现象和电生理特性 ..... | (57)  |
| 心肌细胞的生物电现象 .....         | (57)  |
| 心肌的电生理特性 .....           | (60)  |
| 心电图 .....                | (65)  |
| 第三节 血管生理 .....           | (67)  |
| 各类血管的功能特点 .....          | (67)  |
| 血流动力学的基本原理 .....         | (68)  |
| 动脉血压与动脉脉搏 .....          | (70)  |
| 微循环 .....                | (74)  |
| 组织液的生成与淋巴循环 .....        | (76)  |
| 静脉血压与血流 .....            | (78)  |
| 第四节 心血管活动的调节 .....       | (80)  |
| 心血管的神经支配与心血管中枢 .....     | (80)  |
| 心血管活动的反射调节 .....         | (83)  |
| 心血管活动的体液调节 .....         | (85)  |
| 第五节 个别器官循环 .....         | (88)  |
| 冠脉循环 .....               | (89)  |
| 脑循环 .....                | (90)  |
| <b>第五章 呼吸</b> .....      | (92)  |
| 第一节 肺通气 .....            | (92)  |
| 呼吸道的结构特征及其功能 .....       | (92)  |
| 肺通气原理 .....              | (94)  |
| 肺通气功能的测定 .....           | (98)  |
| 第二节 呼吸气体的交换 .....        | (100) |
| 气体交换原理 .....             | (100) |
| 气体交换过程 .....             | (101) |
| 影响肺换气的因素 .....           | (101) |
| 第三节 气体在血液中的运输 .....      | (103) |
| 氧的运输 .....               | (103) |
| 二氧化碳的运输 .....            | (105) |

|                      |               |       |
|----------------------|---------------|-------|
| 第四节                  | 呼吸运动的调节 ..... | (106) |
| 呼吸中枢 .....           | (106)         |       |
| 呼吸的反射性调节 .....       | (108)         |       |
| 第五节                  | 肺的非呼吸功能 ..... | (110) |
| 第六章                  | 消化和吸收 .....   | (112) |
| 第一节                  | 概述 .....      | (112) |
| 消化道平滑肌的生理特性 .....    | (112)         |       |
| 消化腺的分泌 .....         | (113)         |       |
| 胃肠的神经支配及其作用 .....    | (113)         |       |
| 胃肠激素 .....           | (114)         |       |
| 第二节                  | 口腔内的消化 .....  | (115) |
| 唾液的分泌 .....          | (115)         |       |
| 咀嚼和吞咽 .....          | (116)         |       |
| 第三节                  | 胃内的消化 .....   | (117) |
| 胃的分泌 .....           | (117)         |       |
| 胃的运动 .....           | (120)         |       |
| 第四节                  | 小肠内的消化 .....  | (121) |
| 胰液的分泌 .....          | (121)         |       |
| 胆汁的分泌 .....          | (124)         |       |
| 小肠液的分泌 .....         | (124)         |       |
| 小肠的运动 .....          | (125)         |       |
| 第五节                  | 大肠内的消化 .....  | (126) |
| 大肠液的分泌及肠内细菌的作用 ..... | (126)         |       |
| 大肠的运动和排便 .....       | (126)         |       |
| 第六节                  | 吸收 .....      | (127) |
| 概述 .....             | (127)         |       |
| 小肠内主要营养物质的吸收 .....   | (129)         |       |
| 第七章                  | 能量代谢和体温 ..... | (131) |
| 第一节                  | 能量代谢 .....    | (131) |
| 人体能量的来源和去路 .....     | (131)         |       |
| 能量代谢测定的原理和方法 .....   | (132)         |       |
| 影响能量代谢的因素 .....      | (135)         |       |
| 基础代谢 .....           | (137)         |       |
| 第二节                  | 体温及其调节 .....  | (138) |
| 人的正常体温及生理变动 .....    | (138)         |       |
| 机体的产热和散热 .....       | (139)         |       |
| 体温调节 .....           | (142)         |       |
| 第八章                  | 泌尿 .....      | (145) |

|     |                       |       |
|-----|-----------------------|-------|
| 第一节 | 肾脏的结构和血液循环特点 .....    | (145) |
|     | 肾脏的结构特征 .....         | (145) |
|     | 肾脏血液循环特征 .....        | (147) |
| 第二节 | 肾小球的滤过功能 .....        | (149) |
|     | 滤过膜及其通透性 .....        | (150) |
|     | 有效滤过压 .....           | (151) |
|     | 影响肾小球滤过的因素 .....      | (152) |
| 第三节 | 肾小管与集合管的泌尿功能 .....    | (153) |
|     | 肾小管与集合管的重吸收功能 .....   | (153) |
|     | 肾小管与集合管的分泌和排泄功能 ..... | (157) |
| 第四节 | 尿液的浓缩与稀释 .....        | (159) |
|     | 肾髓质的高渗透压梯度 .....      | (159) |
|     | 尿液的浓缩与稀释 .....        | (159) |
|     | 肾髓质高渗透压梯度的形成和保持 ..... | (160) |
| 第五节 | 尿液生成的激素调节 .....       | (162) |
|     | 血管升压素 .....           | (162) |
|     | 醛固酮 .....             | (163) |
|     | 心房钠尿肽 .....           | (165) |
|     | 甲状旁腺激素 .....          | (165) |
| 第六节 | 尿液及排放 .....           | (165) |
|     | 尿液 .....              | (165) |
|     | 尿液的排放 .....           | (165) |
| 第九章 | 感觉器官 .....            | (167) |
| 第一节 | 概述 .....              | (167) |
|     | 感受器与感觉器官的概念 .....     | (167) |
|     | 感受器的分类 .....          | (167) |
|     | 感受器的一般生理特性 .....      | (168) |
| 第二节 | 视觉器官 .....            | (169) |
|     | 眼的折光系统及其调节 .....      | (169) |
|     | 眼的感光系统 .....          | (172) |
|     | 视觉的几种生理现象 .....       | (175) |
|     | 房水和眼内压 .....          | (177) |
| 第三节 | 听觉器官 .....            | (178) |
|     | 听觉的一般特征 .....         | (178) |
|     | 外耳和中耳的传音作用 .....      | (179) |
|     | 内耳的感音换能作用 .....       | (181) |
| 第四节 | 前庭器官 .....            | (183) |
|     | 椭圆囊和球囊的功能 .....       | (184) |

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 半规管的功能 .....                   | (184) |
| 前庭器官反应 .....                   | (185) |
| <b>第十章 中枢神经系统</b> .....        | (187) |
| <b>第一节 神经元活动的一般规律</b> .....    | (187) |
| 神经元和神经纤维 .....                 | (187) |
| 神经元间的信息传递 .....                | (189) |
| 神经递质 .....                     | (194) |
| 神经元间的连接方式 .....                | (198) |
| 中枢抑制 .....                     | (199) |
| 神经胶质细胞 .....                   | (202) |
| <b>第二节 中枢神经系统的感觉分析功能</b> ..... | (203) |
| 感觉信息的传入过程 .....                | (203) |
| 丘脑 .....                       | (205) |
| 大脑皮层的感觉分析功能 .....              | (206) |
| 痛觉 .....                       | (208) |
| <b>第三节 神经系统对躯体运动的调节</b> .....  | (210) |
| 脊髓对躯体运动的调节 .....               | (210) |
| 脑干对牵张反射的调节 .....               | (214) |
| 小脑 .....                       | (216) |
| 基底神经节 .....                    | (218) |
| 大脑皮层对躯体运动的调节 .....             | (218) |
| <b>第四节 神经系统对内脏活动的调节</b> .....  | (221) |
| 自主神经的结构特征 .....                | (221) |
| 自主神经系统的功能和意义 .....             | (223) |
| 中枢对内脏活动的调节 .....               | (225) |
| <b>第五节 脑的高级功能和电活动</b> .....    | (228) |
| 大脑皮层电活动 .....                  | (228) |
| 觉醒与睡眠 .....                    | (230) |
| 大脑皮层的语言中枢和一側优势 .....           | (232) |
| 条件反射 .....                     | (233) |
| <b>第十一章 内分泌</b> .....          | (235) |
| <b>第一节 概述</b> .....            | (235) |
| 激素的分类和作用 .....                 | (235) |
| 激素作用的一般特征 .....                | (236) |
| 激素作用的机制 .....                  | (236) |
| <b>第二节 下丘脑与垂体</b> .....        | (238) |
| 下丘脑与垂体的功能联系 .....              | (238) |
| 下丘脑调节肽 .....                   | (239) |



|     |                            |       |
|-----|----------------------------|-------|
| 第三节 | 垂体 .....                   | (240) |
|     | 垂体的结构特征 .....              | (240) |
|     | 腺垂体分泌的激素及生理作用 .....        | (240) |
|     | 腺垂体激素分泌的调节 .....           | (243) |
|     | 神经垂体 .....                 | (243) |
| 第四节 | 甲状腺 .....                  | (244) |
|     | 甲状腺激素的合成、贮存、释放、运输和代谢 ..... | (244) |
|     | 甲状腺激素的生物学作用 .....          | (246) |
|     | 甲状腺激素分泌的调节 .....           | (247) |
| 第五节 | 肾上腺 .....                  | (249) |
|     | 肾上腺皮质 .....                | (249) |
|     | 肾上腺髓质 .....                | (252) |
| 第六节 | 胰岛 .....                   | (254) |
|     | 胰岛素 .....                  | (254) |
|     | 胰高血糖素 .....                | (255) |
| 第七节 | 甲状旁腺激素、胆钙化醇和降钙素 .....      | (256) |
|     | 甲状旁腺激素 .....               | (256) |
|     | 胆钙化醇 .....                 | (258) |
|     | 降钙素 .....                  | (259) |
| 第八节 | 前列腺素 .....                 | (260) |
| 第九节 | 性腺 .....                   | (261) |
|     | 睾丸的内分泌功能 .....             | (261) |
|     | 卵巢的内分泌功能 .....             | (262) |
|     | 胎盘的内分泌功能 .....             | (266) |

# 第一章 绪论

## 什么是生理学

生理学(physiology)是研究生物体功能活动及活动规律的科学,它的研究对象是活体,只有活的机体、活的器官、活的细胞才具有功能。人体生理学(human physiology)是研究人体功能活动规律的科学,即探索人体的各种生命现象,例如  $O_2$  的吸入与  $CO_2$  的排出,摄食与排泄、生长、发育与生殖以及人体对环境变化的反应与适应等,并阐明其活动的过程,作用机制和原理。所以,生理学属于生物科学或生命科学的范畴。

人们对生物体功能活动规律的了解,不是通过臆测和单纯的推理,而是从观察和实验中总结出来的。17 世纪的英国医生、实验生理学的奠基人威廉·哈维(William Harvey)首先在生理学研究确立了实验研究方法,他利用动物实验和对人体的观察,在 1628 年发表文章证明血液是在心脏和血管系统中循环流动的。这一结论不是他的凭空想像,而是通过实验和观察所得出的总结。由于人体很多基本的生理功能与动物相类似或完全相同,因此,很多对人体健康有害的实验可以在动物体上进行,以间接了解人体的功能。动物实验已成为生理学的主要研究手段。例如俄国著名生理学家伊凡·巴甫洛夫(Ivan Pavlov, 1849 ~ 1936)将狗胃人工做成巴甫洛夫小胃和胃瘘管,长期观察狗胃的消化活动,获取了大量有关胃功能的研究资料。由此可见,生理学是研究生物体生命活动规律的科学,是一门实验科学。

## 生命活动的基本特征

生命活动的基本特征即生物体的共性。蛋白质和核酸是一切生命活动的物质基础。生命活动至少包括以下 3 种基本活动。

### 新陈代谢

有生命的物体即有机体与无生命物体的根本区别在于前者能够而且必须不断地从外界摄取可利用的物质以营养自己,同时又不断地把自身和外来的物质进行分解并将分解产物向体外排出。机体这种同外界环境进行物质交换以及物质在体内的变化过程,称为**新陈代谢**(metabolism)。摄入的营养物质在体内经过复杂的化学变化,以合成和重建自身的结构称为**合成代谢**(anabolism);同时,又不断地分解和破坏自身的结构称为**分解代谢**(catabolism)。

机体内任何物质的变化,都同时伴有能量的转换。合成代谢需要能量,是吸收能量的过程;分解代谢时则是释放能量的过程。合成代谢为分解代谢创造物质基础;分解代谢为合成代谢提供能量来源,因此,二者是不可分割的。这样,新陈代谢也就包括物质代谢和能量代谢两个方面。由于科学研究的分工,物质代谢将在生物化学中详细叙述。本书的循环、呼吸、消化和吸收、能量代谢和泌尿等章节也将涉及有关物质代谢的内容。可以看出,通过这些器官的活动,共同维持了机体的代谢。

生物体以新陈代谢为生存的条件,新陈代谢一旦停止,生命活动也就中断,机体也就死亡。

## 兴奋性

机体与周围环境的关系,不仅表现在物质交换方面,还表现在当环境条件发生改变时,能引起机体功能活动的相应改变,包括机体外部表现的变化和内部物理化学的变化。生物体这种对环境变化发生反应的能力和特性称为**兴奋性**(excitability)。兴奋性是一切生物体普遍具有的功能,也是生物体能够生存的必要条件,所以,兴奋性也是生命的基本特征。

**1. 刺激和反应** 由于生物体所处的环境十分复杂,变化的因素很多,但并不是所有的变化都能引起机体活动的改变,只有那些能被机体感受的环境的能量变化才能引起机体功能活动的改变,生理学上将这种因素称为**刺激**(stimulus)。由刺激所引起的机体功能变化和理化变化过程称为**反应**(response)。

刺激按其性质不同可分为机械的,温度的,化学的,声、光、电的等等;反应又因组织的不同而异。肌肉表现为收缩,神经表现为兴奋的传导,而腺体则表现为分泌。它们不仅可以被观察到,还可以客观地记录下来,并可进行精确地测量。刺激只有施加在具有兴奋性的活体上才会有反应,所以说兴奋性是产生反应的基础。

**2. 反应的形式** 当机体受到刺激而发生反应时,从其外表活动来看,可有2种不同的表现:一种是由相对的静止状态转变为活动状态,或由较弱的活动转变为活动的增强;另一种表现则由明显的活动状态变为相对静止,或由较强的活动变为活动的减弱。生理学将前者称为**兴奋**(excitation),后一表现称为**抑制**(inhibition)。兴奋和抑制是机体功能状态的两种表现形式,两者互为前提,对立统一,可随条件的改变而相互转化。

**3. 兴奋性的衡量** 研究表明,不同的组织其兴奋性高低不等;同一组织在不同条件下兴奋性也有异。兴奋性的高低是以引起反应的难易程度来衡量的。凡能引起某种组织产生反应的最小刺激强度称为**阈强度**,简称**阈值**(threshold)。具有阈强度的刺激称**阈刺激**。对很小很弱的刺激能产生反应,即阈值小,表明组织易于兴奋,则兴奋性高;如果须用很强的刺激才能引起反应,即阈值大,表明组织难以兴奋,则兴奋性低。可见,阈值的大小可以从一个侧面反映兴奋性的高低,阈值的大小可以作为衡量组织兴奋性高低的指标。这样,一个十分抽象的概念——兴奋性,就有了量化的标准。

以上是对兴奋性的问题作一概括的介绍,随着学习的不断深入,我们还会对兴奋性和兴奋的问题有更加深刻、透彻的理解。神经、肌肉、腺体这3种细胞当它们产生兴奋时各自都会产生非常明显的外部表现。如神经细胞表现为生物电变化,肌肉细胞除了也有生

物电变化外还会发生收缩,腺细胞则表现为分泌活动。因此,将这种细胞称为**可兴奋细胞**(excitable cell),以别于其他细胞。

## 生殖

生殖是指生物体发育成熟后,能产生新的个体,繁衍与自己相似的子代的能力称为**生殖**(reproduction)。任何生物的个体都有由新生到死亡的过程,都不能长生不老。但可以通过生殖而延续种系。如果某类生物丧失生殖能力,不能延续种系,那么,这一种系将被消灭淘汰。因此,生殖也是生命活动的基本特征之一。

总之,机体依靠新陈代谢以维持生命,依靠兴奋性以应付环境变化,依靠生殖以延续种系,这是一切活的有机体的共性,称为生命的基本特征。

## 机体的内环境

### 体液

生物体新陈代谢的各种化学反应都在水中进行,体内各种物质的运输也离不开水。水是人体内含量最多的成分,约占体重的 60%。水及溶于其中的物质构成了人体内的液体部分,称为**体液**(body fluid)。体液依其分布部位的不同可区分为细胞内液和细胞外液。**细胞内液**(intracellular fluid)是细胞固有的组成成分,是细胞内生化反应进行的场所,约占体重的 40%。**细胞外液**(extracellular fluid)是存在于细胞与细胞之间的液体,约占体重的 20%,其中 1/4 存在于血管内的血细胞之间,称为**血浆**;其余 3/4 存在于组织间隙,称为**组织液**(图 1-1)。

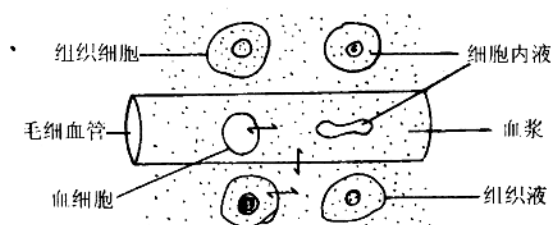


图 1-1 体液及其分布

图中双箭头表示细胞内外液的交换

人体含水量占体重的百分比随年龄的增长而逐渐减少。婴幼儿体内含水量约占体重的 70%之多。肥胖者体内水量相对较少。

细胞内液和细胞外液被细胞膜隔开。细胞膜的通透性比毛细血管低,而且有高度的选择性。水、 $O_2$  和  $CO_2$  可自由通过细胞膜,葡萄糖、氨基酸、尿素等小分子物质也可以通

过细胞膜,无机离子却不能无选择地通过细胞膜,而蛋白质等大分子则不能通过细胞膜。这样,细胞内液和细胞外液的蛋白质含量和无机离子的含量就有了明显的差异(表1-1)。细胞外液的正离子以 $\text{Na}^+$ 为主,而细胞内液则以 $\text{K}^+$ 为主。这种 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 在细胞内外的不平衡分布,是神经、肌肉等组织具有兴奋性的物质基础。

表 1-1 人体各部分体液中电解质含量

| 离子  | 血浆<br>mmol/L        | 组织液<br>mmol/L | 细胞内液<br>mmol/L |     |
|-----|---------------------|---------------|----------------|-----|
| 正离子 | $\text{Na}^+$       | 142.0         | 147.0          | 10  |
|     | $\text{K}^+$        | 5.0           | 4.0            | 140 |
|     | $\text{Ca}^{2+}$    | 5.0           | 2.5            | 5   |
|     | $\text{Mg}^{2+}$    | 3.0           | 2.0            | 27  |
|     | 总计                  | 155.0         | 155.0          | 182 |
| 负离子 | $\text{HCO}_3^-$    | 27.0          | 30.0           | 10  |
|     | $\text{Cl}^-$       | 103.0         | 114.0          | 25  |
|     | $\text{HPO}_4^{2-}$ | 2.0           | 2.0            | 80  |
|     | $\text{SO}_4^{2-}$  | 1.0           | 1.0            | 20  |
|     | 有机酸                 | 6.0           | 7.5            | -   |
|     | 蛋白质                 | 16.0          | 1.0            | 47  |
|     | 总计                  | 155.0         | 155.0          | 182 |

## 内环境

人体生活在外环境中,它包括自然环境和社会环境。外环境的变化不断地作用于人体,使人体不断地作出适应性反应,以达到和外环境之间的统一。可是,人体只有很少一部分细胞直接与外环境接触,而其他大部分细胞直接接触的是细胞外液,如血浆、组织液。也就是说,人体内一切细胞都直接浸浴在液体环境里,细胞外液便是细胞生存的环境。19世纪法国著名生理学家克劳·贝尔纳(Claude Bernard)称细胞外液提供细胞的生活环境为机体的内环境(internal environment),以区别于整个生物体生存的外环境。

内环境对细胞的生存与正常生理功能的维持都是十分重要的。一方面它是细胞进行新陈代谢的直接场所,细胞代谢所需的 $\text{O}_2$ 及营养物质只能从内环境中摄取,而代谢产生的 $\text{CO}_2$ 及代谢终产物也只能排到内环境中,然后通过血液循环的运输,由肺及肾脏等排泄器官排出体外;另一方面,它又是细胞生存并完成特定生理功能的场所,它必须给细胞创造一个适宜的环境,提供细胞正常生存与活动所必需的理化条件。

生理学研究的重大成就之一便是阐明了构成机体各种组织细胞对生存环境的要求,如对温度、渗透压、酸碱度、离子成分、氧分压和二氧化碳含量等的要求。总的说来,细胞

对生存环境的要求是相当严格的,而且愈是高等动物,内环境的各种理化性质愈是稳定,它们要求相对稳定的生活环境,以利生存,否则将导致功能障碍。贝尔纳精辟地说:“内环境的稳定是自由生存的条件”。

## 稳态

内环境稳定的状态可用一个简明的术语来表示,即**稳态(homeostasis)**。它由美国著名生理学家坎农(Cannon, 1877~1945)于1926年首创。稳态包括两方面的含义:一方面是指细胞外液的理化特性总在一定水平上稳定,不随外界环境的变化而相应变化。最明确的例子莫过于温度,在我们所生活的北温带,从冬到夏,气温变化可达 $50\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但生活在这里的高等动物和人,体温的变化则很小,总是维持在 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;另一方面是指这个恒定状态并不是固定不变的,它是一个动态平衡,是在微小波动中保持相对恒定的。可以说稳态是一个相对稳定的状态。是内环境恒定这一概念的发展。

内环境稳态的维持,是一个复杂的生理过程。一方面外环境变化的影响和细胞内的新陈代谢不断地破坏内环境的稳定;另一方面通过人体器官的活动与调节又使破坏了理化环境得以恢复。从这个意义上说,人体的生命活动正是在稳态的不断破坏和不断恢复的过程中得以维持和进行的。如果稳态不能维持,内环境的理化条件发生较大变化并超过人体的调节能力,就会威胁到人体的正常功能,还可导致疾病甚至死亡。例如,临床上的酸中毒病人,就是内环境的 $\text{H}^{+}$ 浓度超过正常界限,破坏了内环境的正常pH值,如不迅速纠正将会产生严重后果。因此,稳态的维持是极其重要的。机体的各个功能系统如血液、消化、呼吸、泌尿、神经和内分泌等,尽管功能各异,但却有一个共同的目标,即维持内环境的相对稳定。稳态是一个重要的概念,它揭示了生命活动的一个最重要的规律。

## 机体功能活动的调节

机体对环境变化的反应,总是与这些变化相适应,并且总是作为一个整体来进行的。整体反应包括两个方面:一是躯体运动;另一是内脏活动的调整,以期达到维持稳态的目的。这些调节由三种机制来完成。如果调节者是神经系统,此种调节称神经调节;如果调节者是体液中的某些化学物质,例如激素,称体液调节;如果调节者就是被调节者本身,则称为自身调节。

### 神经调节

神经调节(nervous regulation)是通过神经系统的功能活动来实现的,在机体的整体性调节中起主导作用。

神经纤维分布到全身各个器官和系统,它将各系统的各种变化以神经冲动的方式经传入神经传送到中枢(脑和脊髓),在中枢内经过对这些信息的加工和处理后,再以神经冲动的方式,经传出神经到达效应器官,调节或改变它们的活动。

神经系统的活动方式称**反射(reflex)**。所谓反射是指在中枢神经系统的参与下,机体对刺激所作的规律性反应。显然,反射是一种复杂而规律的活动。例如食物入口而引起

的唾液分泌(流涎反射),环境温度的升高而引起的汗腺分泌(发汗反射)等,都是反射活动。

反射活动所需要的结构即反射的通路,称**反射弧(reflex arc)**。它包括了5个组成部分,即感受器→传入神经→中枢→传出神经→效应器(图1-2)。通过各种神经反射,将机体各器官系统联系在一起,成为一个整体,保持内环境的相对稳定。反射弧任一环节的破坏,该反射便不能进行。

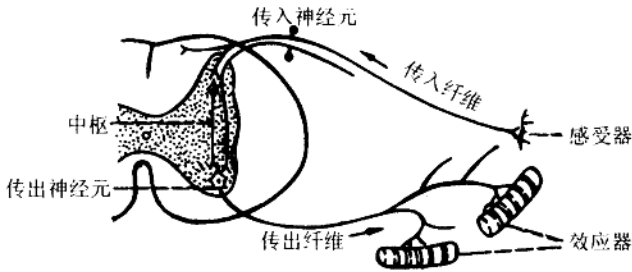


图1-2 反射弧

巴甫洛夫在研究消化生理时观察到狗的流涎反射不仅因食物入口而引起,而且还能在看到食物、闻到食物的气味时发生;如果事先以外科手术将狗的大脑皮层切除,流涎反射仍能为食物入口所引起,但仅仅看见食物就不能引起唾液分泌了。通过长期实验研究,巴甫洛夫首次明确指出,反射活动可分为两大类:一类是先天遗传的反射,称为**非条件反射(unconditioned reflex)**,它由刺激所引起,不加思索而产生;另一类为后天训练所获得,如狗看见食物而引起的流涎,称为**条件反射(conditioned reflex)**。由于条件反射的形成需要大脑皮层的存在,故属于高级神经活动。在人类,如“望梅止渴”、“谈虎色变”的例子,以及各种习惯和学习行为,按照巴甫洛夫的学说,也都是条件反射。条件反射是在生活过程中,在一定的条件下形成的,随条件的变化而变化,有着重要的生物学意义。

神经调节的特点是反应迅速、作用准确、表现自动化、作用效果明确。因此,一个正常机体只要内、外环境变化达到一定程度,就能刺激某些感受器,通过反射途径,引起一定器官的规律性反应。

## 体液调节

体液调节(humoral regulation)是指由某一器官或组织产生的化学物质通过血液循环或组织液到达另一器官或组织,以改变它们的功能活动。在这些调节作用的化学物质中以激素最为重要。如肾上腺髓质可分泌肾上腺素和去甲肾上腺素,通过血液循环到达心脏和血管,调节心血管活动;甲状腺分泌甲状腺激素以调节全身细胞的新陈代谢等。有一些非内分泌器官也能释放化学物质调节其他器官功能,如心脏可释放心房钠尿肽,具有强烈的利钠利尿作用;小肠分泌的促胰液素可刺激胰腺分泌等。本书将在内分泌、循环、消化、

泌尿等章中详述。

体液调节的作用一般来得比较缓慢,但比较持久,而且广泛,特别是在调节新陈代谢方面起着至关重要的作用。

在整体内,神经调节和体液调节有着密切的联系,因为神经系统的发育、生长要受到激素的影响;而不少内分泌腺又直接或间接受到神经系统的控制,在这种情况下,我们可以把体液调节视为神经调节传出环节的延长部分,称为神经-体液调节(neuro-humoral regulation)(图 1-3)。

### 自身调节

自身调节(autoregulation)是指内外环境变化时,组织细胞不依赖于神经或体液调节而产生的适应性反应。

例如将心肌或骨骼肌拉长后,再给予刺激引起肌肉收缩,其收缩力明显加强。

这种调节在去神经的肌肉中同样存在,也不是由某种化学物质所介导的,它是肌肉本身的一种特性,这种调节在一定条件下具有重要的生理学意义。例如当回心血量突然增加时,拉长了心肌,心肌的收缩力量增加,排出更多的血液,使心脏不至过度扩张。这种调节方式在平滑肌器官也表现得明显,如血管内的血流量增大时,血管被扩张,平滑肌会自动加强收缩,以减少血液的通过;相反,如果血流量减少,这种收缩作用也减弱,血管便扩张,血流量不至降得很低。因此,血管平滑肌的这种自身调节作用对维持组织中血流量的相对恒定有重要的作用。具体内容将在循环、消化、泌尿等章中详细阐述。

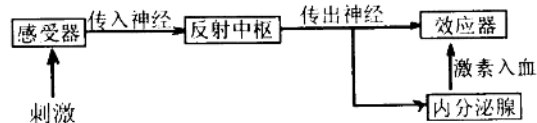


图 1-3 神经-体液调节示意图

### 反馈作用

反馈作用(feedback action)这一术语原是从自动化工程学科中借用的,以认识这样一个问题,即在变化无常的自然环境中,机体是如何维持稳态的。所谓反馈,是指受控部分(如效应器)反过来影响控制部分(如反射中枢)的过程。在整体内,被调节的器官在功能活动发生改变时,这一变化的信息又可通过回路反映到调节系统,改变其调节的强度,影响该过程的进展速度。所以,反馈调节是一个闭合回路,是控制部分与受控部分之间有来有往的互相调节过程,使反应更精确、更完善。在前述的神经调节、体液调节和自身调节 3 种调节途径中,都可存在反馈作用。

反馈调节对控制部分的影响有 2 种:一种是反馈作用与原效应的作用一致,起到促进或加强原效应的作用,称**正反馈**(positive feedback)。如在血液凝固过程中,当有少量凝血酶生成后,可反过来促进更多的凝血酶生成,于是血液很快凝固成血块。又如排尿过程,当膀胱内尿液达到一定量时,可以刺激膀胱的牵张感受器,冲动经盆神经传入到脊髓,由脊髓传出的冲动经盆神经到膀胱引起膀胱平滑肌收缩,尿道括约肌松弛,尿液进入后尿道,再排出体外。当尿液经过尿道扩张尿道时,又可刺激尿道的感受器,由尿道感受器传入的冲动到脊髓后,可进一步加强排尿反射的作用,使膀胱进一步收缩,形成正反馈,直到膀胱内尿液排尽为止。由此可见,通过正反馈的作用,可使某种生理活动迅速地从一种状



态转变为另一种状态,以符合整体反应的需要。

另一种则是体内更普遍更重要的反馈,称负反馈(negative feedback),它是一种反馈作用与原效应相反,起到减弱或停止原效应的作用。是指当某一生理活动增强时,通过负反馈,使该活动减弱;而当该活动减弱时,又可反过来引起该活动的加强。例如,当交感神经兴奋时,心跳加快加强,小动脉收缩,口径变小,于是血压上升;当血压上升超过一定程度时,又将反过来抑制交感神经的兴奋,使心跳变慢,小动脉舒张,口径变大,于是血压回降,即将上升了的血压又调回到变化前的水平。又如,当血糖浓度升高时,可刺激胰岛素的分泌,从而降低血糖;而当血糖过低时,又可反过来抑制胰岛素的分泌,使血糖浓度得以回升。由此可见,通过负反馈作用,使得各种生理活动能经常保持相对的稳定,不至发生过高或过低的波动。前面提到的稳态的维持就是这种负反馈自动控制调节的结果。

人体内各种反馈调节回路中,有的比较简单,有的则很复杂,它可以包括复杂的神经和体液调节,综合完成或调节某一生理功能活动,使机体更好地与环境相适应。

(姚运伟)