



成人高等教育基础医学教材

总主编 陈金宝 刘 强

# 生 理 学

PHYSIOLOGY

主 编 曹 宇

副主编 王振华

第 2 版

上海科学技术出版社



成 / 人 / 高 / 等 / 教 / 育 / 基 / 础 / 医 / 学 / 教 / 材

总主编 / 陈金宝 刘 强

# 生 理 学

PHYSIOLOGY

第 ② 版

—— 主 编 ——  
曹 宇

—— 副主编 ——  
王振华

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

生理学 / 陈金宝, 刘强总主编; 曹宇主编. —2 版.  
—上海: 上海科学技术出版社, 2016. 9  
成人高等教育基础医学教材  
ISBN 978-7-5478-3148-9

I. ①生… II. ①陈…②刘…③曹… III. ①人体  
生理学—成人高等教育—教材 IV. ①R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 157776 号

生理学(第 2 版)

总主编 陈金宝 刘 强

主 编 曹 宇

上海世纪出版股份有限公司 出版  
上海科学技术出版社  
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行  
200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co  
印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18.5

字数: 480 千

2011 年 7 月第 1 版

2016 年 9 月第 2 版 2016 年 9 月第 10 次印刷

ISBN 978-7-5478-3148-9/R·1172

定价: 42.00 元

---

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,  
请向工厂联系调换



# 编 委 会

主 编

曹 宇

副主编

王振华

编 委

(以姓氏笔画为序)

王振华 白 霞 杨 宇

赵 祯 赵红艳 曹 宇

廖英俊



## 再版说明

《生理学》是为成人高等教育护理学和药学专业编写的系列特色教材之一,旨在满足培养高等护理学和药学人才,加强护理学和药学专业教材建设的实际需要。本书在内容上紧紧围绕本科五年制生理学教材的基本知识点,并与临床护理学和药学专业知识融会贯通,对于生理学中需要重点掌握的知识点和难点,书中都做了较为深入细致地阐述,并适当地增加了一些与临床护理学和药学密切相关的生理学内容,而对侧重于生理学理论机制的深入探讨及与临床实践工作联系较少的内容尽量做了删减,力求确保本套教材的实用性。修订版教材仍保留模块化的教材编写方式,对书稿中的一些专业词汇进行了更新。

本教材实行主编负责制,按照专业特点分工编写,书稿完成后由主编进行审定。第一、二章由曹宇教授编写,第三、五章由赵祯副教授编写,第四章由赵红艳副教授编写,第六、九章由白霞讲师编写,第七、八章由杨宇讲师编写,第十章由廖英俊教授编写,第十一、十二章由王振华教授编写。

本教材的使用对象主要为成人高等教育层次的护理学及药学专业本、专科学生。由于编者的水平有限,书中难免有一些问题和不妥之处,敬请读者提出批评和建议。

《生理学》编委会

2016年5月



## 再版前言

成人高等教育医学系列教材出版发行已经 6 年有余了。该系列教材编排新颖,内容完备,版式紧凑,注重实践,深受学生和教师好评,在全国成人医学高等教育中发挥了一定作用。为了适应发展需要,紧跟学科发展动向,提升教材质量水平,更好地把握 21 世纪成人高等教育医学内容和课程体系的改革方向,使本系列教材更有利于夯实能力基础、激发创新思维、培养合格的医学应用型人才,故决定对其进行全面修订。

再版系列教材将继续明确坚持“系统全面、关注发展、科学合理、结合专业、注重实用、助教助学”的编写原则,分析不足,丰富内容,完善体系,在保持原教材优点的基础上,删去了一些叙述偏多的与各学科交叉的内容,充实和更新了一些新知识、新技术、新工艺和新方法,使其能充分发挥助教助学的功能,真正成为课程的载体、师生的益友。

本系列教材每章仍由三大部分组成:第一部分是导学,告知学生本章需要掌握的内容和重点难点,以方便教师教学和学生有目的地学习相关内容;第二部分是具体教学内容,力求体现科学性、适用性和易读性的特点;第三部分是复习题,便于学生课后复习,其中选择题和判断题的参考答案附于书后。

本系列教材包括成人高等教育基础医学教材、成人高等教育护理学专业教材和成人高等教育药学专业教材,使用对象主要为护理学专业及药学专业的高起本、高起专和专升本三个层次的学生。其中,对高起本和专升本层次的学习要求相同,对高起专层次的学习要求在每章导学部分予以说明。本套教材中的一些基础课程也适用于其他相关医学专业。

除了教材外,我们还将通过中国医科大学网络教育平台(<http://des.cmu.edu.cn>)提供与教材配套的教学大纲、网络课件、电子教案、教学资源、网上练习、模拟测试等,为学生自主学习提供多种资源,建造一个立体化的学习环境。


本系列教材的再版发行再一次得到了以中国医科大学为主,包括沈阳药科大学、天津

中医药大学、辽宁中医药大学、辽宁省肿瘤医院等单位专家的鼎力支持与合作,对于他们为此次修订工作做出的巨大贡献,谨致深切的谢意。

由于整体修订,工程巨大,任务繁重,在教材修订中难免存在一些不足,恳请广大教师、学生和读者惠予指正,使本套教材更臻完善,成为科学性更强、教学效果更好、更符合现代成人高等教育要求的精品教材。

**陈金宝 刘 强**

2016年6月



# 目 录

|                    |    |                   |    |
|--------------------|----|-------------------|----|
| <b>第一章 绪论</b>      | 1  | <b>第四节 肌细胞的收缩</b> | 23 |
| 第一节 生理学的研究内容和研究方法  | 1  | 一、横纹肌             | 24 |
| 一、生理学研究的内容及与医学的关系  | 1  | 二、平滑肌             | 30 |
| 二、生理学的研究方法         | 2  | <b>第三章 血液</b>     | 37 |
| 第二节 机体的内环境和稳态      | 3  | 第一节 概述            | 37 |
| 一、机体的内环境           | 3  | 一、血液的组成           | 37 |
| 二、内环境的稳态及生理意义      | 3  | 二、血液的理化特性         | 38 |
| 第三节 机体生理功能的调节      | 3  | 第二节 血细胞及其功能       | 38 |
| 一、机体生理功能的调节方式      | 4  | 一、红细胞             | 38 |
| 二、体内的控制系统          | 4  | 二、白细胞             | 40 |
| <b>第二章 细胞的基本功能</b> | 8  | 三、血小板             | 41 |
| 第一节 细胞膜的结构和物质转运功能  | 9  | 第三节 生理性止血         | 42 |
| 一、细胞膜的组成成分和结构      | 9  | 一、生理性止血的基本过程      | 42 |
| 二、物质转运功能           | 9  | 二、血液凝固和纤维蛋白溶解     | 43 |
| 第二节 细胞的跨膜信号转导      | 13 | 第四节 血型与输血原则       | 46 |
| 一、离子通道型受体介导的信号转导   | 14 | 一、ABO 血型系统        | 47 |
| 二、G 蛋白耦联受体介导的信号转导  | 14 | 二、Rh 血型系统         | 47 |
| 三、酶联型受体介导的信号转导     | 16 | 三、输血的原则           | 48 |
| 第三节 细胞的电活动         | 17 | <b>第四章 血液循环</b>   | 50 |
| 一、静息电位及其产生机制       | 17 | 第一节 心脏的泵血功能       | 51 |
| 二、动作电位及其产生机制       | 19 | 一、心脏泵血的过程和机制      | 51 |
| 三、局部电位             | 23 | 二、心脏泵血功能的评定       | 54 |
| 四、细胞兴奋后兴奋性的变化      | 23 | 三、影响心输出量的因素       | 55 |
|                    |    | 四、心脏泵血功能的储备       | 57 |
|                    |    | 第二节 心肌细胞的生物电和生理特性 | 58 |
|                    |    | 一、心肌细胞的跨膜电位及其     |    |

|                  |                |     |                    |                |     |
|------------------|----------------|-----|--------------------|----------------|-----|
|                  | 形成机制           | 58  |                    | 三、消化道的神经支配及其作用 | 117 |
|                  | 二、心肌的生理特性      | 61  |                    | 四、消化道的分泌功能     | 118 |
|                  | 三、体表心电图        | 65  |                    | 五、消化道的内分泌功能    | 118 |
| 第三节              | 血管生理           | 66  | 第二节                | 口腔内消化          | 120 |
|                  | 一、各类血管的功能特点    | 66  |                    | 一、唾液           | 120 |
|                  | 二、血流量、血流阻力和血压  | 67  |                    | 二、咀嚼和吞咽        | 121 |
|                  | 三、动脉血压和动脉脉搏    | 68  | 第三节                | 胃内消化           | 121 |
|                  | 四、静脉血压和静脉回心血量  | 70  |                    | 一、胃液及其分泌       | 121 |
|                  | 五、微循环          | 72  |                    | 二、胃的运动及其调控     | 125 |
|                  | 六、组织液的生成       | 75  | 第四节                | 小肠内消化          | 127 |
|                  | 七、淋巴的生成和回流     | 76  |                    | 一、胰液的分泌        | 127 |
| 第四节              | 心血管活动的调节       | 76  |                    | 二、胆汁的分泌和排出     | 129 |
|                  | 一、神经调节         | 76  |                    | 三、小肠液的分泌       | 130 |
|                  | 二、体液调节         | 81  |                    | 四、小肠的运动        | 131 |
|                  | 三、局部血流调节       | 84  | 第五节                | 大肠的功能          | 132 |
| 第五节              | 器官循环           | 84  |                    | 一、大肠液的分泌       | 132 |
|                  | 一、冠脉循环         | 84  |                    | 二、大肠内细菌的活动     | 132 |
|                  | 二、肺循环          | 85  |                    | 三、大肠的运动与排便     | 133 |
|                  | 三、脑循环          | 86  | 第六节                | 吸收             | 134 |
|                  |                |     |                    | 一、吸收部位         | 134 |
|                  |                |     |                    | 二、小肠吸收的途径和机制   | 135 |
|                  |                |     |                    | 三、小肠内主要营养物质的吸收 | 135 |
| <b>第五章 呼吸</b>    |                | 93  |                    |                |     |
| 第一节              | 肺通气            | 94  | <b>第七章 能量代谢和体温</b> |                | 139 |
|                  | 一、肺通气的原理       | 94  | 第一节                | 能量代谢           | 140 |
|                  | 二、肺通气功能的评定     | 98  |                    | 一、能量的来源与利用     | 140 |
| 第二节              | 呼吸气体的交换        | 100 |                    | 二、能量代谢测定       | 140 |
|                  | 一、气体交换原理       | 100 |                    | 三、影响能量代谢的主要因素  | 143 |
|                  | 二、肺换气          | 100 |                    | 四、基础代谢         | 144 |
|                  | 三、组织换气         | 102 | 第二节                | 体温及其调节         | 145 |
| 第三节              | 气体在血液中的运输      | 102 |                    | 一、体温           | 145 |
|                  | 一、氧的运输         | 102 |                    | 二、产热与散热        | 146 |
|                  | 二、二氧化碳的运输      | 105 |                    | 三、体温调节         | 148 |
| 第四节              | 呼吸运动的调节        | 106 | <b>第八章 尿的生成和排出</b> |                | 152 |
|                  | 一、呼吸中枢与呼吸节律    | 106 | 第一节                | 肾的功能解剖和肾血流量    | 153 |
|                  | 二、呼吸运动的反射性调节   | 108 |                    | 一、肾的功能解剖       | 153 |
|                  | 三、化学因素对呼吸运动的调节 | 108 |                    | 二、肾血流量的特点及其调节  | 155 |
| <b>第六章 消化和吸收</b> |                | 115 | 第二节                | 肾小球的滤过功能       | 156 |
| 第一节              | 概述             | 115 |                    | 一、有效滤过压        | 157 |
|                  | 一、消化的方式        | 116 |                    |                |     |
|                  | 二、消化道平滑肌的生理特性  | 116 |                    |                |     |

|                       |            |                     |            |
|-----------------------|------------|---------------------|------------|
| 二、影响肾小球滤过的因素          | 157        | 第五节 其他感受器的功能        | 195        |
| 第三节 肾小管与集合管的转运功能      | 158        | 一、嗅觉感受器和嗅觉的一般性质     | 195        |
| 一、肾小管与集合管的物质转运方式      | 158        | 二、味觉感受器和味觉的一般性质     | 196        |
| 二、肾小管和集合管中各种物质的重吸收和分泌 | 159        | <b>第十章 神经系统</b>     | <b>201</b> |
| 第四节 尿液的浓缩和稀释          | 162        | 第一节 神经元与神经胶质细胞的一般功能 | 202        |
| 一、尿液的稀释               | 162        | 一、神经元和神经纤维          | 202        |
| 二、尿液的浓缩               | 163        | 二、神经胶质细胞            | 204        |
| 三、直小血管在维持肾髓质高渗中的作用    | 164        | 第二节 神经元之间的信息传递      | 204        |
| 第五节 尿生成的调节            | 165        | 一、突触传递              | 205        |
| 一、肾内自身调节              | 165        | 二、神经递质和受体           | 207        |
| 二、神经和体液调节             | 166        | 三、反射弧中枢部分的活动规律      | 211        |
| 第六节 清除率               | 168        | 四、中枢抑制和中枢易化         | 213        |
| 一、清除率及其计算方法           | 168        | 第三节 神经系统的感觉分析功能     | 215        |
| 二、测定清除率的意义            | 169        | 一、脊髓感觉传导功能          | 215        |
| 第七节 尿的排放              | 170        | 二、丘脑与感觉投射系统         | 216        |
| 一、膀胱与尿道的神经支配          | 170        | 三、大脑皮质的感觉分析功能       | 217        |
| 二、排尿反射                | 170        | 四、痛觉                | 218        |
| <b>第九章 感觉器官的功能</b>    | <b>175</b> | 第四节 神经系统对姿势和运动的调节   | 219        |
| 第一节 感受器及其一般生理特性       | 176        | 一、脊髓对姿势和运动的调节       | 219        |
| 一、感受器、感觉器官的定义和分类      | 176        | 二、低位脑干对肌紧张和姿势的调节    | 222        |
| 二、感受器的一般生理特性          | 176        | 三、小脑对姿势和运动的调节       | 223        |
| 第二节 眼的视觉功能            | 177        | 四、基底神经节对姿势和运动的调节    | 224        |
| 一、眼的折光系统及其调节          | 178        | 五、大脑皮质对姿势和运动的调节     | 225        |
| 二、视网膜的结构和两种感光换能系统     | 181        | 第五节 神经系统对内脏活动的调节    | 226        |
| 三、视网膜的信息处理            | 185        | 一、自主神经系统            | 226        |
| 四、与视觉有关的若干生理现象        | 186        | 二、中枢对内脏活动的调节        | 228        |
| 第三节 耳的听觉功能            | 187        | 第六节 脑的高级功能与脑电活动     | 230        |
| 一、外耳和中耳的功能            | 188        | 一、条件反射              | 230        |
| 二、声波传入内耳的途径           | 189        | 二、学习与记忆             | 231        |
| 三、内耳(耳蜗)的功能           | 189        | 三、大脑皮质的语言中枢和一侧优势现象  | 232        |
| 四、听神经动作电位             | 192        | 四、大脑皮质的电活动          | 232        |
| 第四节 前庭器官的功能           | 193        | 五、觉醒与睡眠             | 234        |
| 一、前庭器官的感受装置和适宜刺激      | 193        |                     |            |
| 二、前庭反应                | 194        |                     |            |

|                             |     |                      |     |
|-----------------------------|-----|----------------------|-----|
| <b>第十一章 内分泌</b>             | 241 | <b>第七节 其他内分泌腺和激素</b> | 264 |
| 第一节 概述                      | 242 | 一、松果体                | 264 |
| 一、激素作用的一般特性                 | 242 | 二、胸腺                 | 264 |
| 二、激素的作用方式                   | 243 | 三、前列腺素               | 265 |
| 三、激素的分类                     | 243 | <b>第十二章 生殖</b>       | 271 |
| 四、激素作用的机制                   | 245 | 第一节 男性生殖             | 271 |
| 五、激素分泌的调节                   | 246 | 一、睾丸的功能              | 272 |
| 第二节 下丘脑与垂体                  | 246 | 二、睾丸功能的调节            | 272 |
| 一、下丘脑-神经垂体系统                | 247 | 第二节 女性生殖             | 273 |
| 二、下丘脑-腺垂体系统                 | 248 | 一、卵巢周期与子宫周期的激素调节     | 273 |
| 第三节 甲状腺                     | 251 | 二、卵巢的内分泌功能           | 275 |
| 一、甲状腺激素的合成、贮存、释放、转运和代谢      | 251 | 三、卵巢功能的调节            | 276 |
| 二、甲状腺激素的生物学作用               | 253 | 第三节 妊娠与分娩            | 277 |
| 三、甲状腺激素分泌的调节                | 254 | 一、受精                 | 277 |
| 第四节 甲状旁腺和甲状腺 C 细胞           | 256 | 二、着床                 | 278 |
| 一、甲状旁腺激素                    | 256 | 三、妊娠的维持及激素调节         | 278 |
| 二、降钙素                       | 257 | 四、分娩                 | 279 |
| 三、1,25-二羟维生素 D <sub>3</sub> | 257 | <b>参考答案</b>          | 281 |
| 第五节 肾上腺                     | 258 |                      |     |
| 一、肾上腺皮质激素                   | 258 | <b>参考文献</b>          | 283 |
| 二、肾上腺髓质激素                   | 261 |                      |     |
| 第六节 胰岛                      | 262 |                      |     |
| 一、胰岛素                       | 262 |                      |     |
| 二、胰高血糖素                     | 263 |                      |     |

# 第一章

## 绪论

### 导学

#### 内容及要求

本章共包括三部分的内容:①生理学的研究内容和研究方法;②机体的内环境和稳态;③机体生理功能的调节。

生理学的研究内容和研究方法主要介绍生理学的研究范畴,生理学与医学的关系,动物实验和人体试验的一般方法,在细胞和分子水平、器官和系统水平及整体水平的研究内容。通过学习了解本节上述的相关内容。

机体的内环境和稳态主要介绍体液的组成、机体内环境及其稳态、内环境稳态的生理意义。通过学习应重点掌握机体内环境和内环境稳态的概念、内环境稳态的生理意义。

机体生理功能的调节主要介绍神经调节、体液调节和自身调节三种调节方式,负反馈、正反馈和前馈三种反馈调节机制。通过学习应重点掌握三种调节方式及特点,负反馈的概念及生理意义。熟悉正反馈的概念及生理意义。了解前馈的概念及生理意义。

#### 重点、难点

本章的重点内容是:理解内环境稳态既是机体各组织、器官正常生理活动的结果,也是机体维持正常生理功能活动的必要条件。机体通过神经调节、体液调节和自身调节的方式对各种功能活动进行调节。难点是:负反馈、正反馈和前馈三种反馈调节机制。

#### 专科生的要求

专科层次的学生对前馈的概念可作一般性的了解。

## 第一节 生理学的研究内容和研究方法

### 一、生理学研究的内容及与医学的关系

生理学(physiology)是生物科学的一个分支,是研究正常情况下生物体的各种生命现象和功能活动规律的科学。生理学的研究内容是揭示机体各种正常的生命现象和功能的产生机制,机体各组

成部分功能活动的相互协调,内、外环境的变化对功能活动的影响及机体的相应调节。人体生理学是研究人体生理功能的科学,是医学的重要基础课程。在学习了系统解剖学和组织学与胚胎学的基础上,学习生理学能够了解人体各个组成部分的正常功能,进而才能理解疾病时机体发生的形态和功能的改变,才能理解各种药物治疗疾病的原理,才能认识疾病的临床表现,得出正确的诊断,采取合适的治疗方法。因此,生理学起着联系基础学科和临床学科的重要桥梁作用。作为医护人员,掌握生理学的基本知识是正确认识疾病的基础。同时,在临床实践中会不断地遇到新的问题,生理学的基本理论和基本方法又是指导科学思维的重要依据。

## 二、生理学的研究方法

生理学的发展是在医学实践中,伴随着科学技术的进步不断积累起来的。生理学的知识都是来自于临床实践和实验研究,是一门实验性科学。最初人们只能通过肉眼对一些生命现象进行观察和比较,推测人体器官的功能。17世纪初,英国的医生哈维(Harvey)首先采用活体解剖和科学实验的方法研究了动物的血液循环,1628年,哈维所著的《心与血的运动》出版,这是历史上第一部基于实验证据的生理学著作,标志着生理学真正成为一门实验性科学。

由于人与动物的机体在结构和功能上有很多相似之处,一般情况下,生理学的实验主要在动物身上进行,只有一些损伤性小的、不危及健康的实验,才能在人体进行,并且,需得到受试者本人的同意。

动物实验通常分为急性实验(acute experiment)和慢性实验(chronic experiment)。急性实验有在体实验(experiment in vivo)和离体实验(experiment in vitro)。在体实验一般是在动物麻醉状态下,施加一定的实验因素,观察和记录某些生理功能的变化。例如,对家兔进行气管插管记录呼吸运动,观察各种化学因素及迷走神经对呼吸运动的影响。急性在体实验条件易于控制,便于观察和记录。离体实验是将器官组织或细胞从体内分离出来,在一定的实验条件下进行研究。例如,通过离体蛙心灌流,观察各种体液因素对心脏功能活动的影响。离体实验可排出其他影响因素,易于控制实验条件,实验结果易于分析,并且,可进行细胞或分子水平的研究。但是,由于实验对象已脱离整体,其在特定实验条件下的功能活动与在整体条件时可能会存在差异。慢性实验一般是在动物清醒状态下,在一段时间内,观察完整机体内某器官组织的生理指标变化。通常预先对动物进行某些预处理或施加一定的实验因素,例如,观察胃液的分泌,需要预先进行胃造瘘术,使之在体表可以收集到胃液。待动物康复后再进行实验观察。慢性实验时除施加的实验因素以外,机体接近自然生理状态。但是,由于整体条件下体内各种因素的互相影响较为复杂,实验结果相对不易分析。以上所述之急、慢性动物实验是生理学常用的实验方法,很多生理学的知识都是通过动物实验获得的。

人体试验主要用于进行生理指标的人群资料调查,如血细胞、血压、心率的正常值等。随着科学技术的进步,一些新的无创性实验手段的开发,拓宽了人体试验的应用范围,特别是对脑的高级神经活动的研究。近年来,仿真学在生理学研究中的应用,也促进了生理学研究的发展。

在生理学的研究中,人们从不同的层面、不同的角度进行观察,主要分为以下三个层次进行研究。

1. 细胞和分子水平 细胞是构成机体最基本的结构和功能单位,而细胞主要是由多种生物大分子构成的。研究细胞的生理特性,生物大分子的物理、化学和生物学特性等,有利于认识生命现象的本质。例如,肌肉收缩是通过收缩蛋白和调节蛋白的活动完成的;细胞兴奋时,表现为细胞膜通道蛋白通透性的改变和离子的跨膜移动等。

2. 器官和系统水平 主要研究器官和系统的功能活动规律、调节机制及各种因素对器官、系统功能活动的影响。例如,对血液循环系统生理功能的研究,包括心脏泵血功能、血管内血流动力学和心血管活动的调节等相关内容。

3. 整体水平 主要研究机体在各种环境条件和生理情况下不同的器官、系统之间互相联系、互相协调,以及机体对环境变化发生各种反应的规律。在整体情况下,机体的功能活动是在各个器官、系统的相互影响和协调作用下完成的,并不是各个器官生理功能的简单总和。因此,从细胞和分子水平及器官和系统水平的研究结果也需要在整体水平上进行验证。

因此,只有通过细胞和分子、器官和系统以及整体三个水平的研究,才能够对生理功能活动的机制进行全面的了解。

## 第二节 机体的内环境和稳态

### 一、机体的内环境

机体内的液体称为体液(body fluid)。正常成人的体液量约占体重的60%,其中,约2/3(约占体重的40%)分布在细胞内,称为细胞内液(intracellular fluid);其余约1/3(约占体重的20%)分布在细胞外,称为细胞外液。细胞外液包括血浆、组织液(interstitial fluid)、淋巴液、脑脊液等。血浆约占细胞外液量的1/4(约占体重的5%),组织液约占细胞外液量的3/4(约占体重的15%)。人体内绝大部分细胞不能与外界环境直接接触,而是生存在细胞外液中。生理学中将细胞外液称为机体的内环境(internal environment)。

细胞通过细胞膜与细胞外液进行物质交换,从细胞外液中摄取氧和其他营养物质,同时将二氧化碳(CO<sub>2</sub>)和其他代谢产物排入细胞外液;血浆在血管内流动,通过毛细血管壁与组织液进行物质交换。

### 二、内环境的稳态及生理意义

内环境稳态(homeostasis)是指内环境的各种物理、化学性质保持相对稳定的状态。例如,正常情况下,人体的体温、血浆pH、渗透压、各种离子浓度等都只在一定范围内波动。内环境稳态的维持是各种细胞、器官的正常生理活动的结果;而内环境的稳态又是体内细胞、器官维持正常生理活动和功能的必要条件。当机体内、外环境变化时,内环境的稳态被破坏,通过调节相应的组织器官的功能活动,恢复内环境理化性质,维持内环境的稳态。例如,通过呼吸系统的活动摄入机体需要的氧,排出细胞代谢产生的CO<sub>2</sub>;通过泌尿系统的活动,排出代谢产物;通过消化系统的活动补充各种营养物质;通过循环系统,为细胞输送代谢活动的营养物质,同时将代谢产物运送到排泄器官。可见,伴随生命活动的进行,内环境稳态是一个动态平衡过程。

内环境稳态的重要生理意义在于,它是维持机体生命活动的必要条件。只有细胞外液保持足够的代谢所需的营养物质、适宜的理化环境(如温度、pH、渗透压等),才能保证细胞正常的代谢活动。内环境稳态的破坏,将引起疾病,甚至危及生命。临床上常通过检测血浆的各种理化指标判断内环境的情况。体内各组织器官的正常功能活动,是维持内环境稳态的保证,当细胞外液的某些成分发生变化时,说明某些器官或系统出现了功能障碍。

## 第三节 机体生理功能的调节

机体能够根据内、外环境变化,对各器官、系统的功能活动进行调节,以适应生存环境,维持内环境的稳态。

## 一、机体生理功能的调节方式

机体生理功能的调节方式有神经调节、体液调节和自身调节。

### (一) 神经调节

神经调节(neuroregulation)是指通过神经反射而影响生理功能的调节方式。神经系统的活动通过神经纤维的联系,对机体各组织、器官和系统的生理功能发挥调节作用。神经调节的基本方式是反射(reflex),反射活动的结构基础是反射弧。反射弧由五个部分组成,即感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器。感受器能够接受机体内部或外环境的某种刺激,将这种变化转换成神经信号,经传入神经传至相应的中枢,中枢对传入信号进行整合分析,并发出传出信息,通过传出神经将中枢指令传至效应器,使效应器的活动发生改变。例如,动脉压力感受性反射在维持动脉血压相对稳定中起重要的作用。当某种原因使动脉血压升高时,主动脉弓和颈动脉窦压力感受器将血压变化的信息,经传入神经传入到延髓心血管中枢,经中枢对传入信息的整合、分析,发出调节指令,再经支配心血管的交感神经和迷走神经传出,改变心脏和血管的活动,使动脉血压恢复到原先的水平。机体的许多生理功能活动都接受神经系统的调节。神经调节的特点是反应发生比较迅速,持续时间相对较短,作用局限而精确。

### (二) 体液调节

体液调节(humoral regulation)是指体内某些特殊的化学物质(激素等)经体液途径,对机体器官和组织的功能活动进行调节的方式。体内某些内分泌细胞分泌的激素(hormone)可经血液循环作用于相应的靶细胞,调节靶细胞的活动,这种方式称为远距分泌(telecrine),可进行全身性体液调节。有些生物活性物质不经过血液循环,例如,通过在组织液中扩散,作用于邻近的细胞,这种方式称为旁分泌(paracrine)。还有的细胞分泌的生物活性物质反过来作用于自身或周围同类细胞,对其活动进行调节,这种方式称为自分泌(autocrine)。通过旁分泌和自分泌的形式可进行局部性体液调节。此外,有些神经元能够将合成的化学物质释放入血,经血液运输作用于靶细胞,这种方式称为神经分泌(neurocrine)。例如,下丘脑的视上核和室旁核合成的血管升压素和缩宫素,由神经轴突沿下丘脑垂体束运送至神经垂体储存,机体需要时经神经末梢释放入血,作用于靶细胞。体液调节的特点是作用相对较慢,作用范围较广,作用的持续时间相对较长。

### (三) 自身调节

自身调节(autoregulation)是指细胞、组织和器官不依赖于神经或体液调节,自身对环境刺激发生的适应性反应。自身调节是通过组织、细胞本身的生理特性实现的。例如,当肾动脉灌注压在一定范围内升高时,小动脉管壁受到的牵张刺激增加,血管平滑肌发生收缩反应,血管口径缩小;反之,当肾动脉灌注压在一定范围内降低时,小动脉血管平滑肌舒张,血管口径增大。这样,当动脉血压在一定的范围内波动时,通过这种自身调节,能够使肾血流量保持相对恒定。这种现象在离体实验中也可以看到。自身调节的特点是调节的幅度较小,作用局限,灵敏度低。

在整体情况下,神经调节、体液调节和自身调节互相配合,使各个组织、器官的功能活动协调进行。

## 二、体内的控制系统

机体功能活动的调节过程和工程控制中的控制系统的工作原理很相似。控制系统包括控制部分和受控部分。控制系统可分为非自动控制系统、反馈控制系统和前馈控制系统。在整体、器官或细胞水平存在多个控制系统,主要通过反馈和前馈控制机制对机体功能活动进行调节。

### (一) 反馈控制系统

反馈控制系统是指控制部分和受控部分之间形成的闭环联系。反馈调节是由受控部分发出反馈信息对控制部分的活动加以纠正和调整的过程(图 1-1)。根据反馈信息的作用效果分为负反馈和正反馈。

1. 负反馈 经过反馈调节,使受控部分的活动向着与它原先活动相反的方向改变,称为负反馈(negative feedback)。负反馈调节的生理意义是维持机体内环境的稳态。通常体内负反馈调节机制中都设置了一个“调定点”(set point),受控部分的活动被限定在调定点附近较小的范围内。例如,下丘脑体温调节中枢设定的体温调定点为  $37^{\circ}\text{C}$ ,当体温高于  $37^{\circ}\text{C}$  时,反馈信息传入体温调节中枢,启动体温调节反应,使机体增加散热,减少产热,使体温降低;反之,当体温低于  $37^{\circ}\text{C}$  时,通过反馈调节,使机体减少散热,增加产热,体温回升。通过负反馈调节使机体体温维持在正常水平。机体在某些条件下,调定点发生移动。将调定点发生变动的过程称为重调定(resetting)。例如,高血压的患者,其血压的调定点被设置在较高的水平,机体通过调节功能,使动脉血压保持在一个高于正常的水平。

2. 正反馈 经过反馈调节,使受控部分的活动向着与它原先活动相同的方向改变,称为正反馈(positive feedback)。正反馈的生理意义是促进某一生理过程加速完成。例如,在正常分娩过程中,子宫收缩使胎儿头部下降,子宫颈部受到牵张刺激,反射性地引起缩宫素释放,缩宫素进一步加强子宫收缩,促使胎儿头部继续下降,如此反复,直至胎儿娩出。又如,神经细胞动作电位产生的关键环节,就是由细胞膜的去极化和钠通道开放之间形成的正反馈过程。此外血液凝固过程、排尿过程等均均为正反馈调节。

(二) 前馈控制系统

前馈控制(feed-forward control)或前馈调节是指控制部分支配受控部分进行活动的同时,又通过另一快捷途径接受前馈信息,及时地纠正可能出现的偏差,使活动更加准确。前馈调节的生理意义在于调节快速,克服了由于反馈信息的“滞后”而引起被调节活动的“波动”性。例如,运动员到达运动场,在尚未开始运动之前,就已经出现呼吸运动的加强和血液循环加快,为适应运动时机体的需要做好了准备。

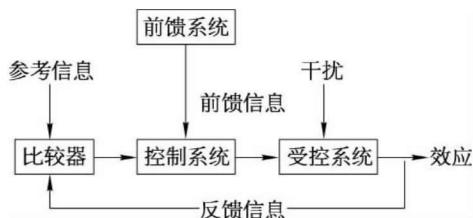


图 1-1 生物功能的反馈控制系统和前馈控制系统示意图

## 复 习 题

### 【A 型题】

1. 生理学的主要研究内容是: ( )
  - A. 生物大分子的代谢
  - B. 疾病情况下组织细胞或器官的功能变化
  - C. 正常的生命现象和功能的产生机制
  - D. 组织细胞在各种情况下组成和结构的改变
  - E. 人体与环境之间的关系
2. 下列不属于机体内环境的是: ( )
  - A. 血浆
  - B. 淋巴液
  - C. 细胞内液
  - D. 组织液
  - E. 脑脊液

3. 胃肠道内的液体属于： ( )  
 A. 细胞内液                      B. 机体的内环境                      C. 机体的外环境  
 D. 淋巴液                          E. 既是机体的内环境,也是机体的外环境
4. 机体内环境的稳态是指： ( )  
 A. 体液量保持不变                      B. 血液容量保持不变  
 C. 细胞内液理化性质相对恒定                      D. 细胞外液理化性质相对恒定  
 E. 细胞内液和细胞外液化学成分相同
5. 神经调节的基本方式是： ( )  
 A. 前馈                              B. 正反馈                              C. 负反馈  
 D. 反射                              E. 神经-体液调节
6. 关于反射,下列错误的是： ( )  
 A. 反射活动的基础是反射弧  
 B. 没有大脑,就不能发生反射  
 C. 可分为条件反射和非条件反射两种  
 D. 是机体在神经中枢参与下发生的反应  
 E. 机体通过反射,对外界环境变化做出适应性反应
7. 神经调节的特点是： ( )  
 A. 调节幅度小                      B. 作用广泛而持久                      C. 准确和短暂  
 D. 反应速度慢                      E. 调节的敏感性差
8. 下列不属于反射弧结构的是： ( )  
 A. 感受器                      B. 传入神经                      C. 神经中枢                      D. 传出神经                      E. 受体
9. 心迷走神经传出纤维的冲动可看作是： ( )  
 A. 反馈信息                      B. 控制信息                      C. 前馈信息                      D. 干扰信息                      E. 第二信使
10. 关于体液性调节下列叙述错误的是： ( )  
 A. 体液调节不受神经系统的控制  
 B. 旁分泌为局部性体液调节的方式之一  
 C. CO<sub>2</sub> 等代谢产物也具有一定的调节作用  
 D. 血管升压素是通过神经分泌的方式释放入血  
 E. 激素通过血液或组织液运送到相应的靶细胞
11. 下列关于自身调节的叙述正确的是： ( )  
 A. 是组织细胞本身的生理特性                      B. 只有在整体条件下才能表现  
 C. 依赖于神经调节的作用                      D. 依赖于体液调节的作用  
 E. 作用范围广,调节幅度大
12. 维持机体稳态的重要调节过程是： ( )  
 A. 正反馈调节                      B. 负反馈调节                      C. 神经调节                      D. 体液调节                      E. 自身调节
13. 下列生理过程中,属于负反馈调节的是： ( )  
 A. 排尿反射                      B. 排便反射                      C. 血液凝固                      D. 减压反射                      E. 分娩
14. 长期服用糖皮质激素导致肾上腺皮质萎缩,属于： ( )  
 A. 神经调节                      B. 体液调节                      C. 自身调节                      D. 正反馈调节                      E. 负反馈调节
15. 看到食物时引起唾液分泌属于： ( )  
 A. 正反馈调节                      B. 负反馈调节                      C. 前馈调节                      D. 体液调节                      E. 自身调节