



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

左明雪 主编

# 人体解剖生理学

第二版

*Human Anatomy and Physiology*



高等教育出版社  
Higher Education Press



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 人体解剖生理学

*Human Anatomy and Physiology*

第二版

主 编 左明雪

编 者 (按姓氏笔划排序)

左明雪 安书成 朱宝长

李东风 张 铭 陈其才

郭炳冉 曾少举 辜 清



高等教育出版社  
Higher Education Press

00-87582 号排印

## 内容提要

《人体解剖生理学》(第二版)为教育部“十一五”规划的普通高等学校重点建设教材。本教材共分 13 章,系统阐述了人体基本组织及运动、神经、感官、血液和血液循环、呼吸、消化、营养及代谢、泌尿、内分泌和生殖系统的基本知识和基本理论。第二版教材保留了原教材体系,对部分内容进行了更新和重新编排,同时增加了部分插图。除每章后附有每章小结和复习参考题外,书后还新增了重要名词解释,便于读者复习和索引。

本书可作为高等院校心理学、教育学专业的基础课教材,也可作为高等院校生物科学专业的教材和参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

人体解剖生理学/左明雪主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2009.7

ISBN 978-7-04-026716-7

I. 人… II. 左… III. 人体解剖学:人体生理学-高等学校-教材 IV. R324

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 088027 号

策划编辑 赵晓媛 责任编辑 田 军 封面设计 张 楠 责任绘图 杜晓丹  
版式设计 马敬茹 责任校对 王 雨 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 潮河印业有限公司

购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

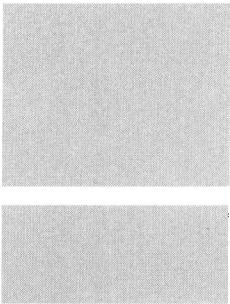
开 本 787×1092 1/16  
印 张 21.75  
字 数 530 000

版 次 2003 年 8 月第 1 版  
2009 年 7 月第 2 版  
印 次 2009 年 7 月第 1 次印刷  
定 价 28.60 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26716-00



## 《人体解剖生理学》编写人员

**主编** 左明雪(北京师范大学)

**编者**(按姓氏笔画排序)

左明雪(北京师范大学)

安书成(陕西师范大学)

朱宝长(首都师范大学)

李东风(华南师范大学)

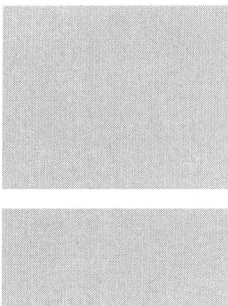
张 铭(华中师范大学)

陈其才(华中师范大学)

郭炳冉(曲阜师范大学)

曾少举(北京师范大学)

辜 清(南昌大学)



## 第二版前言

本次修订的《人体解剖生理学》(第二版)教材为教育部“十一五”规划的普通高校重点建设教材。

《人体解剖生理学》第一版教材自2003年8月第一次印刷,至今已使用6年。使用者的反馈意见表明,此教材基本实现了内容更新,是一本编写体系合理、深浅适宜、层次清楚的简明教材,因而在全国获得了较多院校的使用。

第二版教材在结构上与第一版基本相同,重点仍是在介绍人体解剖生理学基础理论和基本原理基础上,适当反映近年生理科学领域所取得的最新进展。考虑到生理学的许多领域发展很快,因此对部分章节的内容做了一定的删减和调整。如在绪论一章增加了机体在不同组构水平调节的内容,第五章对免疫防御一节的内容做了较大的更新,在第三章神经系统中增加了脊髓前角 $\alpha$ 和 $\gamma$ 运动神经元及肌梭功能的内容,以及关于皮层运动传导系统的新观点等。此外,还对某些内容的编排顺序进行了调整,如将骨骼肌的机械收缩内容由原来的第二章移至神经系统,将感受器一般生理的内容从感觉器官一章中移到中枢神经系统,使其体系更为合理。考虑到本书的特点,仍保留了第十三章,但内容做了一定的补充和调整,增加了人体的胚胎发生内容并重点介绍人体的生长发育规律。本次再版还对一些较为繁琐和不适当的内容进行了删改。

第二版适当增加和更新的部分插图多达50多幅,使本书插图的质量有了明显提高。为方便读者复习和查阅,在书后还新增了重要专有名词解释。

由于我们的能力和水平所限,第二版教材难免存在某些不足甚至错漏之处,恳切希望读者在使用本教材时批评指正,以便再版时进一步改进。

左明雪

2009年2月于北京

# 目 录

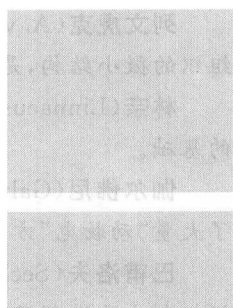
|                     |    |                      |     |
|---------------------|----|----------------------|-----|
| 绪论 .....            | 1  | 二、神经系统的进化 .....      | 52  |
| 一、概述 .....          | 1  | 第二节 神经的兴奋与传导 .....   | 54  |
| 二、生命活动的基本特征 .....   | 6  | 一、神经细胞的生物电现象 .....   | 54  |
| 三、人体生理机能的稳态调节 ..... | 7  | 二、神经冲动的传导 .....      | 59  |
| 第一章 人体基本结构概述 .....  | 11 | 第三节 神经元间的功能联系及       |     |
| 第一节 细胞的结构与功能 .....  | 11 | 活动 .....             | 62  |
| 一、细胞的化学组成 .....     | 11 | 一、突触的结构及传递 .....     | 63  |
| 二、细胞的结构 .....       | 13 | 二、突触后电位 .....        | 65  |
| 第二节 基本组织 .....      | 19 | 三、兴奋由神经向肌肉的传递 .....  | 66  |
| 一、上皮组织 .....        | 19 | 四、递质和受体 .....        | 75  |
| 二、结缔组织 .....        | 21 | 五、神经反射活动的特征 .....    | 78  |
| 三、肌肉组织 .....        | 23 | 第四节 神经系统解剖 .....     | 82  |
| 四、神经组织 .....        | 25 | 一、脊髓和脊神经 .....       | 82  |
| 第三节 人体形态 .....      | 30 | 二、脑和脑神经 .....        | 86  |
| 第二章 运动系统 .....      | 33 | 三、脑脊髓被膜、脑室、脑脊液、      |     |
| 第一节 骨骼 .....        | 34 | 脑屏障 .....            | 98  |
| 一、骨 .....           | 34 | 第五节 神经系统的功能 .....    | 101 |
| 二、骨连结 .....         | 37 | 一、神经系统的感觉功能 .....    | 101 |
| 三、全身骨的分布概况与特征 ..... | 37 | 二、神经系统的躯体运动功能 .....  | 107 |
| 第二节 骨骼肌 .....       | 44 | 三、神经系统对内脏活动的调节 ..... | 114 |
| 一、骨骼肌的一般形态与功能 ..... | 44 | 四、中枢神经系统的高级功能 .....  | 120 |
| 二、全身骨骼肌的分布概况 .....  | 45 | 第四章 感觉器官 .....       | 130 |
| 三、骨骼肌收缩的能量代谢 .....  | 48 | 第一节 视觉器官 .....       | 130 |
| 第三章 神经系统 .....      | 51 | 一、眼的构造 .....         | 130 |
| 第一节 概述 .....        | 51 | 二、眼的成像与折光调节 .....    | 132 |
| 一、神经系统的组成 .....     | 51 | 三、眼的感光功能 .....       | 134 |

## II 目 录

|                       |     |                          |     |
|-----------------------|-----|--------------------------|-----|
| 四、视觉传导通路·····         | 139 | 一、心脏的位置和形态·····          | 171 |
| 五、视觉信息处理·····         | 140 | 二、心脏的结构·····             | 171 |
| 六、双眼视觉和立体视觉·····      | 142 | 三、心肌的生理特性·····           | 173 |
| 第二节 听觉器官和前庭器官·····    | 142 | 四、心动周期·····              | 176 |
| 一、耳的结构·····           | 143 | 五、心泵功能的评定·····           | 179 |
| 二、听觉生理·····           | 145 | 第三节 血管·····              | 180 |
| 三、前庭器官及其生理功能·····     | 148 | 一、动脉、毛细血管和静脉·····        | 182 |
| 第三节 其他感觉器官与感受器·····   | 150 | 二、动脉血压·····              | 184 |
| 一、嗅觉器官·····           | 150 | 三、静脉血压与血流·····           | 185 |
| 二、味觉器官·····           | 151 | 四、微循环和组织液生成·····         | 185 |
| 三、皮肤感受器·····          | 152 | 第四节 心血管活动的调节·····        | 187 |
| 第五章 血液·····           | 154 | 一、神经调节·····              | 187 |
| 第一节 概述·····           | 154 | 二、体液调节·····              | 190 |
| 一、体液和内环境·····         | 154 | 第五节 淋巴系统·····            | 191 |
| 二、血液的基本组成和血量·····     | 155 | 一、淋巴系统的组成及主要功能·····      | 191 |
| 第二节 血液的化学成分及理化特性····· | 157 | 二、淋巴液的生成与淋巴循环·····       | 194 |
| 一、血浆的化学成分·····        | 157 | 三、淋巴循环的生理意义·····         | 194 |
| 二、血浆的理化特性·····        | 157 | 第六节 儿童和青少年血液循环的功能特点····· | 194 |
| 第三节 血细胞生理·····        | 158 | 一、儿童和青少年心脏功能特点·····      | 194 |
| 一、红细胞·····            | 159 | 二、血压·····                | 195 |
| 二、白细胞·····            | 160 | 第七节 冠脉循环和脑循环·····        | 195 |
| 三、血小板·····            | 161 | 一、冠脉循环·····              | 195 |
| 四、免疫防御·····           | 161 | 二、脑循环·····               | 196 |
| 第四节 血液凝固·····         | 164 | 第七章 呼吸系统·····            | 198 |
| 一、血凝的基本过程及其原理·····    | 164 | 第一节 呼吸器官·····            | 199 |
| 二、抗凝系统·····           | 164 | 一、呼吸道·····               | 199 |
| 第五节 血型·····           | 165 | 二、肺·····                 | 201 |
| 一、人类的血型·····          | 165 | 三、胸膜和胸膜腔·····            | 202 |
| 二、ABO 血型·····         | 166 | 第二节 呼吸运动与肺通气·····        | 203 |
| 三、Rh 血型·····          | 167 | 一、呼吸运动·····              | 203 |
| 四、人类白细胞抗原·····        | 167 | 二、肺内压与胸膜腔内压·····         | 203 |
| 五、输血的意义及输血原则·····     | 168 | 三、肺容量与肺通气量·····          | 205 |
| 第六章 循环系统·····         | 170 | 第三节 呼吸气体的交换与运输·····      | 206 |
| 第一节 概述·····           | 170 | 一、呼吸气体的交换·····           | 206 |
| 一、血液循环的意义·····        | 170 | 二、气体在血液中的运输·····         | 207 |
| 二、体循环与肺循环·····        | 170 | 第四节 呼吸运动的调节·····         | 209 |
| 第二节 心脏·····           | 171 | 一、呼吸中枢与呼吸节律的形成·····      | 210 |

|                             |     |                            |     |
|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 二、呼吸的反射性调节 .....            | 212 | 三、体温调节 .....               | 248 |
| 三、运动时呼吸的变化与调节 .....         | 213 | <b>第十章 泌尿系统</b> .....      | 251 |
| <b>第八章 消化系统</b> .....       | 216 | 第一节 肾的构造 .....             | 252 |
| 第一节 概述 .....                | 216 | 一、肾的位置与形态 .....            | 252 |
| 一、消化系统的组成与功能 .....          | 216 | 二、肾的结构特征及其血液循环 .....       | 253 |
| 二、消化管的一般结构 .....            | 216 | 第二节 尿生成过程 .....            | 256 |
| 三、消化管平滑肌的生理特性 .....         | 218 | 一、尿的化学成分与理化特性 .....        | 256 |
| 四、消化腺的分泌功能 .....            | 219 | 二、肾小球的滤过功能 .....           | 257 |
| 第二节 消化器官的形态结构 .....         | 219 | 三、肾小管与集合管的重吸收和<br>分泌 ..... | 258 |
| 一、消化管 .....                 | 219 | 第三节 尿液的浓缩与稀释 .....         | 260 |
| 二、消化腺 .....                 | 226 | 第四节 尿生成的调节 .....           | 261 |
| 第三节 消化 .....                | 228 | 一、肾内自身调节 .....             | 261 |
| 一、口腔内消化 .....               | 228 | 二、神经和体液调节 .....            | 262 |
| 二、胃内消化 .....                | 229 | 第五节 排尿及其调节 .....           | 263 |
| 三、小肠内消化 .....               | 230 | 一、输尿管、膀胱和尿道的构造 .....       | 264 |
| 四、大肠内消化 .....               | 231 | 二、输尿管、膀胱和尿道的排尿功能 .....     | 264 |
| 第四节 吸收 .....                | 232 | <b>第十一章 内分泌系统</b> .....    | 267 |
| 一、吸收部位 .....                | 232 | 第一节 概述 .....               | 267 |
| 二、几种主要营养物质的吸收 .....         | 233 | 一、内分泌的概念 .....             | 267 |
| 第五节 消化器官活动的调节 .....         | 234 | 二、激素的种类及其一般特征 .....        | 267 |
| 一、神经调节 .....                | 234 | 三、激素的作用机制 .....            | 268 |
| 二、体液调节 .....                | 235 | 第二节 下丘脑与垂体 .....           | 270 |
| <b>第九章 营养、代谢与体温调节</b> ..... | 238 | 一、下丘脑 .....                | 270 |
| 第一节 食物的营养成分及其生理<br>功能 ..... | 238 | 二、垂体 .....                 | 271 |
| 一、糖类及其主要生理功能 .....          | 238 | 三、下丘脑-垂体-靶腺之间的联系 .....     | 274 |
| 二、脂肪及其主要生理功能 .....          | 239 | 第三节 甲状腺与甲状旁腺 .....         | 275 |
| 三、蛋白质及其主要生理功能 .....         | 239 | 一、甲状腺 .....                | 275 |
| 四、维生素 .....                 | 241 | 二、甲状旁腺 .....               | 277 |
| 五、无机盐 .....                 | 242 | 第四节 胰岛 .....               | 278 |
| 第二节 能量代谢 .....              | 243 | 一、胰岛的位置、形态和结构 .....        | 278 |
| 一、能量的来源与利用 .....            | 244 | 二、胰岛素的生理作用 .....           | 278 |
| 二、能量代谢的测定原理与方法 .....        | 244 | 三、胰高血糖素的生理作用 .....         | 279 |
| 三、影响能量代谢的因素 .....           | 245 | 四、胰岛分泌功能的调节 .....          | 279 |
| 四、基础代谢 .....                | 246 | 第五节 肾上腺 .....              | 280 |
| 第三节 体温及其调节 .....            | 246 | 一、肾上腺的位置、形态和结构 .....       | 280 |
| 一、体温 .....                  | 246 | 二、肾上腺皮质激素 .....            | 280 |
| 二、产热与散热 .....               | 247 | 三、肾上腺髓质激素 .....            | 282 |

|                                |     |                        |     |
|--------------------------------|-----|------------------------|-----|
| 第六节 其他内分泌腺和激素 .....            | 282 | 一、避孕 .....             | 306 |
| 一、松果体 .....                    | 282 | 二、辅助生殖技术 .....         | 306 |
| 二、胸腺 .....                     | 283 | <b>第十三章 人体的胚胎发生和生长</b> |     |
| 三、前列腺素 .....                   | 283 | 发育 .....               | 310 |
| 四、胃肠激素、APUD 细胞系与<br>DNES ..... | 283 | 第一节 人体胚胎发育概论 .....     | 310 |
| <b>第十二章 生殖系统</b> .....         | 285 | 一、受精 .....             | 310 |
| 第一节 生殖系统的构造和机能 .....           | 285 | 二、卵裂、胚泡形成和植入 .....     | 310 |
| 一、男性生殖系统 .....                 | 285 | 三、胚层的形成与分化 .....       | 311 |
| 二、女性生殖系统 .....                 | 289 | 四、胚体的形成 .....          | 314 |
| 第二节 生殖机能的调控 .....              | 291 | 第二节 人体发育的一般规律 .....    | 315 |
| 一、雄性生殖功能 .....                 | 292 | 一、身高 .....             | 315 |
| 二、雌性生殖功能 .....                 | 295 | 二、体重 .....             | 315 |
| 第三节 有性生殖过程 .....               | 298 | 三、肢体形态的发育 .....        | 316 |
| 一、受精过程 .....                   | 299 | 第三节 人体各器官的发育 .....     | 317 |
| 二、受精卵发育 .....                  | 300 | 一、一般型器官的发育 .....       | 317 |
| 第四节 着床、妊娠、分娩与授乳 .....          | 302 | 二、神经型器官的发育 .....       | 318 |
| 一、着床 .....                     | 302 | 三、淋巴型器官的发育 .....       | 319 |
| 二、妊娠 .....                     | 303 | 四、生殖系统的发育 .....        | 319 |
| 三、分娩 .....                     | 304 | 第四节 衰老 .....           | 321 |
| 四、授乳 .....                     | 304 | <b>参考文献</b> .....      | 323 |
| 第五节 生殖调控技术 .....               | 306 | <b>名词解释</b> .....      | 324 |
|                                |     | <b>索引</b> .....        | 329 |



# 绪 论

## 一、概述

人体解剖生理学是研究人体结构和功能的一门学科。解剖生理学的创立和发展从一开始就与动物解剖和生理现象的观察和研究有关。我国人民对解剖生理学知识的探索在古代就有记载。公元前 6 世纪医书《内经》中有很多地方描述了人体的结构。

《齐民要术》(贾思勰,公元 533—544 年)是被完整保存下来的一部杰出著作,其中的“相畜法”就对家畜的外部形态、内部脏器、家畜机体结构与功能间的关系进行了描述,具有相当高的学术价值。《本草纲目》是我国明末科学家李时珍(1518—1593)的一部举世闻名的重要著作,在这部著作中他对许多动物的外部形态、生活习性及内部解剖等方面,都做了详尽的描述,其中有些内容早于林奈的《自然系统》160 多年。宋代王维一(1026 年)铸铜人,分脏腑十三经,将人体的穴位在铜人模型中标示出来,是我国人体模型制作的创始者。

古今中外有许多杰出的科学家为动物解剖学和生理学的创立和发展做出了杰出的贡献,他们的研究对自然科学的形成与发展起了重要的作用。下面介绍在此领域做出重要贡献的部分著名科学家:

**亚里士多德**(Aristotle,公元前 384—322) 古希腊著名生物学家,动物学的远祖。最早对动物进行分类研究的生物学家,对鱼类、两栖类、爬行类、鸟类和兽类等动物的结构和功能做了大量工作。

**盖伦**(Galen,129—199) 古希腊解剖学家、医生。撰写了大量医学和人体解剖学方面的文章。

**维萨力欧**(Vesalius,1514—1564) 比利时解剖学家。最先用人尸体做解剖材料,被誉为现代解剖学奠基人,1543 年发表《人体的结构》一书,首次引入了寰椎、大脑胼胝体、砧骨等解剖学名词。

**哈维**(Harvey,1578—1657) 英国动物生理学家,血液循环理论的创始人。1628 年发表《动物心脏和血液运动的解剖论》一书,其研究标志近代生理学的开始。

**洛维**(Lower R,1631—1691) 英国解剖学家。首次进行动物输血实验,后经丹尼斯(Denis)第一次在人类进行输血并获得成功。

**列文虎克**(A. van Leeuwenhoek, 1632—1723) 荷兰生物学家。改进了显微镜,观察了动物组织的微小结构,是首次观察到细菌和原生动物的微生物学家。

**林奈**(Linnaeus, 1707—1778) 瑞典博物学家。1735年出版《自然系统》,奠定了动物学分类的基础。

**伽尔佛尼**(Galvani L, 1737—1798) 意大利生理学家。首次发现机体中的带电现象,进行了大量“动物电”方面的实验,开创了生物电研究的先河。

**巴甫洛夫**(Sechenov IM, 1829—1905) 俄国著名生理学家。在心血管神经支配、消化液分泌机制方面进行了大量研究,首次提出高级神经活动的条件反射学说。

**施塔林**(Starling EH, 1866—1927) 英国生理学家。1915年首次宣布“心的定律”的发现,对循环生理做出独创性成就。1902年与裴理斯(Bayliss WM)合作,发现刺激胰液分泌的促胰液素,1905年首次提出“激素”一词。

**卡尔·兰德斯坦纳**(Landsteiner K, 1868—1943) 奥地利生理学家。他将血清学方法引入血型的研究,于1901年发现了人的血清中存在着A、B两种凝集原,在此基础上创建了人的ABO血型系统,为临床人工输血的实践和理论研究作出了巨大贡献,1930年获诺贝尔生理学或医学奖。

**坎农**(Cannon WB, 1871—1945) 美国生理学家。1926年首先提出“稳态”一词,他认为:生活的机体是稳定的,这种稳定有赖于许多调节机制的作用才得以保持,机体功能的任何变化,都是为保持其内环境生活状态的稳定。稳态已经成为生理学中最基本的概念之一。

**谢灵顿**(Sherrington CS, 1857—1952) 英国神经生理学家。1897年首次提出“突触”一词,对大脑和整个中枢神经系统进行了大量研究,如膝跳反射的本质、大脑皮质运动区的交互神经支配、本体感受器及其通路原则等,为神经系统生理学作出了巨大贡献,于1932年和安德里恩(Adrian)共同获得诺贝尔生理学或医学奖。

**洛维**(Loewi O, 1873—1961) 德国药理学家和生理学家。1920年用蛙心灌流实验证明迷走神经末梢释放的“迷走物质”使心脏得到抑制,在此基础上,建立了突触的化学传递理论。

**班丁**(Banting FG, 1891—1941) 加拿大生理学家。1922年首次报道发现胰岛素,并在此之后获得胰岛素晶体。其发现具有极为重要的理论及临床意义,班丁和Macleod于1923年获诺贝尔生理学或医学奖。

**林可胜**(1897—1969) 中国卓越生理学家。中国生理学会第一届会长,23岁获英国爱丁堡大学博士学位,1942年当选为美国国家科学院院士。主要从事消化生理的研究,首次提出“肠抑胃素”一词,获得国际上的广泛应用。

**蔡翹**(1897—1990) 中国生理学会奠基人之一。1948年当选为中央研究院院士,1955年当选为中国科学院院士。主要从事神经生理学研究,发现间脑和中脑区间的“蔡氏区”(Tsai'area),与视觉信息的调制有关。

**霍奇金**(Hodgkin AL, 1914— ) 英国剑桥大学生理学家。以枪乌贼巨轴突为实验材料,研究了静息电位和动作电位形成的离子基础,奠定了神经电生理学研究的的基础,与赫胥黎(Huxley AF)和埃克尔斯(Eccles JC)共获诺贝尔生理学或医学奖。

**海门斯**(Heymans JF, 1925—1927) 比利时药理学家和生理学家。海门斯父子共同发现主动脉弓区域的化学感受器,这些感受器对血液中的氧和二氧化碳分压敏感,并反射作用于呼吸中

枢。他们对呼吸中枢及外周感受器的研究做出了杰出贡献,1938年获诺贝尔生理学或医学奖。

**罗德尼·罗伯特·波特**(Rodney R. Porter, 1917— ) 英国生物化学家。于1958年使用番木瓜蛋白酶对家兔两种球蛋白进行了消化,获得两个片段的Fab(能结合抗原)和1个片段的Fc(可以结晶),在此基础上揭示了抗体(IgG)的结构和功能。1972年获诺贝尔生理学或医学奖。

### (一) 解剖学和生理学的基本概念

**1. 解剖学(anatomy)** 是研究机体结构的学科。解剖学研究涉及的范围很广,包括机体每一部分的结构,这些结构的显微组成,以及它们生长、发育的过程等。此外,解剖学主要研究机体的结构和功能之间的关系。例如,骨之所以能提供机体的支撑力量,是因为在骨细胞周围存在坚硬的、钙化的骨基质。对结构和功能联系的理解,有助于对解剖学的学习和掌握。

根据机体结构的解剖程度,解剖学可分为大体解剖学(macrosopic or gross anatomy)和显微解剖学(microscopic anatomy)两大范畴。

大体解剖学主要研究机体较大的解剖结构和形态特征,这些结构通常能够通过肉眼直接观察到。如表观解剖学(surface anatomy),主要研究机体的表面结构和形态特征;局部解剖学(regional anatomy),主要研究机体特殊部位的解剖结构,如头,四肢,躯干等;系统解剖学(systemic anatomy),主要研究器官的结构。机体特殊生理功能的完成,需要不同的器官形成统一的功能整体,共同协调工作,如由骨组成的骨骼系统,由肌肉组成的肌肉系统,由心脏和输送营养、代谢产物的血管组成的心血管系统等。

显微解剖学研究的是必须经特殊仪器放大处理才能观察到的结构。例如,通过解剖镜能观察组织结构;通过光学显微镜能观察到细胞的基本结构;通过电子显微镜能观察到直径仅几纳米的单个分子。显微解剖学包括两个分支:细胞学和组织学。细胞学侧重分析单个细胞的内部结构,组织学侧重特殊细胞集合形成的组织以及产生特殊功能的细胞产物。不同的组织结合起来形成器官,如心脏、肾、肝、脑等。

**2. 生理学(physiology)** 生理学是研究活的有机体各种功能的学科。生理学研究的一个重要方面是将机体的结构作为动态的,而不是静止的或不变的成分。生理学的研究目标主要包括两方面:一是了解和预测机体对刺激的反应和规律;二是理解在不断变化的内外环境条件下,机体是如何调节自身的各种生理活动,使体内各种生理指标维持在一个很窄的范围内波动。与学习机体的各种解剖结构相比,对极为复杂的生理功能的理解显然是更为困难的,因此在生理学存在较解剖学更多的特殊分支。如细胞生理,主要研究细胞的功能,细胞在化学和分子水平上发生的事件,以及细胞间的化学反应;特殊生理,主要研究特殊器官的生理,如研究心脏功能的心肌生理;系统生理,研究特殊器官系统的功能,如心血管生理、呼吸生理、生殖生理等;病理生理,在细胞、器官和系统的不同水平研究各种疾病的产生、影响及机制等。现代生理学可以通过正常生理和非正常生理的比较分析,对临床上发现某些疾病的产生提供重要线索,从而确定研究的主要目标。

**3. 解剖学和生理学的联系** 解剖学和生理学在理论和实际应用中都是紧密联系的。解剖信息能够提供生理功能的线索,而对生理功能的理解必须建立在解剖学的基础上。一个最重要的概念是:所有特殊功能的实现必然具有特殊的结构基础。解剖和生理间永远存在联系,但这种联系有时并非能正确理解。例如,有关心脏的解剖学在15世纪就已经得到了清楚的描述,但直至200多年以后心脏的泵血活动才获得证明。在本书的学习中,将介绍机体生命活动的解剖结

构及生理过程。首先将从认识机体各种不同结构(如组成,形态,大小,分布位置,质量等)开始,然后涉及与这些结构相联系的功能。许多情况下,在一个系统中存在不同的器官,分别执行不同的功能,因此对它们可分别进行研究。如在消化系统中,我们将学习唾液腺的功能,胃的运动及各种营养物质在小肠的吸收等。而在有些系统中,不同器官的功能联系非常紧密,如淋巴系统和心血管系统。对系统中每一部分功能的理解,应放在系统水平进行全面考虑。

## (二) 机体的组构水平

机体的生理活动是一个大的范畴,它必然包括从分子的功能活动到每个细胞水平,然后到机体与外部世界的相互作用的全部过程。细胞功能的变化会发生在机体的任何一个水平,这表明不同的组织和器官是有着相互影响和作用的。一个器官和系统的独立活动必须是从分子和细胞,然后到整体所有水平的功能协调才能完成。一般来讲,生理学主要在四个不同水平展开研究,这四个水平有着各自独立的特点,但在整体上它们又是相互联系的。

1. 化学水平(或分子水平) 机体所有的结构和功能特征都是由它们的化学组成所决定的。化学水平包括原子和由它们组成的分子间的相互作用。分子的功能最终与其结构有关。在大多数情况下,细胞和细胞之间必须进行信息的共享和交换,而这些活动往往发生在原子和分子水平。细胞和细胞间的联系可能涉及如  $H^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  这样的离子,或一些复杂的化学分子。细胞可能释放一些分子,作用到周围的细胞或进入血液中,通过血液循环到达机体的不同部分发挥作用。现代生理学的发展理论认为,控制所有这些活动的最重要的组织者,是基因在不同空间和时间的顺序而有规律的表达。过去传统生理学的研究水平只能停留在细胞和亚细胞器水平,而现在由于分子生物学的迅速发展,我们可以在分子水平研究执行特定功能的蛋白是由何种基因编码并发挥作用的。化学水平的变化有时会直接反应功能的变化。例如,胶原纤维分子类似绳索的作用,使年轻人的皮肤具有很强的张力和柔韧性。然而到老年时,胶原纤维的结构发生了变化,皮肤的脆性逐渐增大,变得容易撕裂。这表明,即使在最简单的水平,形式也决定着功能:特殊分子的功能特征是由这些分子三维结构的唯一构型所决定的。

2. 细胞水平 细胞是生命活动赖以进行的最小结构单位。分子的相互结合能够形成各种不同类型的细胞器,它们是组成细胞的最小的结构单位。在细胞内存在和合成各种维持细胞生存、生长和执行特殊功能的蛋白质和其他细胞内成分。细胞外的质膜将细胞内成分与其他细胞分隔开,使它成为一个相对独立的功能单位,控制着细胞与周围环境的物质交换和代谢。细胞除了具有这些普遍功能外,在进化中许多细胞还具备了许多特异能力:如腺细胞能分泌各种酶或激素类物质,感觉细胞和神经细胞能传导电的、化学的和机械的各种不同信号,肌肉细胞能完成收缩功能等。没有单个细胞相对独立的生理活动,机体就不可能完成整体功能的调节。

3. 组织水平和器官水平 组织是由结构和功能相同的细胞有序组合形成的集合。细胞只有被特异性地组织在一起,才能共同完成功能。这就好比一台由许多零件组成的机器,只有将每个分散的零件有序地组装在一起,机器才能运转。由不同细胞构成的组织,按功能可分为肌肉组织、神经组织、上皮组织和结缔组织等。

器官是由两种或多种类型的基本组织组成的联合体,以共同完成一些特殊的或普遍的功能。例如,胃是一种器官,它的组成包括所有的四种基本组织。胃的上皮组织将未被消化的粗糙的食物分离,使它们不能进入血液;上皮组织中存在的腺细胞可将消化蛋白质的酶分泌到胃腔中;内分泌细胞分泌的激素可调节外分泌和胃的肌肉收缩;胃壁的平滑肌通过收缩可将与消化液混合

的食物送进消化管道。所有这些组织都通过结缔组织连接在一起。当然,胃的收缩和腺细胞的分泌活动,是在神经系统的控制下完成的。

4. 系统水平 一些功能相关的器官连接在一起形成系统。每个系统都由不同的器官连接起来,完成相关的功能和经过整合完成共同的生理活动,这些活动一般对整个机体的存活都是至关重要的。例如排泄系统由肾、输尿管、膀胱和尿道组成。由肾产生的尿液通过输尿管运输并储存在膀胱里,并最终通过尿道排出体外,这些不同器官的共同活动均是为了机体的尿的排泄。机体存在许多系统,如循环、消化、呼吸、神经、免疫、内分泌和生殖等系统。本书将在后面分别介绍这些系统的组成和生理调节机制。

5. 整体水平 不同系统联合起来在整体水平完成同一功能。机体是一个由多种不同类型细胞有机结合在一起而形成的生命维系系统。实际上,机体中的各个不同系统并非相互独立的去完成某一功能,许多复杂的生理活动需要多种系统的相互配合。例如,血压的调节就需要循环系统、泌尿系统、内分泌系统和神经系统的共同协调才能完成。我们在科学研究中有时可能仅从细胞到器官的某一水平去研究某些生理功能,得到的仅是关于相关组织或细胞,甚至仅在分子表达方面的信息,尽管这些在某一水平或某一点上获得的信息是重要的,但它们对理解整体水平的功能调控机制仍然是片面的。对于一个完整的有机体来说,体内的各种器官和系统间必须相互联系和协调,使机体形成一个完整的整体,才能共同维持正常的生命活动。

### (三) 人体解剖生理学的研究方法

解剖生理学是一门实验性很强的学科,欲了解人体器官、组织和细胞的生理活动,必须运用实验的方法,了解其活动的机制。有些生理实验,在不损害人体健康的前提下,可以而且必须尽可能地在人体上进行,才能真实反映机体正常生理活动的机能状态。然而,大多数生理实验对人体健康都可能有一定损害,因此这些实验无法在人体上进行,而必须在动物体上进行。因哺乳动物各器官、系统的结构与功能基本上和人体的相似,所以用动物实验方法所获得的生理知识,可以间接丰富人体生理学的内容。当然,将哺乳动物生理学的知识应用到人体时,必须考虑到人体的特点,必须在人体上做验证的工作,不能机械地搬用。

解剖生理学的实验方法主要分为急性实验和慢性实验两类。

#### 1. 急性实验法 由于研究目的不同,又可分为两类

(1) 离体组织、器官实验法 把要研究的某一组织或器官从活的或刚死的动物体上分离出来,放在一个能使它的生理机能保持一定时间的人工环境中,作为实验研究的对象。例如,将蛙的心脏取出,用近似血浆成分的溶液进行灌流,这样蛙心就能搏动数小时以上,从而可以进行针对心脏功能的各种研究。

(2) 活体解剖实验法 使动物处于麻醉状态下进行活体解剖,针对需要研究的器官或组织,研究细胞、组织或器官系统的细微活动的变化,从而了解其功能。

由于离体组织或器官和活体解剖实验过程时间较短,实验后动物一般死亡,所以将此称为急性实验法。此法的优点在于实验条件和研究对象较为简单,影响实验最终结果的因素较少,因此可以较快获得结果。其缺点是实验在脱离整体条件下,或者是在受到解剖或麻醉的影响下进行的,故所得的实验结果常有一定的局限性。

2. 慢性实验法 是以完整、清醒的动物为研究对象,在保持比较自然的外界环境条件下进行实验。慢性实验可以研究复杂的生理活动、器官之间的协调关系,以及机体的生理活动如何与

外界环境相适应。例如,将电极埋藏植入动物脑内某一部位,施予电刺激以观察分析与此部位相关的生理机能活动的变化。又如,在正常的狗身上进行胃的无菌手术后,给予不同的食物刺激,来研究影响胃液分泌的条件、数量等。这种实验方法常需预先进行无菌外科手术,待手术创伤恢复后才能进行实验。

慢性实验法的优点在于研究对象处于正常状态下,所得的实验结果是在机体正常生理活动状态下获得的,其结论可以用来分析整体动物及各种生理活动的调节机制,其缺点是应用范围常受限制,如许多生理学问题目前仍然无法找到合适的方法加以解决。

由于急性实验和慢性实验各有其优缺点,所以有时常把二者结合起来,以便对某一生理活动机制进行深入的探讨。

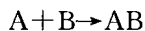
解剖生理学的研究与其他学科的发展密切相关。随着电子学、生物化学、生物物理学、神经生物学和分子生物学的发展,促进了解剖生理学的研究从宏观向微观领域的不断深入。例如,应用神经生理和药理学相结合方法,已经能在细胞水平研究细胞膜单个受体活动的特性。应用多学科高度综合技术,如目前使用的计算机断层扫描、磁共振成像、正电子发射断层扫描等已能对脑的活动进行更为精细的研究,研究人员可以在荧光屏上直接观察到大脑不同部位的功能活动变化,这对研究脑的高级神经活动,如学习和记忆的生理机制具有划时代的重要意义。

## 二、生命活动的基本特征

### (一) 新陈代谢

**新陈代谢 (metabolism)** 是指机体主动与环境进行物质和能量交换的过程。新陈代谢过程包括两个基本方面:一方面机体从外界不断摄取各种物质,如糖类、脂肪、蛋白质、维生素、无机盐等,综合形成自身的物质,或暂时贮存起来,这种过程称为同化作用(或组成代谢);另一方面是将组成自身的物质或贮存于体内的物质分解,并把分解后的终产物废物排出体外,这种过程称为异化作用(或分解代谢)。在进行同化作用时要吸收能量,在进行异化作用时要释放能量。后者所释放的能量,除一部分用于同化作用外,其余的供应机体各种生命活动的需要及产生热量。因此,新陈代谢又可分为物质代谢与能量代谢两个方面,二者密切联系,物质的变化必定伴有能量的转移。在新陈代谢过程中,存在各种不同形式的化学反应,这些化学反应主要有以下几种形式:

1. 合成反应 两种或两种以上的反应物结合形成一个大的、复杂产物的过程称为**合成反应 (synthesis reaction)**。可用公式表示:

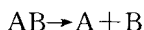


机体从血液中获得各种“材料”来合成机体中的各种复杂分子,最典型的例子是高能磷酸化合物腺苷三磷酸(ATP)的合成。ATP由腺苷和三个磷酸基团组成,它是由腺苷二磷酸(ADP,含二个磷酸基团)和一个无机磷酸基团反应后生成。

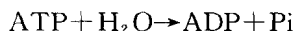
ATP在细胞产能和需能过程中发挥重要的桥梁作用。机体在物质氧化过程中释放出的大量自由能往往先被用于合成ATP。在大多数细胞中,ATP的浓度是ADP的10~100倍,这种浓度比例是细胞化学反应发生的关键。如果一个细胞内的ATP、ADP和Pi的数量处于平衡状态,即使细胞内存在再多的ATP也不会产生做功的驱动力。

2. 分解反应 反应物分解后形成小的、相对简单产物的过程称为**分解反应 (decomposition**

reaction)。分解反应是合成反应的逆反应过程,可用下列公式表示:

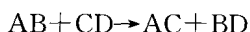


分解反应的最典型例子是 ATP 的水解反应,可用公式表示:

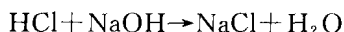


ATP 水解为 ADP 和无机磷酸,其水解产生的能量被用于驱动细胞内大多数吸能反应,如细胞活动过程中发生的许多化学反应、电荷的跨膜运动、溶质的浓缩、肌细胞的收缩及产热等。

3. 交换反应 合成反应和分解反应产物中成分的重新组合,称为交换反应(exchange reaction),用公式表示:



如 HCl 和 NaOH 的反应生成交换产物盐和水:



应注意的是,许多细胞内的化学反应都是可逆的,即反应物和生成物是可相互转换并最终达到平衡状态。当达到平衡时,反应物的量与生成物的量处于相对恒定水平。

## (二) 生殖和生长发育

1. 生殖 生命体生长发育到一定阶段后,能够产生和自己相似的子代,称为生殖(reproduction)。生殖是生物通过自我复制延续种系的过程,是生命的最基本特征之一。在生殖过程中,机体会表现出另一些生命特征,即遗传变异。各种生物都能通过生殖产生子代。亲代和子代之间无论在形态结构或生理功能方面都很相似,这种现象称为遗传(heredity)。亲代和子代每个个体间又不会完全相同,总会产生一定的差异,这种现象称为变异(variation)。

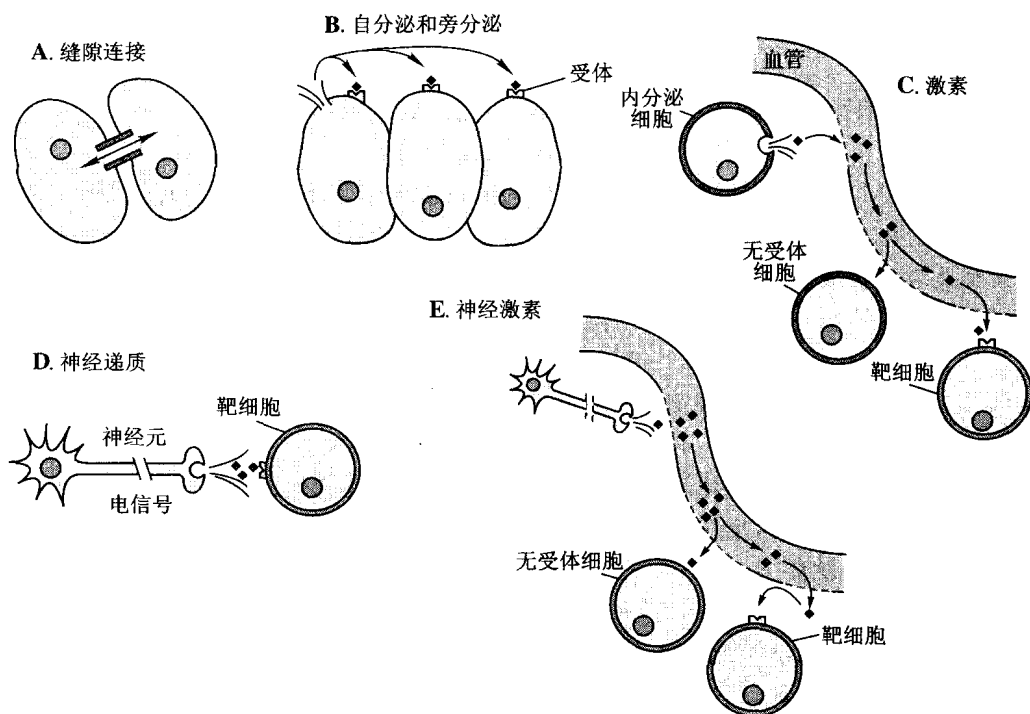
2. 生长和发育 生长和发育一般指生命个体的生长,从生物学意义上说,当受精卵开始发育时,即意味着生命开始了其生长的过程。机体的生长和发育体现在各个方面,如细胞的分裂、增殖、分化,各组织和器官的形成,体积和质量的增加,个体的长大等。生命个体在生长和发育(development)过程中,各系统、器官和组织都要经历从简单到复杂的变化过程,直至机体各器官系统功能的完善和成熟。一般性机能的成熟即表明该个体发育的成熟,具有了生殖的能力。从广义上讲,发育也包括心理、智力和行为的改变。

## 三、人体生理机能的稳态调节

机体内各器官、系统各自进行着各种生理机能活动,而机体内、外环境又经常处于变动之中,因此机体内必须具有一整套精确的调节机构,不断地调节体内各器官、系统的活动,使其相互密切配合,使机体形成一个统一的整体;同时也要不断地调节机体的各种机能活动,以便与内、外环境的变化相适应。机体的这种调节作用主要是通过神经调节、体液调节和自身调节几种方式进行的(图绪-1)。

### (一) 稳态调节的方式

1. 神经调节 机体不同部位之间的信号传递,可通过神经系统的快速传递完成,它可能仅需要几毫秒的时间。神经系统建立了一种相互独立活动的组构形式,它能够将信息从一个部位传到另一部位而相互独立,互不干扰。信息以动作电位的形式在神经纤维上传导,经过神经元之间或神经元与效应器之间的突触,将信息传递到靶细胞。神经细胞间的传递是通过神经终末释放的神经递质(neurotransmitter)来实现的。在靶细胞膜上存在特异的蛋白分子即受体(recep-



图绪-1 机体生理调节的方式(Ober WC, Human Physiology, 1998)

A. 信号通过缝隙连接在两个相邻细胞间直接传递; B. 一个细胞分泌的调节因子可通过旁分泌形式作用于邻近的细胞, 还可通过自分泌形式作用于自身; C. 内分泌细胞或内分泌腺分泌的激素进入血液循环, 只有具有特异受体的靶细胞才能与激素结合并发挥作用; D. 电信号沿神经细胞的轴突做长距离传导, 其末端释放的神经递质与靶细胞上的特异受体结合; E. 某些神经细胞分泌的神经激素类物质进入血液, 随血液循环到达机体的靶细胞处, 与靶细胞上的特异受体结合并发挥生理作用

tor)可选择性与神经递质结合。在以后有关章节中我们将详细介绍各种神经递质与受体的作用, 细胞间的信号传递, 以及神经系统在协调和控制机体活动中的神经调节(nervous regulation)作用。

通过神经系统而实现的调节, 不仅使机体内部相互联系起来, 而且使机体与外部环境相联系。神经调节主要是通过**反射(reflex)**活动来实现的。反射是指在中枢神经系统参与下, 机体对内、外环境刺激所发生的反应。反射的结构基础称为**反射弧(reflex arc)**。反射弧包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个部分。感受器是接受刺激的结构; 效应器是产生反应的结构; 神经中枢位于中枢神经系统(脑和脊髓)内; 传入神经和传出神经是将感受器和效应器与神经中枢联系起来的通路。

2. 体液调节 机体的某些细胞能产生某些特异性化学物质, 如内分泌腺(endocrine gland)细胞所分泌的**激素(hormone)**, 可通过血液循环输送到全身各处, 调节机体的新陈代谢、生长、发育、生殖等机能活动, 这种调节称为**体液调节(humoral regulation)**。

体液调节与神经调节不同的是, 在体液调节中激素激起的反应常常是相当缓慢的(数秒到几小时), 而且持续的时间很长。激素可以通过血液循环流经身体的所有部位, 但仅具有特异受体的细胞才能对特异的激素发生反应。激素的作用具有选择性, 例如, 抗利尿激素能增加肾集合管