



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



iCourse·教材

# 人体解剖生理学

(第3版)

Human Anatomy and Physiology

主编 左明雪

高等教育出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



iCourse·教材

# 人体解剖生理学

(第3版)

主编 左明雪

编者 (按姓氏笔画排序)

左明雪 朱宝长 安书成 李东风 张 铭

陈其才 林 刚 郭炳冉 曾少举

RENTI JIEPOU SHENGLIXUE

高等教育出版社·北京

内容提要

本教材内容按器官、系统顺序排列,共 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 3 版教材保持了第 2 版教材的体系,对部分内容和插图进行了修改和更新。新增“人体解剖生理学数字课程”,除包括纸质教材的全部插图外,还提供拓展阅读材料和几种类型的课后同步练习题。

本书可作为高等院校生物科学、心理学和教育学专业的基础课教材及参考书。

图书在版编目(CIP)数据

人体解剖生理学 / 左明雪主编. --3 版. --北京: 高等教育出版社, 2015.8  
ISBN 978-7-04-041892-7

I. ①人… II. ①左… III. ①人体解剖学 - 人体生理学 - 高等学校 - 教材 IV. ①R324

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 185528 号

策划编辑 赵晓媛      责任编辑 李光跃      封面设计 左映雪 王 洋      责任印制 韩 刚

|      |                   |      |                                                                   |
|------|-------------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| 出版发行 | 高等教育出版社           | 网 址  | <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>         |
| 社 址  | 北京市西城区德外大街4号      |      | <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>         |
| 邮政编码 | 100120            | 网上订购 | <a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>       |
| 印 刷  | 北京汇林印务有限公司        |      | <a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a> |
| 开 本  | 787mm×1092mm 1/16 | 版 次  | 2003 年 8 月第 1 版                                                   |
| 印 张  | 22                |      | 2015 年 8 月第 3 版                                                   |
| 字 数  | 560千字             | 印 次  | 2015 年 8 月第 1 次印刷                                                 |
| 购书热线 | 010-58581118      | 定 价  | 36.80元                                                            |
| 咨询电话 | 400-810-0598      |      |                                                                   |

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 41892-00

数字课程 (基础版)

# 人体解剖生理学

(第3版)

主编 左明雪



**登录方法:**

1. 访问<http://abook.hep.com.cn/41892>, 点击页面右侧的“注册”。已注册的用户直接输入用户名和密码, 点击“进入课程”。
2. 点击页面右上方“充值”, 正确输入教材封底的明码和密码, 进行课程充值。
3. 已充值的数字课程会显示在“我的课程”列表中, 选择本课程并点击“进入课程”即可进行学习。

自充值之日起一年内为本数字课程的有效期  
使用本数字课程如有任何问题  
请发邮件至: [lifescience@pub.hep.cn](mailto:lifescience@pub.hep.cn)

用户名  密码  验证码  9296 [进入课程](#)

[数字课程介绍](#) [纸质教材](#) [版权信息](#) [联系方式](#)

“人体解剖生理学数字课程”与纸质教材一体化设计, 紧密配合。数字课程除包括纸质教材中的全部插图外, 还提供了拓展阅读材料和几种类型的课后同步练习题, 以此引导学生自主学习, 提升课程教学效果。

高等教育出版社

<http://abook.hep.com.cn/41892>

## 第3版前言

人体解剖生理学第2版发行至今已有6年。本次再版仍遵循第2版的基本原则，力争将此书编成一本知识体系完整、层次结构合理、内容简明的人体解剖生理学教材。第3版在结构上未做大的改变，仅对全书部分章节的层次进行了一定的调整。如将绪论中部分解剖和生理学家简介的内容放入了网上的数字课程中；第一章的“人体形态”内容移至绪论中。本次再版力图使内容的表述更为科学、准确和简洁，同时进一步规范了对重要名词、概念的解释。此外，这次再版亦更新和增加了部分插图，使本书插图和文字比例接近了国外同类教材的水平。

为配合此书的学习，这次再版我们还增加了“人体解剖生理学数字课程”，除包括纸质教材的全部插图外，还提供了部分拓展阅读材料和几种类型的课后同步练习题。在今后的教材建设中，我们争取每次再版都增加相应的网络内容，希望能为读者在学习时提供更多的参考信息和帮助。

感谢许多读者为本教材提出的宝贵意见和建议，这督促我们能不断发现此书编写中存在的错误和不足，成为使我们能不断改进、更新教材的基础和动力。我们衷心希望读者在阅读和学习此书时，能获得较大的收获，能更深入掌握人体机体结构的特征及机能活动的调节机制，并不断增加学习人体解剖及生理科学的兴趣。

左明雪

2015年8月

# 目 录

|                   |    |                    |     |
|-------------------|----|--------------------|-----|
| 绪论                | 1  | 第二节 神经的兴奋与传导       | 57  |
| 一、概述              | 1  | 一、神经细胞的生物电现象       | 57  |
| 二、生命活动的基本特征       | 5  | 二、神经冲动的传导          | 62  |
| 三、人体生理机能的稳态调节     | 6  | 第三节 神经元间的功能联系及活动   | 66  |
| 四、人体解剖学常用术语       | 9  | 一、突触的结构及传递         | 66  |
| 第一章 细胞和组织的基本组成和功能 | 12 | 二、突触后电位            | 68  |
| 第一节 细胞的结构与功能      | 12 | 三、兴奋由神经向肌肉的传递      | 70  |
| 一、细胞的化学组成         | 13 | 四、递质和受体            | 78  |
| 二、细胞的结构           | 14 | 五、神经反射活动的特征        | 82  |
| 第二节 基本组织          | 22 | 第四节 神经系统解剖         | 86  |
| 一、上皮组织            | 23 | 一、脊髓和脊神经           | 86  |
| 二、结缔组织            | 25 | 二、脑和脑神经            | 91  |
| 三、肌肉组织            | 27 | 三、脑脊髓被膜、脑室、脑脊液、脑屏障 | 101 |
| 四、神经组织            | 29 | 第五节 神经系统的功能        | 104 |
| 第二章 运动系统          | 36 | 一、神经系统的感觉功能        | 104 |
| 第一节 骨骼            | 36 | 二、神经系统对运动的控制和调节    | 110 |
| 一、骨               | 36 | 三、神经系统对内脏活动的调节     | 117 |
| 二、骨连结             | 40 | 四、中枢神经系统的高级功能      | 123 |
| 三、全身骨的分布概况与特征     | 41 | 第四章 感觉器官           | 134 |
| 第二节 骨骼肌           | 47 | 第一节 视觉器官           | 134 |
| 一、骨骼肌的一般形态与作用     | 47 | 一、眼的构造             | 134 |
| 二、全身骨骼肌的分布概况      | 48 | 二、眼的成像与折光调节        | 137 |
| 三、骨骼肌收缩的能量代谢      | 51 | 三、眼的感光功能           | 138 |
| 第三章 神经系统          | 54 | 四、视觉传导通路           | 143 |
| 第一节 概述            | 54 | 五、视觉信息处理           | 144 |
| 一、神经系统的组成         | 54 | 六、双眼视觉和立体视觉        | 145 |
| 二、神经系统的进化         | 55 | 第二节 听觉器官和前庭器官      | 146 |
|                   |    | 一、耳的结构             | 146 |
|                   |    | 二、听觉生理             | 148 |

|                        |     |                           |     |
|------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 三、前庭器官及其生理功能 .....     | 152 | 第三节 血管 .....              | 187 |
| 第三节 其他感觉器官与感受器 .....   | 154 | 一、动脉、毛细血管和静脉 .....        | 188 |
| 一、嗅觉器官 .....           | 154 | 二、动脉血压 .....              | 190 |
| 二、味觉器官 .....           | 155 | 三、静脉血压与血流 .....           | 191 |
| 三、皮肤感受器 .....          | 156 | 四、微循环和组织液生成 .....         | 192 |
| 第五章 血液 .....           | 159 | 第四节 心血管活动的调节 .....        | 193 |
| 第一节 概述 .....           | 159 | 一、神经调节 .....              | 193 |
| 一、体液和内环境 .....         | 159 | 二、体液调节 .....              | 196 |
| 二、血液的基本组成和血量 .....     | 160 | 第五节 淋巴系统 .....            | 197 |
| 第二节 血浆的化学成分及理化特性 ..... | 162 | 一、淋巴系统的组成及主要功能 .....      | 197 |
| 一、血浆的化学成分 .....        | 162 | 二、淋巴液的生成与淋巴循环 .....       | 198 |
| 二、血浆的理化特性 .....        | 162 | 第六节 儿童和青少年血液循环的功能特点 ..... | 199 |
| 第三节 血细胞生理 .....        | 163 | 一、儿童和青少年心脏功能特点 .....      | 199 |
| 一、红细胞 .....            | 164 | 二、血压 .....                | 200 |
| 二、白细胞 .....            | 165 | 第七节 冠脉循环和脑循环 .....        | 201 |
| 三、血小板 .....            | 166 | 第七章 呼吸系统 .....            | 203 |
| 四、免疫防御 .....           | 167 | 第一节 呼吸器官 .....            | 204 |
| 第四节 血液凝固 .....         | 169 | 一、呼吸道 .....               | 204 |
| 一、血凝的基本过程及其原理 .....    | 169 | 二、肺 .....                 | 206 |
| 二、抗凝系统 .....           | 170 | 三、胸膜和胸膜腔 .....            | 207 |
| 第五节 血型 .....           | 171 | 第二节 呼吸运动与肺通气 .....        | 207 |
| 一、人类的血型 .....          | 171 | 一、呼吸运动 .....              | 207 |
| 二、ABO 血型 .....         | 171 | 二、肺内压与胸膜腔内压 .....         | 208 |
| 三、Rh 血型 .....          | 172 | 三、肺容量与肺通气量 .....          | 209 |
| 四、人类白细胞抗原 .....        | 173 | 第三节 呼吸气体的交换与运输 .....      | 210 |
| 五、输血的意义及输血原则 .....     | 173 | 一、呼吸气体的交换 .....           | 211 |
| 第六章 循环系统 .....         | 176 | 二、气体在血液中的运输 .....         | 211 |
| 第一节 概述 .....           | 176 | 第四节 呼吸运动的调节 .....         | 213 |
| 一、血液循环的意义 .....        | 176 | 一、呼吸中枢与呼吸节律的形成 .....      | 213 |
| 二、体循环与肺循环 .....        | 176 | 二、呼吸的反射性调节 .....          | 215 |
| 第二节 心脏 .....           | 177 | 三、运动时呼吸的变化与调节 .....       | 217 |
| 一、心脏的位置和形态 .....       | 177 | 第八章 消化系统 .....            | 219 |
| 二、心脏的结构 .....          | 178 | 第一节 概述 .....              | 219 |
| 三、心肌的生理特性 .....        | 179 | 一、消化系统的组成与功能 .....        | 219 |
| 四、心动周期 .....           | 182 | 二、消化管的一般结构 .....          | 221 |
| 五、心泵功能的评定 .....        | 185 |                           |     |



|                         |     |                             |     |
|-------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 三、消化管平滑肌的生理特性 .....     | 221 | 第二节 尿生成过程 .....             | 259 |
| 四、消化腺的分泌功能 .....        | 222 | 一、尿的化学成分与理化特性 .....         | 259 |
| 第二节 消化器官的形态结构 .....     | 223 | 二、肾小球的滤过功能 .....            | 259 |
| 一、消化管 .....             | 223 | 三、肾小管与集合管的重吸收和分泌 .....      | 261 |
| 二、消化腺 .....             | 229 | 第三节 尿液的浓缩与稀释 .....          | 262 |
| 第三节 消化 .....            | 231 | 第四节 尿生成的调节 .....            | 264 |
| 一、口腔内消化 .....           | 231 | 一、肾内自身调节 .....              | 264 |
| 二、胃内消化 .....            | 232 | 二、神经和体液调节 .....             | 265 |
| 三、小肠内消化 .....           | 233 | 第五节 排尿及其调节 .....            | 266 |
| 四、大肠内消化 .....           | 234 | 一、输尿管、膀胱和尿道的构造 .....        | 267 |
| 第四节 吸收 .....            | 235 | 二、输尿管、膀胱和尿道的排尿功能 .....      | 267 |
| 一、吸收部位 .....            | 235 | 第十一章 内分泌系统 .....            | 271 |
| 二、几种主要营养物质的吸收 .....     | 236 | 第一节 概述 .....                | 271 |
| 第五节 消化器官活动的调节 .....     | 237 | 一、内分泌的概念 .....              | 271 |
| 一、神经调节 .....            | 237 | 二、激素的种类和一般特征 .....          | 272 |
| 二、体液调节 .....            | 238 | 三、激素的作用机制 .....             | 273 |
| 第九章 营养、代谢与体温调节 .....    | 241 | 第二节 下丘脑与垂体 .....            | 274 |
| 第一节 食物的营养成分及其生理功能 ..... | 241 | 一、下丘脑 .....                 | 274 |
| 一、糖类及其主要生理功能 .....      | 241 | 二、垂体 .....                  | 275 |
| 二、脂肪及其主要生理功能 .....      | 242 | 三、下丘脑 - 垂体 - 靶腺之间的联系 .....  | 277 |
| 三、蛋白质及其主要生理功能 .....     | 243 | 第三节 甲状腺与甲状旁腺 .....          | 279 |
| 四、维生素 .....             | 244 | 一、甲状腺 .....                 | 279 |
| 五、无机盐 .....             | 246 | 二、甲状旁腺 .....                | 281 |
| 第二节 能量代谢 .....          | 247 | 第四节 胰岛 .....                | 282 |
| 一、能量的来源与利用 .....        | 247 | 一、胰岛的位置、形态和结构 .....         | 282 |
| 二、能量代谢的测定原理和方法 .....    | 247 | 二、胰岛素的生理作用 .....            | 282 |
| 三、影响能量代谢的因素 .....       | 248 | 三、胰高血糖素的生理作用 .....          | 283 |
| 四、基础代谢 .....            | 249 | 四、胰岛分泌功能的调节 .....           | 283 |
| 第三节 体温及其调节 .....        | 249 | 第五节 肾上腺 .....               | 284 |
| 一、体温 .....              | 249 | 一、肾上腺的位置、形态和结构 .....        | 284 |
| 二、产热与散热 .....           | 250 | 二、肾上腺皮质激素 .....             | 284 |
| 三、体温调节 .....            | 251 | 三、肾上腺髓质激素 .....             | 286 |
| 第十章 泌尿系统 .....          | 254 | 第六节 其他内分泌腺和激素 .....         | 286 |
| 第一节 肾的构造 .....          | 255 | 一、松果体 .....                 | 286 |
| 一、肾的位置与形态 .....         | 255 | 二、胸腺 .....                  | 287 |
| 二、肾的结构特征及其血液循环 .....    | 256 | 三、前列腺素 .....                | 287 |
|                         |     | 四、胃肠激素、APUD 细胞系与 DNES ..... | 287 |



|                             |     |                            |     |
|-----------------------------|-----|----------------------------|-----|
| <b>第十二章 生殖系统</b> .....      | 289 | 四、胚体的形成                    | 327 |
| <b>第一节 生殖系统的构造和机能</b> ..... | 289 | <b>第二节 人体发育的一般规律</b> ..... | 328 |
| 一、男性生殖系统                    | 289 | 一、身高                       | 328 |
| 二、女性生殖系统                    | 296 | 二、体重                       | 328 |
| <b>第二节 生殖机能的调控</b> .....    | 299 | 三、肢体形态的发育                  | 329 |
| 一、雄性生殖功能                    | 299 | <b>第三节 人体各器官的发育</b> .....  | 330 |
| 二、雌性生殖功能                    | 305 | 一、一般型器官的生长                 | 330 |
| <b>第三节 有性生殖过程</b> .....     | 309 | 二、神经型器官的发育                 | 331 |
| 一、受精过程                      | 309 | 三、淋巴型器官的生长                 | 332 |
| 二、受精卵发育及性别分化                | 313 | 四、生殖系统的发育                  | 332 |
| <b>第四节 着床、妊娠与授乳</b> .....   | 315 | <b>第四节 影响生长发育的因素</b> ..... | 334 |
| 一、着床                        | 315 | 一、营养因素的影响                  | 334 |
| 二、妊娠                        | 316 | 二、生态因素的影响                  | 335 |
| 三、分娩                        | 317 | 三、遗传因素的影响                  | 336 |
| 四、授乳                        | 318 | 四、疾病的影响                    | 336 |
| <b>第五节 生殖调控</b> ㊦ .....     | 320 | 五、体育锻炼和劳动的影响               | 336 |
| <b>第十三章 人体的胚胎发生和生长发育</b>    |     | 六、精神因素的影响                  | 336 |
| <b>过程</b> .....             | 322 | <b>第五节 衰老</b> .....        | 337 |
| <b>第一节 人体胚胎发育概论</b> .....   | 322 | 一、衰老的定义                    | 337 |
| 一、受精                        | 322 | 二、衰老的生理学特征                 | 337 |
| 二、卵裂、胚泡形成和植入                | 323 | 三、衰老的各种学说                  | 338 |
| 三、胚层的形成与分化                  | 325 | <b>索引</b> ㊦ .....          | 341 |

# 绪论

- 一、概述
- 二、生命活动的基本特征
- 三、人体生理机能的稳态调节
- 四、人体解剖学常用术语

## 一、概述

人体解剖生理学是研究人体结构和功能的一门科学。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的知识在古代就有记载。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》( 北朝北魏时期著名农学家贾思勰著 ) 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, 都作了详尽的描述, 其中有些内容早于林奈的《自然系统》160 多年。宋代王惟一铸铜人, 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。

解剖学和生理学从开始建立就一直密不可分, 这是因为结构和功能均不可能独立研究和存在, 所有的研究结果都建立在两者有机联系的基础上。尽管现在对解剖学和生理学的研究已经进入了分子和基因水平, 通过对解剖生理学的学习, 我们仍会理解机体的结构是实现机体生理功能的基础这一基本原理, 即使是在基因水平仍然适用。

### ( 一 ) 解剖学和生理学的基本概念

1. 解剖学 ( anatomy ) 解剖学是研究机体结构的科学。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部分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（macroscopic 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被直接观察到。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，由心脏和血管组成的输送营养和代谢产物的心血管系统等。

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，在化学和分子水平发生在细胞中的事件，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，在临床上发现某些疾病产生的重要线索，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，它必然包括从每个分子的功能活动到细胞水平，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4个不同水平展开研究，这4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  $H^+$ 、 $K^+$  或  $Ca^{2+}$  这样的原子，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质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细胞内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形成了许多特异能力：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，来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4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贮存在膀胱里，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、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地去完成某一功能, 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, 我们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科学, 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 把要研究的组织或器官从活的或刚死去的动物体上分离出来, 放在一个能使其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, 从而可以进行对于心脏的各种研究。

(2) 活体解剖实验法 在动物处于麻醉状态下研究某些器官、组织或细胞的活动, 从而了解其功能。例如通过电生理方法, 研究肌肉收缩的机制等。

由于离体组织或器官的实验过程时间较短, 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。其缺点是实验是在脱离整体条件下, 或者是在受到解剖或麻醉状态下进行的, 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单个细胞膜受体活动的特性。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:



分解反应的最典型的例子是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

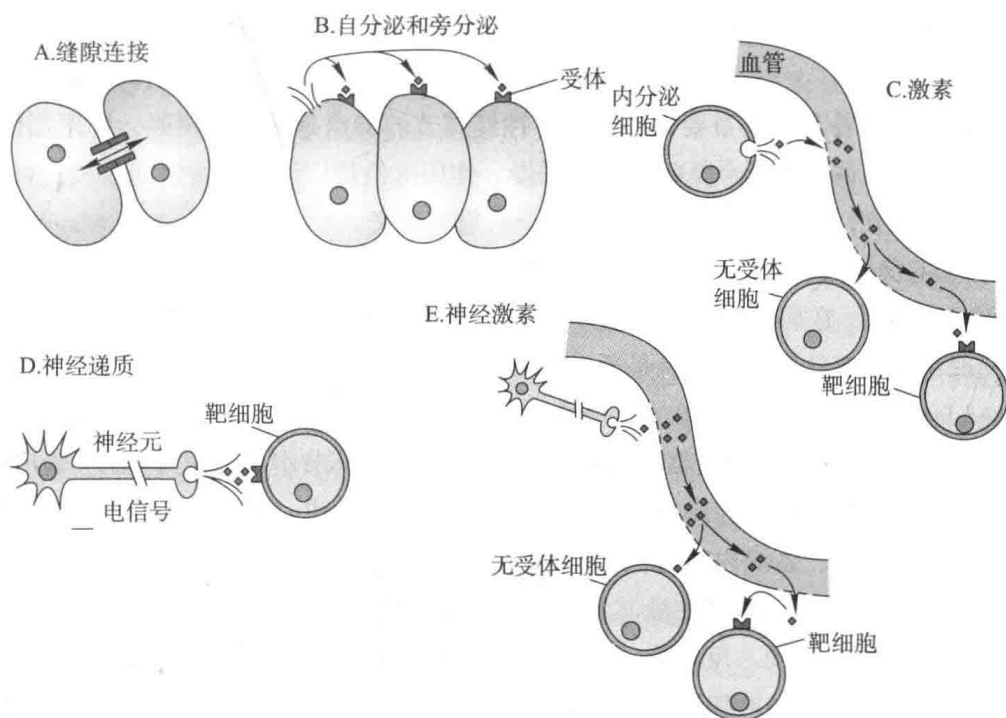
机体内各器官、系统各自进行着各种生理机能活动,而机体内、外环境又经常处于变动之中,因此机体内必须具有一整套精确的调节机构,以不断地调节体内各器官、系统的活动,使其相互密切协调配合,使机体形成一个统一的整体;同时也要不断地调节机体的各种机能活动,以便与内、外环境的变化相适应。机体的这种调节作用主要是通过神经调节、体液调节和自身调节几种方式进行的(图绪-1)。

### (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。在神经终末与其相连的靶细胞膜上存在特异的蛋白质分子,称其为**受体(receptor)**,可与神经递质特异性结合。在今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





图绪-1 机体生理调节的方式 (Ober W C, 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作长距离传导, 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

神经、神经中枢、传出神经和效应器 5 个部分。机体中存在能感受各种不同刺激形式的感受器, 它们将感受到的体内或周围环境的变化通过电信号形式传给中枢, 中枢对这些信号进行分析后, 发出指令使机体对这些刺激能迅速做出相应的反应。在后面的章节中我们会进一步理解, 神经系统调节的机体各种活动、行为甚至感觉, 几乎都含各种不同的反射活动。

2. 体液调节 机体中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)**。

与神经系统不同的是, 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细胞对水的通透性, 但却不能改变对其他细胞的通透性。激素的作用又可能是弥散的, 不具体针对一种类型的细胞, 如甲状腺素能刺激机体总的代谢的改变。激素在控制机体代谢、生长和生殖功能中发挥着至关重要的作用。

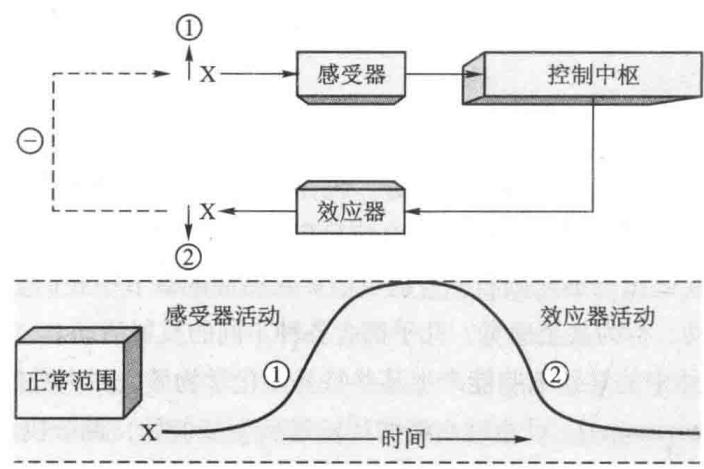
3. 自身调节 许多组织、细胞自身也能对周围环境的变化发生适应性反应, 这种反应是组织、细胞本身的生理特性, 不依赖于外来神经和体液因素的作用, 因此称为**自身调节 (autoregulation)**。例如, 当组织细胞的一些代谢产物在组织中含量增加时, 能引起局部的血管舒

张，使局部血流量增加，从而使积蓄的代谢产物能迅速地被运走，这种现象又可称为局部体液因素调节。

上述三种调节，各具有其重要性和特点：神经调节的特点是迅速而精确，作用部位较局限，持续时间较短；体液调节的特点是效应出现缓慢，作用部位较广泛，持续时间较长；自身调节是作用精确的局部调节，对维持机体细胞自稳态具有重要意义。

（二）稳态的负反馈调节机能

20 世纪 40 年代，在研究各种工程技术的控制过程中，产生了一个新的学科，这就是控制论。人们发现稳定状态的实现和维持是通过负反馈控制系统来实现的。反馈是信息沿着一个封闭环路（closed loop）的流动。最简单的反馈系统由输出变量（regulated variable）、感受器（或监测器，detector）、控制中枢（或比较器，comparator）和效应器环节组成（图绪-2）。输出变量的部分信息经监测装置检测后转变为反馈信息，返回到比较器，构成一个闭合回路。环路中的每一个成分都控制下一个成分，系统内外的各种干扰可能引起输出变量的变化。人体在分子、细胞、组织、器官和系统的不同水平均存在极其复杂的类似工程上的控制系统，因此，控制论原理可以被用来分析人体的调节活动。反馈表示的即是生理变化过程中产生的终产物或结果，反过来影响这一过程的发展速度。如果其终产物或结果降低这一过程的发展，则称之为**负反馈（negative feedback）**。例如通过负反馈环路，输出变量的信息经监测器检测后转变为反馈信息，回输到控制器。反馈信息与原设定的信息比较后，即获得偏差信息，这些将通过效应装置使其向相反方向活动，使输出变量回到原有的水平。



图绪-2 负反馈调节示意图

内环境中某些因子的变化（↑X）被感受器所监测，变化的信息被转送到控制中枢（比较器），控制中枢发出指令使效应器产生一个相反方向的变化（↓X），因此开始时出现的偏差得到了纠正。图中的数字表示变化的顺序

我们知道，机体中绝大部分细胞都不直接暴露在外界中，而是生活在一个充满液体的细胞外液中。细胞外液由心血管中流动的血浆、组织间隙液、淋巴液和脑脊液组成。机体就是通过血液循环系统，不断更新细胞外液，使细胞与细胞外液时刻进行着物质交换，排出 CO<sub>2</sub> 和代谢的废物，吸收氧和各种营养物质。我们将细胞生活的这种环境称为**内环境（internal environment）**。显然，对于处于理想状态的细胞、组织和器官来说，机体的内环境必须在一个相对窄的范围内变动，才能使细胞的代谢活动不受干扰维持正常的生命活动。机体稳定状态的维持是在不同生理机