



普通高等教育“十五”国家级规划教材  
全国高等医药教材建设研究会 卫生部规划教材  
全国高等学校教材  
供基础、临床、预防、口腔医学类专业用

# 生理学

第 6 版      主 编 姚 泰  
副主编 吴博威

 人民卫生出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材  
全国高等学校教材  
供基础、临床、预防、口腔医学类专业用

# 生 理 学

(第 6 版)

主 编 姚 泰

副主编 吴博威

编 者

姚 泰 (复旦大学上海医学院)  
吴博威 (山西医科大学)  
罗自强 (中南大学湘雅医学院)  
夏 强 (浙江大学医学院)  
郑 煜 (四川大学华西医学中心)  
孙庆伟 (赣南医学院)  
冯甲棣 (中国医科大学)  
刘长金 (华中科技大学同济医学院)  
樊小力 (西安交通大学医学院)  
朱大年 (复旦大学上海医学院)  
李玉荣 (哈尔滨医科大学)

人 民 卫 生 出 版 社

## 图书在版编目(CIP)数据

生理学/姚泰主编.—6版.—北京:  
人民卫生出版社,2003  
ISBN 7-117-04468-3

I.生… II.姚… III.人体生理学—医学院校—  
教材 IV.R33

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第104543号

## 生 理 学 (第 6 版)

主 编:姚 泰

出版发行:人民卫生出版社(中继线 67616688)

地 址:(100078)北京市丰台区方庄芳群园3区3号楼

网 址:<http://www.pmph.com>

E-mail: pmph@pmph.com

印 刷:潮河印业有限公司

经 销:新华书店

开 本:850×1168 1/16 印张:27.5

字 数:686千字

版 次:1978年12月第1版 2004年10月第6版第50次印刷

标准书号:ISBN 7-117-04468-3/R·4469

定 价:33.00元

著作权所有,请勿擅自用本书制作各类出版物,违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

# 全国高等学校五年制临床医学专业

## 第六轮规划教材修订说明

为适应我国高等医学教育改革的需要,经全国高等医药教材建设研究会和卫生部临床医学专业教材评审委员会审议,决定从2002年9月开始进行五年制临床医学专业规划教材第六轮的修订。第六轮的修订工作要以《中国医学教育改革发展纲要》和《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》为指导,及时反映新世纪教学内容和课程改革的成果,在选择教材内容和编写体系时,应注意素质教育和创新能力与实践能力的培养,为学生知识、能力、素质协调发展创造条件。第六轮的修订要继承和发扬第五轮教材编写的优点,在坚持“三基”、“五性”、“三特定”的同时,提倡创新,可同时编写配套教材(含光盘);增加英文的词汇量;加强人文科学的内容;并强调增强学生的法律意识等,力争编出精品教材。

随着教材品种的不断增加和完善,第六轮教材将不再与七年制共用;并为适应各院校的具体情况,不再划分必修教材和选修教材,由各院校自行选择使用。

全套教材共50种,于2004年秋季全部出齐,其中24种同时为教育部确定的普通高等教育“十五”国家级规划教材。另根据学科发展的需要,本轮教材将原《耳鼻咽喉科学》更名为《耳鼻咽喉-头颈外科学》;将原《计算机应用基础》更名为《医学计算机应用基础》。

## 第六轮教材目录

- |                  |         |                 |         |
|------------------|---------|-----------------|---------|
| 1. 《医用高等数学》第4版   | 主编 张选群  | 14. 《病理学》第6版    | 主编 李玉林  |
| △2. 《医学物理学》第6版   | 主编 胡新珉  |                 | 副主编 唐建武 |
| 3. 《基础化学》第6版     | 主编 魏祖期  | △15. 《病理生理学》第6版 | 主编 金惠铭  |
| 4. 《有机化学》第6版     | 主编 吕以仙  |                 | 王建枝     |
|                  | 副主编 陆阳  | 16. 《药理学》第6版    | 主编 杨宝峰  |
| 5. 《医学生物学》第6版    | 主编 傅松滨  |                 | 副主编 苏定冯 |
| △6. 《系统解剖学》第6版   | 主编 柏树令  | 17. 《医学心理学》第4版  | 主编 姜乾金  |
| △7. 《局部解剖学》第6版   | 主编 彭裕文  | 18. 《法医学》第4版    | 主编 王保捷  |
| △8. 《组织学与胚胎学》第6版 | 主编 邹仲之  | △19. 《诊断学》第6版   | 主编 陈文彬  |
| △9. 《生物化学》第6版    | 主编 周爱儒  |                 | 潘祥林     |
|                  | 副主编 查锡良 |                 | 副主编 康熙雄 |
| △10. 《生理学》第6版    | 主编 姚泰   | △20. 《医学影像学》第5版 | 主编 吴恩惠  |
|                  | 副主编 吴博威 |                 | 副主编 冯敏生 |
| 11. 《医学微生物学》第6版  | 主编 周正任  | △21. 《内科学》第6版   | 主编 叶任高  |
|                  | 副主编 李凡  |                 | 陆再英     |
| 12. 《人体寄生虫学》第6版  | 主编 李雍龙  |                 | 副主编 谢毅  |
| 13. 《医学免疫学》第4版   | 主编 陈慰峰  |                 | 王辰      |
|                  | 副主编 金伯泉 |                 |         |

- |                     |                |                    |
|---------------------|----------------|--------------------|
| △22. 《外科学》第6版       | 主编 吴在德<br>吴肇汉  | 副主编 刘移民<br>傅华      |
|                     | 副主编 郑树<br>安洪   | 副主编 段广才<br>李家邦     |
| △23. 《妇产科学》第6版      | 主编 乐杰          | 副主编 高鹏翔            |
|                     | 副主编 谢幸<br>丰有吉  | 主编 邹赛德             |
| 24. 《儿科学》第6版        | 主编 杨锡强<br>易著文  | 副主编 杨长兴<br>主编 裴海泓  |
|                     | 副主编 沈晓明<br>常立文 | 主编 宋今丹<br>主编 药立波   |
| △25. 《神经病学》第5版      | 主编 王维治         | 副主编 冯作化<br>宋春丽     |
|                     | 副主编 罗祖明        | 主编 左伋<br>主编 徐叔云    |
| △26. 《精神病学》第5版      | 主编 郝伟          | 副主编 魏伟             |
| △27. 《传染病学》第6版      | 主编 彭文伟         | 主编 马斌荣             |
|                     | 副主编 李兰娟<br>乔光彦 | 主编 丘祥兴             |
| △28. 《眼科学》第6版       | 主编 惠延年         | 副主编 王明旭            |
| 29. 《耳鼻咽喉-头颈外科学》第6版 | 主编 田勇泉         | 主编 王家良             |
|                     | 副主编 孙爱华        | 主编 南登崑             |
| △30. 《口腔科学》第6版      | 主编 张志愿         | 主编 郭继军             |
| △31. 《皮肤性病学》第6版     | 主编 张学军         | 主编 赵同刚             |
| 32. 《核医学》第6版        | 主编 李少林         | 副主编 达庆东<br>汪建荣     |
|                     | 副主编 张永学        | 主编 文历阳             |
| △33. 《流行病学》第6版      | 主编 王建华         | 主编 杨秉辉             |
| 34. 《卫生学》第6版        | 主编 仲来福         |                    |
|                     |                | △35. 《预防医学》第4版     |
|                     |                | 36. 《中医学》第6版       |
|                     |                | 37. 《医学计算机应用基础》第3版 |
|                     |                | 38. 《体育》第3版        |
|                     |                | 39. 《医学细胞生物学》第3版   |
|                     |                | 40. 《医学分子生物学》第2版   |
|                     |                | 41. 《医学遗传学》第4版     |
|                     |                | △42. 《临床药理学》第3版    |
|                     |                | 43. 《医学统计学》第4版     |
|                     |                | △44. 《医学伦理学》第2版    |
|                     |                | △45. 《临床流行病学》第2版   |
|                     |                | 46. 《康复医学》第3版      |
|                     |                | 47. 《医学文献检索》第2版    |
|                     |                | 48. 《卫生法》第2版       |
|                     |                | 49. 《医学导论》第2版      |
|                     |                | △50. 《全科医学概论》第2版   |

注：画△者为普通高等教育“十五”国家级规划教材

## 全国高等学校临床医学专业 第五届教材评审委员会

名誉主任委员 裘法祖

主任委员 陈灏珠 副主任委员 龚非力

委员（以姓氏笔画为序）

于修平 王卫平 王鸿利 文继舫 朱明德 刘国良  
李焕章 杨世杰 张肇达 沈 悌 吴一龙 郑树森  
原 林 曾因明 廖秦平 樊小力

秘书 孙利军

# 再版前言

全国高等医药院校五年制教材《生理学》第五版于2000年出版后,至今已将近四年了。2002年10月,卫生部临床医学专业教材评审委员会决定组织新版教材的编写工作,并召开了教材主编会议。我们在接受主编《生理学》第六版的任务后,立即组织了编写班子,并举行了编写会议,着手编写工作。《生理学》第六版的编写人员,有一半以上是这次新参加的。他们都是在教学第一线工作的教授,有丰富的教学经验。由于这本教材的使用面很广,我们还邀请了没有参加过本书前几版编写的几个学校的教授参加编写。

《生理学》第五版出版后,我们曾收到各地的老师和医学院校学生的一些来信。他们指出了书中存在的一些问题,并且热情地提出了许多改进的意见和建议。这些意见对于我们编写新版教材有很大的帮助。在编写第六版时,我们对这些意见都做了认真的考虑。第六版总的篇幅与第五版大致相近。由于在教学中许多学校对各门课程的时间安排进行了调整,不少学校对生理学课程的学时安排比过去有所减少,我们在书中用小字编排的内容也略有增加,以便于教师根据不同需要确定授课内容。和第五版比较,第六版中对有些原来写得不够清楚或不够确切的地方进行了修改或补充,对有些章节的编排顺序做了调整,另外还增加了一些新的内容,例如在第二章中增加了细胞膜的被动电学特性、宏膜电流与单通道电流的关系,第三章中增加了血管内皮的抗凝功能,第四章中增加了肾外的肾素-血管紧张素系统、肾上腺髓质素以及动脉血压短期调节和长期调节的比较,第六章中增加了胃肠激素部分的内容,第八章中增加了肾小管对钙的重吸收,第十章中对基底神经节的功能增加了新的内容,第十一章中增加了瘦素,第十二章增加了性生理学等等。关于索引,我们仍按术语第一个中文字的拼音顺序编排,条目比第五版增加了50%以上,以便于医学生对这本教材的使用。

在编写这本教材的过程中我们深深地体会到,全国许多医学院校的生理学老师们对我们的编写工作非常关心。他们热情地鼓励我们,要求我们把这本教材认真地编写好。人民卫生出版社对我们的编写工作也十分支持。我们在这里向给予我们关心和支持的同志们表示深切的感谢,并期待着本书的读者们对书中的问题和不足之处提出批评和意见。

姚 泰 吴博威

2003年9月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 生理学的研究对象和任务</b> .....	1
一、生理学的任务 .....	1
二、生理学研究的三个水平 .....	1
<b>第二节 机体的内环境与稳态</b> .....	3
<b>第三节 机体生理功能的调节</b> .....	4
一、神经调节 .....	4
二、体液调节 .....	5
三、自身调节 .....	5
<b>第四节 体内的控制系统</b> .....	5
一、非自动控制系统 .....	6
二、反馈控制系统 .....	6
三、前馈控制系统 .....	7
<b>第二章 细胞的基本功能</b> .....	9
<b>第一节 细胞膜的结构和物质转运功能</b> .....	9
一、细胞膜的结构概述 .....	9
二、物质的跨膜转运 .....	11
<b>第二节 细胞的跨膜信号转导</b> .....	18
一、G 蛋白耦联受体介导的信号转导 .....	18
二、离子通道受体介导的信号转导 .....	21
三、酶耦联受体介导的信号转导 .....	21
<b>第三节 细胞的生物电现象</b> .....	22
一、细胞膜的被动电学特性 .....	22
二、静息电位及其产生机制 .....	24
三、动作电位及其产生机制 .....	27
四、组织的兴奋和兴奋性 .....	33
<b>第四节 肌细胞的收缩</b> .....	34
一、横纹肌 .....	35
二、平滑肌 .....	43
<b>第三章 血液</b> .....	46

第一节 血液的组成和理化特性 .....	46
一、血液的组成 .....	46
二、血量 .....	47
三、血液的理化特性 .....	47
第二节 血细胞生理 .....	49
一、血细胞生成的部位和一般过程 .....	49
二、红细胞生理 .....	50
三、白细胞生理 .....	54
四、血小板生理 .....	57
第三节 生理性止血 .....	60
一、生理性止血的基本过程 .....	60
二、血液凝固 .....	61
三、止血栓的溶解 .....	67
第四节 血型和输血原则 .....	68
一、血型与红细胞凝集 .....	68
二、红细胞血型 .....	69
三、输血的原则 .....	72
<b>第四章 血液循环 .....</b>	<b>75</b>
第一节 心脏的生物电活动 .....	75
一、心肌细胞的跨膜电位及其形成机制 .....	76
二、心肌的电生理特性 .....	81
三、体表心电图 .....	87
第二节 心脏的泵血功能 .....	89
一、心肌收缩的特点 .....	89
二、心脏泵血的过程和机制 .....	89
三、心脏泵血功能的评定 .....	92
四、心泵功能的贮备 .....	94
五、影响心输出量的因素 .....	95
第三节 血管生理 .....	99
一、各类血管的功能特点 .....	99
二、血流量、血流阻力和血压 .....	101
三、动脉血压和动脉脉搏 .....	103
四、静脉血压和静脉回心血量 .....	107
五、微循环 .....	111
六、组织液的生成 .....	113
七、淋巴液的生成和回流 .....	115
第四节 心血管活动的调节 .....	116



一、神经调节 .....	116
二、体液调节 .....	123
三、局部血流调节 .....	128
四、动脉血压的短期调节和长期调节 .....	128
<b>第五节 器官循环</b> .....	129
一、冠脉循环 .....	130
二、肺循环 .....	132
三、脑循环 .....	133
<b>第五章 呼吸</b> .....	137
<b>第一节 肺通气</b> .....	137
一、肺通气的原理 .....	137
二、肺通气功能的指标 .....	145
<b>第二节 肺换气和组织换气</b> .....	148
一、肺换气和组织换气的基本原理 .....	148
二、肺换气 .....	149
三、组织换气 .....	151
<b>第三节 气体在血液中的运输</b> .....	152
一、氧和二氧化碳在血液中的存在形式 .....	152
二、氧的运输 .....	152
三、二氧化碳的运输 .....	156
<b>第四节 呼吸运动的调节</b> .....	158
一、呼吸中枢与呼吸节律的形成 .....	158
二、呼吸的反射性调节 .....	161
<b>第六章 消化与吸收</b> .....	167
<b>第一节 概述</b> .....	167
一、消化道平滑肌的生理特性 .....	167
二、消化腺的分泌功能 .....	168
三、消化道的神经支配 .....	168
四、消化器官功能活动的激素调节——胃肠激素 .....	170
五、胃肠血流的一般特点 .....	172
<b>第二节 口腔内消化</b> .....	173
一、唾液成分、作用及其分泌的调节 .....	173
二、咀嚼与吞咽 .....	174
<b>第三节 胃内消化</b> .....	175
一、胃液及其分泌 .....	175
二、胃的运动及其控制 .....	180

第四节 小肠内消化.....	182
一、胰液的分泌.....	182
二、胆汁的分泌和排出.....	184
三、小肠液的分泌.....	186
四、小肠的运动.....	187
第五节 大肠内消化.....	188
一、大肠液的分泌.....	189
二、大肠的运动和排便.....	189
三、大肠内细菌的活动.....	190
第六节 吸收.....	190
一、吸收过程概述.....	190
二、小肠的吸收功能.....	192
三、大肠的吸收功能.....	195
<b>第七章 能量代谢与体温.....</b>	<b>197</b>
<b>第一节 能量代谢.....</b>	<b>197</b>
一、食物的能量转化.....	197
二、能量代谢的测定.....	198
三、影响能量代谢的主要因素.....	203
四、基础代谢.....	204
<b>第二节 体温及其调节.....</b>	<b>205</b>
一、体温.....	205
二、机体的产热与散热.....	208
三、体温调节.....	211
<b>第八章 尿的生成和排出.....</b>	<b>215</b>
<b>第一节 肾的功能解剖和肾血流量.....</b>	<b>215</b>
一、肾的功能解剖.....	215
二、肾血流量及其调节.....	219
<b>第二节 肾小球的滤过功能.....</b>	<b>220</b>
一、有效滤过压.....	220
二、影响肾小球滤过的因素.....	221
<b>第三节 肾小管和集合管的物质转运功能.....</b>	<b>222</b>
一、肾小管和集合管中物质转运的方式.....	222
二、肾小管和集合管中各种物质的重吸收与分泌.....	223
<b>第四节 尿液的浓缩和稀释.....</b>	<b>228</b>
一、尿液的稀释.....	228
二、尿液的浓缩.....	229

三、直小血管在维持肾髓质高渗中的作用 .....	231
第五节 尿生成的调节 .....	232
一、肾内自身调节 .....	232
二、神经和体液调节 .....	233
第六节 清除率 .....	237
一、清除率的定义和计算方法 .....	237
二、测定清除率的意义 .....	238
第七节 尿的排放 .....	239
一、膀胱和尿道的神经支配 .....	240
二、排尿反射 .....	240
三、排尿异常 .....	241
<b>第九章 感觉器官的功能 .....</b>	<b>243</b>
<b>第一节 感受器及其一般生理特性 .....</b>	<b>243</b>
一、感受器、感觉器官的定义和分类 .....	243
二、感受器的一般生理特性 .....	244
<b>第二节 眼的视觉功能 .....</b>	<b>246</b>
一、眼的折光系统及其调节 .....	246
二、眼的感光换能系统 .....	250
三、视网膜的信息处理 .....	257
四、与视觉有关的若干生理现象 .....	259
<b>第三节 耳的听觉功能 .....</b>	<b>262</b>
一、外耳和中耳的功能 .....	262
二、内耳（耳蜗）的功能 .....	264
三、听神经动作电位 .....	267
<b>第四节 前庭器官的平衡感觉功能 .....</b>	<b>268</b>
一、前庭器官的感受细胞和适宜刺激 .....	268
二、前庭反应 .....	270
<b>第五节 其他感受器的功能 .....</b>	<b>271</b>
一、嗅觉感受器和嗅觉的一般性质 .....	271
二、味觉感受器和味觉的一般性质 .....	272
三、皮肤感觉感受器的功能 .....	273
<b>第十章 神经系统的功能 .....</b>	<b>275</b>
<b>第一节 神经元与神经胶质细胞的一般功能 .....</b>	<b>275</b>
一、神经元 .....	275
二、神经胶质细胞 .....	278
<b>第二节 神经元的信息传递 .....</b>	<b>278</b>

一、突触传递 .....	279
二、神经递质和受体 .....	283
三、反射弧中枢部分的活动规律 .....	291
<b>第三节 神经系统的感觉分析功能</b> .....	295
一、躯体感觉的中枢分析 .....	295
二、内脏感觉的中枢分析 .....	299
三、特殊感觉的中枢分析 .....	302
<b>第四节 神经系统对姿势和运动的调节</b> .....	303
一、运动传出的最后公路 .....	303
二、姿势的中枢调节 .....	304
三、躯体运动的中枢调节 .....	310
<b>第五节 神经系统对内脏活动、本能行为和情绪的调节</b> .....	318
一、自主神经系统的功能 .....	318
二、内脏活动的中枢调节 .....	320
三、本能行为和情绪的神经调节 .....	322
<b>第六节 觉醒、睡眠与脑电活动</b> .....	324
一、脑电活动 .....	324
二、觉醒与睡眠 .....	326
<b>第七节 脑的高级功能</b> .....	329
一、学习与记忆 .....	329
二、语言和其他认知功能 .....	333
<b>第八节 神经、内分泌和免疫系统的相互关系</b> .....	335
一、神经系统与内分泌系统的相互作用 .....	336
二、神经系统与免疫系统的相互影响 .....	336
三、内分泌系统和免疫系统的相互关系 .....	336
<b>第十一章 内分泌</b> .....	338
<b>第一节 概述</b> .....	338
一、激素及其分类 .....	338
二、激素作用的一般特性 .....	341
三、激素的作用机制 .....	342
四、激素分泌的调节 .....	346
<b>第二节 下丘脑和垂体的内分泌</b> .....	347
一、下丘脑调节肽 .....	348
二、腺垂体激素 .....	350
三、神经垂体激素 .....	354
<b>第三节 甲状腺的内分泌</b> .....	356
一、甲状腺激素的合成与代谢 .....	356

二、甲状腺激素的生物学作用 .....	358
三、甲状腺激素分泌的调节 .....	360
<b>第四节 甲状旁腺的内分泌与调节钙、磷代谢的激素</b> .....	361
一、甲状旁腺激素 .....	362
二、降钙素 .....	363
三、1,25-二羟维生素 D <sub>3</sub> .....	364
<b>第五节 肾上腺的内分泌</b> .....	364
一、肾上腺皮质激素 .....	365
二、肾上腺髓质激素 .....	368
<b>第六节 胰岛的内分泌</b> .....	370
一、胰岛素 .....	370
二、胰高血糖素 .....	374
三、生长抑素和胰多肽 .....	374
<b>第七节 其他腺体或组织的内分泌</b> .....	375
一、前列腺素 .....	375
二、褪黑素 .....	375
三、瘦素 .....	377
<b>第十二章 生殖</b> .....	379
<b>第一节 睾丸的功能与调节</b> .....	379
一、睾丸的功能 .....	379
二、睾丸功能的调节 .....	381
<b>第二节 卵巢的功能与调节</b> .....	383
一、卵巢的功能 .....	383
二、卵巢功能的调节 .....	386
<b>第三节 妊娠与分娩</b> .....	389
一、妊娠 .....	389
二、分娩 .....	390
<b>第四节 性生理学</b> .....	391
一、性成熟的表现 .....	391
二、性兴奋与性行为 .....	393
三、性行为的调节 .....	394
<b>索引</b> .....	396

# 第一章 绪 论

## 第一节 生理学的研究对象和任务

### 一、生理学的任务

生理学(physiology)是生物科学的一个分支,是以生物机体的生命活动现象和机体各个组成部分的功能为研究对象的一门科学。单细胞生物体的全部活动都发生在一个细胞内。到多细胞生物,不同的细胞群构成各个器官和系统,各行使不同的功能。人体生理学的任务就是研究构成人体各个系统的器官和细胞的正常活动过程,特别是各个器官、细胞功能表现的内部机制,不同细胞、器官、系统之间的相互联系和相互作用,并阐明人体作为一个整体,其各部分的功能活动是如何互相协调、互相制约,从而能在复杂多变的环境中维持正常的生命活动过程的。

生理学也是一门基础医学科学。医学生必须在了解正常人体各个组成部分的功能的基础上,才能理解在各种疾病情况下身体某个或某些部分发生的变化,器官在疾病时发生的功能变化与形态变化之间的关系,一个器官发生病变时如何影响其他器官的功能,等等。所以,生理学对于医学生来说是一门非常重要的基本理论课程。

### 二、生理学研究的三个水平

从研究方法和知识的获得来说,生理学是一门实验性科学,也就是说,生理学的知识主要是通过实验获得的。生理学真正成为一门实验性科学是从17世纪开始的。在此之前,我国和其他国家都有一些经典医学著作对人体器官的生理功能进行描述。但这些描述只是通过尸体解剖和动物活体解剖对身体器官功能的推测。17世纪初,英国的Harvey首先在动物身上用活体解剖和科学实验的方法研究了血液循环,证明心脏是循环系统的中心,血液由心脏射入动脉,再由静脉回流入心,不断循环。1628年,Harvey的著作《心与血的运动》出版,是历史上第一本基于实验证据的生理学著作。

作为一门实验性科学,生理学的发展与其他自然科学的发展有着密切的关系,并且相互促进。其他自然科学的发展以及新的技术不断被应用于生理学实验,使生理学的研究日益深入,生理学的知识和理论不断得到新的发展。

构成身体的最基本的单位是细胞(cell)。由许多不同的细胞构成器官(organ)。行使某种生理功能的不同器官互相联系,构成一个器官系统(organ system)。例如由心脏、动脉、毛细血管和静脉构成的循环系统,由鼻腔、喉、气管、支气管和肺构成的呼吸系统等等。整个身体就是由各个器官系统互相联系、互相作用而构成的一个复杂的整体。因此,生理学研究可以在细胞甚至分子的水平上进行,也可以在器官和系统水平,甚至整体水平上进行。把在不同水平上研究所得到的知识综合起来,才能对人体的功能有全面、完整的认识。

### (一) 细胞和分子水平的研究

各个器官的功能都是由构成该器官的各个细胞的特性决定的。例如,肌肉的收缩功能和腺体的分泌功能,分别是由肌细胞和腺细胞的生理学特性决定的。因此,研究一个器官的功能,就要从细胞的水平上进行。而细胞的生理特性又是由构成细胞的各个成分,特别是细胞中各种生物大分子的物理学和化学特性决定的。例如肌细胞发生收缩,是由于在某些离子浓度改变及酶的作用下肌细胞内若干种特殊的蛋白质分子的排列方式发生变化的结果(见第二章)。各种细胞的生理特性取决于它们所表达的各种基因;而在不同的环境条件下,基因的表达又可以发生改变。因此生理学研究还必须深入到分子水平。分子生物学理论和技术的不断发展,对于从分子水平进行生理学研究起了很大的促进作用。

在细胞水平上的研究,多数情况下需要将所研究的细胞从整体上分离下来,放在适当的环境中培养,使细胞仍能保持良好的状态,然后对其功能进行研究。分子生物学和生物化学的实验常常还要把细胞打碎,以取得并研究所要观察的分子。在离体培养的细胞上进行研究时,往往是把细胞放在某种特殊的环境中,然后对细胞的功能进行观察,因此在分析这类实验结果时,必须注意实验当时细胞所处的特殊的条件,不能简单地把在离体实验中观察到的结果直接用来推论或解释这些细胞在完整机体中的活动和功能。在完整机体内,细胞所处的环境比在离体实验条件下复杂得多。对于任何一种细胞在完整机体中所表现的生理功能的分析,必须考虑到这些细胞在体内所处的环境条件以及各种环境条件可能发生的变化。

在细胞和分子水平上进行的研究,其研究对象是细胞和构成细胞的分子。在这个水平上进行研究和获取知识的学科称为**细胞生理学**(cell physiology)或**普通生理学**(general physiology)。

### (二) 器官和系统水平的研究

要了解一个器官或系统的功能,它在机体中所起的作用,它的功能活动的内在机制,以及各种因素对它活动的影响,都需要从器官和系统的水平上进行观察和研究。例如要了解循环系统中心脏如何射血、血液在心血管系统中流动的规律、各种神经和体液因素对心脏和血管活动的影响等(见第四章),就要以心脏、血管和循环系统作为研究对象。在这个水平上的研究所获得的知识,就是**器官生理学**(organ physiology)的内容,例如循环生理学、消化生理学、肾脏生理学等等。

### (三) 整体水平的研究

在整体中,体内各个器官、系统之间发生相互联系和相互影响。在生理情况下,各个器官和系统的功能互相协调,从而使机体能够成为一个完整的整体,并在不断变化着的环境中维持正常的生命活动。从整体水平上的研究,就是要以完整的机体为研究对象,观察和分析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,以及完整机体对环境变化发生各种反应的规律。所以整体水平上的研究比细胞水平和器官、系统水平上的研究更加复杂。

上述三个水平的研究,它们之间不是相互孤立的,而是互相联系、互相补充的。要阐明某一个生理功能的机制,一般都需要从细胞和分子、器官和系统,以及整体三个水平进行研究,对在不同水平上的研究结果进行分析和综合,然后得出比较全面的结论。目前已经可以用基因转移和基因剔除的方法建立各种特殊的转基因动物和基因剔除动物,这对于在整体中观察和研究各种基因的功能起了很大的推动作用。

另外还必须指出,随着科学的不断发展,人类对于客观世界包括人类自身的认识也是不断发

展的。本书所叙述的内容,是现在人们对机体各种生理现象及其机制的认识;今后必定会不断增加许多新的知识,而对现有的知识,有的要补充,有的要更新(包括有些认识被证实是错误的)。医学生在学习生理学时,应该注意到生理学的知识有两大类:一类是关于各种具体的生理现象的描述和对它们的机制的解释,而所谓“机制”解释,又常常是对深一层次的现象的认识;另一类知识则是对机体生理活动的许多原则或规律的认识。第一类知识,随着时间的推移会不断得到补充,更新和深化;而第二类知识,也就是对机体生理功能的一些基本规律的认识,是不会有大的改变的。例如下面将要叙述的机体内环境的稳态,以及机体通过神经和体液在分子、细胞、器官和整体各个水平上的各种反馈(通常是负反馈)调节机制来实现稳态,就是生理学的一个最基本的概念。

## 第二节 机体的内环境与稳态

成人身体重量约 60% 由液体构成。体内的液体称为**体液**(body fluid),按其分布可分为两大类:约 2/3 的体液(约占体重的 40%)分布在细胞内,称为**细胞内液**(intracellular fluid);其余 1/3 的体液(约占体重的 20%)分布在细胞外,称为**细胞外液**(extracellular fluid)。细胞外液的 1/4 (约占体重的 5%)分布在心血管系统的管腔内,也就是血浆;其余 3/4 (约占体重的 15%)分布在全身的组织间隙中,称为**组织液**(interstitial fluid)。人体的绝大多数细胞并不直接与外界环境发生接触,而是浸浴在细胞外液之中,因此细胞外液是细胞直接接触的环境。法国生理学家 Claude Bernard 首先提出了一个重要的概念,即细胞外液是细胞在体内直接所处的环境,故称之为**内环境**(internal environment),以区别于整个机体所处的外环境。

细胞外液和细胞内液的成分有很大的差别(见第三章)。细胞膜的结构以及细胞膜上的一些特殊的蛋白质分子的功能对于维持细胞外液和细胞内液成分的差别起着重要的作用(见第二章)。细胞外液中含有较多的钠、氯、重碳酸根离子以及细胞所需的养分,如氧、葡萄糖、氨基酸、脂肪酸等,还含有二氧化碳及其他细胞代谢产物。细胞通过细胞膜与细胞外液之间发生物质交换:从细胞外液摄取氧和其他营养物质,同时将二氧化碳和其他代谢产物排入细胞外液。细胞外液在体内不断地流动:血浆与血细胞一起构成血液,在心血管系统内不停地循环;组织液则通过毛细血管壁以扩散等方式与血浆发生物质交换(见第四章)。生理学中一个十分重要的概念是,内环境的各种物理、化学性质是保持相对稳定的,称为**内环境的稳态**(homeostasis)。所谓保持相对稳定或稳态,是指在正常生理情况下内环境的各种理化性质只在很小的范围内发生变动。例如体温维持在 37℃ 左右,血浆 pH 维持在 7.4 左右,等等。临床上给病人作各种实验室检查,也就是检测有关的生理指标是否在正常变动范围之内,或者偏离正常范围有多远。在高等动物中,内环境的稳态是细胞维持正常生理功能的必要条件,也是机体维持正常生命活动的必要条件。内环境的稳态,并不是说内环境的理化性质是静止不变的。相反,由于细胞不断进行代谢活动,就要不断地与细胞外液发生物质交换,因此也就会不断地扰乱或破坏内环境的稳态;另外,外界环境因素的改变也可影响内环境的稳态。体内各个器官、组织的功能往往都是从某个方面参与维持内环境的稳态的。例如肺的呼吸活动可从外界环境摄取细胞代谢所需的  $O_2$ , 排出代谢产生的  $CO_2$ , 维持细胞外液中  $O_2$  和  $CO_2$  分压的稳态;胃肠道的消化、吸收可补充细胞代谢所消耗的各种营养物质;肾脏的排泄功能可将多种代谢产物排出体外;血液循环则能保证体内各种营养物质



和代谢产物的运输。身体各个器官系统正常功能活动的综合,使内环境的各种理化性质维持相对稳定。总之,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;而反过来,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。在以后的各章中可以看到,生理学的大量内容都是关于各个器官、细胞是如何在维持内环境稳态中起作用的。细胞外液的各种成分,例如 $O_2$ 和 $CO_2$ 的分压、pH值、各种离子和葡萄糖浓度等,在正常生理状态下都保持在一定的水平,其变动范围很小。内环境的各种理化性质的变动如果超出一定的范围,就可能引起疾病;反过来,在疾病情况下,细胞、器官的活动发生异常,内环境的稳态就会受到破坏,细胞外液的某些成分就会发生变化,超出正常的变动范围。现在,生理学中关于稳态的概念已经被用于泛指体内各个水平上的生理活动在神经、体液等因素调节下保持相对稳定和相互协调的状况。

在各种病理情况下,内环境的理化性质偏离正常,而机体一些细胞和器官的活动可发生代偿性的改变,使改变了的内环境理化性质重新恢复正常。如果器官、细胞的活动改变不能使内环境的理化性质恢复正常,甚至更加偏离正常水平,则细胞和整个机体的功能就会发生严重障碍,甚至死亡。有关在各种病理情况下机体的细胞、器官功能所发生的变化知识,属于病理生理学(pathophysiology)的内容。

### 第三节 机体生理功能的调节

在机体处于不同的生理情况时,或当外界环境发生改变时,体内一些器官、组织的功能活动会发生相应的改变,最后使机体能适应各种不同的生理情况和外界环境的变化,也可使被扰乱的内环境重新得到恢复。这种过程称为生理功能的调节(regulation)。机体对各种功能活动进行调节的方式主要有三种,即神经调节(nervous regulation)、体液调节(humoral regulation)和自身调节(autoregulation)。

#### 一、神经调节

机体的许多生理功能是由神经系统的活动来进行调节的。神经系统活动的基本过程是反射(reflex),反射活动的结构基础称为反射弧(reflex arc)。反射弧由五个基本成分组成,即感受器、传入神经纤维、神经中枢、传出神经纤维和效应器。机体有各种各样的感受器,每一种感受器能够感受体内或外界环境的某种特定的变化,并将这种变化转变成一定的神经信号,通过传入神经纤维传至相应的神经中枢,中枢对传入信号进行分析,并作出反应,通过传出神经纤维改变相应的效应器官的活动(见第九、十章)。这样一个过程就称为反射。在以后的各章中,都会具体讲述神经系统对机体某种生理功能的调节过程。举例来说,在生理情况下动脉血压是保持相对稳定的,当某种原因使动脉血压高于正常时,分布在主动脉弓和颈动脉窦的动脉压力感受器就能感受这种血压的变化,并将血压的变化转变为一定的神经冲动,后者通过传入神经纤维到达延髓的心血管中枢,心血管中枢对传入的神经信号进行分析,然后通过迷走神经和交感神经传出纤维发出指令,改变心脏和血管的活动,使动脉血压回降到原先的水平。这个反射称为动脉压力感受性反射(见第四章),也是一个典型的负反馈调控的例子(见后),对于维持动脉血压的稳态起着重要的作用。