

全国高等医药院校改革创新精品教材

供临床、预防、口腔、康复、药学、检验、护理等专业用

# 医学生理学

第 3 版

主编 孙庆伟 李光华 周光纪 杨 英



人民卫生出版社

全国高等医药院校改革创新精品教材

供临床、预防、口腔、康复、药学、检验、护理等专业用

# 医 学 生 理 学

## 第 3 版

主 编 孙庆伟 李光华 周光纪 杨 英

副主编 黄 诚 张秀娟 石瑞丽 吴洪福

编 者 (以姓氏笔画为序)

马宝慧 (包头医学院)

王 锋 (内蒙古医科大学)

王中平 (九江学院医学院)

石瑞丽 (包头医学院)

邢德刚 (广东药学院)

孙庆伟 (赣南医学院)

李光华 (宁夏医科大学)

李良东 (赣南医学院)

杨 英 (内蒙古医科大学)

吴洪福 (广东医学院)

吴敏范 (沈阳医学院)

张秀娟 (广东医学院)

周 旭 (宁夏医科大学)

周光纪 (广东医学院)

徐昌水 (南昌大学医学院)

徐明锋 (广东医学院)

陶 虹 (宁夏医科大学)

黄 诚 (赣南医学院)

扈后宽 (宁夏医科大学)

蒋绍祖 (赣南医学院)

温二生 (赣南医学院)

制 图 孙 涌 (赣南医学院)

人民卫生出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

医学生理学/孙庆伟等主编. —3 版. —北京: 人民  
卫生出版社, 2015

ISBN 978-7-117-21121-5

I. ①医… II. ①孙… III. ①人体生理学-医学院  
校-教材 IV. ①R33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 178515 号

人卫社官网	<a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	<a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	医学考试辅导, 医学数 据库服务, 医学教育资 源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

## 医学生理学

第 3 版

主 编: 孙庆伟 李光华 周光纪 杨 英

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京汇林印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 28

字 数: 717 千字

版 次: 1999 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 3 版

2015 年 8 月第 3 版第 1 次印刷 (总第 7 次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-21121-5/R·21122

定 价: 55.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

# 序 言

由孙庆伟教授为首,8位主编、副主编,9个高等医药院校的20余位编委集体编著的《医学生理学》第3版由人民卫生出版社出版,即将与读者见面了。这是我国生理学界一件大事,值得祝贺。

本书是在总结第一版和第二版教学实践的经验中加以改进和提高,并从世界生理学领域近年的新进展中精选内容,编写而成。具有以下特点:一是插图多,质量高。很多图都是从长年教学中总结而创造得来的。通过一个好图,可以增加读者对问题的理解,懂得深,记得牢。即使占用一些篇幅,也是非常值得的。今后工作中遇到相关问题,该图自然而然从脑中浮现而出,为解决问题提供方案,非常可贵。二是内容分为主体部分和延伸部分,后者与医疗中的一些症状或机制关系比较密切,用小号宋体或楷体表示出来,以满足不同需求,供学有余力的同学参考。

每一种教材都是一次新的实践,新的尝试。在使用中需要不断总结,不断改进。预祝教学成功!



北京大学医学部  
2015年7月北京

# 前 言

《医学生理学》(第2版)出版已2年了,现根据教学需要再次修订。这次修订增加、修改和删除了部分内容,对插图作了进一步处理、加工,更换和增、删了部分插图。本版教材仍保持以下特点:内容丰富(全书约70万字,与第2版基本持平;为了减少篇幅,部分内容用小五号宋体字排版,联系临床和日常生活的内容用小五号楷体字排版,各使用学校可根据专业及教学时数的不同选讲或供学生自学);教材既着重阐述了生理学的基本知识和概念,也适当介绍了生理学的新进展和较为重要的内容(如骨骼肌纤维分类、人类白细胞抗原和造血干细胞移植、离子对心脏活动的影响、心室压力-容积环、摄食调节、肝脏的功能、呼吸和肾在维持酸碱平衡中的作用、最大呼气流速-容积曲线、游离水清除率、利尿药的作用机制、环境雌激素与人类生殖健康、性生理与避孕、衰老生理和运动生理等);取材新颖,编写时参考了国外近年出版的20多种原版英文生理学教材及一些国内生理学教材(见书后的“参考文献”),取各教材之所长,对一些生理机制和理论采用了较为合理的解释,例如细胞膜物质转运的分类,心脏做功,有效滤过压的计算,肺循环调节,消化液的分泌与消化道运动,管-球反馈机制,胰岛素的作用机制,促进睡眠与觉醒的神经体液机制,神经、内分泌与免疫系统的相互关系等;说理简明、清楚,循序渐进,内容深入浅出,淡化物理、化学概念;文句通俗易懂,形象生动,举例和比喻多;插图多(共370余幅,为了减少篇幅,尽量缩小插图),有些插图是主编在长期教学实践中总结出来的,大部分插图精选自国外生理学教材,制图者作了适当修改和处理,插图形象、示意性好,有助于读者理解教材中的理论和机制;理论联系实际,基础结合临床,适用性较强,不但正文中能自然地紧密联系临床(一般都是“点到为止”),还另设小段介绍与临床密切联系的生理学知识,而且每章后附有“生理与临床”小专题和一个“临床病例分析”,这样做的目的是尽量使学生早些接触临床和提高学生学习生理学的兴趣;书中生理学名词规范。总之,本书是一本改革与创新有特色的生理学教材,不仅可供医、药本科生作教材用,还可作为临床医生提高业务及医师资格考试复习用书,以及生理学教师教学参考用书。

限于作者的水平和修订、编写时间较仓促,本版教材虽经再次修订,书中不当和疏漏之处仍在所难免,希望广大读者指正。

主 编

2015年4月

# 目 录

第一章 绪论 .....	1
第一节 生理学的研究内容及与医学的关系 .....	1
一、生理学的研究内容 .....	1
二、生理学与医学的关系 .....	2
第二节 机体的内环境和稳态 .....	2
一、机体的内环境 .....	2
二、内环境的稳态 .....	3
第三节 人体功能活动的调节 .....	4
一、人体功能活动的调节方式 .....	4
二、体内的控制系统 .....	5
第二章 细胞的基本功能 .....	8
第一节 细胞膜的基本结构和物质转运功能 .....	8
一、细胞膜的基本结构 .....	8
二、细胞膜的物质转运功能 .....	10
第二节 细胞的生物电活动 .....	17
一、刺激、反应及兴奋性 .....	17
二、细胞的生物电现象及其产生机制 .....	18
第三节 细胞间的信息传递 .....	29
一、化学性传递机制 .....	29
二、相邻细胞之间的电联系 .....	36
第四节 肌细胞的收缩功能 .....	36
一、骨骼肌 .....	37
二、平滑肌 .....	48
生理与临床:肌肉疲劳 .....	50
临床病例分析:重症肌无力 .....	52
第三章 血液 .....	53
第一节 概述 .....	53
一、血液的基本组成和血容量 .....	53
二、血浆的成分、理化特性和生理功能 .....	54
第二节 血细胞生理 .....	56
一、血细胞的生成 .....	56

二、血细胞生成的调节 .....	57
三、红细胞生理 .....	60
四、白细胞生理 .....	61
五、血小板生理 .....	63
第三节 血液凝固与纤维蛋白溶解 .....	65
一、正常生理性止血的基本过程 .....	66
二、血液凝固 .....	66
三、抗凝系统——血液凝固的负性调控 .....	70
四、纤维蛋白的溶解 .....	71
第四节 血型与输血原则 .....	73
一、血型与红细胞凝集 .....	73
二、输血 .....	76
生理与临床:人类白细胞抗原与造血干细胞移植 .....	76
临床病例分析:贫血 .....	78
第四章 血液循环 .....	79
第一节 心脏的泵血功能 .....	79
一、心动周期和心率 .....	79
二、心脏泵血过程及其机制 .....	80
三、心音 .....	82
四、心脏泵血功能的评价 .....	83
五、影响心输出量的因素 .....	85
六、心脏泵血功能的贮备 .....	89
第二节 心肌的生物电活动和生理特性 .....	89
一、心肌细胞的生物电活动 .....	90
二、心肌的生理特性 .....	95
三、体表心电图 .....	104
第三节 血管生理 .....	106
一、各类血管的功能特点 .....	106
二、血流量、血流阻力和血压 .....	107
三、动脉血压和动脉脉搏 .....	110
四、静脉血压和静脉血流 .....	114
五、微循环 .....	116
六、组织液的生成与回流 .....	119
七、淋巴液的生成与回流 .....	120
第四节 心血管活动的调节 .....	121
一、神经调节 .....	121
二、体液调节 .....	129
三、自身调节 .....	134
四、动脉血压的短期调节和中长期调节 .....	134

第五节 器官循环	136
一、冠脉循环	136
二、肺循环	138
三、脑循环	140
生理与临床:形形色色的晕厥	141
临床案例分析:深静脉血栓形成	142
第五章 呼吸	143
第一节 肺通气	143
一、肺通气的原理	143
二、肺通气功能的评价	151
第二节 肺换气和组织换气	156
一、肺换气和组织换气的基本原理	156
二、肺换气	157
三、组织换气	159
第三节 气体在血液中的运输	159
一、氧和二氧化碳在血液中的存在形式	160
二、氧的运输	160
三、二氧化碳的运输	164
四、呼吸系统在酸碱平衡中的作用	166
第四节 呼吸运动的调节	167
一、呼吸中枢	167
二、呼吸节律的形成机制	169
三、呼吸的反射性调节	169
第五节 肺的非呼吸功能	174
生理与临床:睡眠呼吸暂停和打鼾	175
临床案例分析:通气过度引起的低钙搐搦	176
第六章 消化与吸收	177
第一节 概述	177
一、消化道平滑肌的生理特性	177
二、消化腺的分泌功能	178
三、消化道的神经支配	178
四、消化道的内分泌功能——胃肠激素	179
第二节 口腔内消化	181
一、唾液的成分、作用及其分泌的调节	181
二、咀嚼与吞咽	182
第三节 胃内消化	183
一、胃液及其分泌	183
二、胃的运动及其控制	188



第四节 小肠内消化	190
一、胰液的分泌	190
二、胆汁的分泌和排出	193
三、小肠液的分泌	196
四、小肠的运动	197
第五节 大肠内的消化	199
一、大肠液的分泌	199
二、大肠的运动和排便	199
三、大肠内细菌的活动	201
第六节 吸收	201
一、吸收过程概述	201
二、小肠的吸收功能	202
三、大肠的吸收功能	207
第七节 肝脏的功能	207
一、贮血功能	207
二、肝脏的代谢功能	207
三、肝脏的贮存功能	208
四、肝脏的解毒功能及调节激素的作用	208
五、肝脏的再生功能	209
第八节 摄食调节	209
一、调节摄食的神经中枢及神经递质	209
二、食物摄入量的调节	210
生理与临床:分泌性腹泻与口服补液治疗	211
临床案例分析:吸收不良	212
<b>第七章 能量代谢与体温</b>	<b>213</b>
第一节 能量代谢	213
一、机体能量的来源与利用	213
二、能量代谢测定的原理和方法	214
三、影响能量代谢的因素	217
四、基础代谢	218
第二节 体温及其调节	220
一、体温	220
二、机体的产热和散热	222
三、体温调节	225
生理与临床:人体的能量平衡与肥胖	227
临床案例分析:低体温	228
<b>第八章 尿的生成和排出</b>	<b>230</b>
第一节 肾脏的功能解剖和肾血流量	230

一、肾脏的功能解剖	230
二、肾脏血液供应的特点及肾血流量的调节	233
第二节 肾小球的滤过功能	234
一、有效滤过压	235
二、影响肾小球滤过的因素	235
第三节 肾小管和集合管的物质转运功能	237
一、肾小管和集合管中物质转运的方式和途径	237
二、肾小管和集合管中各种物质的重吸收和分泌	237
三、影响肾小管和集合管重吸收的因素	244
第四节 尿液的浓缩和稀释	245
一、尿液的稀释	245
二、尿液的浓缩	246
第五节 尿生成的调节	248
一、神经调节	248
二、体液调节	249
第六节 血浆清除率	253
一、血浆清除率的概念和计算方法	253
二、测定血浆清除率的意义	254
第七节 尿的排放	255
一、膀胱和尿道的神经支配	255
二、排尿反射	256
三、排尿异常	257
生理与临床:利尿药作用的机制	257
临床病例分析:肾血管性高血压	258
<b>第九章 感觉器官</b>	260
第一节 概述	260
一、感受器与感觉器官的定义和分类	260
二、感受器的一般生理特性	260
第二节 视觉器官	262
一、眼的折光功能及其调节	263
二、视网膜的感光换能功能	266
三、与视觉有关的几种生理现象	271
第三节 听觉器官	273
一、外耳和中耳的传音作用	273
二、耳蜗的感音功能	275
第四节 前庭器官	279
一、前庭器官的结构	279
二、前庭器官的感受装置和适宜刺激	279
三、前庭器官的反射	280

第五节 嗅觉和味觉	282
一、嗅觉	282
二、味觉	283
生理与临床:前庭功能障碍	284
临床案例分析:双颞侧偏盲	285
<b>第十章 神经系统</b>	286
第一节 神经元与神经胶质细胞	286
一、神经元与神经纤维	286
二、神经胶质细胞	289
第二节 神经元之间的信息传递	290
一、神经元之间信息传递的方式	290
二、神经递质和受体	296
三、中枢兴奋和中枢抑制	302
第三节 神经系统的感觉分析功能	305
一、躯体感觉	306
二、内脏感觉	311
三、特殊感觉	312
第四节 神经系统对姿势和躯体运动的调节	314
一、运动调节的基本机制	314
二、中枢对肌紧张和姿势的调节	314
第五节 神经系统对内脏活动和情绪的调节	326
一、自主神经系统的功能	326
二、内脏活动的中枢调节	329
三、本能行为和情绪的神经学基础	331
第六节 脑的电活动与觉醒、睡眠机制	332
一、脑电活动	333
二、觉醒与睡眠	335
第七节 脑的高级功能	338
一、学习与记忆	338
二、大脑皮质的语言功能	342
三、大脑半球互补性特化与大脑半球优势	343
四、两侧大脑皮质功能的相关	344
生理与临床:脑卒中:一个致命的多米诺效应	344
临床案例分析:M受体拮抗剂治疗晕动病产生的不良反应	345
<b>第十一章 内分泌</b>	346
第一节 概述	346
一、激素的分类	346
二、激素的作用	348

三、激素的传递方式及作用的一般特征	348
四、激素作用的机制	350
五、激素分泌的调节	352
第二节 下丘脑-垂体的内分泌	354
一、下丘脑-腺垂体系统	354
二、下丘脑-神经垂体系统	361
第三节 甲状腺	362
一、甲状腺激素的合成与代谢	362
二、甲状腺激素的作用	365
三、甲状腺功能的调节	368
第四节 甲状旁腺、甲状腺 C 细胞和维生素 D <sub>3</sub>	370
一、甲状旁腺激素	370
二、维生素 D <sub>3</sub>	371
三、降钙素	373
第五节 胰岛	374
一、胰岛素	374
二、胰高血糖素	379
第六节 肾上腺内分泌	380
一、肾上腺皮质激素	380
二、肾上腺髓质激素	384
第七节 其他激素	386
一、松果体激素	386
二、前列腺素	387
三、脂肪激素	388
第八节 神经、内分泌与免疫系统的相互关系	389
生理与临床:骨质疏松症	390
临床病例分析:库欣综合征	391
第十二章 生殖	392
第一节 男性生殖功能	392
一、睾丸的功能	392
二、睾丸功能的调节	396
第二节 女性生殖功能	398
一、卵巢功能	398
二、卵巢功能的调节	401
三、月经周期	403
四、妊娠	404
五、分娩	406
六、哺乳	406
第三节 性生理	407

一、性的成熟和特征	407
二、性兴奋与性行为	408
三、避孕	410
生理与临床:环境雌激素对人类生殖健康的影响	410
临床病例分析:运动性闭经	411
<b>第十三章 衰老生理</b>	<b>413</b>
一、衰老的定义	413
二、衰老的主要变化及特征	413
三、衰老的细胞分子机制	415
四、衰老的延缓	417
<b>第十四章 运动生理</b>	<b>419</b>
一、肌肉收缩时的能量变化	419
二、运动时呼吸的变化和调节	420
三、运动时的心血管反应	421
四、运动期间的体温调节	422
五、运动与健康	423
<b>参考文献</b>	<b>426</b>
<b>中英文名词对照索引</b>	<b>427</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 生理学的研究内容及与医学的关系

### 一、生理学的研究内容

生理学(physiology)是生物学的一个分支,它是研究生物机体生命活动的原理、规律和过程的科学。生命活动即生命现象,如呼吸、心跳、血液循环、胃肠运动和分泌、泌尿、出汗、生殖、行为表现和思维活动等等。生理学要研究的就是这些生命活动产生的原理和条件,正常活动规律和过程,以及体内外环境变化对它们的影响。由于在整体中每种生命活动都起一定的作用(work),即实现一定的生理功能,所以生理学也可以说是研究生命机体及其组成部分的功能的科学。根据研究对象的不同,生理学有许多分支,如细菌生理学、植物生理学、动物生理学、人体(类)生理学等等。而研究人体各种异常即患病机体的生命活动的科学称为病理生理学。由于人体正常的功能与异常活动,在一定条件下可以互相转化,了解异常活动有助于从反面加深理解正常的功能,所以本书也适当介绍患病时生理功能的改变。与生理学相对应的是解剖学,后者研究人体结构。由于结构与功能是不能完全分开的,组织器官的功能与其结构紧密相连,机体的结构是生理功能的基础,所以在介绍机体功能时往往要简要复习有关结构基础的知识。

由于人体的功能十分复杂,而人体的结构又可以分为许多层次(细胞→组织→器官→系统→整体),因此,研究人体的生理功能时可以从不同的结构水平出发。目前生理学的研究内容大致可以分为三个不同的水平,即整体水平,器官、系统水平和细胞、分子水平。

#### (一)器官、系统水平

研究体内各个器官、系统活动的规律、活动过程、影响因素及其调节,以及它在整体生命活动中的意义和作用。例如,心脏是一个器官,它的功能就是有规律地舒缩即跳动(心跳),并把血液推动到动脉里去,起“泵”的作用。我们就要研究心跳从心脏的什么部位开始,心脏收缩与舒张的规律,心脏舒缩过程中心腔内容积、压力,瓣膜启闭,血流方向的变化,心脏活动时产生的声音和电的变化,这些变化在体内受哪些因素的影响以及心脏活动对整个生命活动的影响,等等。有关这一水平的研究内容称为器官生理学(organ physiology)和系统生理学,例如,心脏生理学、肾脏生理学、呼吸生理学、消化生理学等。

#### (二)细胞、分子水平

细胞是构成人体的最基本的结构功能单位。因此,整个机体的生命活动或器官、系统的功能活动都与其结构单位细胞的功能活动有关,而细胞的功能活动归根到底又取决于构成细胞的各个物质,特别是大分子物质,如蛋白质(包括酶)和核酸的物理-化学过程。蛋白质和酶又是由细胞核染色质上的基因(gene)决定的。为了研究各器官活动的本质和产生的机制,还要深入到细胞、亚细胞水平和分子与基因水平,来探讨生命活动的最基本的物理-化学过程。例如,心脏主要是由心肌细胞构成的,心肌细胞为什么能有规律地舒缩呢?通过细胞、分子水平的研究,了解到心肌细胞中含有特殊的蛋白质,其分子有一定的组合排列方式,在某些离子变化和酶的作用下其排列方式发生变化,发生收缩或舒张活动。又如许多激素的作用是通过调节细胞基因的表达(转录),诱导产生一些特殊功能或

结构的蛋白质(包括酶)来实现的。有关这方面的研究内容传统上称为普通生理学(general physiology),现称为细胞和分子生理学(cellular and molecular physiology)。近几十年来分子水平的研究取得很大进展,但是分子水平的研究成果并不能说明这些分子在完整生命机体中的意义。

### (三)整体水平

机体的正常生命活动,首先是机体本身作为一个完整的统一体而存在的,同时机体的生命活动与周围环境也是密切联系的。环境的变化会影响机体的生命活动,机体的生命活动则必须与环境变化相适应。整体水平的研究就是研究完整机体各个系统功能活动之间的相互关系和协调,以及完整机体与环境之间的对立统一关系。例如,从整体水平研究自然环境的变化(如温度、湿度、气压、氧含量的变化以及加速运动等)对人体功能活动的影响,以及机体处于特殊状态下(如运动、体力劳动、做功、潜水、航天等)生理功能的改变与人体对这些情况的适应过程。研究在整体活动中各系统功能活动的调节机制与互相配合的规律。近年来由于电子计算机遥控、遥测技术,体表无创伤检测,如磁共振成像、正电子发射成像、彩色多普勒、功能性磁共振成像等技术的应用,使整体生理学研究水平有了很大发展。

上述三个不同水平的研究是紧密相关的,彼此可以相互补充。将这三方面研究的结果结合起来进行整合,才能更全面、更深刻地认识人体作为一个整体的生命活动规律。将不同水平的研究结果联系和综合起来,以求得对机体功能更全面和整体性的认识,就称为整合生理学(integrative physiology)。本教材主要介绍器官生理学和整体水平(主要是机体功能的调节机制)研究的生理知识,对一些基本的生命现象适当地介绍细胞或分子水平的知识。

## 二、生理学与医学的关系

生理学是一门重要的医学基础理论,它与医学有密切的关系。因为只有了解和掌握机体正常的生命活动规律,才能理解和掌握机制异常的生命活动规律,对患病时所发生的一切病理现象才能理解,并通过医务人员和患者的主观努力,使异常向正常方面转化。这样我们才能在防病治病中掌握主动,不会盲从,不但知其然,而且知其所以然,提高医疗水平。例如,只有了解和掌握正常体温维持相对恒定的原理,才能了解和认识发热的机制,才能理解用物理方法和药物退热的原理。而且,认识和掌握了机体的正常生命活动规律,就能更好地维持它的正常进行,防止它发生异常,从而达到预防疾病和延年益寿的目的。再则,生理学本身的发展可促进临床医学和预防医学的发展。例如,对生殖生理的深入研究,促进了计划生育及生殖系统疾病防治的发展;胰岛素的发现及其作用机制的研究促进了糖尿病的防治;在分子水平上对离子通道的研究成果,认识和阐明了一些过去不甚了解的疾病——通道病;对勃起功能的阐明及 Viagra(伟哥)的发明,给全世界千千万万勃起功能障碍(erection dysfunction, ED)患者带来了福音。而临床医学的长期实践又为生理学的发展提供了许多宝贵资料,促进了生理学发展。此外,一些生物科学和基础医学,如生物化学、生物物理学、神经科学、病理学、病理生理学、微生物学、药理学等,均需要生理学作基础,要学好这些学科,必须先学好生理学。正因为生理学与医学的关系如此密切,所以在诺贝尔生理学或医学奖中,将生理学和医学放在一起。

## 第二节 机体的内环境和稳态

### 一、机体的内环境

人体的结构很复杂,大约由 100 万个结构和功能不同的细胞组成不同的组织、器官和系统。因此,除了少数细胞外,人体绝大多数细胞并不直接与外环境接触,而是浸浴在细胞外液之中(图 1-1)。这样,细胞外液就成为细胞生活的直接液体环境,细胞新陈代谢所需要的养料

由细胞外液提供,细胞的代谢产物也排到细胞外液之中。法国著名生理学家克劳德·伯尔纳(Claude Bernard, 1813—1878年)称之为机体的内环境(internal environment),以区别于整个机体所生存的外环境。

人体内的水分(称体液总量)占体重的50%~70%,平均为60%,其中40%位于细胞内(称细胞内液),20%位于细胞外(称细胞外液)。细胞外液包括血浆(占5%)和组织间液(组织液,占15%)(图1-2)。体液总量与体内脂肪总量成负相关,由于女性体内脂肪含量一般多于男性,故女性体液总量比男性少。

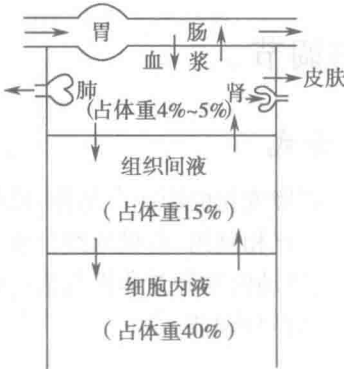


图 1-1 体液分布及其物质交换示意图

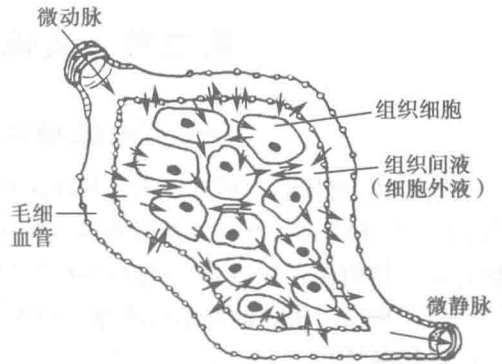


图 1-2 组织细胞“浸浴”在细胞外液中

## 二、内环境的稳态

内环境本身一个很大的特点是它的物理-化学特性,如温度、渗透压、酸碱度、体液各种化学成分变化得非常小,比较恒定。也正由于内环境变动得非常小,才使得机体在外环境不断变化的情况下,仍能维持正常的生命活动。例如,如果空气干燥,人可以在 $120^{\circ}\text{C}$ 室温下停留15分钟,并无不良反应,体温仍保持稳定。而在此温度下,只需13分钟,就可使牛肉烤熟。伯尔纳说过:“内环境恒定是机体自由和独立生存的首要条件。”但内环境理化性质的恒定是相对的,是在不断变化中所达到的相对平衡状态,即动态平衡。20世纪40年代美国著名生理学家坎农(W. B. Cannon)将这种平衡状态称为稳态(homeostasis)或自稳态。这是因为一方面细胞不断进行着新陈代谢,不断消耗细胞外液中的养料和 $\text{O}_2$ ,并不断向细胞外液排出代谢产物、 $\text{O}_2$ 和释放热量,所以细胞的新陈代谢本身不断破坏着内环境的稳定;另一方面,外环境的强烈变化也直接或间接通过机体活动的改变而影响内环境的稳定,例如,大气压的迅速下降可以使机体很快减少 $\text{O}_2$ 的供应,从而使细胞外液中 $\text{O}_2$ 含量下降。但内环境的变化,机体通过血液循环、呼吸、消化、排泄等功能协调活动,又能使之恢复,例如,呼吸系统摄入 $\text{O}_2$ 与排出 $\text{CO}_2$ ,消化系统提供营养物质、水和电解质,肾排泄代谢终产物,调节水盐平衡,心血管系统推动血液在全身循环往复运输营养物质和代谢产物,沟通全身各器官。这样便使细胞外液中的理化因素保持相对稳定(见图1-2)。因此,内环境的变化都必将引起机体的各种调节机制精确地调节,以限制与恢复这种变化。由于每项生命活动(如体液酸碱度)的维持都是体内许多器官、系统共同参与和协调的,因此,如果某机制发生故障,其他机制可协助维持稳态。但是机体维持内环境稳定的能力是有一定限度的,当内外环境的变化过于剧烈而超过机体的调节能力时,就可能对内环境发生大幅度变动,以致稳态不能维持——失稳态,这就是病理状态,严重时可危及生命。例如,血浆中的钾浓度过高或过低时可引起心律失常;氢离子浓度过高时会导致酸中毒,过低时会导致碱中毒;体温过高会影响中枢神经系统的功能及代谢,等等。不仅如此,稳态机制长期紊乱还可引起细胞的异常生长(可能引起肿瘤)、产生自身抗体(引起自身免疫性疾病)和细胞过早死亡,等等。因此,稳态是维持机体正常生理活动的必要条件。



现在,稳态不仅指细胞外液理化性质保持相对稳定的状态,并且还包括细胞内进行的各种生化反应的精细调节,例如,细胞内进行的酶促反应,底物被酶分解为产物,其产物又可抑制该酶进一步作用,使产物不致过多。而且还发展到包括机体内各种生理功能保持协调、稳定的生理过程,例如,正常血压的维持、各种反射活动的协调,等等。这种广义的稳态是通过机体的调节机制即稳态机制,主要是负反馈机制实现的。因此稳态及其调节是生理学的中心议题,也是本书每一章的基本内容之一。

### 第三节 人体功能活动的调节

#### 一、人体功能活动的调节方式

如前所述,机体的内环境经常受到体内组织细胞代谢和外环境变化的影响。另外,机体各器官、系统的功能活动不但非常精确、稳定,而且密切配合、协调、互相制约,有机地组合成一个完整的统一体而存在和活动。机体内环境的稳定以及机体功能活动的这种整体性与适应性是通过调节实现的。机体的调节功能主要有神经调节、体液调节和自身调节。

##### (一)神经调节

神经调节(neural regulation)是通过神经系统的调节,其基本方式是反射(reflex)。反射就是机体在中枢神经系统的参与下对体内外环境变化的刺激发生规律性的反应。反射活动的结构基础是反射弧(reflex arc),它由感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器五个部分组成(图 1-3)。感受器是专门接受各种刺激的结构,是一种能量转换器,可把各种能量形式的刺激转化为生物电信号——神经冲动。效应器是产生反应的器官。神经中枢是位于脑和脊髓内参与某一反射活动的神经细胞群,它能对传入的神经冲动进行加工处理(所谓整合作用,integration),并发出冲动经传出神经传至所支配的效应器,使之产生适应性反应。传入和传出神经是将中枢与感受器和效应器联系起来的通路。例如,伤害性刺激作用于肢体皮肤

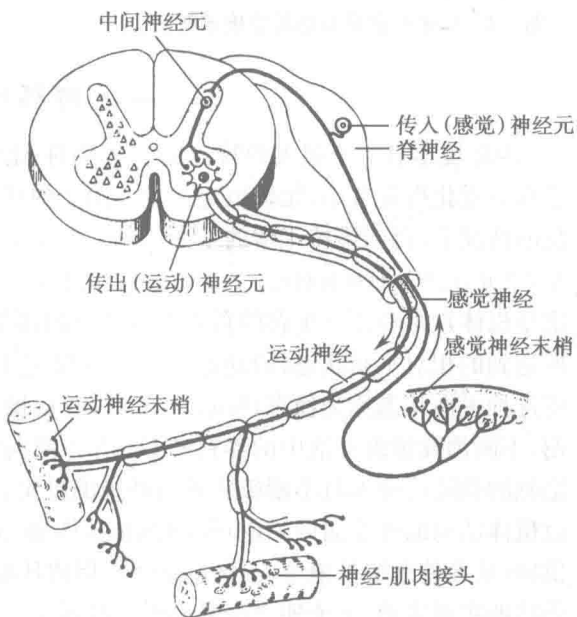


图 1-3 反射弧及其组成示意图

引起该肢体屈曲,强光作用于视网膜引起瞳孔缩小,食物入口引起唾液分泌等都是反射的例子。反射弧任何环节如发生障碍或被破坏,这一反射活动就发生紊乱或不出现。

反射又可分为非条件反射和条件反射两类。非条件反射是先天遗传的同一种族所共有的反射,有固定的反射弧,所以当某种刺激作用于某一感受器时,就规律地呈现相应的反射。其反射中枢在中枢神经系统的较低部位,但在高级中枢大脑皮质存在下,要受到高级中枢的影响。上面列举的反射都是较简单的非条件反射。条件反射是后天获得的,是个体在生活过程中按照所处的生活条件,在非条件反射的基础上建立起来的,因此是个体所特有的,是一种高级神经活动。例如,见到或谈论食物时引起唾液分泌(详见第十章第七节)。