



卫生部“十一五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会规划教材

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 7 版

主 编 朱大年

副主编 吴博威 樊小力

卫生部“十一五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会规划教材

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7版

主 编 朱大年

副主编 吴博威 樊小力

编 者 (以姓氏笔画为序)

王卫国 (天津医科大学)

刘长金 (华中科技大学同济医学院)

李玉荣 (哈尔滨医科大学)

吴博威 (山西医科大学)

罗自强 (中南大学湘雅医学院)

林默君 (福州医科大学)

樊小力 (西安交通大学医学院)

朱大年 (复旦大学上海医学院)

杜友爱 (温州医学院)

张建福 (徐州医学院)

沈霖霖 (复旦大学上海医学院)

郑煜 (四川大学华西医学中心)

曹宇 (中国医科大学)

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生理学 / 朱大年主编. —7 版. —北京: 人民卫生出版社,
2008. 1

ISBN 978-7-117-09459-7

I. 生… II. 朱… 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(2007)第 173316 号

本书本印次封底贴有防伪标. 请注意识别。

学野生

第 7 版

朱大年 编 主

代小斐 编副吴 编主编

(书次画学内封底) 音 编

(学野生)	生 理 学	(学大林西奉天) 国正王
(学野生)	第 7 版	(学野生同学大林林中华) 金才成
(学野生)		(学大林西新尔拿) 荣正孝
(学野生)		(学大林西山西) 吴新吴
(学野生)		(学野生林学大南中) 距自笔
(学野生)		(学大林西代新) 音想林
(学野生)		(学野生学大林交安西) 代小斐

主 编: 朱大年
 出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-67616688)
 地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼
 邮 编: 100078
 网 址: <http://www.pmph.com>
 E - mail: pmph@pmph.com
 购书热线: 010-67605754 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: 27.75
 字 数: 745 千字
 版 次: 1979 年 2 月第 1 版 2008 年 1 月第 7 版第 57 次印刷
 标准书号: ISBN 978-7-117-09459-7 / R·9460
 定价 (含光盘): 44.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394
 (凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

全国高等学校五年制临床医学专业 第七轮 规划教材修订说明

全国高等学校五年制临床医学专业卫生部规划教材从第一轮编写出版至今已有30年的历史。几十年来,在卫生部的领导和支持下,以裘法祖院士为代表的一大批有丰富临床和教学经验、有高度责任感的老教授和医学教育家参与了本套教材的创建和每一轮的修订工作,使我国的五年制临床医学教材不断丰富、完善与更新,形成了一套课程门类齐全、学科系统优化、内容衔接合理的规划教材。本套教材为推动我国医学教育事业的改革和发展做出了历史性巨大贡献。正如老一辈医学教育家亲切地称这套教材是中国医学教育的“干细胞”教材,由她衍生出了八年制和研究生两套规划教材。今天,全国一大批在临床教学、科研、医疗第一线的中青年教授、学者继承和发扬了老一辈的优良传统,积极参与了本套第七轮教材的修订和建设工作,并借鉴国内外医学教育教 育的经验和成果,不断完善和提升编写的水平和质量,已逐渐将每一部教材打造成了精品,使第七轮教材更加成熟、完善和 新颖。

第七轮教材的修订从2006年5月开始,其修订和编写特点如下:

●在全国广泛、深入调研基础上,总结和汲取了前六轮教材的编写经验和成果,尤其是对一些不足之处进行了大量的修改和完善,并在充分体现科学性、权威性的基础上,更考虑其全国范围的代表性和适用性。

●依然坚持教材编写“三基、五性、三特定”的原则。

●内容的深度和广度严格控制在五年制教学要求的范畴,精练文字压缩字数,以更 适合广大五年制院校的要求,减轻学生的负担。

●在尽可能不增加学生负担的前提下,提高印刷装帧质量,根据学科需要,部分教材改为双色印刷、彩色印刷,以提升教材的质量和可读性。

●适应教学改革的需求,实现教材的系列化、立体化建设,本轮大部分教材配有《学习指导与习题集》、《实验指导》、《教师用书》以及配套光盘等,且与教材同期出版。

第七轮教材共52种,新增1种,即《急诊医学》。全套教材均为卫生部“十一五”规划教材,绝大部分为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,分两批于2008年出版发行。

第七轮 教材目录

1. 医用高等数学 / 第5版 主编 张选群
2. 医学物理学 / 第7版 主编 胡新珉
3. 基础化学 / 第7版 主编 魏祖期
4. 有机化学 / 第7版 主编 吕以仙
5. 医学生物学 / 第7版 主编 傅松滨
6. 系统解剖学 / 第7版 主编 柏树令
7. 局部解剖学 / 第7版 主编 彭裕文
8. 组织学与胚胎学 / 第7版 主编 邹仲之 李继承
9. 生物化学 / 第7版 主编 查锡良
10. 生理学 / 第7版 主编 朱大年
11. 医学微生物学 / 第7版 主编 李凡 刘晶星
12. 人体寄生虫学 / 第7版 主编 李雍龙
13. 医学免疫学 / 第5版 主编 金伯泉
14. 病理学 / 第7版 主编 李玉林
15. 病理生理学 / 第7版 主编 金惠铭 王建枝
16. 药理学 / 第7版 主编 杨宝峰
17. 医学心理学 / 第5版 主编 姚树桥 孙学礼
18. 法医学 / 第5版 主编 王保捷
19. 诊断学 / 第7版 主编 陈文彬 潘祥林
20. 医学影像学 / 第6版 主编 吴恩惠 冯敢生
21. 内科学 / 第7版 主编 陆再英 钟南山
22. 外科学 / 第7版 主编 吴在德 吴肇汉
23. 妇产科学 / 第7版 主编 乐杰
24. 儿科学 / 第7版 主编 沈晓明 王卫平
25. 神经病学 / 第6版 主编 贾建平
26. 精神病学 / 第6版 主编 郝伟
27. 传染病学 / 第7版 主编 杨绍基 任红
28. 眼科学 / 第7版 主编 赵堪兴 杨培增
29. 耳鼻咽喉-头颈外科学 / 第7版 主编 田勇泉
30. 口腔科学 / 第7版 主编 张志愿
31. 皮肤性病学 / 第7版 主编 张学军
32. 核医学 / 第7版 主编 李少林 王荣福
33. 流行病学 / 第7版 主编 王建华
34. 卫生学 / 第7版 主编 仲来福
35. 预防医学 / 第5版 主编 傅华
36. 中医学 / 第7版 主编 李家邦
37. 计算机应用基础 / 第4版 主编 邹赛德
38. 体育 / 第4版 主编 裴海泓
39. 医学细胞生物学 / 第4版 主编 陈誉华
40. 医学分子生物学 / 第3版 主编 药立波
41. 医学遗传学 / 第5版 主编 左伋
42. 临床药理学 / 第4版 主编 李俊
43. 医学统计学 / 第5版 主编 马斌荣
44. 医学伦理学 / 第3版 主编 丘祥兴 孙福川
45. 临床流行病学 / 第3版 主编 王家良 王滨有
46. 康复医学 / 第4版 主编 南登崑
47. 医学文献检索 / 第3版 主编 郭继军
48. 卫生法 / 第3版 主编 赵同刚
49. 医学导论 / 第3版 主编 文历阳
50. 全科医学概论 / 第3版 主编 杨秉辉
51. 麻醉学 / 第2版 主编 曾因明
52. 急诊医学 主编 沈洪

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 樊小力

秘书 孙利军

第7版前言

全国高等医药院校五年制教材《生理学》(第6版)自2003年出版以来,至今已使用四年时间。2006年5月,全国高等学校临床医学专业教材评审委员会在武汉召开会议,决定组织新一轮(第七轮)教材的修订工作。第七轮教材的主编会议于同年8月在北京召开。在主编会议上,除了明确教材的修订任务和目标以外,还确定了编写人员名单。参加本次教材修订的编者较前版有所增加,且有将近一半的编者是新参加的。这些编者来自全国12个省市,都是长期在教学第一线工作并有丰富教学经验的教授。之后,我们于9月在上海举行了编写会议。在编写会议上,与会编者对新版教材的编写提出了许多很好的主意,并经过充分讨论,取得了共识。前版主编姚泰教授也参加了会议,对新版教材的修订也提出了宝贵的意见和建议。此外,在《生理学》(第6版)出版以后,我们一直在注意收集各地院校的老师和学生对第6版教材在使用过程中的意见。2006年11月,正值中国生理学会在北京召开学会成立80周年纪念大会暨学术交流会,我们利用这个大好时机,直接聆听了广大生理学教学工作者对第6版教材的意见和对新一版教材修订的建议。

根据我们收集到的一些对第6版教材在使用过程中的意见,也根据学科的新进展,本版教材在保留第6版教材诸多优点的基础上在内容上有所更新。比如,第二章中关于细胞的物质跨膜转运中,本版教材提出了载体就是转运体的新认识,并根据经转运体转运可为被动也可为主动转运的原理,将泵蛋白的主动转运也归入经载体转运的范畴。第四章中关于心肌电生理部分内容也有所更新,对某些离子通道及其离子电流参与各类心肌细胞动作电位形成的介绍较前版教材更为深入和清晰。第五章中新增肺通气功能测定指标——最大呼气流速-容积曲线的内容,并对其测定机制作了简要介绍。第七章中对能量平衡及其影响或调节因素作了简单介绍。第八章增加了自由水清除率的内容。第九章中对嗅觉产生机制的最新进展作了简要介绍。第十章和第十一章中对一些基础性的内容也有所更新,而对一些机制并不很清楚的内容则有所删减。此外,我们对有些章节的编排顺序进行了适当调整,比如第四章心脏生理部分,先从宏观的心脏泵血功能切入,然后深入到心肌电生理和生理特性的描述,这对学生来说,学习时可能会感到容易些。第7版教材的篇幅总体上较前一版教材略有减少,这是此次修订的要求之一,也是为了适合国内五年制医学教学的实际需要。我们认为,本次修订已基本达到预定目标。

在此次第7版教材的修订工作中,各位编者都非常认真和投入,配合默契,为本教材的顺利完稿和付印,付出了辛勤的劳动。在此,我们谨向各位编者表示诚挚的谢意。为了确保本教材的高质量,我们请上海交通大学医学院徐有秋教授对第四章心脏生理部分的内容进行了审阅,他的审阅十分细致和严谨,提出了很多极其宝贵的意见和建议,在此我们对他表示衷心的感谢。此外,我们在修订本教材过程中还受到全国许多医学院校的生理学老师对我们的关心和帮助,人民卫生出版社对我们的修订工作也给予了充分的支持,我们一并向所有关心和支持我们工作的同道们表示深切的感谢,并恳切地希望广大读者对本教材中尚存的问题和不足之处提出批评和意见。

朱大年 吴博威 樊小力
2007年9月

目 录

第一章 绪论 1

- 第一节 生理学的任务和研究方法 / 1
 - 一、生理学及其任务 / 1
 - 二、生理学和医学的关系 / 1
 - 三、生理学的研究方法 / 1
 - 四、生理学研究的不同水平 / 3
- 第二节 机体的内环境和稳态 / 4
 - 一、机体的内环境 / 4
 - 二、内环境的稳态 / 4
- 第三节 机体生理功能的调节 / 5
 - 一、生理功能的调节方式 / 5
 - 二、体内的控制系统 / 6

第二章 细胞的基本功能 9

- 第一节 细胞膜的结构和物质转运功能 / 9
 - 一、细胞膜的结构概述 / 9
 - 二、物质的跨膜转运 / 10
- 第二节 细胞的信号转导 / 16
 - 一、离子通道型受体介导的信号转导 / 16
 - 二、G蛋白耦联受体介导的信号转导 / 17
 - 三、酶联型受体介导的信号转导 / 20
- 第三节 细胞的电活动 / 21
 - 一、膜的被动电学特性和电紧张电位 / 21
 - 二、静息电位及其产生机制 / 22
 - 三、动作电位及其产生机制 / 25
 - 四、局部电位 / 33
 - 五、可兴奋细胞及其兴奋性 / 34
- 第四节 肌细胞的收缩 / 35
 - 一、横纹肌 / 35
 - 二、平滑肌 / 44

第三章 血液 47

- 第一节 血液的组成和理化特性 / 47
 - 一、血液的组成 / 47
 - 二、血量 / 48



- 三、血液的理化特性 / 49
- 第二节 血细胞生理 / 50
 - 一、血细胞生成的部位和一般过程 / 50
 - 二、红细胞生理 / 51
 - 三、白细胞生理 / 56
 - 四、血小板生理 / 58
- 第三节 生理性止血 / 61
 - 一、生理性止血的基本过程 / 62
 - 二、血液凝固 / 63
 - 三、纤维蛋白的溶解 / 68
- 第四节 血型 and 输血原则 / 69
 - 一、血型与红细胞凝集 / 69
 - 二、红细胞血型 / 70
 - 三、输血原则 / 74

第四章 血液循环..... 76

- 第一节 心脏的泵血功能 / 76
 - 一、心脏泵血的过程和机制 / 76
 - 二、心脏泵血功能的评定 / 79
 - 三、影响心输出量的因素 / 81
 - 四、心脏泵血功能的储备 / 84
- 第二节 心脏的生物电活动和生理特性 / 85
 - 一、心肌细胞的跨膜电位及其形成机制 / 86
 - 二、心肌的生理特性 / 91
 - 三、体表心电图 / 97
- 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 / 100
 - 三、动脉血压和动脉脉搏 / 103
 - 四、静脉血压和静脉回心血量 / 106
 - 五、微循环 / 108
 - 六、组织液的生成 / 111
 - 七、淋巴的生成和回流 / 112
- 第四节 心血管活动的调节 / 113
 - 一、神经调节 / 113
 - 二、体液调节 / 119
 - 三、局部血流调节 / 124
 - 四、动脉血压的长期调节 / 124



第五节 器官循环 / 125

一、冠脉循环 / 125

二、肺循环 / 127

三、脑循环 / 129

第五章 呼吸 132

第一节 肺通气 / 132

一、肺通气的原理 / 133

二、肺通气功能的评价 / 140

第二节 肺换气和组织换气 / 145

一、肺换气和组织换气的基本原理 / 145

二、肺换气 / 146

三、组织换气 / 148

第三节 气体在血液中的运输 / 148

一、氧的运输 / 149

二、二氧化碳的运输 / 153

第四节 呼吸运动的调节 / 155

一、呼吸中枢与呼吸节律的形成 / 155

二、呼吸运动的反射性调节 / 158

第六章 消化和吸收 164

第一节 概述 / 164

一、消化道平滑肌的生理特性 / 164

二、消化腺的分泌功能 / 166

三、消化道的神经支配及其作用 / 167

四、消化道的内分泌功能 / 168

五、消化道血液循环的特点 / 170

第二节 口腔内消化 / 170

一、唾液及其分泌 / 170

二、咀嚼和吞咽 / 171

第三节 胃内消化 / 172

一、胃液及其分泌 / 172

二、胃的运动 / 179

第四节 小肠内消化 / 181

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 / 186



第五节 大肠的功能 / 188

- 一、大肠液的分泌及大肠内细菌的活动 / 188
- 二、大肠的运动和排便 / 188

第六节 吸收 / 189

- 一、吸收的部位和途径 / 189
- 二、主要物质在小肠内的吸收 / 190
- 三、大肠的吸收功能 / 192

第七章 能量代谢与体温 194

第一节 能量代谢 / 194

- 一、机体能量的来源与利用 / 194
- 二、能量代谢的测定 / 196
- 三、影响能量代谢的主要因素 / 200
- 四、基础代谢 / 201

第二节 体温及其调节 / 203

- 一、体温 / 203
- 二、机体的产热与散热 / 205
- 三、体温调节 / 208
- 四、温度习服 / 210

第八章 尿的生成和排出 212

第一节 肾的功能解剖和肾血流量 / 212

- 一、肾的功能解剖 / 212
- 二、肾血流量的特点及其调节 / 215

第二节 肾小球的滤过功能 / 216

- 一、有效滤过压 / 217
- 二、影响肾小球滤过的因素 / 218

第三节 肾小管和集合管的物质转运功能 / 218

- 一、肾小管和集合管中物质转运的方式 / 218
- 二、肾小管和集合管中各种物质的重吸收与分泌 / 219

第四节 尿液的浓缩和稀释 / 224

- 一、尿液的稀释 / 225
- 二、尿液的浓缩 / 226
- 三、直小血管在维持肾髓质高渗中的作用 / 228

第五节 尿生成的调节 / 229

- 一、肾内自身调节 / 229
- 二、神经和体液调节 / 230

第六节 清除率 / 234



- 一、清除率的定义和计算方法 / 234
- 二、测定清除率的意义 / 234
- 第七节 尿的排放 / 237
 - 一、膀胱和尿道的神经支配 / 237
 - 二、排尿反射 / 237
 - 三、排尿异常 / 238

第九章 感觉器官的功能 240

- 第一节 感受器及其一般生理特性 / 240
 - 一、感受器、感觉器官的定义和分类 / 240
 - 二、感受器的一般生理特性 / 240
- 第二节 躯体感觉 / 243
 - 一、本体感觉 / 243
 - 二、触-压觉 / 244
 - 三、温度觉 / 244
 - 四、痛觉 / 245
- 第三节 眼的视觉功能 / 246
 - 一、眼的折光系统及其调节 / 247
 - 二、眼的感光换能系统 / 250
 - 三、与视觉有关的若干生理现象 / 257
- 第四节 耳的听觉功能 / 259
 - 一、外耳和中耳的功能 / 259
 - 二、内耳（耳蜗）的功能 / 261
 - 三、听神经动作电位 / 265
- 第五节 前庭器官的功能 / 266
 - 一、前庭器官的感受装置和适宜刺激 / 266
 - 二、前庭反应 / 268
- 第六节 嗅觉和味觉 / 270
 - 一、嗅觉感受器和嗅觉的一般性质 / 270
 - 二、味觉感受器和味觉的一般性质 / 271

第十章 神经系统的功能 273

- 第一节 神经系统功能活动的基本原理 / 273
 - 一、神经元和神经胶质细胞 / 273
 - 二、突触传递 / 276
 - 三、反射活动的基本规律 / 290
- 第二节 神经系统的感觉分析功能 / 295
 - 一、中枢对躯体感觉的分析 / 295



- 二、中枢对内脏感觉的分析 / 299
- 三、中枢对特殊感觉的分析 / 301
- 第三节 神经系统对姿势和运动的调节 / 302
 - 一、运动传出的最后公路 / 302
 - 二、中枢对姿势的调节 / 303
 - 三、中枢对躯体运动的调节 / 308
- 第四节 神经系统对内脏活动、本能行为和情绪的调节 / 315
 - 一、自主神经系统 / 315
 - 二、中枢对内脏活动的调节 / 317
 - 三、本能行为和情绪的神经基础 / 319
- 第五节 脑电活动及觉醒和睡眠 / 321
 - 一、脑电活动 / 322
 - 二、觉醒和睡眠 / 324
- 第六节 脑的高级功能 / 326
 - 一、学习和记忆 / 327
 - 二、语言和其他认知功能 / 329

第十一章 内分泌..... 333

- 第一节 内分泌与激素 / 333
 - 一、内分泌与内分泌系统 / 333
 - 二、激素的化学性质 / 335
 - 三、激素的细胞作用机制 / 337
 - 四、激素作用的一般特征 / 339
 - 五、激素分泌的调控 / 341
- 第二节 下丘脑-垂体和松果体内分泌 / 343
 - 一、下丘脑-腺垂体系统 / 343
 - 二、下丘脑-神经垂体系统 / 349
 - 三、松果体内分泌 / 350
- 第三节 甲状腺内分泌 / 351
 - 一、甲状腺激素的代谢 / 351
 - 二、甲状腺激素的作用 / 354
 - 三、甲状腺功能的调节 / 358
- 第四节 甲状旁腺、甲状腺C细胞内分泌与维生素D₃ / 360
 - 一、甲状旁腺激素的作用与分泌调节 / 360
 - 二、降钙素的作用与分泌调节 / 362
 - 三、维生素D₃的作用与生成调节 / 363
- 第五节 胰岛内分泌 / 363
 - 一、胰岛素的作用与分泌调节 / 364



- 二、胰高血糖素的作用与分泌调节 / 368
- 第六节 肾上腺内分泌 / 368
 - 一、糖皮质激素的作用与分泌调节 / 369
 - 二、盐皮质激素的作用与分泌调节 / 372
 - 三、肾上腺雄激素的作用 / 372
 - 四、肾上腺髓质激素的作用与分泌调节 / 373
 - 五、肾上腺髓质素 / 374
- 第七节 组织激素和功能器官内分泌 / 374
 - 一、组织激素 / 374
 - 二、功能器官内分泌 / 376

第十二章 生殖 378

- 第一节 男性生殖功能与调节 / 378
 - 一、睾丸的功能 / 378
 - 二、睾丸功能的调节 / 380
- 第二节 女性生殖功能与调节 / 381
 - 一、卵巢的功能 / 381
 - 二、卵巢功能的调节 / 385
 - 三、卵巢功能衰退的表现 / 388
- 第三节 妊娠与分娩 / 388
 - 一、妊娠 / 389
 - 二、分娩 / 390
- 第四节 性生理学 / 390
 - 一、性成熟的表现 / 391
 - 二、性兴奋与性行为 / 392
 - 三、性行为的调节 / 394

英中文索引 396

第一章 绪论

第一节 生理学的任务和研究方法

一、生理学及其任务

生理学 (physiology) 是生物科学的一个分支, 是研究生物体及其各组成部分正常功能活动规律的一门科学。生物体 (organism) 也称有机体, 简称机体, 是自然界中有生命的物体的总称, 包括一切动物、植物和微生物。人和许多高等动物的机体结构复杂, 由不同的系统、器官、组织和细胞所组成, 各系统和器官具有不同的功能, 如呼吸、消化、排泄、血液循环、肌肉收缩等, 并在神经和内分泌系统的调节下相互协调, 相互配合, 相互制约, 共同维持整个机体的生命活动。生理学的任务是阐明机体及其各组成部分所表现的各种正常的生命现象、活动规律及其产生机制, 以及机体内、外环境变化对这些功能性活动的影响和机体所进行的相应调节, 并揭示各种生理功能在整体生命活动中的意义。

二、生理学和医学的关系

生理学的发展和医学的发展是紧密联系在一起的。在漫长的人类发展史上, 人们在寻求对疾病医治的过程中, 必然要求对疾病产生机制和人体正常功能的许多知识进行探索。生理学的知识是随人类社会的发展, 特别是在医学实践、科学研究和技术发展的过程中不断积累起来的。无论是在我国还是西方国家, 一些经典的医学著作中都有对人体器官生理功能的描述。例如, 我国古医书《黄帝内经》中就有对经络、脏腑、七情六淫、营卫气血等生理学理论的记载; 古希腊医师和医学理论家 Galen 曾对多种动物 (包括猴) 进行活体解剖, 并用解剖学的知识来推断人体生理功能。长期以来, 医学中关于疾病的理论研究都以人体生理学为基础, 反过来, 临床实践也能检验生理学理论是否正确, 并进一步丰富和发展生理学理论。

在现代医学课程体系中, 人体生理学 (human physiology) 是一门重要的基础医学理论课程。它以人体解剖学、组织学为基础, 同时又是药理学、病理学等后续课程和临床各课程的基础, 起着承前启后的作用。对医护人员来说, 不具备人体生理学的基本知识, 就不能正确认识疾病; 不仅如此, 在他们认识和处理临床实践中所遇到的许多实际问题中, 生理学的基本理论和基本方法也是科学的思维方式和重要的研究手段。

三、生理学的研究方法

生理学是一门实验性科学, 它的所有知识都来自临床实践和实验研究。但早期的一些人体生理知识多来源于对尸体解剖和动物活体解剖而对人体器官功能所作的推测。而生理学真正成为一门实验性科学是从 17 世纪开始的。1628 年, 英国医生 Harvey 所著的《心与血的运动》一书出版, 是历史上第一部基于实验证据的生理学著作。Harvey 首次在若干种



动物身上应用活体解剖的方法，并经反复多次实验观察，推断出血液循环的途径：心脏是循环系统的中心，血液由心脏射入动脉，再由静脉回流入心脏而不断循环。随后显微镜的发明和毛细血管的发现，证实了 Harvey 对循环系统结构的正确推论。1902 年，英国生理学家 Bayliss 和 Starling 在研究胰液分泌调节的机制中，大胆地冲破了当时“神经反射”这个传统观念的束缚，发现了历史上第一个激素，并将它命名为促胰液素；1921 年，加拿大青年生理学家和医生 Banting 和他的学生 Best 发现了胰岛素；1982 年，澳大利亚医生 Marshall 和病理学家 Warren 证实了引起消化性溃疡的重要病因是幽门螺杆菌的感染。这样的事例不胜枚举。所以，生理学的知识除来自临床实践外，主要来源于实验研究，现代生理学的发展更是如此。

一般而言，**生理学实验** (physiological experiment) 是在人工创造的一定条件下，对生命现象进行客观观察和分析，以获取生理学知识的一种研究手段。进行生理学实验时，往往需要对完整机体或某一器官、组织或细胞的某一特定功能活动进行孤立的分析，并测试各种因素对它的影响。实验往往会给机体造成一定的损害，甚至危及生命。因此，生理学实验主要在动物身上进行；仅在不损害健康，并得到受试者本人同意的情况下，人体实验才允许有限进行。由于人与动物的机体在结构和功能上具有诸多相似之处，因此，利用动物实验的结果来推断人体生理功能是完全可能的。另外，由于动物机体的结构和功能相对简单，或在某些方面更具有典型性或优越性，在研究一些基本生命活动或特殊功能活动时则更为适合。例如，利用枪乌贼的巨大神经轴突来研究细胞生物电，比在其他生物材料上进行研究要容易得多；猫的防御反应较为明显，因而在进行这方面研究时，猫为首选动物。但人体的许多功能活动，尤其是高级神经活动，与动物相比已发生质的变化，因而利用动物进行这方面的实验则有一定的局限性。所以，在进行动物实验时，应根据不同的研究内容选择适当的动物或动物材料，在推断人体功能活动规律时，须注意到人与动物结构和功能上的差异，不能简单地将动物实验的结果直接套用于人体。

(一) 动物实验

1. **急性动物实验** **急性动物实验** (acute animal experiment) 可分为离体和在体实验两种方法。**离体实验** (experiment in vitro) 是从活着的或刚处死的动物身上取出所需要的器官、组织、细胞或细胞中的某些成分，置于一个能保持其正常功能活动的人工环境中，观察某些人为的干预因素对其功能活动的影响。例如，对离体蛙心或动物血管条进行灌流，可用于研究某些生物活性物质或药物对心肌或血管平滑肌收缩力的影响；应用膜片钳技术可研究细胞小片膜上单个离子通道的电流特性。**在体实验** (experiment in vivo) 是在动物麻醉条件下，手术暴露某些所需研究的部位，观察和记录某些生理功能在人为干预条件下的变化。例如，以动脉插管记录动物血压，可用于观察某些神经或体液因素对血压的影响；将玻璃微电极插入脑内某些部位进行细胞外或细胞内记录，观察神经元在接受某些刺激时放电活动的变化，以了解这些神经元的生理功能。急性动物实验的优点是实验条件比较简单，条件较易控制，便于进行直接的观察和细致的分析；离体实验则更能深入到细胞和分子水平，有助于揭示生命现象中最为本质的基本规律。但急性动物实验的结果可能与生理条件下完整机体的功能活动有所不同，尤其是离体实验的结果，此时被研究的对象，如器官、组织、细胞或细胞中的某些成分已经脱离整体，它们所处的环境已发生很大的改变，实验结果与在整体中的真实情况相比，可能会有很大的差异。

2. **慢性动物实验** **慢性动物实验** (chronic animal experiment) 以完整、清醒的动物为研究对象，且尽可能保持外界环境接近于自然，以便能在较长时间内观察和记录某些生理功能的改变。实验前一般需对动物作某些预处理，待动物康复后再进行观察。例如，研究唾液的分泌调节时，可预先将唾液腺导管开口移至颊部体表，观察时就能方便地从体表收

集到唾液腺分泌的纯净唾液；研究某种内分泌功能时，常先摘除动物某个内分泌腺，以便观察这种内分泌激素缺乏时以及人为替代后的生理功能改变，用以了解这种内分泌激素的生理作用。慢性动物实验适用于观察某一器官或组织在正常情况下的功能以及在整体中的作用地位，但不宜用来分析某一器官或组织细胞生理功能的详细机制。与急性动物实验相比，慢性动物实验的干扰因素较多，实验条件较难控制。

(二) 人体实验

人体实验由于受到伦理学的限制，目前主要是进行人群资料调查，例如，人体血压、心率、肺通气量、肾小球滤过率，以及红细胞、白细胞和血小板数量的正常值就是通过大批人群采样，再进行数据的统计学分析而获得的。有些实验研究也可在人体进行，例如，测试人体在高温、低温、低氧、失重和高压等一些特殊环境下某些生理活动的变化。

总之，各种实验方法各有其优、缺点。对某种生理功能的研究，究竟适宜采用哪些实验方法，应根据实际情况加以选择。

四、生理学研究的不同水平

完整人体可划分为执行不同生理功能的若干系统，如呼吸系统、消化系统等，各系统都由若干器官相互联结而形成，如呼吸系统由鼻腔、喉、气管、支气管和肺所构成，而消化系统则由口腔、咽、食管、胃、小肠和大肠所组成。各器官又由不同的组织和细胞按一定的形式所组成。因此，对人体生理功能的全面研究，大致可分为以下三个不同水平。

(一) 器官和系统水平

人们对生理学的研究最早是从器官和系统水平开始的，并获得和积累了大量的生理学基本知识。这一水平的研究主要是各器官和系统的活动规律、调节机制及其影响因素等。如心脏的射血、肺的呼吸、小肠的消化和吸收、肾的尿生成等。器官和系统水平的研究有利于把复杂的整体化整为零，从而能更加方便，也更加准确地把握整个机体生命活动的规律。进行这一水平的研究可应用多种方法，包括急性和慢性动物实验，但更多采用急性动物实验的方法，急性动物实验法既可进行在体实验，也可进行离体实验。这一水平的研究及其所获知识和理论称为器官生理学 (organ physiology)。

(二) 细胞和分子水平

细胞是组成机体最基本的结构和功能单位，而细胞及其亚微结构又由多种生物大分子所构成。所以，细胞和分子水平的研究在于探索细胞及其所含生物大分子的活动规律。例如，骨骼肌收缩时的肌丝滑行；细胞兴奋时，细胞膜上通道蛋白通透性的改变和离子的跨膜移动；细胞在不同环境因素刺激下基因表达的改变等。这一水平的研究一般采用离体实验的方法，所获得的知识和理论称为细胞生理学 (cell physiology) 或普通生理学 (general physiology)。

(三) 整体水平

人们从器官和系统以及细胞和分子水平所获得的对机体功能的认识，最终都要在整体水平上加以综合并得到验证。整体水平的研究主要包括机体内各器官、系统之间的相互联系和相互影响，内、外环境变化对机体生理功能的影响，以及机体对环境变化所做出的各种相应应答。例如，体内神经系统、内分泌系统对其他器官和系统活动的调节；运动、创伤、紧张、恐惧等生理和心理因素，或地理、气候、社会等环境因素对机体生理功能的影响；机体在环境急剧变化时所产生的应急反应，或在某些特殊环境，如高温、低氧（高原）、失重（航天）、高压（潜水）等情况下的习服 (acclimatization 或 accustomization)，即

机体为能适应新环境生存而产生一系列适应性改变。急性和慢性动物实验都可用于这一水平的研究，但由于在实验过程中发生变化的参数，即变量很多，因而结果分析比较困难。然而，变量越多的实验，即综合程度越高，则可能更加接近实际情况。

第二节 机体的内环境和稳态

一、机体的内环境

(一) 体液及其组成

人和动物体内含有大量液体，机体内的液体称为**体液** (body fluid)。正常成年人的体液量约占体重的 60%，其中约 2/3 (约占体重的 40%) 分布于细胞内，称为**细胞内液** (intracellular fluid, ICF)；其余约 1/3 (约占体重的 20%) 分布于细胞外，称为**细胞外液** (extracellular fluid, ECF)。细胞外液中约 3/4 (约占体重的 15%) 分布于细胞间隙内，称为**组织间液** (interstitial fluid, ISF) 或**组织液** (tissue fluid)；其余约 1/4 (约占体重的 5%) 则在血管中不断地循环流动，即为**血浆** (plasma)。此外，还有少量的淋巴和脑脊液等。

(二) 体液的分隔和相互沟通

人体各部分体液彼此隔开，因而各部分体液的成分有较大的差别 (见第二、三章)，但各部分体液又相互沟通。细胞膜既是分隔细胞内液与组织液的屏障，又是两者之间相互沟通的渠道，有些物质可自由通过细胞膜的脂质双分子层结构，但有些物质则须经膜上镶嵌的特殊蛋白质才能从膜的一侧转移到另一侧，水的跨膜移动主要受细胞膜两侧渗透压和静水压梯度的驱使 (见第二章)。同样，毛细血管壁既是分隔血浆与组织液的屏障，也是两者之间相互沟通的桥梁，体液跨毛细血管壁移动也取决于管壁两侧的渗透压和静水压梯度 (见第四、八章)。血浆是沟通各部分体液并与外界环境进行物质交换的重要媒介，因而是各部分体液中最为活跃的部分。

(三) 内环境的概念及其提出

人体内绝大多数细胞并不与外界环境相接触，而是浸浴于机体内部的细胞外液中，因此细胞外液是细胞直接接触和赖以生存的环境。生理学中将围绕在多细胞动物体内细胞周围的体液，即细胞外液，称为机体的**内环境** (internal environment)，以区别于整个机体所处的外环境。这一重要概念是由法国生理学家 Claude Bernard 于 1852 年首先提出的。他观察到细胞外液的理化性质变动非常小，又观察到高等动物机体许多特性保持恒定的程度高于低等动物，因而认为这种差异是由于在进化中发展了内环境的缘故。他指出：机体生存在两个环境中，一个是不断变化着的外环境，另一个是比较稳定的内环境，因而机体在外环境不断变化的情况下仍能很好地生存，内环境的相对稳定是机体能自由和独立生存的首要条件。

二、内环境的稳态

(一) 稳态的概念及其提出

稳态 (homeostasis) 也称自稳态，是指内环境的理化性质，如温度、pH、渗透压和各种液体成分等的相对恒定状态。稳态的概念是由美国生理学家 Cannon 于 1929 年首次提出的。内环境理化性质的相对恒定并非固定不变，而是可在一定范围内变动但又保持相对稳定的状态，简言之，是一种动态平衡。例如，人的正常体温可在 37℃ 上下波动，但每天