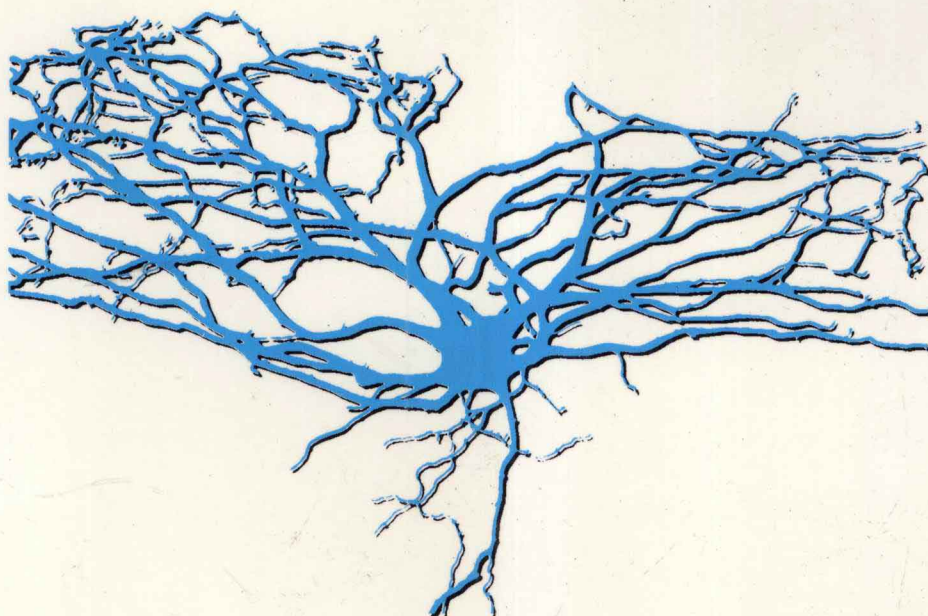




面向 21 世纪 课程教材
Textbook Series for 21st Century

医学神经生物学

吕国蔚 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



中国医药出版社
CHINA MEDICAL PUBLISHING HOUSE

医学神经生物学

第四版 主编



中国医药出版社
CHINA MEDICAL PUBLISHING HOUSE

面向 21 世纪 课程教材
Textbook Series for 21st Century

医学神经生物学

吕国蔚 主编

徐群渊 张英才 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内容提要

本书为教育部“高等医药院校面向 21 世纪教学内容和课程体系改革”项目研究成果,经教育部批准为“面向 21 世纪课程教材”。

神经生物学是生命科学发展的前沿,特别是 20 世纪以来,该学科更是受到普遍重视并且发展迅速,其中,与医学相关的内容发展更具爆炸性。本书就是一本具有医学特色的神经生物学教材,体现形态与机能、基础医学与临床医学、经典定论与现代发展的有机结合,总结近十年教学经验,深入浅出地展示了医学神经生物学的全貌。本书适合 5 年制、7 年制医学生、本科生物系学生以及从事神经生物学研究的有关人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

医学神经生物学/吕国蔚主编. —北京:高等教育出版社, 2000(2001 重印)

ISBN 7-04-008371-X

I. 医… II. 吕… III. 人体-神经-生物学 IV. R338

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 69033 号

医学神经生物学

吕国蔚 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京民族印刷厂

开 本 850×1168 1/16

版 次 2000 年 2 月第 1 版

印 张 29.25

印 次 2001 年 10 月第 2 次印刷

字 数 590 000

定 价 30.90 元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

《医学神经生物学》编写人员

主 编

吕国蔚

副主编

徐群渊 张英才

编著者 (按姓氏笔划顺序, 括弧中的数字为所编章节)

王拥军 [22]

吕国蔚 [绪论, 1, 2, 7, 8, 9, 10, 14(1~4), 21]

曲瑞瑶 [14 (5, 6)]

刘晓红 [13]

张英才 [3, 4]

李效义 [17]

李菁锦 [11]

杨 慧 [19]

侯燕芝 [6]

胡应安 [16, 18]

赵兰峰 [5]

徐群渊 [12, 15]

盛树力 [20]

注: 封面图案是脊髓背角双投射性 SCT-DCPS 神经元细胞内 HRP 连续切片的显微镜下重建, 示该神经元的胞体、树突树自时钟 2 时处发出的轴突及其局部轴突侧支在树突树范围内广泛分支(虚线); 取自 Lu GW & Yang CT. The Morphology of cat spinal neurons projecting to both the lateral cervical nucleus and the dorsal column nuclei. Neuroscience Letters 101: 29~34, 1989

MEDICAL NEUROBIOLOGY

Lu Guowei

**With the collaboration of
Xu Qunyuan and Zhang Yingcai**

Contributors [Number (s) in parenthesis: Chapter (s) written by the contributor]

Hou Yanzhi, MD	[6]
Hu Yingan, MD	[16, 18]
Li Qingjin, PhD	[11]
Li Xiaoyi, MD	[17]
Liu Xiaohong, MD	[13]
Lu Guowei, MD	[Introduction, 1~2, 7~10, 14(1~4), 21]
Qu Ruiyao, MD	[14(5, 6)]
Sheng Shuli, MD	[20]
Wang Yongjun, MD	[22]
Xu Qunyuan, MD, PhD	[12, 15]
Yang Hui, MD	[19]
Zhang Yingcai, MD	[3, 4]
Zhao Lanfeng, MD	[5]

序

神经生物学是研究脑结构和功能的一门学科。了解机体功能的调控与精神活动既有极端重要性，又有令人难以置信的复杂性。神经生物学的一个基本目标是了解脑工作的原理及其对行为的调控方式。通过本书的全面介绍，读者将对脑工作的全貌和某些细节有所了解。

神经生物学由来已久并日臻成熟，它是在神经解剖学、神经生理学、神经化学乃至心理学、神经病学、神经外科学的基础上发展起来的，但它绝非这些学科的简单拼凑。通过本书的系统安排，读者将对脑功能有浑然一体的认识。

除全面性与系统性外，本书还兼顾继承性与进展性、科学性与可读性、言简意赅与图文并茂诸方面的统一与和谐。这些尝试，也能使读者有所收益。

神经生物学是生命科学中发展最快的一个学科，但距离我们了解脑活动的理化本质还为时尚远。作为神经科学工作者，我愿同本书的作者和读者一道，去努力跟上神经生物学发展的步伐，一步一步地去揭开脑这个庞然大物的奥秘。

中国科学院院士 韩济生教授

1999年5月于北京医科大学神经科学研究所

Foreword

Neurobiology is a discipline of science to study the structure and function of the brain. The study possesses both tremendous importance and unbelievable complexity in understanding the control of body function and mental activity. A fundamental goal of neurobiology is to understand the principle of how brain works and its control over behavior. It is expected that by reading this book one may get a general idea of how the brain works as a whole and in some details in certain aspects.

Neurobiology has a long history and is being matured. It is rooted in neuroanatomy, neurophysiology, neurochemistry, as well as psychology, neurology and neurosurgery, but it is definitely not simply a hodge-podge of them. With systematical organization of this book, readers will be able to understand the brain function in an integrated manner.

In addition to overall and systematical description, the book is also characterized by its unity and harmony between succession and development, scientific reliability and readability, concision in word and comprehension in meaning. These attempts of authors in writing will also be beneficial to readers.

Neurobiology has been one of the rapidest development disciplines in life science. However, there is still a long way to go for the understanding of the physicochemical nature of brain activity. As a neuroscientist, I will try my best together with the authors and readers of this book to keep pace with development in neurobiology and to approach the disclosure of the secret of the brain, the most complex stuff in the nature.

Academician of the Chinese Academy of Sciences, Professor Han Jisheng
Neuroscience Research Institute
Beijing Medical University
May, 1999

前 言

高等动物包括人的神经系统是自然界最复杂的系统。20世纪60年代,欧美等国先后开设神经生物学课程和出版有关教材,介绍这一系统的功能与结构。80年代以来,我国的一些大学陆续开设神经生物学,但一直缺少相应的教材。以韩济生院士为代表的69位作者1993年出版了巨著《神经科学纲要》,开始在我国展示了神经科学的全貌与精髓。1994年,韩济生院士等10位教授呼吁高等医学院校开设神经生物学课程。

1983年,首都医科大学开始给研究生讲授以神经生理学内容为主的神经生物学,先后出版了《Cell Physiology》(1990)和《Essentials of Neurophysiology》(1991)两部参考教材,随后又陆续加入有关神经化学和神经形态学方面的内容,并正式开设“医学神经生物学”课程,介绍神经生物学的基本内容及其发展。目前我校积极参与国家与教育部组织实施的“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”的课题研究,《医学神经生物学》一书被列入我校陈燮副校长有关立项课题(05-01-2)教材建设的重点书目。值此世纪之交,我们愿以编写本书来响应10位教授的呼吁并参与立项课题,并将它奉献给我国高等医学院校、综合大学相关专业的学生和同道。

本书共分5篇22章。第Ⅰ、Ⅱ篇从简要复习神经系统的结构开始,系统介绍有关神经元和突触功能活动的基本内容与当前发展。第Ⅲ篇侧重介绍感觉生理、运动调控、自主调节、神经免疫调节以及高级整合活动等系统的结构基础和发生机制。第Ⅳ篇介绍视、听觉、平衡觉和化学觉等特殊感官的结构基础和活动原理。第Ⅴ篇从神经系统的老化开始,介绍有关临床基本病理过程的一般发病机制与防治策略。

本书编者遵循形态与机能结合、基础医学与临床医学结合、经典定论与现代发展结合等诸原则,在总结已有的教学经验的基础上,力求在有限的篇幅范围内,以深入浅出和图文并茂的方式,全面系统而又简明扼要地向读者展现神经生物学的基本内容及其发展的全貌,即先展示神经生物学的“一片森林”,再从这片“林海”中揭示神经元及其网络的工作原理或精髓。

本书以7年制医学生为主要读者对象,同时兼顾4、5年制本科生以及研究生层次的读者,既可用于高等医学院校,也可用于综合大学生物系的教学。教学过程中,可以根据教学对象的不同,有所取舍或强化。对于有关临床工作者,本书将向他们提供当代神经科学发展的概貌和前景。

在本书出版之际,我代表全体作者向北京医科大学韩济生院士,我校陈燮副校长、崔树起处长致以真挚的谢忱,感谢三位教授对本书的关心和支持;对我们

曾经涉猎并从中取材的有关论著的各位中外作者表示衷心的感谢，感谢他们为充实本书所作的贡献；还对为绘制本书插图、打印本书手稿付出辛勤劳动的同志以及高教出版社同志为出版本书所付出的努力表示感谢。

20 世纪 70 年代以来，神经生物学的发展颇具爆炸性和革命性，神经生物学有关内容发展速度之快，进展程度之深和广，远非我们几位编者所能全面顾及的。我们在编写中还难免受到自己的知识背景的局限，再加上只有几个月的编写期限，本书的不足在所难免，对此我们深望读者能给予本书以教正和丰润。衷心希望有关同道和读者能为完善本书提出批评与建议。

吕国蔚

1999 年 3 月

于首都医科大学神经生物学系

Preface

The nervous system is one of the most complex systems in mammals, including the human beings. To introduce the structure and function of the nervous system to students, universities in Europe and in the United States developed curriculums in neurobiology and published textbooks in 1960s. Universities in China started to introduce similar curriculums in 1980s. However, no textbook was available. In 1993, Academician Han Jisheng, with 69 other colleagues, published a monumental work entitled "Essentials of Neuroscience". Neurobiology curriculums then were taken roots in universities. In 1994, 10 university professors, including Academician Han, urged that neurobiology courses be taught in medical schools in China.

Capital University of Medical Sciences started to teach neurobiology to graduate students in 1983. Two reference textbooks, Cell Physiology (1990) and Essentials of Neurophysiology (1991), were published. Some related neurochemical and neuromorphological topics were subsequently incorporated in the curriculums. Our University is now actively involved in project "the Teaching Content and Curriculum System Reform Programs of Higher Education toward 21 Century" organized by National Ministry of Education and the textbook "Medical Neurobiology" is listed in one of the programs (05 - 01 - 2) directed by Associate President, Professor Yan Chen. Heeding the appeal of the ten professors and contributing to the project 05 - 01 - 2, we condensed and expanded our course materials and wrote the textbook "Medical Neurobiology". We would like to present this book to medical students, under - and postgraduate students and colleagues in China at the juncture of the 21th century.

This book is divided into 5 parts, consisting of 22 chapters. Part I and II of the book briefly review the structure of the nervous system and systematically describe the basis and recent development in neural activity and synaptic transmission. Part III focuses on sensory physiology, motor control, autonomic regulation, neuroimmunological modulation and higher integrative activity. Part IV introduces principles of sensations, such as vision, hearing, equilibrium and chemical senses. Part V describes general pathogenesis and preventive/therapeutic strategies in clinics, starting with aging.

Combining morphology with function, basis with clinical approaches and

classical with modern development, the authors of this book tried to present an overall picture, “the forest”, of neurobiology. From there, the authors explored the working principle and interconnectivity of neurons, “the trees”, in detail. The authors also tried to use simple languages and ample illustrations in explanation of complex concepts to aid better understandings.

This book is intended to be a textbook for seven – year and five – year system medical students as well as graduate students. This book will be useful for students and researchers in basic science departments in universities. Depending on the needs of the students, portions of the book can be omitted or strengthened for teaching purposes. For clinicians, this book can provide an overview of recent development in neurobiology.

The authors would like to express their thanks to Academician Han Ji sheng, Associate President Yan Chan and Director Cui Shuqi for their supports. Our gratitude is extended to all the authors whose publications are referenced in the book. We are greatly indebted to colleagues for their efforts in preparing the illustrations and typing the manuscripts. We are also indebted to the Higher Education Press for their efforts in the publication of this book.

The field of neurobiology has grown tremendously since 1970s. The depth and breadth of the knowledge in the field is difficult to cover completely by the authors of this book. What we are able to do is also limited by our background and knowledge of the field. With heavy publication schedule of this book, mistakes are unavoidable. We sincerely hope that this book will be improved and expanded in the future edition. Comments and suggestions for the improvement of this book from our colleagues and readers are greatly appreciated.

Professor Lu Guowei
Neurobiology Department
Capital University of Medical Sciences
March, 1999

目 录

绪论	1	三、《医学神经生物学》的基本内容	6
一、神经生物学在西方的发展	1	四、《医学神经生物学》的编写思路	8
二、神经生物学在中国的发展	5	五、《医学神经生物学》导读建议	9
第一篇 基础神经生物学（上）			
第一章 神经系统机能解剖	13	一、与离子通道偶联的受体	38
第一节 神经系统	13	二、与 G 蛋白偶联的受体	40
一、周围神经系统	13	三、与酪氨酸偶联的受体	41
二、中枢神经系统	14	第五节 神经元膜离子通道	41
第二节 神经细胞	14	一、电压门控性 Na^+ 通道	43
一、神经元	15	二、电压门控性快 K^+ 通道	45
二、神经胶质细胞	17	三、作为 G 蛋白效应器的离子通道	45
第三节 神经纤维	18	第六节 神经元膜泵	46
一、传入神经纤维	19	一、 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 泵是以多种形式存在的	
二、传出神经纤维	21	$\text{Na}^+ - \text{KATP}$ 酶	46
第四节 突触	21	二、 Ca^{2+} 泵、 $\text{H}^+ - \text{K}^+$ 泵、质子泵	47
一、电突触	25	第七节 神经递质转运体	47
二、化学突触	26	一、GABA _A 转运体	48
第五节 回路	26	二、NE 转运体	48
一、微回路	26	三、5-HT 转运体	49
二、局部神经元回路	27	四、DA 转运体	49
三、网络	28	第三章 神经元膜的静态特性	50
四、通路或系统	30	第一节 膜的静息电位	50
第二章 神经元膜的分子构造	31	一、浓度电池	50
第一节 神经元膜的化学组成	31	二、胞浆内的离子浓度	51
一、膜脂质	32	三、离子的主动转运	52
二、膜蛋白质	33	四、当量平衡系统	53
三、膜糖	34	五、静息电位	55
第二节 神经元膜脂质双分子层	35	第二节 膜的被动电学特性	57
一、兼性脂质分子	35	一、圆形细胞的膜电阻和膜电容	57
二、脂质分子运动	35	二、细长形细胞的电缆特性	60
第三节 神经元膜蛋白质	36	第四章 神经元膜的动态特性	64
一、跨膜 α 螺旋	37	第一节 局部反应和动作电位	64
二、内在蛋白运动	38	一、动作电位的细胞内记录	64
第四节 神经元膜受体	38	二、阈下刺激引起的反应	65

三、活动时的阻抗变化	67	二、突触前易化	99
第二节 动作电位的传导	68	第六章 神经元通讯的神经化学	100
一、局部电流学说	68	第一节 突触区的化学信使	100
二、有髓纤维的跳跃传导	69	一、神经递质	100
三、动作电位传播波和波长	70	二、神经调质	101
第三节 动作电位发生的离子理论	71	三、递质的共存与共释	101
一、动作电位对 Na^+ 的依赖性	71	第二节 乙酰胆碱	102
二、兴奋期间的离子流动	72	一、乙酰胆碱在神经组织中的分布	102
三、电压钳制实验	73	二、乙酰胆碱的生物合成	102
第四节 动作电位发生时膜电导变化的分子基础	77	三、乙酰胆碱的释放与灭活	103
一、电压门控性 Na^+ 通道	77	四、胆碱能受体	103
二、电压门控性 K^+ 通道	81	五、乙酰胆碱的生理功能	104
第五章 神经元通讯的生理学	83	第三节 儿茶酚胺	104
第一节 神经元通讯	83	一、儿茶酚胺在神经组织中的分布	104
一、中枢电传递	83	二、儿茶酚胺的生物合成	104
二、中枢化学传递	83	三、儿茶酚胺的释放与灭活	106
三、神经肌肉接头化学传递	85	四、儿茶酚胺受体	106
四、神经效应器化学传递	85	五、儿茶酚胺的生理功能	108
五、化学性突触等效电路	86	第四节 5-羟色胺与组织胺	108
第二节 突触前递质的释放	86	一、5-羟色胺	108
一、动作电位振幅与时程	86	二、组织胺	111
二、 Ca^{2+} 通道活动	87	第五节 氨基酸递质	112
三、囊泡胞吐	89	一、兴奋性氨基酸	112
四、量子释放	89	二、抑制性氨基酸	115
第三节 突触后兴奋与抑制	90	第六节 神经肽	118
一、兴奋性突触后电位	90	一、神经肽的分类	118
二、抑制性突触后电位	93	二、神经肽的生物合成	118
三、慢突触电位	94	三、神经肽受体	119
第四节 突触总和与整合	96	四、神经肽的生理功能	120
一、空间总和与时间总和	96	第七节 候选的神经化学信使	120
二、突触整合	98	一、嘌呤类	120
第五节 突触前抑制与易化	98	二、一氧化氮	122
一、突触前抑制	98	三、一氧化碳	124

第二篇 基础神经生物学（下）

第七章 跨膜转运与轴突转运	127	一、继发性或通量偶联性转运	133
第一节 被动膜转运	128	二、原发性主动转运	133
一、单纯扩散	128	三、神经递质转运体转运	136
二、易化扩散	129	第三节 膜泡转运	136
第二节 主动转运	131	一、胞吐	137

二、胞吞	138	五、突触形成	172
第四节 轴突转运	139	六、突触重排	173
一、快、慢速轴突转运	139	七、突触生成因子	173
二、顺、逆向轴突转运	141	第三节 神经元发育的环境因子调控	174
第五节 轴突转运通道与动力	142	一、神经生长因子与成纤维细胞生长因子	174
一、轴突转运的脚手架	142	二、上皮生长因子与脑源性神经营养因子	175
二、轴突转运的分子马达	143	三、其他营养因子	175
第八章 跨膜信号转导	146	四、神经营养因子的信号转导通路	175
第一节 G 蛋白	147	五、类固醇激素	176
一、G 蛋白的结构	147	六、神经元粘附分子	176
二、G 蛋白的功能	149	第四节 神经元发育的遗传基因调节	177
第二节 受体-通道系统	151	一、遗传网络	178
一、G 蛋白偶联受体-通道系统	153	二、转录因子	179
二、第二信使偶联受体-通道系统	153	三、神经元发育基因与神经元分裂周期基因	181
三、受体介导的 G 蛋白偶联受体下调	153	第五节 神经发育中神经元数量的控制	181
第三节 效应器蛋白	153	一、程序性神经死亡	181
一、腺苷酸环化酶	154	二、神经元死亡基因	182
二、cGMP 磷酸二酯酶	155	第十章 神经系统可塑性	184
三、磷脂酶 C	155	第一节 可塑性的动力学	184
四、离子通道	155	一、稳态转换	184
五、其他效应器蛋白	155	二、突触功效函数	185
第四节 第二信使	155	三、可塑性临界期	186
一、环核苷酸	156	第二节 行为可塑性	186
二、Ca ²⁺	156	一、习惯化	187
三、磷酸肌醇代谢产物	156	二、敏感化	188
四、花生酸	157	三、条件反射	189
五、信使物质相互作用	157	四、代偿	191
第五节 蛋白磷酸化	159	第三节 突触可塑性	191
一、蛋白激酶	161	一、突触易化、增强与压抑	191
二、蛋白磷酸酶	163	二、长时程增强	192
第六节 核内第三信使	164	三、长时程压抑	195
第九章 神经发育	165	第四节 分子可塑性	196
第一节 神经系统的发育	165	一、5-HT 跨膜信号转导系统	196
一、神经管	165	二、谷氨酸跨膜信号转导系统	199
二、原始脑泡	166	第五节 结构可塑性	201
三、神经嵴	168	一、蛋白质合成	201
第二节 神经细胞的发育	168	二、突触重建	202
一、细胞确定	168	三、投射扩张	205
二、细胞增殖	169		
三、细胞迁移	170		
四、轴突延伸	170		

第三篇 系统神经生物学

第十一章 感觉机能	209	四、与感觉运动反射相关的脊髓环路	230
第一节 感受器与躯体觉投射系统	209	五、肌张力	234
一、感受器	209	六、屈肌反射通路	234
二、躯体传入纤维	209	七、与行进运动相关的脊髓环路	235
三、脊髓背角	211	第二节 脊髓环路的下行控制	236
四、脊髓上行传导通路	213	一、内侧和外侧脊髓环路及其下行控制	237
五、丘脑	214	二、前庭核、网状结构与维持平衡和姿势	237
六、体感皮质	215	三、运动皮质	239
第二节 感受器兴奋	216	四、下行运动通路损伤和上运动神经元综合征	241
一、感受器换能	216	第三节 基底神经节和小脑对运动的调节	242
二、感受器电位	216	一、感觉信息和运动指令	242
三、感受器特性	217	二、基底神经节损伤的表现	243
第三节 感觉信息编码	218	三、小脑损伤的表现	244
一、感觉部位编码	218	四、基底神经节和小脑的构成	244
二、感觉强度编码	218	五、基底神经节和小脑的传入、传出联系	247
三、感受野编码	218	六、基底神经节去抑制作用	249
第四节 触压觉	219	七、小脑对进行中运动的协调	250
一、触觉阈与两点阈	219	八、基底神经节和小脑在运动学习和记忆中的作用	251
二、触压觉感受器	219	第十三章 自主神经调节	252
三、触压觉上行传导束	220	第一节 自主神经系统	252
第五节 痛觉	220	一、边缘系统	253
一、痛感觉与痛反应	220	二、下丘脑	255
二、伤害性感受器	221	三、脑干与脊髓	256
三、致痛物质	221	四、交感与副交感神经系统	257
四、痛觉上行传导束	221	第二节 自主反射	258
五、痛觉调制	222	一、脊髓自主反射	258
第六节 内脏觉	224	二、排尿反射	258
一、内脏痛	224	三、排便反射	259
二、内脏觉上行传导束	224	第三节 内脏活动调节	261
第七节 感觉障碍	225	一、交感神经调节	261
一、痛觉过敏与痛觉超敏	225	二、副交感神经调节	261
二、幻肢痛	226	三、自主神经调节的协同与拮抗	262
三、牵涉痛	226	第四节 情绪与驱动	263
第十二章 运动机能	227	一、焦虑与恐惧	264
第一节 脊髓环路及其对运动的控制	227	二、愤怒与攻击	264
一、与运动控制有关的神经结构	227	三、惩罚与奖赏	264
二、运动神经元与其所支配骨骼肌的关系	229		
三、下运动神经元的损伤表现	230		

第五节 自主神经调节障碍	265	四、应激免疫抑制因子	286
一、急性全自主神经功能不全	265	第六节 神经免疫调节	287
二、家族性全自主神经功能不全	265	一、激素-递质调节	287
第十四章 神经内分泌机能	267	二、免疫细胞受体	289
第一节 神经内分泌系统	267	三、条件性免疫反应	289
一、下丘脑	267	四、肠神经免疫通讯	290
二、下丘脑-垂体门脉系统	269	第十五章 神经系统的高级机能	292
三、下丘脑-垂体-肾上腺轴	269	第一节 人脑的认知功能	292
四、下丘脑-垂体-甲状腺轴	270	一、联络皮质	292
五、下丘脑-垂体-性腺轴	270	二、顶叶损伤及注意障碍	293
第二节 肽能神经元和激素	271	三、颞叶损伤及认识缺失	295
一、下丘脑大细胞神经内分泌系统	272	四、额叶损伤和计划障碍	295
二、下丘脑小细胞神经内分泌系统	272	五、联络皮质内的特殊神经元	296
三、激素释放	273	第二节 情感与脑的边缘系统	297
第三节 内环境自稳性	274	一、边缘叶和 Papez 环路	297
一、体温调节	274	二、杏仁核	298
二、摄食调节	275	三、下丘脑	299
三、饮水调节	276	四、愉快中枢	300
第四节 生物节律性	277	第三节 记忆系统	300
一、时间生物学	277	一、记忆和健忘的类型	300
二、脑的节律活动	279	二、记忆印迹和不同脑部的作用	301
三、觉醒和睡眠	280	第四节 语言	305
四、生物钟	282	一、脑内特化的语言区	306
第五节 应激反应	284	二、分裂脑与语言	307
一、下丘脑-腺垂体的作用	284	三、语言与脑的解剖不对称性	308
二、垂体-肾上腺皮质的作用	285	四、用脑的电刺激和 PET 成像法对语言	
三、交感-肾上腺髓质的作用	285	的研究	309

第四篇 特殊感官神经生物学

第十六章 视觉	313	第三节 视网膜视觉信号处理	318
第一节 视觉器官及其中枢通路	313	一、光感受器和光感受机制	318
一、眼球的结构	313	二、视网膜生物电活动	319
二、视觉中枢通路	315	三、视网膜神经元回路	321
三、视皮层	315	第四节 基本视觉	322
第二节 眼的屈光	316	一、暗适应和明适应	322
一、屈光系统	316	二、视系统的空间分辨力	322
二、眼的调节	316	三、闪光融合频率	323
三、屈光缺陷和屈光不正	317	四、亮度辨别阈	323
四、简化眼	318	五、颜色视觉	323
五、瞳孔对光反射	318	第五节 视觉的中枢机制	324
六、眼的汇聚	318	一、视中枢神经元感受野	324