

神经药理学

主编 / 张均田 张庆柱 张永祥

主审 / 金国章



人民卫生出版社
PEOPLE'S MEDICAL PUBLISHING HOUSE

神经药理学

主 编 张均田 张庆柱 张永祥

主 审 金国章

编 委(以姓氏笔画为序)

卢圣栋	池志强	米卫东	孙 兰	朱兴族	杜冠华
李 锦	李 林	李学军	李云峰	陈敏珠	张均田
张庆柱	张永祥	邵宁生	金国章	金文桥	胡国渊
宫泽辉	盛树力				

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

神经药理学/张均田等主编. —北京:人民卫生出版社, 2008. 4

ISBN 978 - 7 - 117 - 09664 - 5

I. 神… II. 张… III. 神经系统疾病 - 药理学
IV. R971

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 193930 号

神 经 药 理 学

主 编: 张均田 张庆柱 张永祥

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](http://www.pmph.com)

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

购书热线: 010 - 67605754 010-65264830

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 56 插页: 6

字 数: 1352 千字

版 次: 2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-09664-5/R · 9665

定 价: 128.00 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)

编写人员

(按编写章节顺序排列)

张庆柱 (山东大学药学院新药药理研究所)

朱兴族 (中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所)

刘华清 (中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所)

胡国渊 (中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所)

池志强 (中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所)

张均田 (中国医学科学院·中国协和医科大学药物研究所)

杨 胜 (军事医学科学院毒物药物研究所)

张永祥 (军事医学科学院毒物药物研究所)

杜冠华 (中国医学科学院·中国协和医科大学药物研究所)

骆庆峰 (中国医学科学院·中国协和医科大学基础医学研究所)

孙 兰 (中国医学科学院·中国协和医科大学基础医学研究所)

王蓬文 (北京中医药大学东直门医院药理室)

盛树力 (首都医科大学宣武医院教育部神经变性病重点实验室)

刘少林 (Department of Anatomy & Neurobiology, University of Maryland School of Medicine)

林燕华 (北京大学基础医学院药理学系)

李学军 (北京大学基础医学院药理学系)

王 蓉 (首都医科大学宣武医院药物研究室)

李 林 (首都医科大学宣武医院药物研究室)

刘 云 (Institute of Child Health & Human development, National Institute of Health, USA)

卢圣栋 (中国医学科学院·中国协和医科大学基础医学研究所)

李少华 (军事医学科学院基础医学研究所)

董 洁 (军事医学科学院基础医学研究所)

邵宁生 (军事医学科学院基础医学研究所)

金文桥 (中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所)



张有志 (军事医学科学院毒物药物研究所)
李云峰 (军事医学科学院毒物药物研究所)
司天梅 (北京大学精神卫生研究所)
郭秀丽 (山东大学药学院新药药理研究所)
曹江北 (解放军总医院麻醉科)
米卫东 (解放军总医院麻醉科)
张 兰 (首都医科大学宣武医院药物研究室)
魏海峰 (首都医科大学宣武医院药物研究室)
赵 玲 (首都医科大学宣武医院药物研究室)
王晓英 (中国医学科学院·中国协和医科大学药物研究所)
俞 纲 (军事医学科学院毒物药物研究所)
官泽辉 (军事医学科学院毒物药物研究所)
陈敏珠 (安徽医科大学临床药理研究所)
吴 宁 (军事医学科学院毒物药物研究所)
苏瑞斌 (军事医学科学院毒物药物研究所)
李 锦 (军事医学科学院毒物药物研究所)

内容简介

神经药理学既属于药理学范畴，也是神经科学的重要分支。首先，神经药理学是随着神经科学的兴起而发展起来的，它与神经解剖学、神经生物化学、神经生理学等共同构成了综合性的神经科学或称神经生物学。其二，神经药理学属于药理学分支和重要组成部分，它是以神经、精神疾病的防治为研究对象，重点从分子水平和基因表达的角度去阐释神经系统药物的作用及其机制。本书涵盖了神经精神系统药理学的全部内容，在编排上由两部分组成。第一部分（总论）将神经科学与分子生物学的相关知识贯穿和融汇其中，基本囊括了神经药理学的基础理论和重要进展；第二部分（各论）论述多种神经精神疾病的发病机制及药物治疗措施，重点探讨各种递质及其受体与神经精神性疾病的关系以及相关药物的作用机制。内容安排既相互联系，又独立成章。通览全书，可使读者对神经药理学的基本知识及最新进展有一个全面系统的了解，从而为指导基础研究、临床实践和新药研发奠定坚实的理论基础。

本书由国内著名研究机构和一流高校的院士、博士生导师等知名学者领衔，各章作者均结合自己的研究方向，选择自己最熟悉的题目撰写，以保证本书的科学性、先进性。在内容的广度和深度上力求适应基础研究人员和临床专业医生的需要，同时兼顾相关学科的研究生，尽量做到学科层次上的系统性、可读性和适用性。

本书主要供神经科学研究人员和临床医生阅读参考，同时为医药学相关学科研究生（硕士、博士）及长年制临床医学和药学专业本科生（本-硕或本-博连读）推荐作为教材使用。



主编简介

张均田，男，1931年6月11日生于江西省赣州市，祖籍上犹县。1943年至1950年在赣州市省赣中读完初高中，1951.3—1956.7就读于大连医学院医疗系，毕业后留校一年。1957.12月始在中国医学科学院、中国协和医科大学药物研究所工作至今。历任实习研究员、助理研究员（1966年始）、副研究员（1983年始）、研究员（1987年始）、博士生导师。1970年至1997年曾任研究所科研办公室主任、药理研究室主任、副所长和所长。1983—1984年以访问教授身份在日本东京大学药学部工作半年多。从1958年起先后从事过的专业有避孕、内分泌、肿瘤、心脑血管、药物代谢、学习记忆、衰老与老年痴呆，涉及的技术包括电生理、行为学、生化和分子生物学，已研制成功并投入生产的新药8种。在国内外杂志发表论文、综述300余篇，被SCI收录的文章70余篇。出版著作20余部，主编的有《现代药理实验方法》上、下册，《神经药理学研究技术与方法》，《新药发现的药理学基础》，《The Chemistry, Metabolism and Biological activities of Ginseng》等。研究成果获得国家科技进步奖、教育部自然科学奖、国家医药管理局科技进步奖、卫生部科技进步奖、北京市科技进步奖，以及中国医学科学院、中华医学会等奖励10余项。个人奖有保罗·杨森-吴阶平奖，药学发展（药理）奖，中国科协全国优秀科技工作者，北京市先进工作者等。曾任第八届、九届全国政协委员，两届中国科协全国委员会委员，两届中国药理学会理事长，中国药典委员会委员，国家新药研究和开发领导小组专家组成员，国家自然科学基金评审专家，以及《药学学报》、《中国药理学报》、《中国药理学通报》、《中国临床药理和治疗学杂志》、《中国新药杂志》、《生理科学进展》、《中华医学杂志》（英文版）、《医药导报》、《中国神经病理和免疫学杂志》等编委，副主编或顾问。

主编简介



张庆柱，男，汉族，1956年生，山东济宁市人，中国医学科学院·中国协和医科大学神经药理学博士研究生毕业，赴日本新潟药理学和应用生命科学大学（Niigata University of Pharmacy and Applied Life Sciences）做研究工作一年。现为山东大学药学院药理学教授，博士生导师，学科学术带头人，临床药理学系主任。兼职中国药理学学会神经药理专业委员会委员，山东药理学会常务理事，《山东药理学通讯》主编，《食品与药品》编委，《中国药理学通报》审稿人等。长期工作在教学、科研第一线。曾主持山东省自然科学基金、国家高技术研究发展计划（863计划）子课题等项目。获山东省科学技术进步奖、省高校优秀科研成果奖等8项。发表学术论文80余篇（70余篇为第一作者），10余篇英文原著被SCI收录或引用。主编大型专业参考书《神经药理学研究技术与方法》（人民卫生出版社，2005年3月），主编高等学校制药工程专业系列教材《基础药理学》（高等教育出版社，2006年6月），主编专业科普书《书写世界现代医学史的巨人们-历届诺贝尔生理学或医学奖获得者的传奇业绩和人生》（中国协和医科大学出版社，2006年6月），主编研究生教学用书《分子药理学》（高等教育出版社，2007年5月）。另外，主译专业书1部，副主编专著1部，参编著作1部，参编教材或教学参考书8本。



主编简介

张永祥，男，汉族，1958年4月生于山东省青岛市，药理学专业，医学、药学双博士学位。现任军事医学科学院科技部副部长兼毒物药物研究所中药和神经免疫药理研究室主任，研究员，博士研究生导师。主要从事神经内分泌免疫调节（NIM）网络、中药复方现代药理学、中药多糖结构与功能以及化学药物药理学研究。1982年12月毕业于青岛医学院医疗系，留本院基础部药理教研室任助教；1986年考入军事医学科学院毒物药物研究所，攻读硕士学位，1988年转读博士学位，1991年8月毕业，获医学博士学位。1992年1月赴日本东京大学做博士后研究，主要从事胸腺免疫功能对中枢学习记忆功能影响以及中药免疫调节及益智作用和作用机制的研究，1996年12月获东京大学药学博士学位。作为项目负责人，先后获得国家自然科学基金面上项目及重点项目、国家“973”项目、国家“863”项目等科研项目的支持。曾获军队科技进步二等奖一项，发表学术论文180余篇，主编专著四部，主译专著一部。现任中国药理学会常务理事兼副秘书长、中国药理学会中药药理专业委员会副主任委员等职；担任《中国药理学与毒理学杂志》主编，《中国药理学报》、《中国药理学通报》、《中国中西医结合杂志》、《中国中药杂志》、《中草药》、《中国实验方剂学》、《世界科学技术——中药现代化》、《中国天然药物》、《Marine Drugs》等杂志编委。

前言

在医学和生物学领域，神经科学是最前沿、最有研究价值，也是最活跃的一门学科，它的研究范畴包括神经系统的结构和功能，这两方面的研究在近几十年内取得很大的进展。美国国会关于将20世纪最后10年确定为“脑的十年”的决定得到了世界范围内的响应，新理论、新技术、新知识层出不穷，反映出学者们无比关注和渴求对人脑这一自然界最复杂和最神奇系统有更多的了解。诺贝尔奖获得者、DNA双螺旋结构的发现者J. Watson曾预言“21世纪是脑的世纪”。此言不虚，在时代已跨入21世纪的今天，神经科学得到更加迅猛的发展，进入空前繁荣时期。揭示脑功能的本质，预防和治疗脑的疾病，发挥人脑的潜在能力，已成为新世纪神经科学唱响的主旋律。

神经科学与其他学科相互渗透、交叉和重新组合，形成了诸多分支学科，神经药理学就是这样一门新兴学科，它既属于神经科学的分支，也是药理学的重要组成部分。它的具体任务，一是以自己的研究方式和特点，丰富神经科学的内涵；二是研究发现和使用药物，防治日趋增多的神经精神疾患；三是阐明药物和具有神经精神活性的内源性物质作用于神经系统的方式、环节和机制。以认知功能研究为例，我们不仅要研究认知功能的软件，即认知过程、编码、储存和提取，也要研究认知功能的硬件，即认知功能的脑定位、脑机制，还要研究认知损害的治疗手段，即研究和提供药物作用的新靶点和发现改善认知功能的新药。通过这些研究，冀能提出富有特色的新理论，对认知过程及其机制有进一步的理解。事实上，在近代科学史上，药理学对基础理论研究做出的重大贡献，是屡见不鲜的。本书编写的出发点主要体现在以下两个方面：①注重阐述神经精神药理学的基本概念、基本原理和基本知识，集中反映在总论中。有了扎实的理论基础，了解当前学者们提出了哪些学说以及还有哪些关键问题亟待解决，才能激发科学工作者的兴趣和好奇心，才有可能在前人工作的基础上有所发现，有所前进；②注重理论联系实际，从总论到各论都列举了大量的实际事例，说明在新理论新靶点的指引下所取得的具体成果或新药，帮助和启发科学工作者运用这些成果于科研和临床实践，以改进和提高医疗效果，也有助于科研人员更好地理解新概念、新学说，在自己的科学研究中发展或修改新理论。

本书在内容编排上由两部分组成。第一部分（总论）讲述神经药理学的基础知识，着重介绍中枢神经系统的构成、功能、突触传递过程和血脑屏障及其转运体的作用，神经递质的合成、降解、贮存与释放等体内过程，受体和离子通道的分子特性，神经系统

信号转导机制,神经细胞内钙调控,脑能量代谢特点,氧化应激与神经细胞凋亡,神经营养因子,神经干细胞研究,突触可塑性,神经精神疾病的遗传特性、表达调控与基因治疗,以及蛋白质组学在神经药理研究中的应用,基本囊括了神经药理学的基础理论和重要进展。第二部分(各论)论述睡眠障碍、疼痛、焦虑、情感障碍、精神分裂症、麻醉、肌肉松弛、癫痫、帕金森病、阿尔茨海默病以及脑卒中、药物依赖等多种神经精神疾病的发病机制及药物治疗措施,重点探讨各种递质及其受体与神经精神性疾病的关系以及相关药物的作用机制。使读者对神经药理学的基本知识及最新进展有一个全面系统的了解,从而能指导基础研究、临床实践和新药研发工作。

本书是在国内加强神经科学包括神经药理学研究,国际上神经科学突飞猛进发展的大背景下编写的。参加编写的单位包括中国医学科学院·中国协和医科大学、中国科学院·上海生命科学院、军事医学科学院、山东大学、北京大学以及首都医科大学等国内著名高校和一流研究机构,编委会由院士、博士生导师等国内知名学者组成。各章作者均结合自己的研究方向,选择自己最熟悉的内容撰写,以保证本书的科学性、先进性。我们力求把从神经科学原理到神经疾病的防治,从基础到临床,从神经药理学两端的行为学和分子生物学的全貌呈现给读者,希冀此书出版后能成为神经科学研究人员和临床专业医生的一本有益参考书,成为从事神经药理学工作者的案头书,并能从中学到有益的知识,有所启迪,有所收获,吾愿足矣。

全书130余万字,插图近200幅,在内容的广度和深度上力求适应基础研究人员和临床专业医生的需要,同时兼顾作为相关学科的研究生教材,尽量做到概念清楚,层次分明,具有教学的系统性、可读性和适用性。本书在编写过程中得到了人民卫生出版社的大力支持,并承蒙中国药理学学会神经药理专业委员会名誉主任委员、中国科学院上海药物研究所金国章院士担任主审。各位作者付出了辛勤的劳动,完成了质量上乘的文稿,在此谨致衷心的感谢。在本书筹划和编写期间,原定主编之一、中国科学院上海药物研究所朱兴族教授不幸英年早逝,是我国神经药理学界的重大损失,令人扼腕痛惜,我们对朱兴族教授为本书做出的重要贡献深表敬意和怀念。由于本书内容涉及生命科学的诸多方面,资料浩如烟海,尽管我们在主观上尽己之所能,但限于主编和作者的知识水平,内容不足、不当、不确、不尽如人意甚至错误之处在所难免。科学技术的发展日新月异,本书阐述的观点在今天或许是正确的,再过若干时日也许就成为过时的知识了。所以,本书出版之日也就是准备改版之时,希望神经科学和药理学界同行不吝赐教,各位读者批评指正,提出宝贵的修改意见。

张均田 张庆柱 张永祥

2007年10月

目录

上篇 基础理论 (总论)

第一章 概论	3
(山东大学药学院新药药理研究所 张庆柱)	
第一节 神经药理学的性质和任务	3
第二节 神经科学的兴起与发展	5
第三节 神经药理学的研究内容和热点领域	6
一、治疗中枢神经系统退行性疾病药理学	7
二、促智药	8
三、抗精神病药	8
四、镇痛药及戒毒治疗	9
第四节 神经药理学研究方法	9
一、体外神经组织培养	10
二、神经递质、调质和神经肽的定性和定量检测	10
三、受体研究	11
四、电生理学方法	11
五、示踪技术	11
六、中枢神经通路损毁方法	12
七、行为学方法	12
八、脑成像术	12
九、免疫学检定方法	13
十、分子生物学技术	13
第五节 神经药理学前景展望	13
一、通过基因组学与蛋白质组学研究发现更多的药靶	14
二、药物基因组学研究有助于药物治疗个体化	14
三、分子遗传学研究为寻找新的治疗方法提供理论基础	15
四、通过组合化学与高通量筛选方法设计并生产高效药物	15
第二章 神经药理学的生物学基础	17
(山东大学药学院新药药理研究所 张庆柱)	
第一节 神经系统的组成	17
第二节 神经元	18

一、神经元的结构和功能	19
二、轴浆转运	22
三、突触传递	23
第三节 神经胶质细胞	28
一、神经胶质细胞分类	28
二、神经胶质细胞的主要功能	29
第四节 周围神经系统	30
一、传入神经系统	30
二、传出神经系统	39
第三章 血-脑屏障与药物转运	52
(中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所 朱兴族 刘华清)	
第一节 血-脑屏障的解剖学基础	52
一、与脑有关的三个屏障	52
二、脑毛细血管内皮细胞	54
三、脑毛细血管周围细胞	56
四、脑内无血-脑屏障的区域	56
第二节 血-脑屏障的生物学意义	56
一、物质通过血-脑屏障的三种情况	56
二、血-脑屏障存在的意义	57
第三节 物质通过血-脑屏障的方式	57
一、被动扩散	57
二、特殊转运	58
三、受体介导的转运和静电效应	58
四、酶屏障	58
五、P-糖蛋白	58
第四节 促进药物通过血-脑屏障的方法	59
一、影响药物进入脑组织的三个因素	59
二、采用特殊给药方法	59
三、改变血-脑屏障通透性	60
四、利用药物传输系统	61
第四章 神经递质和神经调质	65
(中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所 胡国渊)	
第一节 突触传递概说	65
一、化学突触传递和神经递质	65
二、鉴定神经递质的标准	65
第二节 突触传递的分子机制	67
一、神经递质的生物合成和贮存	67

二、神经递质共存	68
三、神经递质的释放和 SNARE 复合体	69
四、神经递质的灭活	70
第三节 神经递质的作用方式和神经精神药物的作用靶标	71
一、神经递质和神经调质	71
二、神经精神药物的作用靶标	72
第四节 氨基酸类神经递质	73
一、谷氨酸	73
二、 γ -氨基丁酸	77
第五节 生物胺类神经递质	79
一、多巴胺	79
二、去甲肾上腺素	82
三、5-羟色胺	84
四、组胺	86
五、乙酰胆碱	88
第六节 嘌呤类神经递质	91
第七节 神经肽	93
一、神经肽的合成、释放和灭活	94
二、神经肽受体及信号转导机制	94
三、脑内神经肽的生理功能及相关疾病	94
四、影响脑内神经肽系统的药物	96
第八节 非典型性神经递质	96
第五章 神经受体药理学	99
(中国科学院·上海生命科学院上海药物研究所 池志强)	
第一节 受体的基本概念	99
一、受体的研究历史	100
二、受体的定义	100
第二节 受体的特性	101
第三节 受体的调节	103
第四节 配体与受体相互作用的若干学说	104
一、占领学说	104
二、速率学说	107
三、诱导契合学说	107
四、两态模型学说	107
第五节 受体的研究方法	108
一、离体器官生物检定法	108
二、放射配体受体结合分析法	109
三、有关受体结合研究中的几个问题	109

第六节 受体的多型性	112
第七节 受体分子结构研究方法	114
一、DNA 经典克隆方法	114
二、功能表达的筛选方法	115
三、低严谨杂交法	115
第八节 几种重要的受体家族	115
一、G 蛋白耦联受体家族	115
二、酪氨酸激酶受体家族	118
三、配体门控离子通道受体家族	120
四、细胞核激素受体	121
五、细胞因子受体家族	121
六、其他酶受体	122
第九节 G 蛋白耦联受体二聚化的研究	122
一、G 蛋白耦联受体二聚体研究方法	123
二、G 蛋白耦联受体二聚体的分类	123
第十节 G 蛋白耦联受体固有活性的研究	125
一、G 蛋白耦联受体固有活性及反相激动剂概念	125
二、G 蛋白耦联受体固有活性研究进展	126
三、G 蛋白耦联受体固有活性与新药开发	127
第十一节 第二信使与细胞内信号转导	128
一、cAMP	128
二、 Ca^{2+}	129
第十二节 受体研究的前景展望	129
第六章 神经离子通道药理学	132
(山东大学药学院新药药理研究所 张庆柱)	
第一节 细胞离子通道	132
一、基本概念	133
二、离子通道类型及结构	134
三、离子通道生理功能	136
第二节 钠通道及其神经系统作用药物	137
一、电压依赖性钠通道	137
二、 N_2 胆碱受体耦联的钠通道	139
第三节 钾通道及其神经系统作用药物	139
一、电压依赖性钾电流	140
二、 Ca^{2+} 激活的钾电流	142
三、其他类型的钾电流	143
第四节 钙通道及其神经系统作用药物	144
一、钙通道	144

二、作用于钙通道的药物	144
第五节 氯通道及其神经系统作用药物	145
一、电压依赖性氯通道	147
二、钙激活氯通道	149
三、配体激活氯通道	150
第六节 H^+ -门控性阳离子通道及其神经系统作用药物	153
第七章 神经细胞内信号转导	157
(中国医学科学院·中国协和医科大学药物研究所 张均田)	
第一节 信号转导类型及其主要功能	159
第二节 信号转导的基本过程	160
一、第一信使	161
二、第二信使	162
三、第三信使	162
四、第四信使	162
第三节 第二信使及其信号转导途径	163
一、环腺苷酸	163
二、环鸟苷酸	165
三、磷酸肌醇和二酰甘油	166
四、花生四烯酸	167
五、钙离子	168
第四节 酪氨酸蛋白激酶途径	168
第五节 细胞分裂素激活的蛋白激酶通路	170
第六节 胞浆内受体信号转导途径	170
第七节 学习记忆功能与信号转导途径	172
一、学习的行为环路与信号转导途径	172
二、cAMP/PKA 信号转导途径	174
三、NO/cGMP 在学习记忆中的作用	175
四、哺乳动物的记忆形成	177
第八节 神经精神疾病与信号转导途径	178
一、老年痴呆症的信号转导途径	178
二、应激引起抑郁症的信号转导途径	179
第九节 细胞毒性级联反应和神经保护信号转导途径	182
一、细胞损伤因子和神经保护物质	182
二、神经保护信号转导途径	183
第八章 神经细胞钙通道及内钙调控	186
(军事医学科学院毒物药物研究所 杨胜 张永祥)	
(山东大学药学院新药药理研究所 张庆柱)	
第一节 细胞内钙离子	186

一、造成 $[Ca^{2+}]_i$ 上升的途径	186
二、造成 $[Ca^{2+}]_i$ 下降的途径	187
第二节 电压依赖性 Ca^{2+} 通道	187
一、起源	188
二、编码基因	188
三、蛋白分子结构	189
四、亚型的电生理学特点	190
五、功能定位	192
六、在中枢神经系统递质释放中的作用	192
七、新型电压依赖性 Ca^{2+} 通道拮抗剂	193
第三节 受体耦联的 Ca^{2+} 通道	194
一、NMDA 受体的组成与结构	194
二、NMDA 受体的转运	195
三、NMDA 受体的分布	196
四、NMDA 受体的调节因素	196
五、NMDA 受体的生理病理作用	198
六、NMDA 受体药理学	200
第四节 细胞内 Ca^{2+} 通道	202
一、 IP_3 R 通道	202
二、RyR 通道	203
三、 IP_3 R 和 RyR 两系统的关系	204
四、其他受体/钙通道	204
第五节 神经细胞内钙调控机制	205
一、细胞内 Ca^{2+} 的储存与释放	205
二、细胞内 Ca^{2+} 诱导的 Ca^{2+} 释放	207
三、 Ca^{2+} 缓冲	207
四、 Ca^{2+} 外排	208
第六节 神经胶质细胞的钙信号	209
第七节 钙敏感信使	209
一、钙调蛋白依赖性蛋白激酶	209
二、钙调蛋白依赖的腺苷酸环化酶	210
三、 Ca^{2+} 激活 Ras 信号通路	210
第八节 细胞内钙超载与神经系统疾病	211
一、神经细胞内钙超载	211
二、钙超载与神经退行性疾病	211
第九节 钙调控剂对神经系统疾病的治疗学意义	212