

分子神经生物学

Fenzi Shenjing Shengwuxue

陈宜张 主编

人民军医出版社

分子神经生物学

Fenzi Shenjing Shengwuxue

主 编 陈宜张

副主编 邢宝仁 傅 红

编 者 (以姓氏笔画为序)

刘 秀 邢宝仁 陈宜张

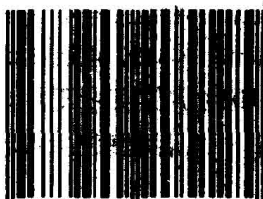
陆芳民 吴炳义 宋 玲

宋亮年 汪 文 张义声

郭 红 顾 勤 曹 毅

傅

ISBN 7-80020-512-6



9 787800 205125 >

人民军医出版社

1995 • 北京

(京)新登字 128 号

图书在版编目(CIP)数据

分子神经生物学/陈宜张等编著. —北京:人民军医出版社, 1995. 9

ISBN 7-80020-512-6

I. 分… I. 陈… III. 神经生理学:分子生物学 N. Q4
2: Q7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 10413 号

人民军医出版社出版

(北京复兴路 22 号甲 3 号)

(邮政编码: 100842 电话: 8222916)

北京印刷学院实习工厂印刷

新华书店总店北京发行所发行

*

开本: 787×1092mm 1/16 · 印张: 25.25 · 字数: 612 千字

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月(北京)第 1 次印刷

印数: 1~3000 定价: 58.00 元

ISBN 7-80020-512-6/R · 452

[科技新书目: 340-213④]

(购买本社图书, 凡有缺、损、倒、脱页者, 本社负责调换)

内 容 提 要

为满足广大神经生物学工作者迫切希望了解分子神经生物学的愿望,作者在参阅美国 Hall ZW 的分子神经生物学专著,广泛涉猎有关科研成果的基础上,从神经系统、神经系统的细胞、神经系统中的基因调节、神经元的蛋白质合成、神经电信号的传输、离子通道、突触部位的化学信使、神经末梢、神经信号转递中的 G 蛋白与受体、第二信使及神经元功能、神经元细胞骨架、髓鞘及髓鞘形成、神经系统分子发育的调控、突起长出和连接的特异性、神经元——靶细胞的相互作用、神经可塑性的细胞和分子机制、分子技术与神经系统疾病共 17 个方面详细介绍了分子神经生物学的最新研究成果,为人们认识人脑的奥秘指出了新的思路,提供了新的手段。

本书主要读者对象为从事神经解剖学、神经生物学、神经生理学的研究人员、研究生、以及仿生学等相关专业的科技工作者和医学生等。

责任编辑 黄桐兵 杨磊石

序

分子生物学理论与技术的发展,影响着近数十年来生命科学各个分支的发展,神经生物学也不例外。人类渴望了解人脑功能,这是科学家及全人类长期的愿望与梦想。但神经系统功能十分复杂,具有不同功能的分子数量非常多,神经组构的部位特异性很强,因此使分子生物学在神经科学中的运用碰到一些特殊的困难。即令如此,近 10~20 年来分子生物学对神经科学的冲击仍是相当巨大的,且两个学科汇合的势头日益强劲。

我国广大神经生物学工作者迫切希望能对分子神经生物学有一轮廓的了解,本书就是试图为满足这一需求而写作的。美国 Hall ZW 编著的分子神经生物学一书,内容新颖,取材独到,是一本很好的专著。我们主要参阅了该书,并在此基础上对有关内容作了较广泛的补充。本书共分 17 章;第 1、2 章介绍了神经细胞及神经系统的结构与功能,包括个体及种系发生;第 3、4 章介绍了神经元内的蛋白合成及 DNA 转录为 mRNA 的调控;第 5~8 章讨论了神经元电信号传送及信使从末梢的释放;第 9、10 章讨论了来自细胞外部的第一信使通过受体改变神经细胞的胞内活动;第 11、12 章讨论了神经元及胶质特异的细胞器的活动及调控;第 13~15 章主要介绍了发育神经生物学的分子生物学问题;第 16 章讨论了神经系统非常独特的活动—可塑性的机制;第 17 章介绍了基因诊断与基因治疗在神经、精神疾病中的应用。如果此书问世,对于神经生物学工作者能有所裨益,将使我们宽慰。

任何一种新技术、新基本理论的出现,必然会带来观念上的更新。Golgi 染色方法曾被 Gajal 巧妙而精湛地运用,为他建立神经元学说辅平了道路;阴极射线示波器及其他电子仪器陆续引入神经生物学,导致了本世纪 30~60 年代神经生理学的蓬勃发展;Erlanger, Gasser, Hodgkin, Eccles, Katz 等一代宗师正是在这些技术的基础上,深刻揭示了神经传导与传递的奥秘;生物化学技术的广泛应用,使得人们对神经递质与神经肽的研究达到新的水平;Von Euler, Axelrod, Guillemin, Schally, Yallow 等人的贡献,为分子生物学与神经学结合提供了条件与基础。现代分子神经生物学正是在上述基础上,在分子生物学与计算机技术飞速发展的条件下产生与发展的。今天,我们正在研究离子通道及受体的分子结构、突触部位双向性相互影响的分子基础、神经系统发育及成熟后表面标志分子性质与作用、Huntington 病和 Duchene 病的分子及遗传缺陷的基因定位等等问题。回顾历史,使我们对于认识人脑的奥秘更加充满信心。

必须指出,采用新技术可以开阔人们的眼界,因此,任何有用的技术,只要是为说明问题所必需,都应被利用。我们运用分子生物学技术正是为了解决神经生物学中的具体问题。

本书的编译是集体协作的结果,没有大家的努力,在短时期内完稿将是十分困难的。王亚云和陆芳民同志对于本稿的整理作了特别多的贡献;宋石膏、何振成、叶阿莉、刘惠英等同志为完成图稿起了重要作用;本校教务部、基础医学部在经费上给予资助。我愿借此机会向他们致

谢。

我们对于分子神经生物学的了解还不够深刻,在工作中运用它也刚起步,由于学识水平所限,遗漏、缺点与错误在所难免,望读者不吝赐教。幸甚!

陈宜张

1994年2月15日·上海

目 录

第一章 神经系统	陈宜张(1)
一、分子神经生物学是神经系统研究的一个层次	(1)
二、中枢神经系统的组构	(3)
三、神经系统的发育.....	(11)
四、无脊椎动物的神经系统.....	(18)
五、小结.....	(19)
第二章 神经系统的细胞	陈宜张(21)
一、神经元与突触.....	(21)
二、神经元的信号传送.....	(26)
三、神经元的细胞生物学.....	(30)
四、胶质.....	(35)
五、小结.....	(36)
第三章 神经系统中的基因调节	陈宜张(38)
一、基因调节层次及转录.....	(38)
专栏 3-A 序列特异性 DNA 结合测定:足迹法、凝胶转移法及其他	(42)
二、fos 及 jun	(43)
专栏 3-B 基于转染的转录活性测定法	(46)
三、CREB	(47)
四、甾体激素及甲状腺素受体.....	(48)
五、同源盒蛋白及其变异体.....	(49)
专栏 3-C 从增强子到转录因子	(54)
六、小结.....	(57)
第四章 神经元的蛋白质合成	吴炳义(59)
一、前体 mRNA 的剪接	(59)
二、神经元的蛋白质合成.....	(63)
三、小结.....	(68)
第五章 神经元电信号的传输	邢宝仁(70)
一、离子通透性和膜电位.....	(70)
二、静息电位.....	(75)
专栏 5-A:细胞内记录	(77)
专栏 5-B:董南平衡	(77)
三、动作电位.....	(80)

专栏 5-C:电压箱	(82)
专栏 5-D:膜片箱	(84)
四、突触电位	(92)
五、神经递质的释放	(96)
六、小结	(99)
第六章 离子通道	陆芳民(102)
一、膜的离子通透性	(102)
专栏 6-A 缝隙连接	(104)
二、配基门控的离子通道	(107)
专栏 6-B 电鱼的电器官:神经化学家的梦	(108)
专栏 6-C 爪蟾卵母细胞:卵里的突触	(115)
三、电压调节的通道	(117)
四、小结	(125)
第七章 突触部位的化学信使	刘 秀(128)
一、快速和缓慢化学传递	(128)
二、神经递质的确定和定位	(131)
专栏 7-A 下丘脑释放激素	(132)
专栏 7-B 阿片肽及其受体	(133)
三、肽类递质的合成和贮存	(138)
专栏 7-C CGRP:由克隆技术发现的一种新的神经肽	(143)
四、肽的生理作用	(144)
五、小结	(146)
第八章 神经末梢	顾 勤(149)
一、递质的合成及贮存	(149)
二、递质的释放及控制	(155)
专栏 8-A 非神经系统中的膜融合机制	(160)
三、恢复:递质失活及囊泡再循环	(166)
四、小结	(169)
第九章 神经信号传递中的 G 蛋白与受体	郭 佐(171)
一、受体通过 GTP 催化激活 G 蛋白	(172)
专栏 9-A 受体催化的核苷酸交换:奇妙的非共价催化作用	(172)
二、G 蛋白是异构三聚体,其 α 、 β 、 γ 亚单位的功能既彼此独立又互相影响	(174)
专栏 9-B GTP 结合蛋白的超家族执行不同的细胞功能	(176)
专栏 9-C 受体介导的抑制 G 蛋白活化的机制	(177)
三、G 蛋白偶联受体:跨质膜传递信息	(177)
专栏 9-D 受体的分类:类型与亚型, K _d , 克隆	(179)
四、效应蛋白:调节第二信使的酶、通道或转运蛋白	(180)
专栏 9-E 核苷酸类似物、毒素和氟离子是研究 G 蛋白介导的信号 传递和非常有价值的探针	(184)

五、G 蛋白是分支信号加工网络的基础	(185)
六、脱敏:复杂途径的复杂反馈调节	(187)
七、小结	(189)
第十章 第二信使及神经元功能	陈宜张 (191)
一、环核苷酸 cAMP 及 cGMP	(191)
专栏 10-A 蛋白激酶类的调节基序	(194)
专栏 10-B cGMP 及其对光线的反应	(198)
二、由 4,5 二磷酸磷脂酰肌醇水解产生的第二信使	(200)
三、钙离子	(201)
专栏 10-C 钙调蛋白的结构	(205)
专栏 10-D 突触素 I 的磷酸化及递质释放	(208)
四、花生酸类	(212)
五、酪氨酸蛋白激酶(PKT)	(213)
六、蛋白磷酸酶	(213)
七、经过多条第二信使通路的调节	(216)
八、第二信使能调节基因表达,由此赋予突触传递以长时程效应	(219)
九、小结	(220)
第十一章 神经元细胞骨架	宋亮平 曹毅 (223)
一、神经元内细胞骨架构成与组装	(223)
二、大分子的运输	(229)
专栏 11-A 视频显微镜	(230)
三、神经突起的延伸和生长锥的能动性	(233)
四、神经元的极性与特化区域	(239)
五、小结	(244)
第十二章 髓鞘及髓鞘形成	陈宜张 (247)
一、髓鞘的结构与功能	(247)
二、髓鞘基因及髓鞘遗传学	(250)
专栏 12-A 无脊椎动物神经分化研究得益于经典及分子遗传学手段	(253)
三、髓鞘生成细胞的分化	(261)
专栏 12-B 免疫选择及神经免疫学	(262)
四、小结	(265)
第十三章 神经系统发育的分子调控	傅 红 (267)
一、神经元特征性的分子调控	(268)
专栏 13-A 细胞染蓝术	(268)
专栏 13-B 遗传镶嵌分析	(272)
二、神经元发育过程中细胞数量的控制	(277)
三、神经系统中细胞分化时间的控制	(279)
四、细胞分化的格局化和空间控制	(281)
专栏 13-C 增强子圈套:细胞标志和突变	(281)

专栏 13-D 果蝇胚胎的格局化	(286)
五、小结	(289)
第十四章 突起长出和连接的特异性 张义声	(292)
一、长出的导引	(292)
专栏 14-A Sperry 的遗产.....	(293)
专栏 14-B 控制神经突生长的保险系数	(301)
专栏 14-C 神经细胞表面标志物	(305)
二、连接的特异性	(308)
三、小结	(317)
第十五章 神经元—靶细胞的相互作用 宋玲 汪文	(322)
一、突触形成	(322)
二、神经元表型的控制	(330)
三、神经元寿命和死亡:营养因子.....	(334)
专栏 15-A Rita Levi-Montalcini 与 NGF 的发现	(335)
四、小结	(342)
第十六章 神经元可塑性的细胞和分子机制 张义声	(345)
一、海兔(Aplysia)反射通道内的短时程和长时程突触调制	(345)
专栏 16-A cAMP 依赖性蛋白激酶对钾通道的调制	(348)
二、哺乳类海马内的长时程增强	(352)
三、小结	(359)
第十七章 分子技术与神经系统疾病 宋亮年	(361)
一、神经系统中的遗传疾病	(361)
专栏 17-A 优势对数分析法	(364)
专栏 17-B 分子诊断池使肿瘤治愈	(371)
二、动物模型	(373)
专栏 17-C 吸毒者为巴金森氏病提供线索	(374)
专栏 17-D 女英杰与慢性进行性舞蹈病	(376)
专栏 17-E 在酵母及小鼠中进行同源重组	(379)
三、基因治疗	(381)
四、小结	(383)
附录:名词术语英汉对照检索	(386)

第一章 神经系统

一、分子神经生物学是神经系统研究的一个层次

神经生物学是从多水平来研究神经系统结构与功能的一门科学。人脑是生物进化的最高级产物,弄清楚人的神经系统是如何工作的,不仅是为了了解人类自身,同时也是为了仿生开发人类智慧。它可以从不同层次来研究神经系统的工作:首先人们希望知道大量神经元的相互作用是怎样产生机体复杂行为的?例如,人的眼睛怎样才能跟踪运动的目标,其次可以研究单个神经元有什么特性,它们间的相互作用怎样,例如光感受器接受光线刺激后是如何把信息传送到中枢神经系统的?最后可以从分子水平或分子生物学的层次研究神经系统。当然在这些层次之间还可以有中间层次(图 1-1)。

分子神经生物学着重研究神经系统内的各种分子的结构与功能,尤其是应用分子生物学的理论和手段来研究它的构成和功能。神经系统内有多少种分子,有多少种神经特异性分子,它们是怎样产生的,它们的多样性从何而来,这些分子的活动,例如离子通道、受体等,又是如何决定神经活动的,它们是哪些基因表达的产物?等等。以上仅是就一个已发育成熟的神经系统的结构和功能而言。从发育生物学的角度,我们还应了解:成长着的神经突起是如何组成为传导束的?哪些分子决定与诱导了神经元的分化?神经系统发育过程中怎样表现出各种类型的同源性框架等等。

当我们了解神经元及胶质细胞活动的分子基础之后,有朝一日我们也一定会更好地了解在复杂的神经回路中神经系统如何调节着我们自己的机体,如何把信息储存起来成为记忆,我们的情绪是怎么一回事,我们的创造力,我们的有意识的理解又是怎么一回事。分子神经生物学研究已经并必将吸引众多的科学家来探究人类认识自我的这一大课题。

分子神经生物学研究是数百年来神经生物学研究的继续(表 1-1)。近 20 年来分子生物学、生物物理学及神经解剖学的新方法使我们对神经元的了解为之改观,同时也使现代生物学为之改观。以前仅能从细胞水平了解的现象,现在可以从分子水平进行认识了。人们惊异地发现:原来自然是如此保守,不同的细胞完成了种种的功能。但它们所使用的分子却是相似的。例如,就突触传递来说,多种突触完成种种功能,但是它们所利用的蛋白分子却是有限的几类(图 1-2)。

表 1-1 神经生物学研究发展的重大事件

年 代	主要研究或论述
公元前?	中国古代书籍“孟子”中论述了脑的功能“心之官则思”
公元前 600~40	希腊古代哲学家描述了思想与灵魂;思想有赖于脑(或心?)
1543	Vesalius 准确地描述了人类神经系统的大体解剖
1637	笛卡儿(Descartes)认为脑的功能与机器相似,他提出了反射学说;他认为脑的功能与灵魂有关,但是独立的
1789	Galvani 发现了神经活动的电变化
1851	Bernard 提出了内环境恒定学说
1891	Cajal 及其他作者等确定,神经系统是由独立的神经细胞组成的,这些神经细胞连接在一起组成神经通路
1897	Sherrington 提出突触的概念,他认为这是神经元之间相互交流信息的场所
1902	Pavlov 提出了高级神经活动的条件反射理论
1920s	Langley, Loewi, Dale, 及其他许多作者确定了,这递质是一种在突触部位起信使作用的化学物质
1920s, 1930s	Adrain, Gasser, Erlanger 等运用弦线电流计、阴极射线示波器等电学仪器,详尽地研究了神经动作电位的快速变化及其对兴奋性的影响
1940s	Shannon, Weaver 及 Wiener 等引入了信息加工的概念及控制论(cybernetics)的观点
1950s	Hodgkin, Huxley, Katz 及 Eccles 应用细胞内微电极精确地记录了神经元的电活动,电镜研究揭示了突触及神经元的细微构造。Mountcastle, Lettvin, Hubel, Wiesel, Kuffler 等对脑功能在细胞水平作了深入的分析
1950s, 1960s	对树突的功能开始重视,并逐渐认识到它在神经整合中的作用
1960s, 1970s	Von Euler, Axelrod, Guillemin, Schally 等人的工作, Yarrow 所创立的放射免疫测定法,使神经系统中各项活性物质的研究大大深入,神经调制物及第二信使的发现,使人们知道神经元相互作用有更长的时程,更为复杂,神经肽的作用受到高度重视
1970s	计算机化的影象技术应用于脑研究,使人的认知与感觉可与脑活动的直接视见平行观察 分子生物学方法引入神经研究, Neher 及 Sakmann 创立的膜片箝方法既拓宽了电生理研究领域,又在电生理与分子生物之间架起了桥梁
1970s, 1980s	学习记忆及神经系统可塑性的研究,由于找到合适的简单神经系统回路而大为发展
1980s	计算机技术及人工智能研究进展,使神经系统的复杂功能如视觉、语言、记忆、逻辑等有建立真实模型的可能
1980s, 1990s	离子通道、受体、转运子(载体)·G 蛋白以及细胞外基质分子的分子生物学研究突飞猛进

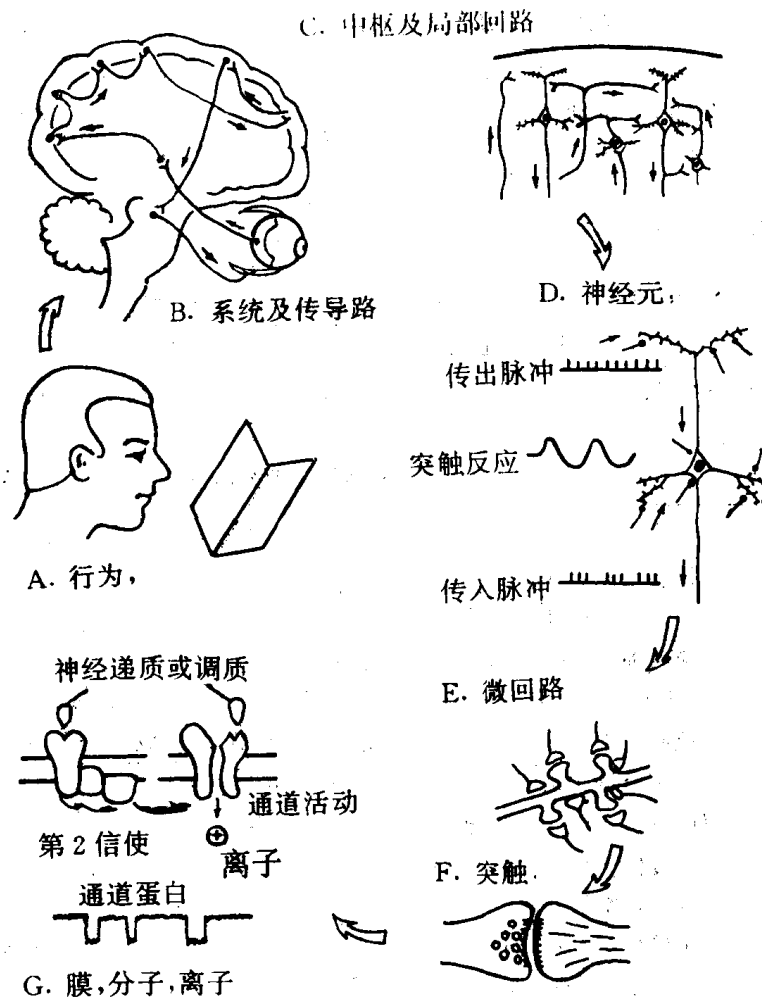


图 1-1 从不同层次研究神经系统

A. 读一页书是一个行为; B. 人脑侧面观, 显示从眼睛开始到引起感觉, 理解所看到的内容, 以及通过运动传导径引起眼球运动; C. 皮层一个区内神经元形成局部回路; D. 神经元是一个功能单位, 传入冲动引起兴奋及抑制性突触后电位然后经由神经元整合后调控其冲动的输出; E. 微回路中的突触连接; F. 一个突触就是一个复杂的输入-输出单元; G. 突触传递牵涉到许多离子通道、递质及递质受体等分子

二、中枢神经系统的组构

脊椎动物或无脊椎动物的神经元及胶质经过精细的组构成为具有三维结构的神经系统。神经系统的组构反映了功能的需要。从最简单到最复杂的神经系统, 其所含的神经元分成三类: 感觉神经元检测机体内、外环境中所发生的变化, 并把信息传递到中间神经元, 后者的任务是把感觉信息组构、加工并储存, 最后把指令传给运动神经元, 由它去指挥神经系统的效应器,

即肌细胞或腺细胞。简单的生物如土壤线虫 *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*) 只有 305 个神经元就组成了它的神经系统,而哺乳动物的神经系统则由 10^{12} 个神经元组成。哺乳动物的运动及感觉神经元都比线虫的要多得多,但是使哺乳动物中枢神经系统变得如此复杂的原因主要是中间神经元。

脊椎动物的神经系统较无脊椎动物的要复杂的多,也要大些,含有更多的细胞。脊椎动物最明显的特征是在动物头部有一个很大的脑。成人脑的重量可达 1300g。脊椎动物的中枢神经系统(包括脑和脊髓)支配肌肉及其他器官的神经仍显示节段特点,神经系统的节段性组构似乎也是发育中神经系统的重要特点。

(一) 哺乳动物中枢神经系统六大部分

哺乳动物的中枢神经系统可分为六大部分:脊髓、延髓及脑桥、小脑、中脑、间脑、大脑半球(表 1-2,图 1-3,图 1-4)。其中延髓、脑桥及小脑在脑的发生上属于后脑,中脑在发生过程中变动较小。延髓、脑桥及中脑三者合称脑干。大脑半球及间脑属于前脑(参看图 1-14,图 1-15)。

表 1-2 中枢神经系各部分的基本功能

部位	基 本 功 能
脊髓:	中枢神经系统(CNS)的最尾端部分。它控制躯干及肢体的运动,接受并处理来自躯干、肢体的肌肉、关节及皮肤的感觉信息。
脑干:	脊髓向嘴侧延续为脑干,脑干接受头部皮肤、肌肉的感觉信息,并控制头部肌肉运动,脑干内还含有颅神经核,这些神经核中,有的接受头部肌肉及皮肤的信息,有的控制面部、颈部及眼的运动,更有一些核管理特殊感觉:听、平衡及味觉。此外,脑干把脊髓的信息上传到脑,把脑内的信息下传到脊髓;它也调节觉醒及意识的程度,这是通过弥散组构的网状结构来实现的。
延髓:	它直接位于脊髓上方,包括数个控制生命活动如呼吸及心跳的中枢等。
脑桥:	它位于延髓上方,传送从大脑到小脑有关运动的信息。
小脑:	位于脑桥后方,它通过称为小脑脚的三个粗传导束与脑干相互联系。小脑调制运动的力量与范围,并且参与运动技巧的学习。
中脑:	它位于脑桥嘴侧,管理许多感觉及运动功能,包括眼球运动及视、听反射的协调。
间脑:	它位于中脑的嘴侧,主要包括两个结构。一个是丘脑,负责处理从中枢神经系统其他部分到达大脑皮层的信息;另一个是下丘脑,调节自主、内分泌及内脏功能。
大脑半球:	它包括大脑皮层及位于深部的三个结构,即基底节、海马及杏仁核,基底节参与运动实施的调节,海马与记忆储存有关,杏仁协调与情绪状态有关的自主性及内分泌反应。

从脊髓到脑的分部反映了神经系统组构的层次。大致说来,由脊髓上行直到大脑皮层,传送的是有关感觉的信息,而从大脑皮层下行直到脊髓,传送的是有关运动控制的信息。

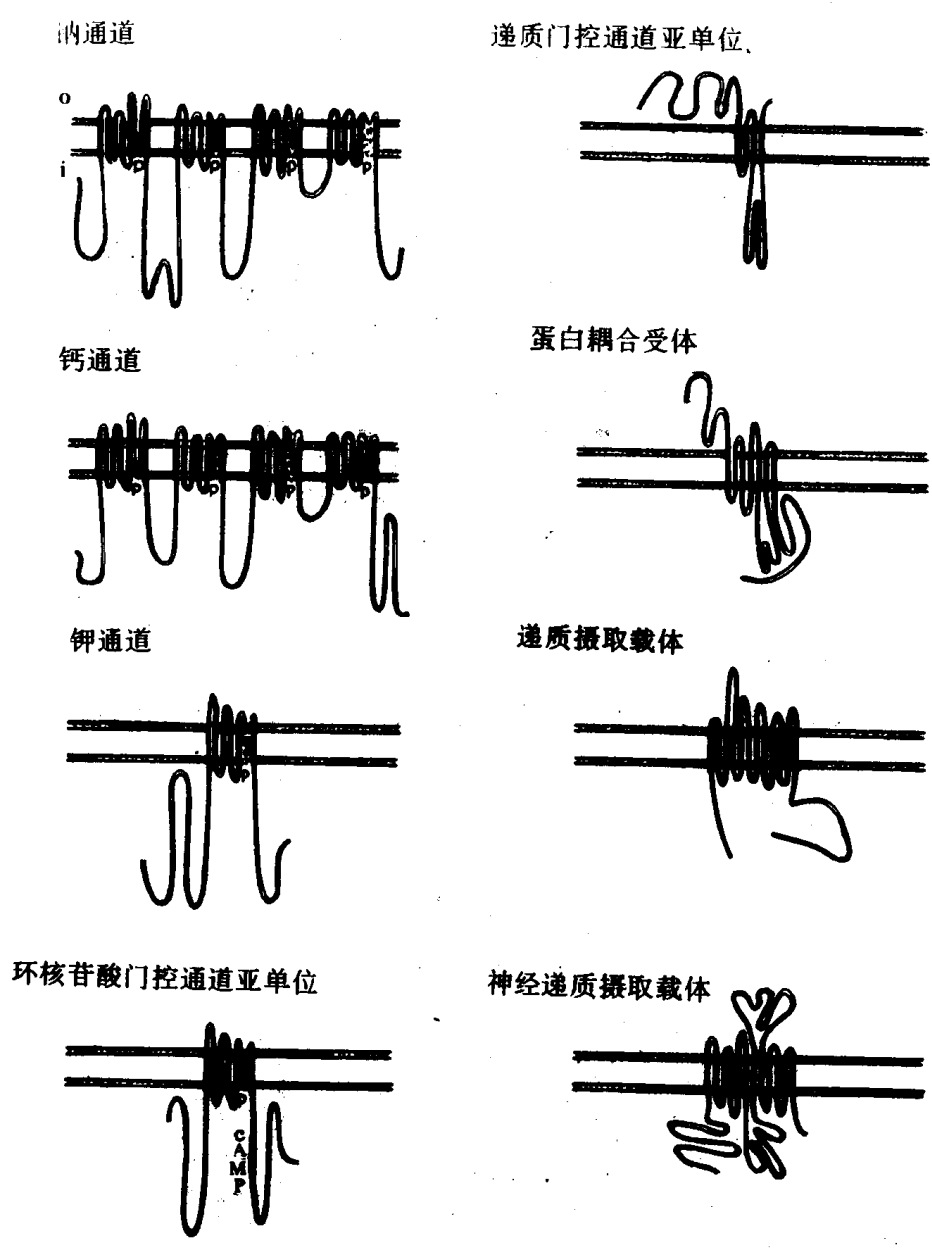


图 1-2 控制突触功能的一些蛋白

图示某些离子通道、神经递质受体、转运子在细胞膜上的拓扑学位置。转运子的作用是介导递质存储、释放及神经对递质的反应。钾通道及递质门控通道仅示其一个亚单位的结构，实际上一个通道的功能需要 4 或 5 个同源或异源多聚体复合物。跨膜拓扑学中 0 表示细胞外面，i 表示细胞内面。 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 及 K^+ 环核苷酸门控通道中的 P 代表疏水域，它插入膜内并成为决定离子选择性孔的壁。环核苷酸门控通道的细胞内环核苷酸结合位点显示于图中 cAMP 处

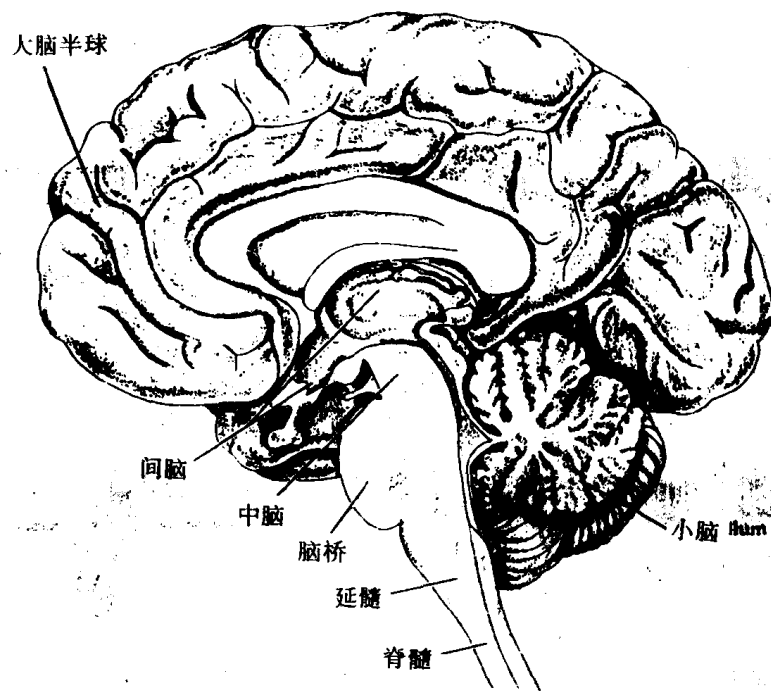


图 1-3 脊椎动物中枢神经系统的主要部分经过人脑的正中矢状切面。

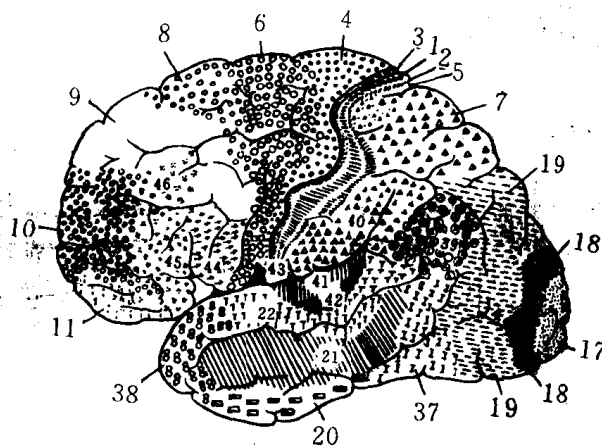


图 1-4 人大脑外侧面观显示 Brodmann 分区

根据细胞结构及排列,脑外侧面的分区以数字表示。4 区位于前中央回,是运动皮层。初级躯体感觉皮层在中央后回,分为 3、1、2 三个区。17 区是初级视皮层。初级听皮层包括 41、42 两区。8、9、10、11 区为前额叶联络皮层,19、21、22、37、39 及 40 区为顶颞枕联络皮层

(二) 神经系统中的不同细胞按照解剖学特征和功能不同而聚集成群

中枢神经系统神经元按其功能不同而聚集。在小脑及大脑皮层,神经元按照组织学构筑的不同层次,每层所含细胞各有其特异的连接关系及功能意义。在神经系统其他部分,凡神经元比较集中的部位称为神经核。大、小脑皮层切面在新鲜脑上呈灰色,故称为灰质。相反,凡是髓鞘轴突比较集中的地方,由于髓鞘富含脂质,脑切片上呈白色,因此称为白质。脑中轴的某些部位白质与灰质相间,称为网状结构。在中枢神经系统内,有许多上传、下行的传导束,也属于白质,它们往往是由功能上相同、抵达部位相同的轴突的集中所形成。

外周神经系统指脑及脊髓以外的神经元及突起的总称。外周神经系统中的神经胞体聚集在一起形成神经节:感觉神经节及植物性神经节。外周神经系统负责感觉信号向脑及脊髓的传入及把传出(运动)信号传向肌肉及器官。

脊髓是低级神经中枢,在这里实现各种反射活动。从脊髓的横切面上(图 1-5)可看到位于中央的呈 H 形的灰质,其余部分为白质,灰质部分含神经元胞体及突触,而白质部分主要是有髓或无髓轴突。在白质中,上、下行的轴突把信息分别自脊髓传向脑及自脑传向脊髓,或者在脊髓不同水平之间传输信息。感觉轴突从背侧经背根进入脊髓,而运动性轴突则自脊髓腹侧经前根发出。感觉神经节位于脊髓背侧,故称背根神经节。每个节段的脊髓都有背根与腹根,它们两者聚合在一起成为功能性不同的混合神经。自肌肉牵张感受器来的传入纤维,进入脊髓后直接与运动神经元形成突触联系,并起兴奋作用,这样就组成单突触反射。多数感觉传入支配脊髓的中间神经元,然后经过中间神经元去激活运动神经元,或者把信息上传到脑。

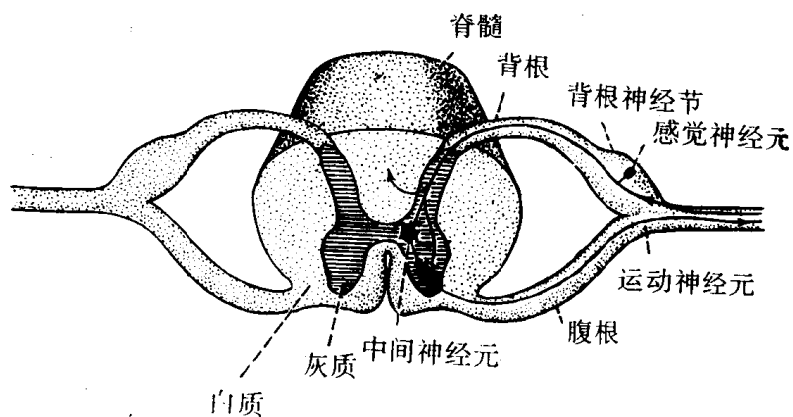


图 1-5 脊椎动物脊髓切面图解

感觉神经元的胞体在背根神经节,其轴突经背根走入运动神经元发生突触连系,也可向其他节段投射。运动神经元的轴突经腹根走向外周

脑和脊髓内的某些中间神经元,仅在该部位内部与其他神经元发生突触关系,因此称为局部回路神经元。相反,凡是轴突伸展到局部以外的脑区或脊髓的神经元,则称为投射神经元。

神经元为什么能按功能不同而分别地聚集起来,功能上相同的轴突为什么集合在一起而形成传导束,这些都是分子生物学与发育生物学所应该回答的问题。