

Stahl's Essential Psychopharmacology

Neuroscientific Basis and Practical Applications

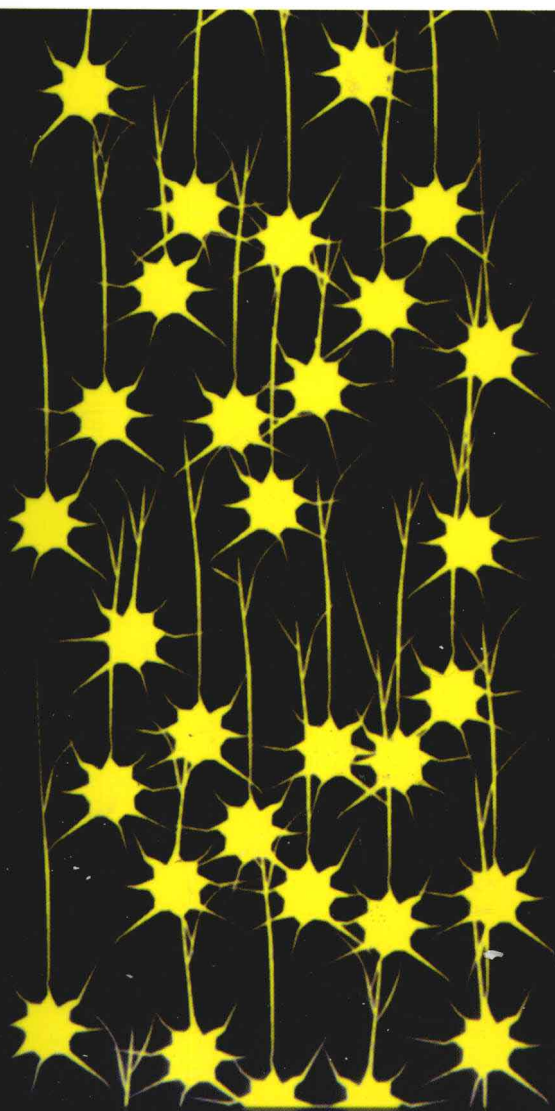
Stahl精神药理学精要

神经科学基础与临床应用

(第3版)

原著 Stephen M. Stahl

主译 司天梅 黄继忠 于欣



北京大学医学出版社

CAMBRIDGE

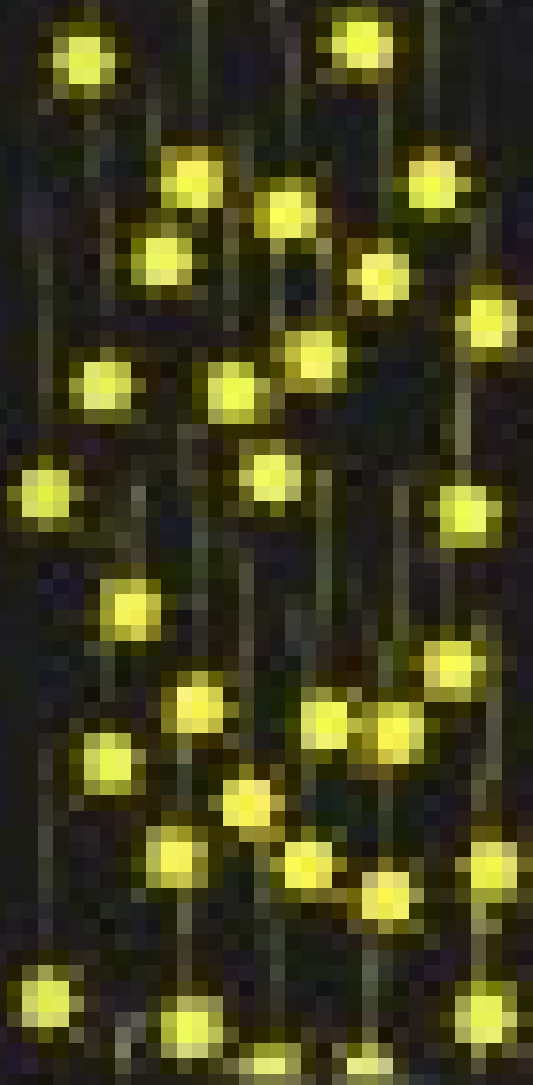


5. 如何將神經的醫學知識 轉成醫學基礎與臨床應用

◎ 邱仁宗

原職：臺灣大學醫學院神經科

現職：臺灣大學醫學院神經科 醫師



神經醫學基礎與臨床應用

1000000000

Stahl's Essential Psychopharmacology
Neuroscientific Basis and Practical Applications

Stahl 精神药理学精要

神经科学基础与临床应用

(第3版)

原 著 Stephen M. Stahl

主 译 司天梅 黄继忠 于 欣

译者名单 (按姓氏拼音排序)

邓 红 (四川大学华西医院心理卫生中心)

郝 伟 (中南大学湘雅二医院)

黄继忠 (上海市精神卫生中心)

李晓白 (中国医科大学附属第一医院)

马燕桃 (北京大学精神卫生研究所)

潘集阳 (暨南大学附属第一医院)

司天梅 (北京大学精神卫生研究所)

王华丽 (北京大学精神卫生研究所)

杨 莉 (北京大学精神卫生研究所)

于 欣 (北京大学精神卫生研究所)

原岩波 (北京大学精神卫生研究所)

赵靖平 (中南大学湘雅二医院)

秘 书 苏允爱 郭春梅



北京大学医学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

Stahl 精神药理学精要：神经科学基础与临床应用：
第 3 版/(英) 斯塔尔 (Stahl S. M) 原著：司天梅，黄继忠，于欣译。
—北京：北京大学医学出版社，2011. 9

书名原文：Stahl's Essential Psychopharmacology：
Neuroscientific Basis and Practical Applications, 3rd
ISBN 978-7-5659-0246-8

I. ①S… II. ①斯… ②司… ③黄… ④于…
III. ①精神药理学 IV. ①R964

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 161733 号

北京市版权局著作权合同登记号：图字：01-2010-4972

Stahl's Essential Psychopharmacology: Neuroscientific Basis and Practical Applications, 3rd edition
(ISBN 9780521673761)

by Stephen M. Stahl

First published by Cambridge University press 2008

All rights reserved.

This Simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Peking University Medical Press 2011

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press or Peking University Medical Press. This edition is for sale in the mainland of China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan, and may not be bought for export therefrom.

此版本仅限中华人民共和国境内销售，不包括香港、澳门特别行政区及中国台湾。不得出口。

Stahl 精神药理学精要：神经科学基础与临床应用 (第 3 版)

主 译：司天梅 黄继忠 于 欣

出版发行：北京大学医学出版社 (电话：010-82802230)

地 址：(100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址：<http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷：北京画中画印刷有限公司

经 销：新华书店

责任编辑：许 立 韩忠刚 陈 奋 责任校对：金彤文 责任印制：张京生

开 本：889mm×1194mm 1/16 印张：55 字数：1665 千字

版 次：2011 年 10 月第 3 版 2011 年 10 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978-7-5659-0246-8

定 价：588.00 元

版权所有，违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

译者前言

精神药理学是一门年轻的学科。1952年，偶然在临床实践中发现了氯丙嗪可以成功治疗躁狂症和精神分裂症后，氯丙嗪被用作抗精神病药物。这不仅是第一个抗精神病药，也标志着“现代精神药理学”的开始。随后的50多年，不断研发出了更多、作用机制更独特的新型精神药物，并且随着神经科学发展，新的研究技术和手段应用在精神药理学领域，我们对药物在脑内的作用机制有了更深入的了解，同时也极大地促进了对精神疾病病因学的理解。

对于工作在临床一线的医生来讲，如果了解基础的神经科学知识、疾病的病理发展过程和药物的药理作用机制，就能让医生能以更广阔的视野、科学的技能给患者以优化的治疗策略。但是临床医生面临的重大难题是，在忙碌的临床工作中，如何能理解和掌握复杂的疾病基础知识，并将其运用在临床实践中呢？如何能及时追踪学科的发展，了解精神疾病及精神药物的发展趋势呢？《精神药理学精要》(Essential Psychopharmacology)就是这样一本不可多得的专业参考书籍，作者 Stephen M. Stahl 因此书而在国际精神科学界有了鼎鼎大名，他是一位教学经验丰富的临床精神药理学家，将复杂繁琐的脑精神疾病的病理学和精神药理学知识用有趣易懂的图画及语言展现在我们的面前。很多人最初觉得精神药理学十分枯燥或高深难懂，在看过这部书的插图之后，许多困惑便迎刃而解，甚至会深深喜欢上精神药理学。这本书同样也深受我国精神科医生的青睐，很多人不远千里从国外将厚厚的原版书带回国内阅读。有鉴于此，我们组织了国内的专家将第3版翻译出版，希望能为国内更多的临床医生提供一本实用的参考书籍。第3版内容较前两版在内容上有很大的丰富和更新，如新型的神经递质系统、关于精神疾病病理机制研究的新进展、新型的治疗策略和新的精神疾病等，作者将神经科学和临床实践的最新进展分别体现在各章节中，而且编写体例能让读者循序渐进地掌握各种基础知识。本书中还提到了100多种目前在临床上广泛使用的精神药物，如果读者还希望了解药物的临床应用，建议阅读已经出版的《精神药理学精要：处方指南 (prescriber guide)》。另外，《精神药理学精要》系列丛书最近还出版了《精神药理学精要：个案研究 (case studies)》，结合具体的临床案例介绍如何为患者选择个体化药物治疗方案，我们也会在随后将该书介绍给大家。

本书的翻译者为中南大学湘雅二医院精神卫生研究所赵靖平教授、郝伟教授，上海交通大学医学院附属精神卫生中心黄继忠教授，中国医科大学附属第一医院李晓白教授，暨南大学附属第一医院精神心理科潘集阳教授，四川大学华西医院心理卫生中心邓红教授，北京大学精神卫生研究所司天梅教授、王华丽副教授、原岩波副主任医师、杨莉副研究员和马燕桃副主任医师；他们均是国内颇有成就的临床精神病学专家和精神药理学专家，也是活跃在我国精神病学领域各亚专业的资深学者，他们亲自翻译或认真校对，很好地保证了翻译的质量，希望本书能为我国的医生提供最新的知识信息。

虽然本书的翻译历时两年之久，但是由于内容庞杂，翻译者都有很多其他工作，精力和能力均有限，书中的错误、遗漏在所难免。尽管翻译者们已尽心校对，但是就像看自己的孩子一样，很难发现其中的问题。真诚地希望各位读者将发现的问题和良好的建议告诉我们，以便提高我们的水平，在此先表示衷心感谢。

司天梅 黄继忠 于欣

原著（第3版）前言

《Stahl 精神药理学精要》（第3版），相比于第2版从文字和图片数量上已经翻了一番，是第1版的三倍。在这段时间，精神药理学领域发展迅猛，内容也从过去有限的几种神经递质和受体扩展到脑环路、神经影像、遗传和信号传导级联。《Stahl 精神药理学精要》（第3版）希望能反映出这些进展，并且把这些进展融合在每一章节中。《Stahl 精神药理学精要》（第3版）的其他变化是讨论了这些神经递质系统如何与现有的精神药理学治疗联系起来。近几年，上市了很多新药，还有很多正在临床验证中，第3版内容也对这些开发中的药物进行了简要讨论。

在本书开始的基础神经科学章节，从第2版的4章增加到8章。临床部分从10章增加到11章，每一章的文字和图片增加了近乎一倍，但是第1版和第2版的“说教”方式并没有改变，一直延续到第3版。

文字内容从简单化的概念水平和规则来介绍，而没有十分细致地讨论规则以外的内容。因此文字内容没有在精神药理学领域的复杂亚专业进一步展开讨论。而且本书没有过多参考原始研究文章，而是引用了很多教科书、综述和部分研究原文，因此每章罗列的文献很有限。对书中描述的100多种常用精神药物信息感兴趣的读者来讲，可以阅读《精神药理学精要：处方指南》。

现在读者也可以选择网上阅读《精神药理学精要》，网址是：www.essentialpsych.org。我们对这个网站感到非常自豪，它在2008年秋天和读者见面。这个网站还可以为读者提供其他服务，如在《精神药理学精要：基础药理学》和《精神药理学精要：处方指南》中搜索，这个网站还定期更新。

很多新内容基于我写的最新讲座、课程、幻灯和文章而编写。文中还有很多新的图片，也在神经科学教育研究所网站中以动画形式呈现，或者以讲座、幻灯、文章以及继续教育课程、考试、资格考试等内容呈现。如果对这些内容感兴趣，可以访问 www.neiglobal.com 网站的神经科学教育研究所的详细内容。如果您对全部内容感兴趣，也可以选择浏览上述两个网站。

本书主要以简化易懂的形式介绍了精神药理学基础知识。因此如果读者感兴趣，可以继续参考详细的课本或者专业文献。本书信息的组织采用了逐渐深入及重复与互动的方式，强化了读者的记忆。

建议初学者可以先学习彩图及其介绍。事实上每一个重要内容都用彩图及图示进行了说明。接下来，每一章从头至尾读文字，同时浏览彩图。读完文字后，可以快速阅读本书的彩图。最后可以利用 www.neiglobal.com 网站上神经科学教育研究所的继续教育课程来考核学习效果，获得学分。在网站上，很多图是动画设计，在精神药理学精要系列丛书的题目也可以在《精神药理学精要》网站上搜索。

使用这些学习材料整合了图片这种“视觉概念”学习行为，通过重复和互动方式，可形成一种循序渐进的学习模式。我希望用整合图片这种视觉学习行为，可以强化单纯“文字学习”的学习效果（如“视觉概念”学习的保留时间要比单纯的“阅读文字”效果好）。

对于已经对精神药理学非常熟悉的读者，本书是一本非常便捷的学习读物，在文字和图片间有一个前后呼应，在读完全部的文字后，仅仅复习一下全文的图片相对简单得多，可以强化学习效果。另外，神经科学教育研究所的网站还提供了《精神药理学精要》学习经验、《精神药理学精要》（网络版），可

以快速查询相关内容。

对于第3版某些更新内容感兴趣的读者，本书第一部分基础科学扩展了覆盖面，包括了从神经元结构到功能、突触生成、信号传导级联、离子通道、精神病遗传学、脑环路、神经影像学和脑环路功能异常导致精神疾病的各种症状的精神疾病模型。

第二部分是临床科学，内容包括精神病学和抗精神病药，尤其是神经递质、谷氨酸，包括精神分裂症的NMDA（N-甲基-d-天冬氨酸）受体功能低下假说和精神分裂症遗传学进展。还介绍了一些新的抗精神病药，以及抗精神病药的心脏代谢风险和镇静不良反应。

心境障碍章节描述了单相和双相障碍，讨论了整个双相谱系障碍，所有的临床章节包括疾病的主要症状以及可能的各种脑环路异常假说。抗抑郁药章节不仅包括各种新药以及一些正在研发晚期的新药，还包括目前还在使用的、过了专利期和无商业推广的“老药”。这一章新加的内容是：“抗抑郁药和女性”；“三重胺调节剂和脑刺激治疗可能会增效抗抑郁药的疗效”；讨论了“基于症状的抗抑郁药增效流程”，可以联合抗抑郁药治疗残留症状，获得抑郁症治疗痊愈。心境稳定剂这一章，增加了用于治疗双相障碍的各种药物机制和联合治疗心境障碍。

焦虑障碍这一章增加了恐惧条件、恐惧保留、应激生物学和各种焦虑障碍，及抗焦虑药和目前正在开发晚期的新机制治疗药物。睡眠障碍这一章不仅仅包括了失眠，还包括了醒觉异常及其治疗（过度白天睡眠）。在新的章节中，介绍了目前正在开发的新药——组胺能药物。

本书新增加了一章，是慢性疼痛和纤维肌痛及其治疗。成人和儿童注意缺陷多动障碍，作为单独一章进行了介绍，包括激动剂和非激动剂治疗。痴呆也是单独的一章，重点强调了即将用于临床的疾病改善治疗。最后一章是奖赏，重点强调了药物滥用，包括其他奖赏异常疾病，如性功能异常、进食障碍和冲动控制障碍。

神经科学和精神卫生目前处于一个令人兴奋的时代，也给医生提供了一个能应用多种疗法的机会，预测未来的治疗将穿越精神药理学领域。祝愿您在步入精神药理学领域的旅程中，能硕果累累。

Stephen M. Stahl.

目 录

第一章 神经元的结构与功能·····	1
第二章 突触传递与神经系统解剖学·····	19
第三章 信号传导与神经系统的化学传递·····	46
第四章 精神药物作用靶点：转运体和 G 蛋白偶联受体·····	79
第五章 精神药理学作用靶点：离子通道和酶·····	105
第六章 精神病遗传学·····	151
第七章 精神药理学相关的神经回路·····	167
第八章 从神经回路到临床症状——精神药理学的相关性·····	192
第九章 精神病与精神分裂症·····	212
第十章 抗精神病药·····	282
第十一章 心境障碍·····	389
第十二章 抗抑郁药·····	443
第十三章 心境稳定剂·····	576
第十四章 焦虑障碍及抗焦虑药物·····	620
第十五章 疼痛、纤维性肌痛及功能性躯体综合征的治疗·····	663
第十六章 睡眠与觉醒障碍及其治疗·····	698
第十七章 注意缺陷多动障碍及治疗·····	741
第十八章 痴呆及其治疗·····	771
第十九章 奖赏障碍，药物滥用及治疗·····	810

第一章 神经元的结构与功能

- 神经元的多样性
 - 大体结构
 - 特定神经元的结构
- 神经元的内部调控及其功能
 - 亚细胞结构与细胞器
 - 蛋白合成
 - 神经元转运：贯穿神经元的分子与细胞器的运送和接收
- 小结

神经元是脑中进行化学信息传递的细胞。人类脑内包含几百亿个神经元，每一个神经元又与成千上万个其他的神经元相连。因而，脑内拥有数万亿个我们称之为突触的特殊连接。有许多不同大小、长度及形状 of 神经元，这些也决定着它们各自不同的功能。神经元在脑中的位置也同样决定其功能。如果神经元出现功能失调，人就可能出现行为上的症状。如果用药物去改变神经元的功能，行为症状可能随之缓解，也有可能加重甚至产生新的症状。因此，这一章简要地描述了神经元的正常结构和功能，它们是理解精神疾病及其治疗的基础。

神经元的多样性

大体结构

尽管在这本书里会反复地描绘神经元的大致结构（如图 1-1A 和 B 中所示），但事实上各种神经元都有它们独特的结构（图 1-2 至 1-8）。所有的神经元都有一个细胞体，称之为胞体（soma），胞体从结构上看，用于接受来自其他神经元的信息。信息通过胞体上的树突（dendrites）、有时则通过树突上的棘突（spines）来传递，也常常通过由树突的分枝精巧排列而成的“树突丛”来传递（图 1-1A 和 B）。神经元在结构上也同样被设置成可通过轴突（axon）来向其他神经元传递信息，轴突在其通过的地方——即“通路（en passant）”——（图 1-1A）或其终止处（在突触前的轴突终端内，图 1-1A）形成突触前终端（presynaptic terminals）。

特殊神经元的结构

中枢神经系统的各种神经元都有其独特的结构。例如，每一个锥体细胞都有一个三角锥形的胞体（图 1-2A 是锥体细胞的仿真描绘图，图 1-2B 是其示意图）；两者都有一个广泛延伸分枝多刺的顶端树突（apical dendrite），一些较短的基端树突（basal dendrite），以及一个单独的从胞体的基底部向外延伸的轴突。锥体神经元会在本书中反复提及，因为它们组成了具有重要功能的前额叶皮质，同时也分布在大脑皮质的其他地方。一些其他的神经元是以其“树突丛”的形状来命名的。例如，篮状细胞如此命名是因为它广泛交错的“树突丛”看上去就像个篮子（图 1-3A 是篮状细胞的仿真描绘图，图 1-3B 是其示意图）。篮状细胞的功能是作为皮质内的中间神经元（interneurons），其轴突横向广泛延伸，可以同其他皮质神经元之间产生许多局部的抑制性联系。双束细胞（double bouquet cells）同样是

皮质内的抑制性中间神经元，它有个看上去在垂直方向上被扎成两束的外形，就像是两支花束一样（图 1-4A 是双束细胞的仿真描绘图，图 1-4B 是其示意图）。每一个双束细胞都有一束垂直方向起始且紧凑排列的轴突，通过其曲张的侧支刺激其他皮质神经元的树突，包括其他双束细胞，向这些神经元传入抑制性信号。毫不奇怪，棘状神经元拥有着多刺状的树突（图 1-5A 是双束细胞的仿真描绘，图 1-5B 是其图示）。棘状神经元大量分布于纹状体，其广泛扩展的树突分枝向各个方向发散，这些树突上同样密集地覆盖着棘突，树突接受来自皮质、丘脑及黑质的传入信号。棘状神经元拥有长长的轴突可延伸至纹状体之外，或者回转成为回返性侧支（recurrent collaterals）以刺激邻近的棘状细胞。最后，分布在小脑的浦肯野细胞会形成一个单独的树突丛，这使它看起来像一棵真正的树一样（图 1-6）。这个树突丛向外扩展分枝并从细胞顶端向外发散，而它的轴突则是单独地从细胞的基底端发出的。

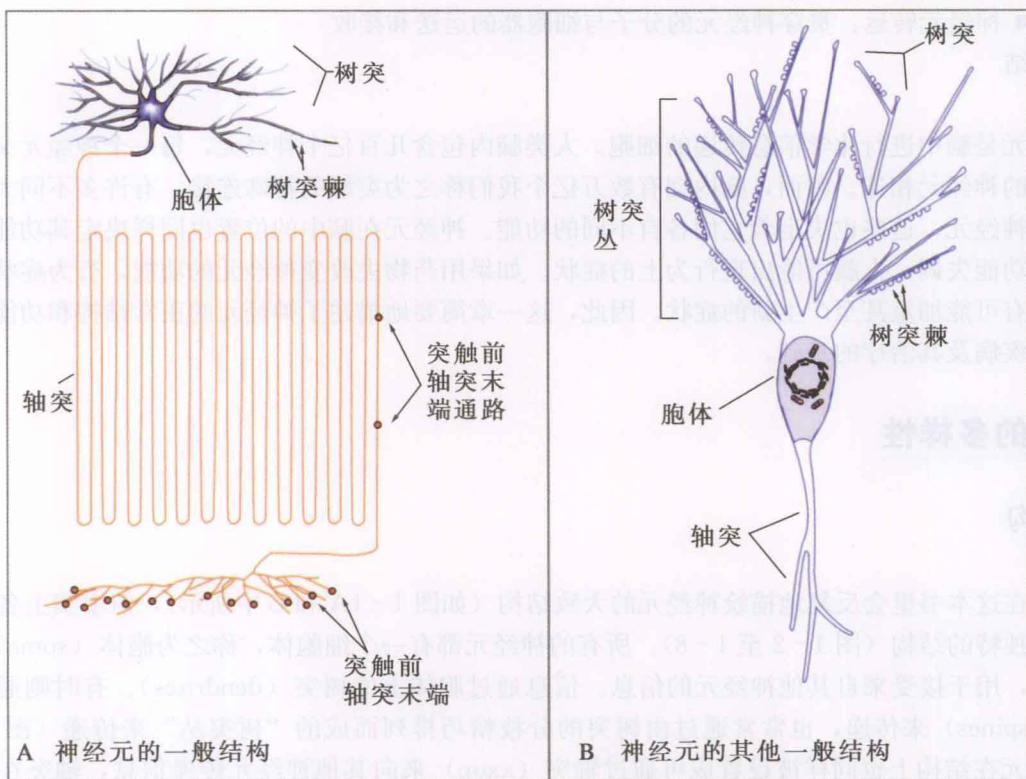


图 1-1A 和 1B 神经元的大体结构。这是神经元大体结构模式图。所有的神经元都有细胞体（即胞体），这是神经的司令部，含有细胞核。所有的神经元都有发送和接收信息的结构。神经元通过轴突发送信息（形成突触前末端），该结构可以通过末端通路将信息传递出去（A）。神经元通过树突接受其他神经元发出的信息，有时通过树突上的突起，经常通过树突上专门的分枝树（B）。虽然所有的神经元都有这样的特征，但它们也有独特的结构来调节不同的功能。

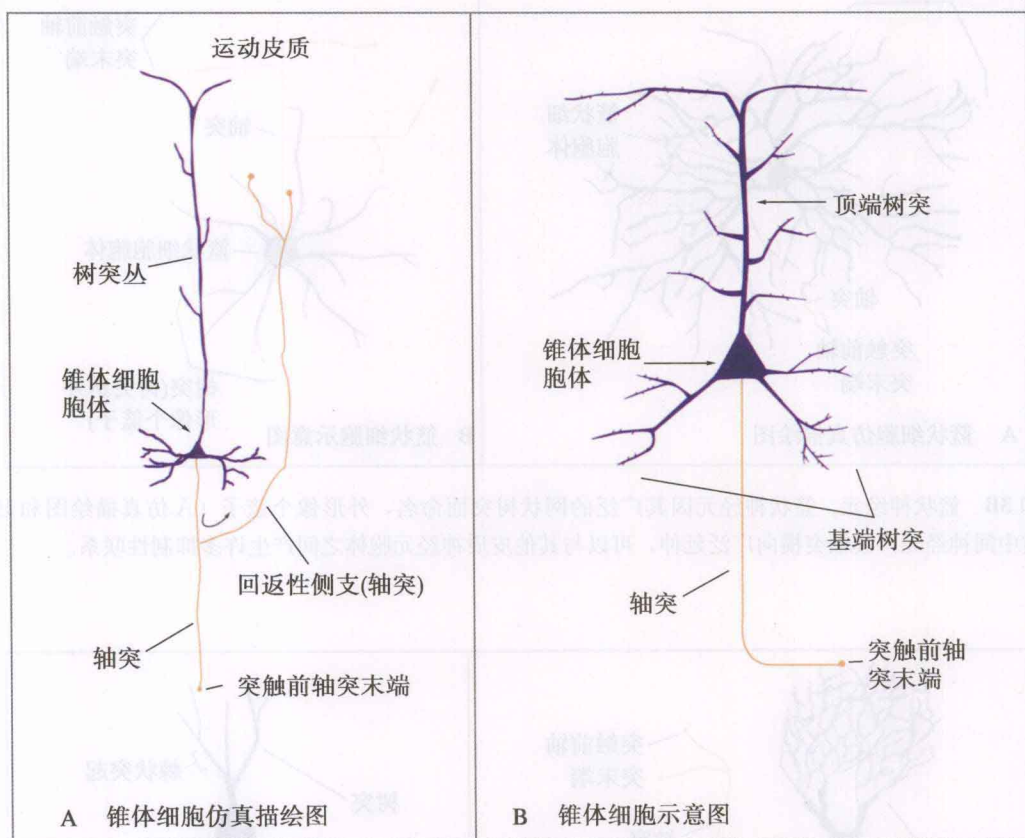


图 1-2A 和 2B 锥体细胞 (A 仿真描绘图和 B 示意图) 有一个类似于三角锥形的细胞体和一个广泛延伸分枝多刺的顶端树突、较短的基端树突, 以及一个单独的从胞体的基底部向外延伸的轴突。大脑皮质尤其是前额叶皮质的大部分神经元都是锥体神经元。

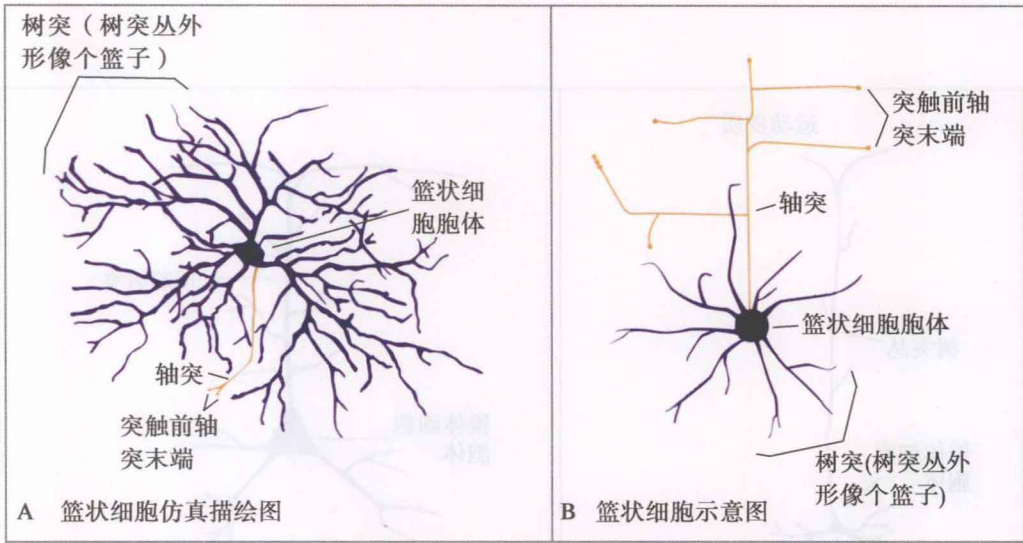


图 1-3A 和 3B 篮状神经元。篮状神经元因其广泛的网状树突而命名，外形像个篮子（A 仿真描绘图和 B 示意图）。它们是皮质中间神经元，其轴突横向广泛延伸，可以与其他皮质神经元胞体之间产生许多抑制性联系。

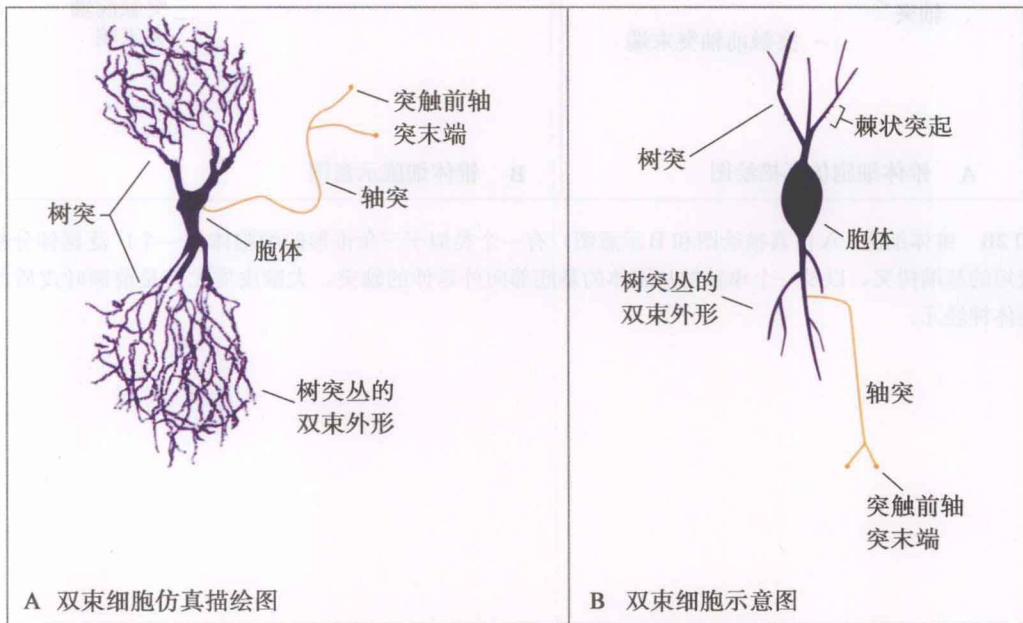


图 1-4A 和 4B 双束细胞。双束细胞因其在竖直方向有上下两束像是两支花束的外形而命名（A 仿真描绘图和 B 示意图）。与篮状细胞一样，双束细胞也是皮质的抑制性中间神经元。它们都有一束垂直方向起始且紧凑排列的轴突，通过其曲张的侧支与其他皮质神经元伸出的树突联系，包括其他双束细胞。

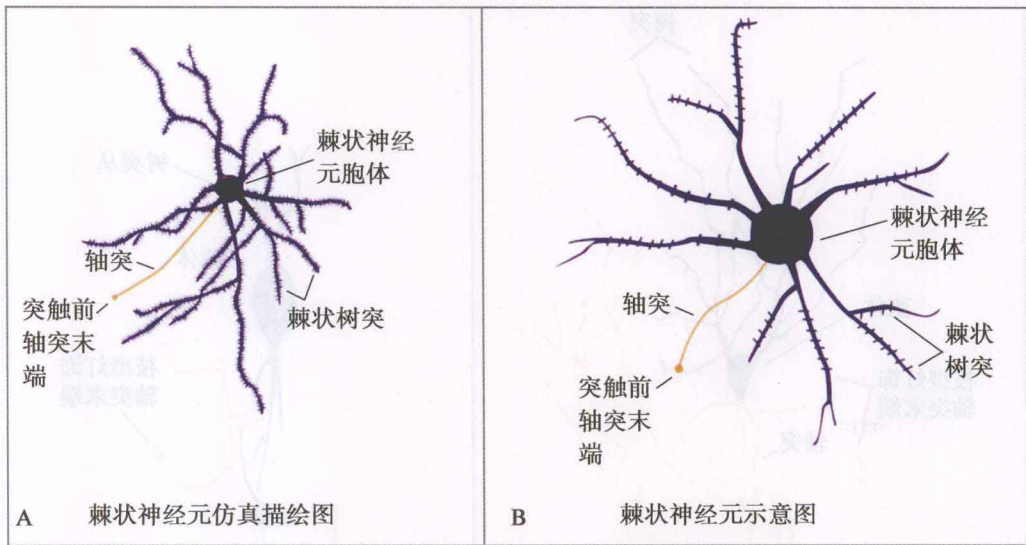


图 1-5A 和 5B 棘状神经元。棘状神经元向各个方向发散树突，这些树突密集地覆盖着棘突（A 仿真描绘图和 B 示意图）。大部分棘状神经元位于纹状体，接受着来自皮质、丘脑及黑质的传入信号。棘状神经元的轴突很长，可延伸至纹状体之外，或者回转成为回返性侧支（recurrent collaterals）以刺激邻近的棘状细胞。

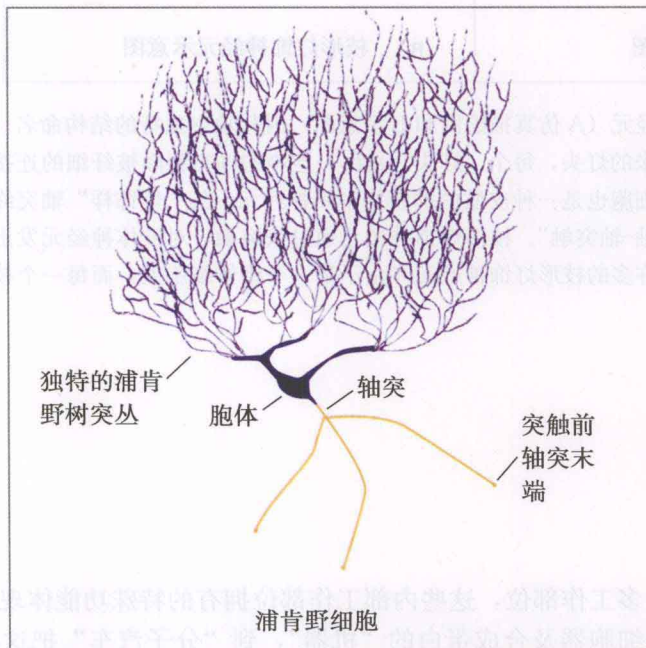


图 1-6 浦肯野细胞。来自小脑的浦肯野细胞有广泛的树突丛，在顶端位置呈扇形分布，一条轴突单独从细胞的基底端发出。

最后介绍一种独特的神经元，它是根据其独特的轴突结构来命名：枝形灯饰细胞（the chandelier cell）（图 1-7A 是锥体细胞的仿真描绘图，图 1-7B 是其示意图）。这种细胞的轴突看上去像一盏老式分枝吊灯，有着奇怪形状的轴突终端就像是竖立起来的一个个灯头，每个“灯头”是由一连串的轴突膨隆（axonal swelling）被纤细的连接部分串连而成。枝形灯饰细胞也是一种分布在皮质内的抑制性中间神经元，在皮质中其特征性的“灯饰样”轴突终端有着特定的位置和功能，即在靠近锥体细胞轴突初始部的地方形成抑制性突触，甚至完全中止锥体细胞元的放电活动。因此，枝形灯饰细胞就终止在某个它所提供信号的锥体细胞处，而每一个枝形灯饰细胞可以给多个锥体细胞提供信号输入。

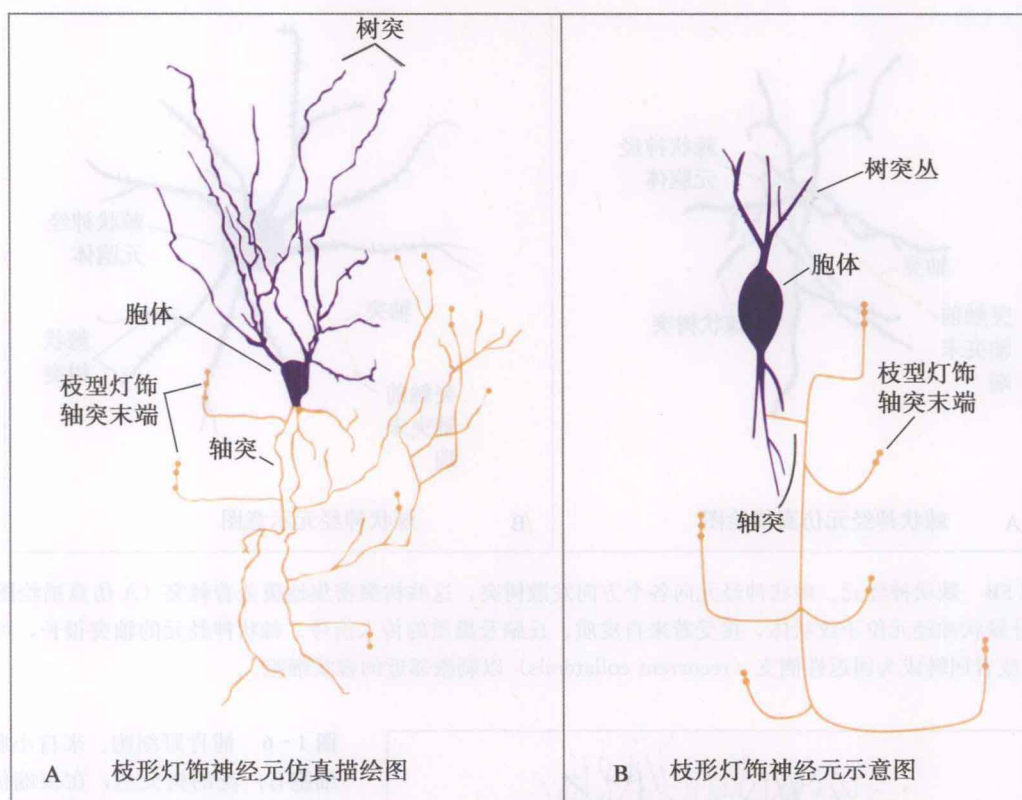


图 1-7A 和 B 枝形灯饰神经元。枝形灯饰神经元 (A 仿真描绘图和 B 示意图) 因其轴突独特的结构命名。其轴突像一盏老式分枝吊灯，轴突终端形成一个竖立起来的灯头，每个“灯头”是由一连串的轴突膨隆被纤细的连接部分串连而成。与篮状细胞和双束细胞一样，枝形灯饰细胞也是一种皮质的抑制性中间神经元，其“灯饰样”轴突终端与锥体神经元的轴突初始段紧密接触，形成所谓的“轴-轴突触”。枝形灯饰神经元通过该突触，对锥体神经元发出强抑制性信号，甚至完全中止锥体细胞元的放电活动。许多的枝形灯饰神经元终止于某一个锥体细胞处，而每一个枝形灯饰神经元也可能给多个锥体细胞提供信号输入。

神经元的内部调控及其功能

亚细胞结构与细胞器

为能执行其功能，神经元内部包含许多工作部位，这些内部工作部位拥有的特殊功能体现在神经元内部运作的各个方面，从亚细胞结构下的细胞器及合成蛋白的“机器”，到“分子汽车”把这些原料通过内部的“高速公路”输送至树突、轴突的过程。即特殊的功能与神经元内部的特殊解剖学区域有关 (图 1-8)。例如，胞体与树突共同形成的“胞体树突区” (the somatodendritic zone) 负责的功能就是“接受输入信号”。神经元可以接受各种各样的信号，可来自其他神经元，也可来自外界环境、化学物质、激素、光或药物的种种作用，这些信号传入可分先后接受也可被同时接受。除了要接受这些繁杂的外来信息，胞体区 (the somatic zone) 最终要扮演的角色是“化学整合器”。它执行这一功能，是通过来自突触后树突的化学信号首先激发出的级联反应 (cascades)，该化学级联反应直接与位于神经元细胞核的基因组“对话” (图 1-8)。这些外来的化学信息在由基因组“解码”并“解读”之后，基因组将通过编码化学信号来对这些信息做出自己的反应，这些信号可以是局限在神经元内的内部信息，也可以是靠神经元连接来传递的外部信息。

另一个构造区是轴丘 (axon hillock)，也被称为轴突起始部 (图 1-8)。它的任务是对所有外来的电信号起到“电整合器”的作用，并决定信号是否需要“点燃”神经元。与轴丘直接相连的就是轴突自身，轴突沿着它的膜来传播电信号，以及通过它内部结构基质来传导化学信号。轴突的末端同样是个特殊的区域，其独特的结构使得此处可以将化学或电信号转化成可传递至下一个神经元的信号输出。

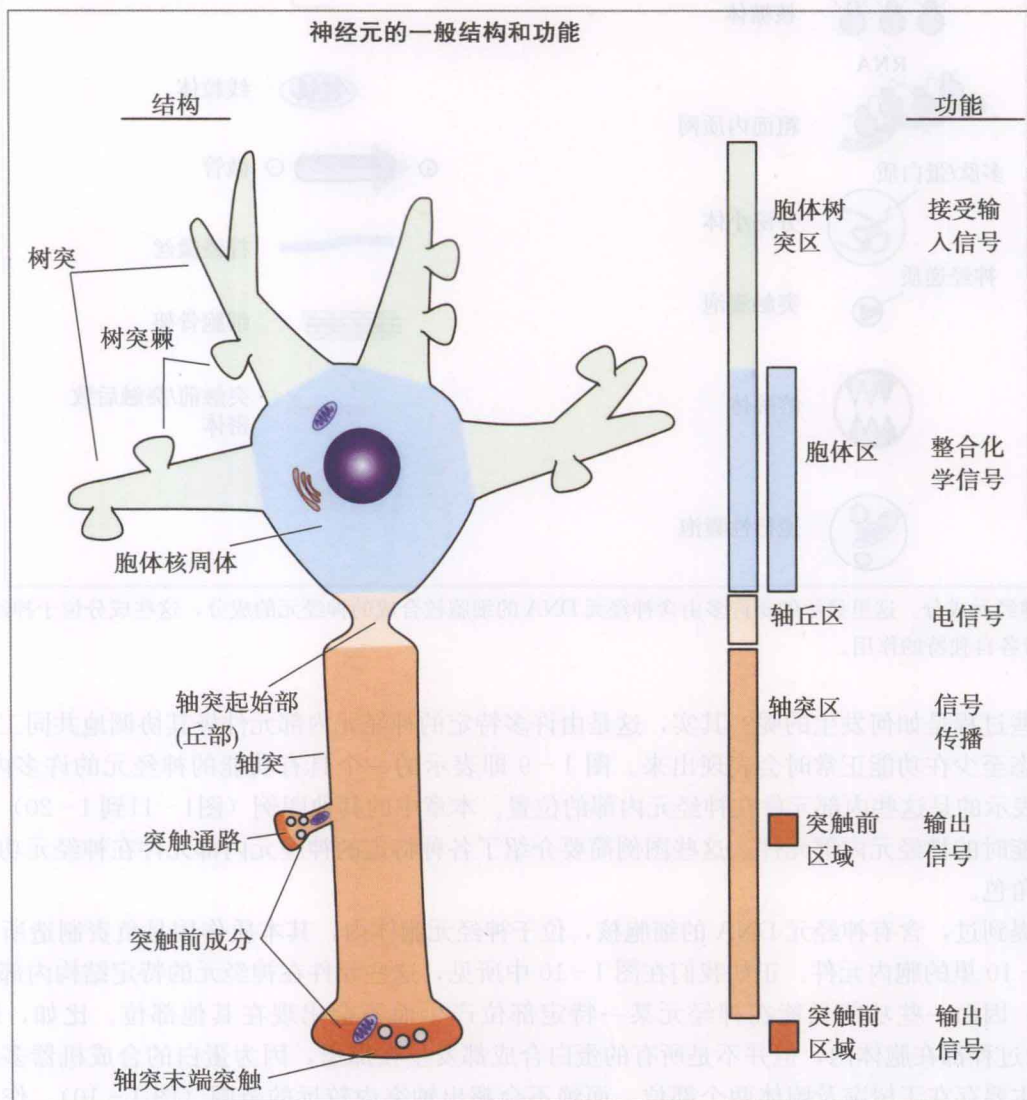


图 1-8 神经元的解剖区域。神经元不同的解剖区域承担着不同的功能。胞体树突区的细胞体和树突，负责接受来自其他神经元的各种信号。胞体区还是各种输入信息的化学整合器，来自于突触后树突的输入信息由基因组解码（这些基因组位于体细胞的细胞核），然后编码来自于内外连接的各种化学信号。轴突的最初部分，即轴丘，作为电整合器，当接受到外来电信号后控制神经元是否发生放电活动。通过沿着轴突膜传播的电信号和通过内部结构矩阵传播的化学信号，轴突在细胞内传播着这些信息。轴突末端的突触前区域，含有独特的结构，可以将化学或电信号转换为“输出信号”。



图 1-9 神经元成分。这里显示的是许多由含神经元 DNA 的细胞核合成的神经元的成分，这些成分位于神经元内特定区域，起着各自独特的作用。

而这些过程是如何发生的呢？其实，这是由许多特定的神经元内部元件极其协调地共同工作——这种协调状态至少在功能正常时会表现出来。图 1-9 即表示的一个具有功能的神经元的许多内部元件。图 1-10 表示的是这些内部元件在神经元内部的位置。本章中的其他图例（图 1-11 到 1-20）表示的都是行使功能时的神经元内部元件。这些图例简要介绍了各种特定的神经元内部元件在神经元功能调控上所扮演的角色。

之前提到过，含有神经元 DNA 的细胞核，位于神经元胞体内，其本质作用是负责制造所有列在图 1-9 及 1-10 里的胞内元件。正如我们在图 1-10 中所见，这些元件在神经元的特定结构内部都有其特定的位置，因而一些功能只能在神经元某一特定部位产生而不会出现在其他部位。比如，所有的核 DNA 转录过程都在胞体内，但并不是所有的蛋白合成都发生在那里，因为蛋白的合成机器多聚核糖体和内质网主要存在于树突及胞体两个部位，而绝不会超出轴突内较远的范围（图 1-10）。作为神经元最重要的功能之一，转运功能发生在轴突和树突，但在树突内存在较多的微管来参与转运，而轴突内则可见较多的微丝（图 1-10）。细胞骨架支撑蛋白沿着整个神经元的胞膜分布，而突触后致密蛋白只存在于树突和胞膜以及轴突的起始部及末端，突触前致密蛋白只存在于轴突终端（图 1-10）。

蛋白合成

蛋白合成是神经元基因被激活后产生的过程，没有什么比蛋白合成更为重要了。因为神经元内大多数重要的结构及有调节功能的分子都是蛋白质，这些蛋白在功能上都携带着来自基因组的“指令”。比如，当基因组“指示”建造一个新的突触时，蛋白质就变成了一块块构建突触的“砖头”；蛋白质可以是神经元内的受体或者酶；蛋白质可以激活信使或者合成神经元需要的任何东西。因而，整个神经元被组织成为优先制造及运送各种蛋白质的功能形式就不足为奇了。

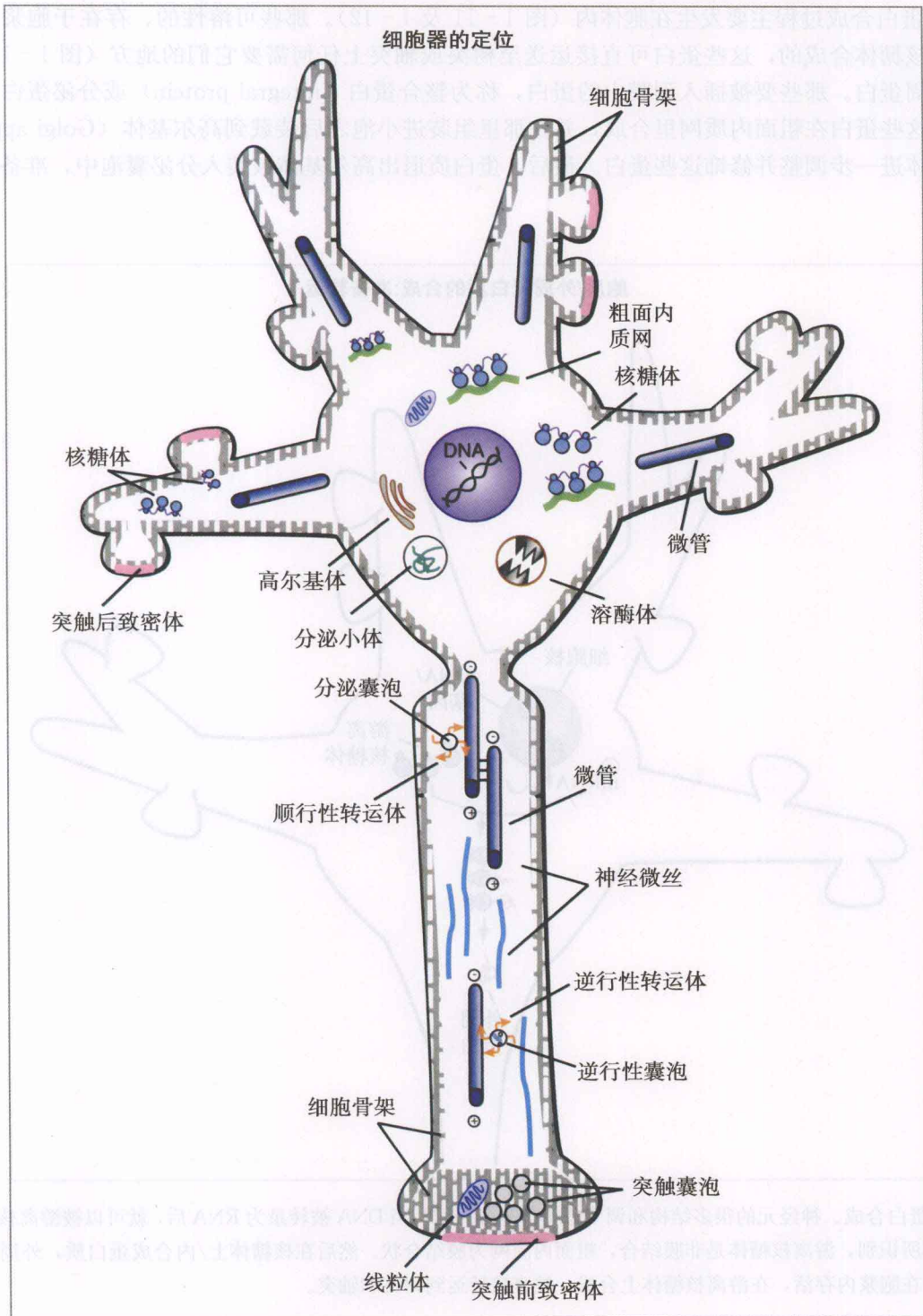


图 1-10 细胞器的定位。每个神经元成分都有着独特的作用，另外，每种成分分布在神经元内不同的区域。如图所示，因此神经元的不同部分发挥着不同的功能，例如 DNA 转录仅发生在细胞体，而蛋白合成，包括在核糖体和内质网中进行的蛋白合成，既可能发生在细胞体，也可能发生在树突。

蛋白质是由一种被称为核糖体的细胞器合成出来的。DNA 被转录成 RNA 之后，依据要具体合成何种蛋白，RNA 将被两类核糖体中的一类来解读。一种核糖体叫做游离核糖体，因为它们不依附于膜