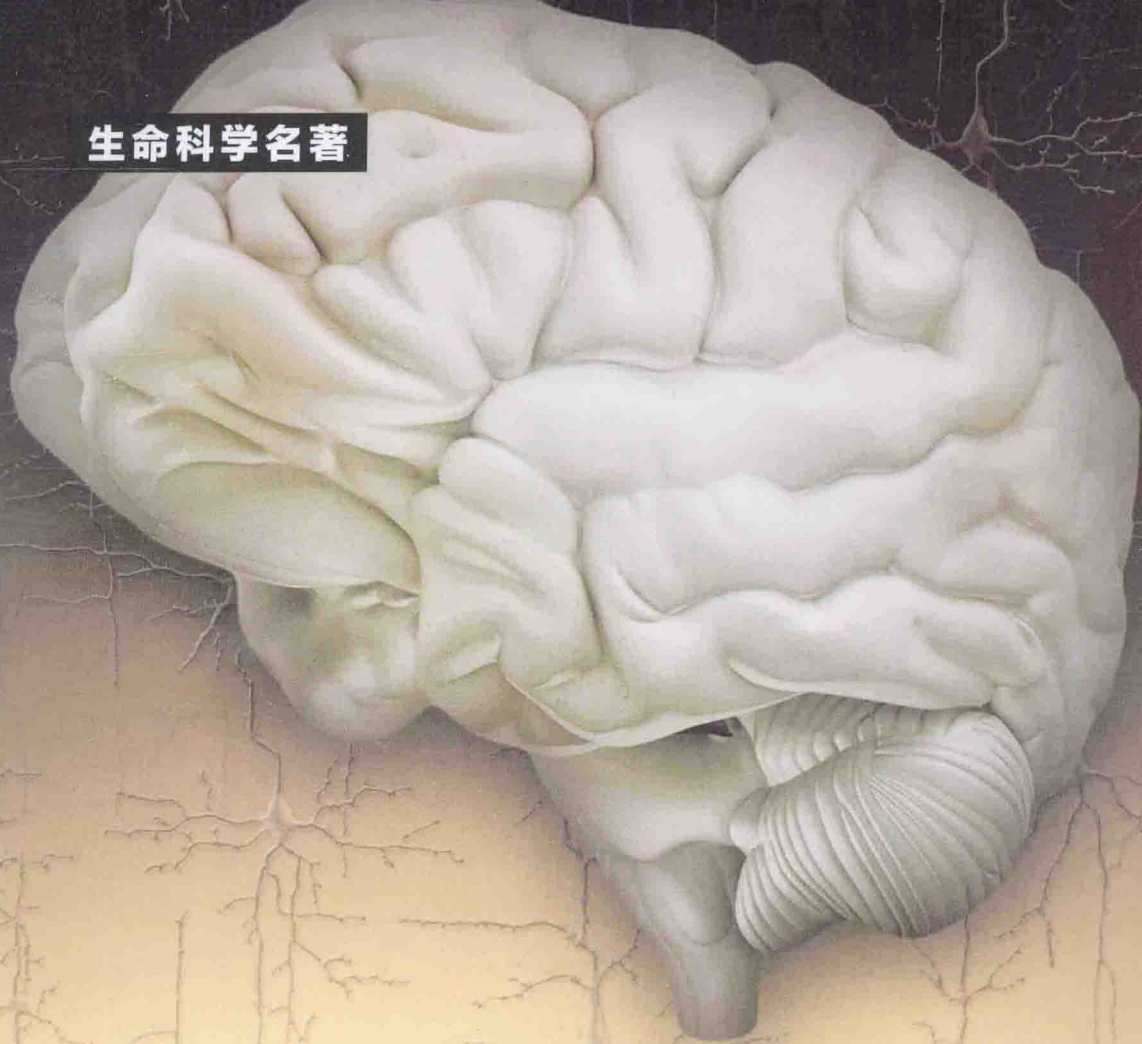


生命科学名著



神经生物学 — 从神经元到脑 (原书第五版)

From Neuron To Brain

FIFTH EDITION

[英] John G. Nicholls 等著

杨雄里 等译



科学出版社

生命科学名著

神经生物学

从神经元到脑 (原书第五版)

From Neuron to Brain (FIFTH EDITION)

[英] John G. Nicholls

International School for Advanced Studies, Trieste, Italy

[美] A. Robert Martin

Emeritus, University of Colorado School of Medicine

[美] Paul A. Fuchs

The Johns Hopkins University School of Medicine

[英] David A. Brown

University College London

[意] Mathew E. Diamond

International School for Advanced Studies, Trieste, Italy

[美] David A. Weisblat

University of California, Berkeley

著

杨雄里 等 译

科学出版社

北京

图字：01-2013-1141 号

内 容 简 介

From Neuron to Brain 是神经生物学领域的世界级名著。本书是在近年来神经科学发展日益波澜壮阔的背景下，由权威科学家团队根据该学科的最新进展和基本原理，全面重新撰写的第5版。作者们通过大量生动的实例，辅以精美的插图，结合严密的逻辑组织，介绍神经细胞如何传递信号，这些信号如何整合，又如何形成脑的高级功能。本书内容简洁、紧凑，又不失系统、全面，涵盖了神经生物学的各重要方面，为读者提供了一幅这门学科的全景图。

本书文笔流畅，深入浅出，因此适合任何对神经系统工作原理好奇的人士阅读，尤其适合作为生物学、心理学和医学等专业的本科生、研究生的教学参考书，亦可为相关领域的教授、专业科研人员的研究工作提供理论参考。

John G. Nicholls *From Neuron to Brain*, Fifth Edition. Copyright©2012 by Sinauer Associates, Inc. All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

神经生物学：从神经元到脑：原书第5版/(英)尼克尔斯(Nicholls, J. G.)等著；杨雄里等译。—北京：科学出版社，2014.10

(生命科学名著)

书名原文：From Neuron to Brain, Fifth Edition

ISBN 978-7-03-041534-9

I. ①神… II. ①尼… ②杨… III. ①人体生物学—神经生理学 IV. ①R338

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第177367号

责任编辑：王 静 罗 静 刘 晶/责任校对：郑金红 李 影

责任印制：赵德静/封面设计：美光制版

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

<http://www.sciencep.com>

北京盛通印刷股份有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年10月第 一 版 开本：787×1092 1/16

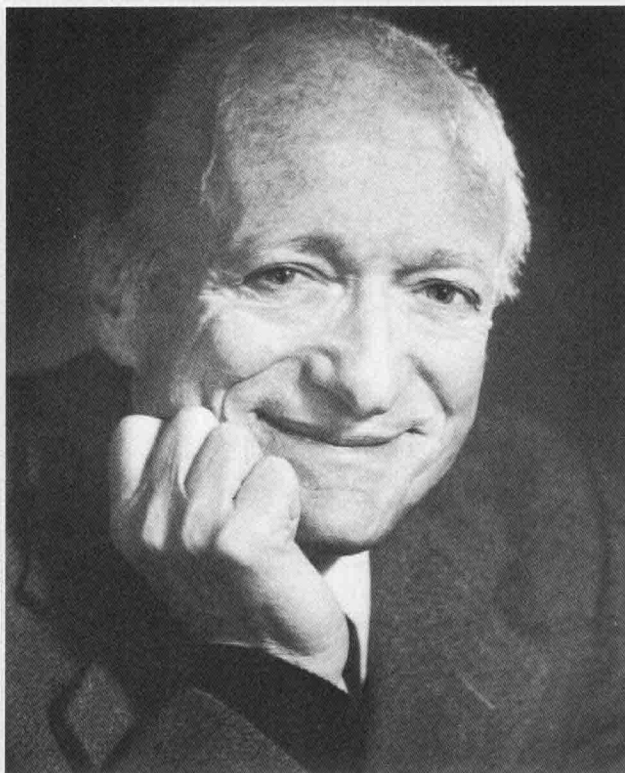
2014年10月第一次印刷 印张：49 3/4

字数：1 141 000

定价：298.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

谨以此书纪念我们的朋友和同事 Steve Kuffler



在长达 40 年的科学生涯中，斯蒂芬·库福乐 (Stephen Kuffler) 对若干基本的问题进行了实验研究，为未来的研究铺平了道路。他的研究工作的一个特点是能够准确地抓住问题并采用合适的标本，以其特有的方式进行处理。他对去神经现象、牵张感受器、离中控制、抑制的研究，对 γ -氨基丁酸和肽作为神经递质的研究，对视网膜中信号整合、神经胶质细胞的研究，对突触传递的分析均为范例。他的论文以论述清晰和插图精美见长，其蕴含的激情可力透纸背。此外，他所描述的每一个实验，都是他亲自动手做的。Stephen Kuffler 的工作引入了对神经系统多学科的研究途径，堪称典范。在哈佛大学，他建立了第一个神经生物学系，把来自不同学科的、具有创新思维的科学家聚集在一起。在其友人的记忆中，他以独特的方式集宽容、坚定、善良和恒久的幽默感于一身。他曾是哈佛大学 J.F. Enders 大学讲座教授，与伍茨霍尔 (Woods Hole) 海洋生物实验室过从甚密。他曾获多种荣誉，包括当选为英国皇家学会国外院士。

译者名单

主译：杨雄里

副主译：胡志安 钟永梅 王中峰 翁史钧 陈 蕾 蒋正尧

译者（以姓氏笔画为序）：

复旦大学

王 璐 王霄汉 邓琴琴 刘 斐 刘磊磊 李 倩 李允允
杨晓芳 吴小华 吴杭婧 汪书越 张 弓 张平平 武 懿
苗艳颖 郑 超 徐国忠 盛文龙 虞 竣

第三军医大学

朱志茹 张 骏 陈 芳 陈全辉 胡 波 姚忠祥 夏建霞

青岛大学

马泽刚 陈文芳 周 宇 姜 宏

原书作者简介



M.E. 戴蒙特, D.A. 韦斯勃拉脱, J.G. 尼克尔斯, P.A. 福克斯, A.R. 马丁, D.A. 布朗 (自左至右)

J.G. 尼克尔斯 (John G. Nicholls)

意大利里雅斯特国际高级研究院神经生物学和认知神经科学教授。1929 年生于伦敦，在 Charing Cross 医院获医学学位，后在伦敦大学学院生物物理系 Bernard Katz 爵士指导下进行研究，获生理学博士学位。他曾在伦敦大学学院、牛津大学、哈佛大学、耶鲁大学、斯坦福大学及瑞士巴塞尔生物研究中心工作。他与 Stephen Kuffler 一起进行了有关神经胶质细胞的实验，并撰写了本书的第一版。他是英国皇家学会会员、墨西哥医学科学院院士，曾获委内瑞拉 Andres Bello 勋章，曾在美国伍茨霍尔、冷泉港，以及亚洲、非洲、拉丁美洲的许多国家的大学中开设过神经生物学的理论和实验课程。他的研究工作专注于神经系统损伤后的再生，以及呼吸节律产生的机制。

A.R. 马丁 (A. Robert Martin)

美国科罗拉多大学医学院生理系荣誉教授。1928 年生于加拿大萨斯喀彻温，在马尼托巴大学主攻数学和物理，之后在伦敦大学学院在 Bernard Katz 爵士指导下从事哺乳动物肌肉的突触传递的研究，1955 年获得博士学位。1955 ~ 1957 年，在加拿大蒙特利尔神经学研究所 Herbert Jasper 实验室从事博士后工作，进行运动皮层单细胞特性的研究。他曾任教于麦吉尔大学、犹太大学、耶鲁大学和科罗拉多大学医学院，并曾为莫纳什大学、爱丁堡

大学和澳大利亚国立大学客座教授。他的研究对阐明突触传递，包括神经递质释放的机制、突触的电耦合、突触后离子通道的性质作出了贡献。

P.A. 福克斯 (Paul A. Fuchs)

美国约翰·霍普金斯大学医学院耳科—头、颈部外科学 John E. Bordley 冠名教授，研究部主任，感觉生物学中心生物医学工程学教授和神经科学教授、共同主任。1951 年生于美国密苏里州圣路易，1974 年毕业于 Read 学院（生物学）。之后，在斯坦福大学，在 Donald Kennedy 和 Peter Getting 的指导下，从事螯虾神经肌肉接头的突触前抑制研究，1979 年获神经、生物行为科学博士学位。1979 ~ 1981 年在斯坦福大学 John Nicholls 实验室当博士后，研究水蛭神经元的突触形成。1981 ~ 1983 年在剑桥大学与 Robert Fettiplace 合作，研究听毛细胞的传出性抑制。曾任教于科罗拉多大学医学院和约翰·霍普金斯医学院。其研究专注于脊椎动物内耳感觉毛细胞和神经元的兴奋性及突触信号运作。

D.A. 布朗 (David A. Brown)

英国伦敦大学学院神经科学、生理学和药理学系教授。1936 年生于伦敦，从伦敦大学学院获生理学学士学位，在医学院 St. Bartholomew 医院（“Barts”）Peter Quilliam 实验室从事交感神经节突触传递的研究，获博士学位（在那里他首次遇见 J. 尼克尔斯）。之后，他在芝加哥大学作为博士后协助建立了为医科研究生开设的综合神经生物学课程。在回到 Barts 后，他获得了初级教席职位，先在伦敦的药学院主掌药理学系，最后在伦敦大学学院执教。期间，他曾在美国等处的几个实验室工作过，包括在得州大学加尔维斯顿分校 A. M. Brown 的生理学和生物物理系工作过三个学期，作为美国国立健康研究院 Fogarty 常驻学者分期在 M. Brownstein, J. Axelrod 和 M. Nirenberg 实验室工作过。在得州大学加尔维斯顿分校期间，他和 P. Adams（另一位先前在 Barts 的同事）发现了 M 型钾通道，加深了对神经递质如何通过间接调节电压门控离子通道，从而改变了对神经细胞兴奋性的认识。之后他一直从事 G 蛋白耦联受体调节其他离子通道的研究，最初是关于 GABA 作用和转运的研究。他是英国皇家学会会员，Feldberg 奖得主，日本金泽大学名誉博士。

M.E. 戴蒙特 (Mathew E. Diamond)

意大利里雅斯特国际高级研究院 (SISSA) 认知神经科学教授。1984 年在弗吉尼亚大学获工学学士学位，1989 年在北卡罗来纳大学获神经科学博士学位。之后在布朗大学 Ford Ebner 实验室当博士后，继而任范德比尔特大学助理教授。1996 年转至 SISSA 建立触觉和学习实验室。其主要兴趣是研究神经元活动和感知觉的关系。大部分研究在啮齿类触须系统进行，但某些实验试图将在触须系统所发现的原理普遍化，应用至人类触觉系统的信息处理。

D.A. 韦斯勃拉脱 (David A. Weisblat)

加州大学伯克利分校分子细胞生物系细胞发育生物学教授。1949 年出生于密歇根州卡拉马祖，在哈佛大学随 Bernard Babior 攻读生物化学学位。在哈佛学院由 J. 尼克尔斯的讲座引入神经生物学领域。1976 年因随 Richard Russell 对 *Ascaris* 的电生理研究而获加州理

工大学 (Caltech) 博士学位。随后在加州大学伯克利分校随 Gunther Stent 在分子生物学系研究水蛭的发育, 1983 年获任动物学系教职。作为一名博士后, 他开发了用胞内微量注射示踪分子来追踪细胞谱系的技术。目前的研究兴趣包括节段化机制的进化、D quadrant 特化和轴向模式化。对于进化发育生物学的研究, 水蛭 (*Helobdella*) 已成为冠轮动物超门 (super-phylum Lophotrochozoa) 的一种易控代表种, 其实验室的工作在此过程中起了作用。他协助或组织了在非洲、印度、拉丁美洲和美国马萨诸塞州伍兹霍尔的神经生物学讲座。

(杨雄里 译)

译者简介

杨雄里, 1941 年 10 月 14 日出生于上海。中国科学院院士 (1991), 发展中国家科学院 (TWAS) 院士 (2006 年), 国际学术杂志 *Progress in Neurobiology* 编委 (2000 年~), 《辞海》副总主编 (2000 年~)。1963 年上海科技大学生物系毕业。1980 ~ 1982 年在日本进修期间获学术博士学位。1963 ~ 2000 年在中国科学院上海生理研究所工作, 1988 ~ 1999 年任所长。1985 ~ 1987 年先后在美国哈佛大学、贝勒医学院从事合作研究。复旦大学神经生物学研究所所长 (2000 ~ 2010 年), 脑科学研究院院长 (2006 ~ 2008 年)。曾任《生理学报》主编 (1988 ~ 2002 年), 中国生理学会理事长 (1998 ~ 2002 年), 《中国神经科学杂志》主编 (1998 ~ 2004 年), 《中国科学》编委 (1998 ~ 2010 年), 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) “脑功能和脑重大疾病的基础研究”项目首席科学家 (1999 ~ 2004 年), *Journal of Physiological Sciences* 顾问编委 (2000 ~ 2010 年), 亚太地区生理学联合会 (FAOPS) 秘书长 (2006 ~ 2011 年)。



长期从事神经科学研究, 专注于视网膜神经机制的研究, 已发表学术论文 230 余篇, 出版专著五部, 译著多部。研究工作得到科技部、教育部、中国科学院、自然科学基金委、上海市科委等基金资助。曾作为 Principal Investigator (PI) 和 Co-PI 分获美国国立卫生研究院 (NIH) 和国际人类前沿科学计划组织 (HFSP) 研究基金资助。1988 年获国家人事部“国家级有突出贡献的中青年科技专家”称号, 1989 年、1996 年分获中科院自然科学一等奖、二等奖。1991 年当选为上海市十大科技精英。2001 年获何梁何利科技进步奖。2006 年获教育部自然科学一等奖, 上海市自然科学一等奖。

联系方式: 021-64221975

电子邮箱: xlyang@fudan.edu.cn

第5版序

本书初版在1976年问世时，序言中曾这样写道，本书的目的是“描述神经细胞如何完成其信号的传递，这些信号如何整合，而脑的高级功能又是如何由这种整合产生的。本书所面向的读者对神经系统如何工作有浓厚的兴趣，但并非一定要有特殊的生物科学背景知识。我们用精选的实例来说明其要点……”。

新的第5版的撰写目的不变，但现在的情况已很不相同。本书初版问世时，神经生物学的书籍寥寥无几，只有若干杂志是专为神经系统研究的。分子生物学、遗传学和免疫学的异乎寻常的进展尚未应用于神经细胞或脑的研究，而为了搜索文献尚无互联网可敷使用。1976年以来知识的爆炸意味着，即使我们仍想要保持良好的可读性以及叙事式的风格，必须要增多加以论述的主题，篇幅也要增加。某些老的实验的论述不可避免必须放弃，即使这是些十分漂亮的实验。尽管如此，我们的论述仍然循着思路从概念引向最近的进展。就此而言，在这一版中我们既保留了对经典实验的描述，也介绍最新的发现。我们希望以这种方式，为神经生物学的研究者、教师们，以及对此领域不熟悉的读者们，展现他们感兴趣的键的研究脉络。

在第5版中增添了新的章节，另一些章节已完全改写，而所有章节均已更新。此外，这一版与上一版还有两个明显的重要变化。首先，像初版一样，出于同样的目的，我们把关于视觉系统的论述放在书的第一部分。之所以这样做是为了突显其重要性，一开始就让读者一睹实施功能的整个“脑”的情景。经验表明，一名想要了解脑如何工作的初学者，最初通常是对脑高级功能着迷而被吸引到这个主题来的，本书的作者就是这样的情况。由于在视网膜和视皮层所做的工作十分出色，这样就有可能把神经细胞的特性和我们视知觉间的联系清晰地显示出来。此外，这种信息还能诱发对之后章节（论述神经细胞的细胞生物学、分子生物学和生物物理学特性）的好奇心。

第二个重要变化是作者人数，从2个到3个，再到4个，我们现在已增至6个。近几年产生的新信息的总量以及必须描述的新技术的数量，以前所未有的速度增加。因此，必须选择哪些内容是需要包括的，哪些是应该舍弃，而这种选择又是如此之复杂，需要全时的工作，这是两三名神经科学家不能胜任的，特别是如果他们还希望继续其研究并获得研究基金的话。尽管如此，如前一样，我们已经力图保持一种贯穿始终的流畅风格，希望会给读者这样一种感觉——全书似乎是由单一作者所撰写的。

J.G. 尼克尔斯, A.R. 马丁, P.A. 福克斯
D.A. 布朗, M.E. 戴蒙特, D.A. 韦斯勃拉脱
2011年10月
(杨雄里译)

致 谢

我们特别感谢我们的朋友和同事 Bruce Wallace，他是本书第 3 版、第 4 版的作者。虽然他不能参与第 5 版的合作，但是他原来撰写的章节的材料已在改写和更新的新的章节中大量采用。他的工作是很重要的贡献，我们极其高兴的是能在本书保持他对关键主题所做的许多富有学识的、清晰而又有权威性的展示。

我们对许多同事深表谢意，他们给予了我们鼓励，并影响了我们的思路。我们特别感谢 Dennis Baylor，他通读了所有章节。我们对以下同事表示谢意，他们阅读了部分章节，他们是：Drs. W. Kolbinger, G. Legname, F. F. de Miguel, K. J. Muller, U. J. McMahan, L. Szczupak 和 C. Trueta。

以下各位提供了有益的讨论和建议：E. Arabzadeh, S. Bensmaïa, D. H. Jenkinson, W. B. Kristan, Jr., D.-H. Kuo, S. R. Levinson, A. Mallamaci, L. Mei, M. Ruegg, W. J. Thompson 和 D. Zoccolan。

我们尤为感谢以下各位提供原始图版，他们是：K. Briggman, A. Brown, R. Constanzo, J. Fernandez, D. Furness, M. S. Graziano, L. L. Iversen, A. Kaneko, J. Kinnamon, E. Knudsen, S. R. Levinson, A. Mallamaci, U. J. cMahan, R. Michaels, K. J. Muller, E. Newman, E. Puzuolo, R. Reed, S. Roper, M. Ruegg, M. M. Salpeter, P. Shrager, P. Sterling, M. Stryker, J. Taranda, R. Vassar, D. A. Wagenaar 和 D. Zoccolan。

我们愉快地向我们的出版商和朋友 Andy Sinauer 致谢。他出色的鉴赏力、强烈的兴趣，以及对于内容、图表和书的外观的高超的判断力，在本书制作的每一阶段都激励着我们。我们有幸得到 Sydney Carroll 的指导，他从本书发端起就和我们在一起，并对其设计、版式提供了颇有见地的建议。我们也感谢 Kathaleen Emerson, Chelsea Holabird 和 Azelie Aquadro，他们彬彬有礼，以极大的细心对全文进行了编辑加工；感谢 Chris Small, Joan Gemme 和 Marie Scavotto，他们在制作本版中起了重要的作用；感谢艺术编辑 Elizabeth Morales，她把我们的草图和图表变成了优雅的、令人赏心悦目的插图。

(杨雄里 译)

初版前言摘录

我们的目的是描述神经细胞如何完成其信号的传递、这些信号如何整合，而脑的高级功能又是如何由这种整合而产生的。本书面向的读者，对神经系统如何工作有浓厚的兴趣，但并不一定要有特殊的生物学背景知识。我们用精选的实例来说明其重点，这些实例主要选自我们有第一手经验的研究工作。这样做会掺入明显的个人偏爱，并必定有疏漏。

我们并不试图对神经系统作全面的阐述，也并不试图在文献和背景材料方面做到完备无缺。我们宁愿采取一种有个性的因而有局限性的观点，循着由若干研究者的工作所推动的发展的脉络，来叙述过去几十年中取得的若干进展。检视本书的目录就会发现，许多重要和吸引人的领域遗漏了，如小脑、听觉系统、眼动、运动系统、胼胝体等。我们唯一的口实是，为了演示细胞水平的研究途径的有效性，通过选择几个相关的主题来提供一幅有内在联系的全景，似乎是比较合适的。

通览全书，我们所描述的，或是对单个细胞的实验，或是对神经元的简单集群的分析，实验动物范围很广。在有些情况下，分析已达到分子水平，从而能以特异的分子来讨论神经和肌肉膜的某些功能特性。幸运的是，在所有已研究的动物脑中，神经信号运作的原理存在明显的一致性，因此，在龙虾或水蛭所获得的结果，可以与我们自身的神经系统关联起来。作为生理学家，我们必须抓住这种一致性，因为我们相信，在每一个看起来极复杂、难以解决的问题的背后，总是存在一种简化的原理，使谜底得以解开。例如，人脑由数百亿个细胞组成，而其连接还要多得多，似乎很难完全了解。这种复杂性经常被误以为是杂乱无章的，但事实并非如此。我们能够显示，脑是按照一种高度有序的设计组构起来的，系由相对简单的部件所组成。为实施其功能，脑仅使用几种信号和一种定型的重复活动模式。因此，对神经细胞较少的采样，有时就能揭示连接组构的概貌，视觉系统就是这样的情况。

我们也论及前景未卜的主题，这些领域正在发展之中，因此其方向是不确定的。人们可以期待，这些主题在现时难以纳入一种清晰的框架之中，但我们希望，它们会使人们产生这样一种感觉，即研究就像一系列的探险。

“从神经元到脑”，既表达了我们的思路，也表达了我们的目的。我们主要从事关于神经元功能机制的研究。对神经系统有兴趣的学生几乎总是跟我们说，他们的好奇心源于他们渴望了解感知、意识、行为，或脑的其他高级功能。当他们知道我们主要是研究分离的神经细胞或简单神经系统的活动时，他们常常为我们本人也是怀着相似的动机起步而感到惊奇；他们对我们一直保持着那种兴趣甚至更加惊奇。事实上，我们相信，我们正在走向这一目标，而在这一方面，我们与大多数同事和前人并无二致。本书的目的在于使这种观点变得更有份量，同时，正如我们所希望的，本书的论述也将显示我们所引向的是正确的方向。

S. 库福乐, J. G. 尼克尔斯
1975年8月
(杨雄里译)

目录摘要

第 1 部分 神经系统导论

第 1 章 信号运作和组构原理	3
第 2 章 视觉系统的信号处理	25
第 3 章 视皮层的功能构筑	49

第 2 部分 神经元和胶质细胞的电特性

第 4 章 离子通道和信号传递	71
第 5 章 离子通道的结构	85
第 6 章 静息膜电位的离子基础	111
第 7 章 动作电位的离子基础	125
第 8 章 神经元电信号	145
第 9 章 离子跨膜转运	159
第 10 章 神经胶质细胞的特性和功能	177

第 3 部分 细胞间通讯

第 11 章 直接突触传递的机制	207
第 12 章 突触传递的间接机制	239
第 13 章 神经递质的释放	273
第 14 章 中枢神经系统递质	309
第 15 章 神经递质的合成、转移、贮存和失活	345
第 16 章 突触可塑性	367

第 4 部分 整合机制

第 17 章 自主神经系统	389
第 18 章 蚂蚁、蜜蜂和水蛭行为的细胞机制	409

第 5 部分 感觉与运动

第 19 章 感觉转导	443
第 20 章 视网膜中视觉信号的转导与传递	469
第 21 章 触觉、痛觉和纹理感觉	499
第 22 章 听觉和前庭感觉	523
第 23 章 感知的构建	547
第 24 章 控制反射、呼吸和运动协调的环路	573

第 6 部分 神经系统的发育与再生

第 25 章 神经系统的发育	611
第 26 章 感觉系统的关键期	653
第 27 章 损伤后突触连接的再生	681

第 7 部分 结论

第 28 章 悬而未决的问题	713
----------------	-----

目 录

第 1 部分 神经系统导论	1	神经系统损伤后的再生	23
第 1 章 信号运作和组构原理	3	第 2 章 视觉系统的信号处理	25
简单神经元回路中的信号运作	4	视觉系统的通路	26
与高级功能相关的复杂神经元回路	4	突触连接的会聚和发散	28
视网膜的组构	5	神经节细胞和外膝核细胞的感受野	29
神经元的外形和连接	5	感受野的概念	29
细胞体、树突和轴突	7	视网膜的输出	29
鉴定神经元和追踪其连接的技术	8	神经节细胞和外膝核细胞的感受野组构	29
非神经元细胞	9	感受野的大小	32
细胞按功能集群	9	神经节细胞和外膝核细胞的分类	32
连接的复杂性	9	神经节细胞和外膝核细胞传递何种信 息?	32
神经细胞的信号传递	10	专题 2.1 探索皮层的策略	33
电信号的普遍性	10	皮层感受野	34
用电极记录神经元信号的技术	11	简单细胞的反应	34
记录和刺激神经元活动的无创伤技术	12	简单感受野的生成	38
局部分级电位的扩布和神经元的被动 电学特性	13	复杂细胞的反应	40
在双极细胞和光感受器中电位变化的 扩布	15	对运动刺激的反应	40
动作电位的特性	15	对有终端的线条有反应的皮层神经元	41
动作电位沿神经纤维传播	16	复杂细胞感受野的形成	42
动作电位作为神经密码	16	感受野：形状知觉单元	43
突触：细胞间通讯的部位	16	第 3 章 视皮层的功能构筑	49
化学介导的突触传递	16	视网膜区域映射图	50
兴奋和抑制	17	从外膝核到视皮层	51
电传递	18	视网膜到外膝核的输入分聚	51
突触效率的调制	19	视皮层的细胞构筑	52
整合机制	19	皮层的输入、输出和分层	53
由动作电位传送的信息的复杂性	20	眼优势柱	54
信号从高级中枢向低级中枢的逆向传送	21	成像技术显示眼优势柱	56
脑的高级功能	21	朝向柱	56
神经元的细胞、分子生物学	21	色觉细胞集群	58
神经系统发育的信号	22	大细胞通路和小细胞通路在 V1 和视区 2 (V2) 之间的连接	59
		眼优势柱和朝向柱的关系	60

皮层内的水平联系	61	离子选择性和电导	94
从两眼输入信号构建单一、统一的视野	62	电压激活通道	95
专题 3.1 胼胝体	63	电压激活钠通道	95
视皮层联合区	64	钠通道的氨基酸序列和三级结构	96
我们将走向何处?	65	电压激活钙通道	97
		电压激活钾通道	98
第 2 部分 神经元和胶质细胞的电特性	69	电压激活通道的孔道形成	99
		钾通道的高分辨率成像	100
		离子选择性和电导	101
第 4 章 离子通道和信号传递	71	电压激活通道的门控	101
离子通道的特性	72	其他通道	102
神经细胞膜	72	谷氨酸受体	103
离子通道的物理特征	73	ATP 激活通道	103
通道选择性	73	环核苷酸激活通道	104
通道的开放和关闭状态	73	钙激活型钾通道	104
通道激活模式	74	电压敏感氯通道	105
单通道电流的测量	75	内向整流钾通道	105
微电极胞内记录	75	2P 通道	105
通道噪声	76	瞬时受体电位 (TRP) 通道	105
膜片钳记录	76	亚基多样性	106
单通道电流	78	结论	106
通道电导	78	第 6 章 静息膜电位的离子基础	111
电导和通透性	80	模式细胞	112
平衡电位	80	离子平衡	113
Nernst 方程	81	电中性	113
非线性电流 - 电压关系	81	细胞外钾离子和氯离子对细胞膜电位的影响	114
离子经通道的通透	82	枪乌贼轴突的膜电位	115
专题 4.1 通道电导测量	82	钠离子通透性的影响	117
第 5 章 离子通道的结构	85	恒定场方程	118
配体激活通道	86	静息膜电位	119
烟碱型乙酰胆碱受体	86	氯离子的分布	120
AChR 亚基的氨基酸序列	87	膜的电模型	120
高级化学结构	87	膜电位的预测值	120
专题 5.1 氨基酸的分类	89	钠 - 钾泵对细胞膜电位的贡献	121
其他烟碱型 AChR	90	何种离子通道与静息电位相关联?	122
受体超家族	90	膜电位的变化	123
受体的结构和功能	90	第 7 章 动作电位的离子基础	125
孔道内衬的结构	91	电压钳实验	126
AChR 的高分辨率成像	92	专题 7.1 电压钳	127
受体的激活	92		

电容电流和漏电流	128	内向氯转运	166
钠和钾携带的电流	128	钾 - 氯外向协同转运	166
钠通道和钾通道的选择性毒剂	128	氯 - 碳酸氢根交换	167
离子电流对膜电位的依赖性	129	神经递质的转运	167
钠电流的失活	130	转运进入突触前囊泡	167
钠、钾电导作为电位的函数	131	递质摄取	168
钠电导和钾电导的定量描述	132	转运体的分子结构	170
动作电位的重构	133	ATP 酶	171
阈值和不应期	134	钠 - 钙交换体	171
门控电流	135	氯转运体	171
激活和失活的机制	136	神经递质的转运分子	172
单通道的激活和失活	137	转运机制的生理意义	172
后电位	138	第 10 章 神经胶质细胞的特性和功能	177
兴奋过程中钙的作用	141	历史回顾	178
钙动作电位	141	胶质细胞的外观和分类	178
钙离子和兴奋性	141	神经元、胶质细胞和毛细血管之间的 结构关系	181
第 8 章 神经元电信号	145	神经胶质细胞膜的生理特性	182
细胞膜的特殊电学特性	147	胶质细胞膜的离子通道、泵和受体	183
神经纤维中的电流流动	147	胶质细胞之间的电耦合	184
专题 8.1 电缆常数和膜特性的关系	149	神经胶质细胞的功能	184
动作电位传播	150	髓鞘及神经胶质细胞在轴突传导中的 作用	184
有髓鞘神经和跳跃传导	151	胶质细胞与发育	186
专题 8.2 脊椎动物的神经纤维分类	151	小胶质细胞在中枢神经系统修复与再 生中的作用	188
有髓鞘纤维上通道分布	152	神经膜细胞作为外周神经生长的通路	189
几何形状与传导阻滞	153	谨慎性注解	190
树突中的传导	153	神经元活动对胶质细胞的作用	191
细胞之间的电流通路	155	细胞外空间中钾的积聚	191
第 9 章 离子跨膜转运	159	通过胶质细胞的钾及钙的移动	192
钠 - 钾交换泵	160	胶质细胞的钙波	192
钠 - 钾 ATP 酶的生化特性	160	胶质细胞对胞外钾浓度的空间缓冲作用	193
钠 - 钾交换泵是生电性的实验证据	160	胶质细胞和神经递质	193
离子转位的机制	162	胶质细胞释放神经递质	194
钙泵	163	胶质细胞对突触传递的即刻效应	195
内质网 / 肌浆网钙 ATP 酶	163	胶质细胞与血脑屏障	196
质膜钙 ATP 酶	163	专题 10.1 血脑屏障	196
钠 - 钙交换体	163	星形胶质细胞与通过脑的血流	198
钠 - 钙交换转运系统	164	代谢产物从胶质细胞向神经元转移	199
钠 - 钙交换的翻转	164		
视网膜视杆细胞上的钠 - 钙交换	165		
氯转运	166		

胶质细胞及中枢神经系统的免疫反应	199	G 蛋白激活钾通道	244
		G 蛋白对钙通道的抑制参与递质释放	247
第 3 部分 细胞间通讯	205	G 蛋白激活胞内第二信使系统	249
第 11 章 直接突触传递的机制	207	β -肾上腺素能受体通过 G 蛋白-腺苷酸环化酶途径激活钙通道	250
突触传递	208	专题 12.3 cAMP 作为第二信使	252
专题 11.1 电传递还是化学传递?	208	专题 12.4 磷脂酰肌醇-4,5-二磷酸(PIP₂)和磷酸肌醇(PI)循环	253
化学突触传递	210	cAMP 除活化腺苷酸环化酶外的功能	254
突触结构	210	G 蛋白激活磷脂酶 C	254
神经肌肉接头处的突触电位	211	PIP ₂ 的直接作用	256
专题 11.2 作用于神经肌肉接头的药物和毒素	212	G 蛋白激活磷脂酶 A ₂	258
专题 11.3 筒箭毒碱在运动终板的作用	214	间接偶联受体产生信号的会聚和发散	258
测定肌纤维感受 ACh 的区域分布	215	内源性大麻素介导的逆行信号	259
ACh 受体分布的形态学证据	217	专题 12.5 内源性大麻素的形成与代谢	259
ACh 产生的离子流的测量	218	一氧化氮和一氧化碳介导的信号	260
逆转电位的意义	219	钙作为胞内第二信使	263
钠、钾、钙对终板电位的相对贡献	219	钙的作用	264
专题 11.4 运动终板的电学模型	219	专题 12.6 胞内钙的测量	265
静息膜电导与突触电位的幅度	220	间接递质作用的长时间进程	266
通过单个 ACh 受体通道电流的动力学	221	第 13 章 神经递质的释放	273
中枢神经系统中的兴奋性突触电位	222	递质释放的特征	274
直接突触抑制	224	轴突终末去极化和递质释放	274
抑制性电位的逆转	225	突触延迟	275
突触前抑制	227	释放需要钙的证据	275
递质受体定位	229	进入突触前神经终末的钙的测量	276
电突触传递	230	钙进入位点的定位	278
电突触的鉴定和特征	230	胞内浓度跃变引起递质释放	279
电突触和化学突触传递比较	232	调节递质释放的其他因素	280
第 12 章 突触传递的间接机制	239	量子释放	281
直接传递与间接传递	240	多分子量子的自发释放	281
G 蛋白偶联代谢型受体和 G 蛋白	241	终板电位的波动	282
G 蛋白偶联受体的结构	241	终板电位的统计学分析	283
专题 12.1 受体、G 蛋白和效应器: G 蛋白信号运作的会聚与辐散	242	专题 13.1 量子释放的统计涨落	283
G 蛋白	242	神经元突触处的量子含量	286
专题 12.2 鉴别 G 蛋白介导的反应	243	量子中的分子数	286
受体激活的 G 蛋白调控离子通道功能: 直接作用	244	一个量子所激活的通道数	287
		神经肌肉接头处平均量子大小的变化	288
		非量子释放	289
		囊泡与递质释放	289

神经终末的超微结构	290	轴浆运输	356
胞吐作用的形态学证据	291	轴浆运输的速率和方向	356
通过胞吐释放囊泡的内容物	292	微管和快速运输	357
在活细胞中监测胞吐及胞吞	293	慢速轴浆运输的机制	359
胞吐的机制	295	递质从突触间隙的清除	359
突触囊泡附着的高分辨率结构	296	乙酰胆碱酯酶清除乙酰胆碱	359
突触囊泡的重摄取	298	通过水解清除 ATP	361
囊泡再利用的通路	300	通过摄取清除递质	361
带状突触	301	第 16 章 突触可塑性	367
囊泡池	302	信号传递的短时程变化	368
第 14 章 中枢神经系统递质	309	递质释放的易化和压抑	368
CNS 内的化学传递	310	强直后增强和增高	369
专题 14.1 中枢递质的发现: I. 氨基酸	310	短时程突触变化的机制	371
专题 14.2 中枢递质的发现: II. 神经肽类	311	信号传递的长时程变化	373
递质分布的定位	312	长时程增强	373
在活体脑组织标记递质特异性神经元	314	海马锥体细胞的联合型 LTP	373
主要递质	315	LTP 诱导的机制	376
谷氨酸	315	安静突触	377
氨基丁酸和甘氨酸	316	突触前 LTP	379
乙酰胆碱	319	长时程压抑	380
生物胺	322	小脑的 LTD	381
三磷酸腺苷 (ATP)	329	LTD 的机制	381
肽类	330	突触前 LTD	382
P 物质	330	突触效能变化的意义	382
阿片肽	331	第 4 部分 整合机制	387
促醒肽	332	第 17 章 自主神经系统	389
血管紧张素和催产素: 社会脑	334	非随意控制的功能	390
第 15 章 神经递质的合成、转移、贮存和失活	345	交感和副交感神经系统	390
神经递质的合成	346	自主神经节中的突触传递	392
乙酰胆碱的合成	346	自主神经节中的 M 电流	394
多巴胺和去甲肾上腺素的合成	348	神经节后轴突的递质释放	394
5-羟色胺的合成	350	专题 17.1 认识交感神经机制的道路	396
GABA 的合成	351	嘌呤能传递	397
谷氨酸的合成	351	自主神经系统的感觉输入	397
递质合成的短时程和长时程调节	352	肠神经系统	399
神经肽的合成	352	下丘脑对自主功能的调节	399
递质在突触囊泡内的贮存	354	释放激素的下丘脑神经元	400
共贮存和共释放	355	GnRH 细胞的分布和数目	400