

新世纪全国高等中医药院校创新教材

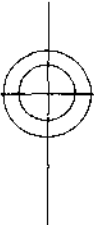


神经解剖学

(供研究生 七年制用)

主编 白丽敏 李亚东

中国中医药出版社



新世纪全国高等中医药院校创新教材

神经解剖学

(供研究生 七年制用)

主 编 白丽敏 (北京中医药大学)
李亚东 (黑龙江中医药大学)
副主编 孙红梅 (北京中医药大学)
张力华 (成都中医药大学)
李殿宁 (南京中医药大学)
主 审 严振国 (上海中医药大学)

中国中医药出版社
·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

神经解剖学/白丽敏, 李亚东主编. —北京: 中国中医药出版社, 2003.8
新世纪全国高等中医药院校创新教材

ISBN 7-80156-540-1

I. 神… II. ①白…②李… III. 神经系统-人体解剖学-中医学院-教材 IV. R322.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 072256 号

中国中医药出版社出版

发行者: 中国中医药出版社

(北京市朝阳区北三环东路 28 号易亨大厦 电话:64405750 邮编:100013)

(邮购联系电话: 84042153 64065413)

印刷者: 北京市松源印刷有限公司

经销者: 新华书店总店北京发行所

开本: 850×1168 毫米 16 开

字数: 421 千字

印张: 17.25

版次: 2003 年 8 月第 1 版

印次: 2003 年 8 月第 1 次印刷

册数: 5000

书号: ISBN 7-80156-540-1/R·540

定价: 23.00 元

如有质量问题, 请与出版社发行部调换。

HTTP: //WWW.CPTCM.COM

前 言

在揭开人脑奥秘长河中发展起来的神经生物学已成为 21 世纪的前沿科学。神经解剖学是神经生物学的重要组成部分，是神经生理、神经化学、神经药理、神经免疫、神经病理及临床神经、精神病学的基础。在神经生物学的发展过程中，神经解剖学起到了重要作用。但由于种种原因的限制，目前中医院校的《正常人体解剖学》神经部分的内容远远不能满足七年制和研究生的教学和科研需要，为此编写了这本《神经解剖学》。

本书在编写过程中参考了国内、外有关资料，力求做到具有系统性、科学性、适用性及时代特征。全书共约 30 万字，附插图 150 幅，内容简明扼要，重点突出，既适合中医院校七年制、研究生的课堂教学和科研需要，也适合广大神经科学工作者、临床医生及医学院校的高年级学生。

本书在介绍神经解剖学基础知识的同时兼顾临床；在介绍传统知识的同时增加了近年来神经科学的新发展。为了拓展知识面，在介绍形态学内容的同时也介绍了生理、生化等内容。为了便于查找和学习方便，书末附有中、英文名词对照。

由于参加本书的编写人员较多和编写时间较短的限制，书中不免存在不足或错误之处，恳请同行和读者提出批评指正。

编者
2003 年 5 月

目 录

| | | | |
|-----------------------------|------|----------------------------|-------|
| 第一章 概述 | (1) | 二、脊神经的分支 | (38) |
| 一、神经系统的基本功能 | (1) | 第三节 脊髓的节段性支配 | (53) |
| 二、神经系统的区分 | (1) | 一、脊髓对肌肉的节段性支配 | (53) |
| 三、神经系统的活动方式 | (2) | 二、脊髓对皮肤的节段性支配 | (53) |
| 四、神经系统的常用术语 | (5) | 第五章 脑和脑神经 | (55) |
| 第二章 神经组织 | (7) | 第一节 脑 | (55) |
| 第一节 神经细胞 | (7) | 一、脑干 | (55) |
| 一、神经元的构造 | (7) | 二、小脑 | (74) |
| 二、神经元的分类 | (11) | 三、间脑 | (79) |
| 三、突触 | (13) | 四、大脑 | (86) |
| 四、神经元的变性与再生 | (15) | 第二节 脑神经 | (103) |
| 第二节 神经胶质 | (17) | 一、嗅神经 | (105) |
| 一、概述 | (17) | 二、视神经 | (106) |
| 二、胶质细胞的分类 | (17) | 三、动眼神经 | (106) |
| 第三章 神经系统的发生 | (21) | 四、滑车神经 | (106) |
| 第一节 神经管的形成和演化 | (21) | 五、三叉神经 | (107) |
| 一、神经管的形成 | (21) | 六、展神经 | (110) |
| 二、脊髓的发育 | (23) | 七、面神经 | (111) |
| 三、脑的发育 | (24) | 八、前庭蜗神经 | (115) |
| 第二节 神经嵴的发育 | (26) | 九、舌咽神经 | (116) |
| 一、脑、脊神经节的形成 | (26) | 十、迷走神经 | (117) |
| 二、交感神经节的形成 | (27) | 十一、副神经 | (120) |
| 第四章 脊髓和脊神经 | (28) | 十二、舌下神经 | (120) |
| 第一节 脊髓 | (28) | 第六章 脑和脊髓的传导路 | (123) |
| 一、脊髓的位置和外形 | (28) | 第一节 感觉传导路 | (123) |
| 二、脊髓的节段及与椎骨的对 对应关系 | (29) | 一、本体感觉传导通路 | (123) |
| 三、脊髓的内部结构 | (30) | 二、痛、温、粗触觉和压觉 传导通路 | (126) |
| 第二节 脊神经 | (37) | | |
| 一、概述 | (37) | | |

| | |
|---|-------|
| 三、视觉传导通路和瞳孔对 光反射通路····· | (127) |
| 四、听觉传导通路····· | (129) |
| 五、平衡觉传导通路····· | (129) |
| 第二节 运动传导路····· | (131) |
| 一、躯体运动传导通路····· | (131) |
| 二、内脏运动传导通路····· | (136) |
| 第七章 内脏神经系统 ····· | (142) |
| 第一节 内脏运动神经····· | (142) |
| 一、交感神经····· | (144) |
| 二、副交感神经····· | (148) |
| 三、交感神经与副交感神经 的主要区别····· | (149) |
| 四、内脏神经丛····· | (150) |
| 第二节 内脏感觉神经····· | (151) |
| 一、内脏感觉神经与躯体感 觉神经的主要区别····· | (151) |
| 二、内脏感觉传导通路····· | (152) |
| 第三节 牵涉性痛····· | (152) |
| 第八章 脑和脊髓的被膜、脑室和 脑脊液、血液供应及血脑 屏障 ····· | (159) |
| 第一节 脑和脊髓的被膜····· | (159) |
| 一、硬膜····· | (159) |
| 二、蛛网膜····· | (162) |
| 三、软膜····· | (163) |
| 第二节 脑室和脑脊液····· | (163) |
| 一、脑室····· | (163) |
| 二、脑脊液及其循环····· | (165) |
| 第三节 脑和脊髓的血管····· | (167) |
| 一、脑的血管····· | (167) |
| 二、脊髓的血管····· | (171) |
| 第四节 脑屏障····· | (173) |
| 一、血-脑屏障····· | (173) |
| 二、血-脑脊液····· | (174) |
| 三、脑脊液-脑屏障····· | (175) |

| | |
|--|-------|
| 第九章 神经递质和神经调质及 神经营养物质 ····· | (176) |
| 第一节 神经递质····· | (176) |
| 一、概述····· | (176) |
| 二、乙酰胆碱····· | (176) |
| 三、去甲肾上腺素和肾上腺 素····· | (178) |
| 四、多巴胺····· | (179) |
| 五、5-羟色胺····· | (179) |
| 六、组胺····· | (180) |
| 七、氨基酸····· | (180) |
| 第二节 神经调质····· | (182) |
| 一、概述····· | (182) |
| 二、主要的神经肽····· | (183) |
| 三、一氧化氮····· | (190) |
| 第三节 神经营养物质····· | (192) |
| 一、概述····· | (192) |
| 二、神经营养素家族····· | (192) |
| 三、睫状节神经营养因子····· | (193) |
| 四、胶质细胞源性神经营 养因子····· | (194) |
| 五、成纤维细胞生长因子····· | (194) |
| 六、胰岛素样生长因子····· | (195) |
| 第十章 神经解剖学的研究方法 ····· | (196) |
| 第一节 传统研究方法····· | (196) |
| 一、人体研究方法····· | (196) |
| 二、组织学研究方法····· | (197) |
| 第二节 近代研究方法····· | (200) |
| 一、辣根过氧化物酶 (HRP) 法····· | (200) |
| 二、放射自显影技术····· | (202) |
| 三、免疫细胞化学技术····· | (203) |
| 四、原位杂交组织化学技术····· | (205) |
| 五、流式细胞技术····· | (207) |
| 六、电子显微镜技术····· | (208) |
| 七、激光扫描共聚焦显微镜技 术····· | (209) |

| | |
|------------------------|-------------------|
| 八、神经组织和细胞培养····· (210) | 英文索引····· (241) |
| 中文索引····· (215) | 主要参考书目····· (267) |

第一章

概 述

一、神经系统的基本功能

神经系统 (nervous system) 是人体结构和功能最复杂的系统, 由脑、脊髓及与脑和脊髓相连的脑神经和脊神经所组成, 在机体各系统中起主导作用。其基本功能如下:

(一) 神经系统调节和控制各系统各器官的功能活动, 使机体成为一个完整统一的整体。例如, 当人在体育锻炼时, 随着骨骼肌的收缩, 出现呼吸加深加快、心跳加速等一系列变化, 这些都是在神经系统的调控下完成的。

(二) 神经系统通过调整机体的功能活动, 维持机体与外环境间的统一, 使机体适应不断变化的外界环境。例如, 天气寒冷时, 通过神经调节使周围小血管收缩, 减少散热, 使体温维持在正常水平。

(三) 人类在长期的进化发展过程中, 神经系统, 特别是大脑皮质得到了高度发展, 产生了语言和思维, 不仅能被动地适应外界环境的变化, 而且能主动地认识世界和改造世界, 使自然界为人类服务, 这是人类神经系统功能最主要的方面。

二、神经系统的区分

神经系统无论在形态上还是在功能上都是一个不可分割的整体, 为了学习方便, 可以从不同的角度将其区分。

(一) 根据位置和功能区分

根据位置和功能神经系统可分为中枢神经系统和周围神经系统 (图 1-1)。

1. 中枢神经系统 (central nervous system) 包括脑和脊髓。脑位于颅腔内, 脊髓位于椎管内, 两者在枕骨大孔处相连。中枢神经系统有控制和调节整个机体活动的功能。

2. 周围神经系统 (peripheral nervous system) 是指与脑相连的 12 对脑神经和与脊髓相连的 31 对脊神经。

(二) 根据分布对象区分

根据周围神经分布的对象, 神经系统可分为躯体神经系统和内脏神经系统 (自主神经系统)。它们的中枢部在脑和脊髓内, 周围部分别称为躯体神经和内脏神经。

1. 躯体神经 (somatic nerves) 分布于皮肤和运动系统 (骨、关节和骨骼肌), 管理它们的感觉及运动。

2. 内脏神经 (visceral nerves) 分布到内脏、心血管、平滑肌和腺体。管理它们的感觉及

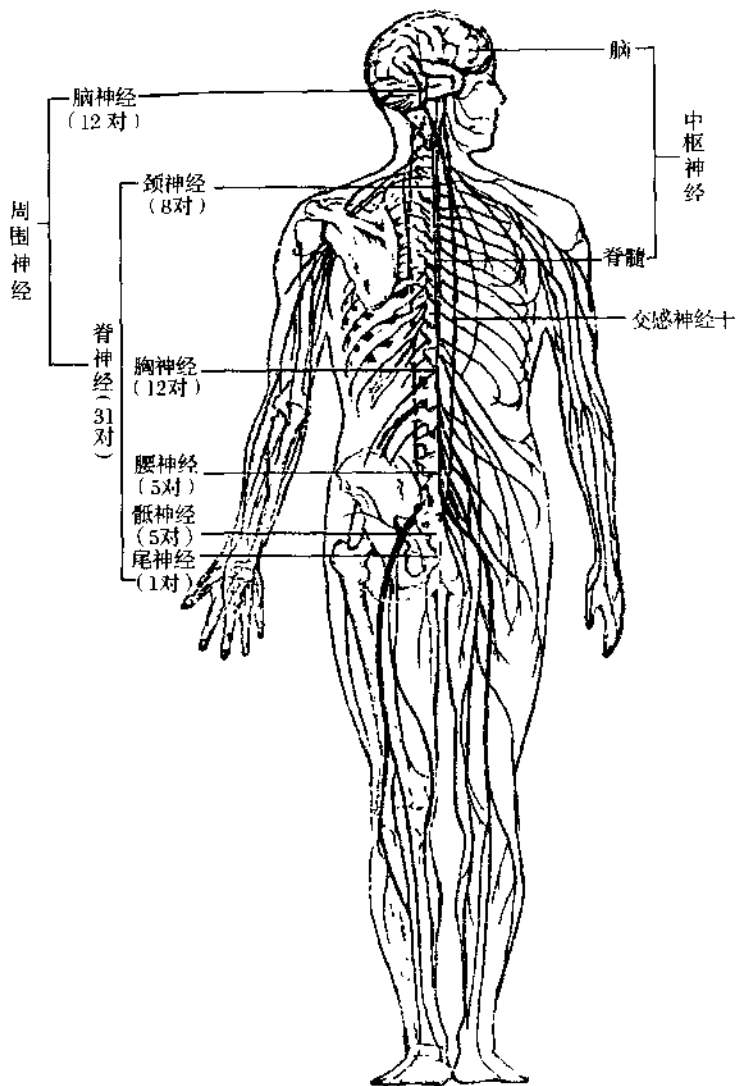


图 1-1 人的神经系统

运动。

在周围神经中，感觉神经的冲动是自感受器传向中枢，故又称传入神经；运动神经的冲动是自中枢传向周围，故又称传出神经；内脏运动神经根据其功能不同又分为交感神经和副交感神经。

三、神经系统的活动方式

神经系统的功能活动十分复杂，但基本的活动方式是反射 (reflex)。所谓反射是神经系统对内、外环境的刺激所做出的反应。反射活动的形态基础是反射弧 (reflex arc)。最简单的

反射弧由感觉和运动两个神经元组成，如膝跳反射。而一般的反射弧都在感觉与运动神经元之间存在不同数目的联络神经元。一个反射弧涉及的联络神经元越多引起的反射活动越复杂。无论反射弧多么复杂，都包括五个基本组成部分：感受器→传入神经→反射中枢→传出神经→效应器（图 1-2）。反射弧中任何一环发生故障，反射活动即减弱或消失。临床上常通过一些反射检查来协助诊断神经系统疾病。

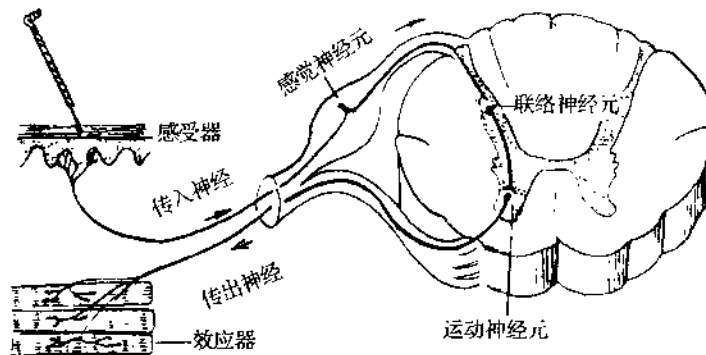


图 1-2 反射弧

反射可从不同的角度分类。根据其形成过程分为条件反射和非条件反射；根据参加反射活动的器官，分为浅反射、深反射和内脏反射；在患某些疾病时又出现病理反射。下面简述常见的反射：

(一) 浅反射

刺激皮肤、角膜、粘膜引起骨骼肌收缩的反射，称为浅反射。常用的浅反射见表 1-1。

表 1-1 浅反射

| 反射名称 | 检查法 | 反应 | 传入神经 | 中枢 | 传出神经 | 效应器 |
|------|-----------|---------|-----------|----------------------------------|-----------|------|
| 角膜反射 | 用棉絮轻触角膜 | 闭眼睑 | 三叉神经的眼神经 | 三叉神经脑桥核、脊束核和面神经核 | 面神经 | 眼轮匝肌 |
| 咽反射 | 用压舌板轻触咽后壁 | 作呕和软腭上提 | 舌咽神经 | 孤束核、疑核 | 迷走神经 | 咽缩肌 |
| 腹壁反射 | 轻划腹壁皮肤 | 腹肌收缩 | 肋间神经和肋下神经 | T ₇ - T ₁₂ | 肋间神经和肋下神经 | 腹肌 |
| 提睾反射 | 轻划股内侧皮肤 | 睾丸上提 | 闭孔神经 | L ₁₋₂ | 生殖股神经 | 提睾肌 |

| 反射名称 | 检查法 | 反应 | 传入神经 | 中枢 | 传出神经 | 效应器 |
|------|----------|------|------|------------------|------|--------|
| 肛门反射 | 轻划肛门附近皮肤 | 肛门收缩 | 肛神经 | S ₂₋₅ | 肛神经 | 肛门外括约肌 |
| 足底反射 | 轻划足底皮肤 | 足趾跖屈 | 胫神经 | S ₁₋₂ | 胫神经 | 趾屈肌 |

浅反射减弱或消失表示反射弧的中断或抑制。

(二) 深反射

刺激肌、肌腱、骨膜和关节的本体感受器而引起的反射，称为深反射。常用的深反射见表 1-2。

表 1-2 深反射

| 反射名称 | 检查法 | 反应 | 传入神经 | 中枢 | 传出神经 | 效应器 |
|--------|--------------|-------|------|-------------------|------|-------|
| 下颌反射 | 轻叩微张的下颌中部或两侧 | 下颌上提 | 下颌神经 | 三叉神经脊束核和面神经核 | 下颌神经 | 咀嚼肌 |
| 肱二头肌反射 | 轻叩肱二头肌腱 | 屈肘 | 肌皮神经 | C ₅₋₆ | 肌皮神经 | 肱二头肌 |
| 肱三头肌反射 | 轻叩肱三头肌腱 | 伸肘 | 桡神经 | C ₆₋₈ | 桡神经 | 肱三头肌 |
| 腹肌反射 | 轻叩肋骨缘或腹肌附着处 | 腹肌收缩 | 肋间神经 | T ₆₋₁₂ | 肋间神经 | 腹肌 |
| 膝反射 | 轻叩髌韧带 | 膝关节伸直 | 股神经 | L ₂₋₄ | 股神经 | 股四头肌 |
| 跟腱反射 | 轻叩跟腱 | 足跖屈 | 坐骨神经 | S ₁₋₂ | 坐骨神经 | 小腿三头肌 |

深反射减弱或消失表示反射弧的中断或抑制。深反射亢进见于上运动神经元损伤，亦可见于甲状腺机能亢进及神经官能症。

(三) 内脏反射

内脏反射包括躯体-内脏反射、内脏-内脏反射和内脏-躯体反射。常见的内脏反射见表 1-3。

表 1-3 内脏反射

| 反射名称 | 反应 | 传入神经 | 中枢 | 传出神经 | 效应器 |
|------|-------|-----------------|------------------|----------|--------|
| 呼吸反射 | 节律性呼吸 | 迷走神经下神经节感觉细胞周围突 | 孤束核和颈 3-5 节段前角细胞 | 膈神经、肋间神经 | 膈肌和肋间肌 |

| 反射名称 | 反应 | 传入神经 | 中枢 | 传出神经 | 效应器 |
|------|------|---------------------------------|---------------------------|--|-----------------|
| 呕吐反射 | 呕吐 | 脊神经节细胞发出的内脏传入纤维和迷走神经下神经节发出的传入纤维 | 脊髓、孤束核、网状结构、延髓呕吐中枢和迷走神经背核 | 颈、胸段脊神经、膈神经、肋间神经、交感低位中枢下胸段发出的节前纤维及换元后的节后纤维 | 膈肌、肋间肌、胃肌和幽门括约肌 |
| 咳嗽反射 | 咳嗽 | 迷走神经及分支喉上神经 | 孤束核、颈胸段脊髓前角 | 颈、胸段脊神经、膈神经 | 膈肌、肋间肌和腹肌 |
| 腭垂反射 | 腭垂上提 | 舌咽神经咽支 | 疑核 | 迷走神经 | 腭垂肌 |

(四) 病理反射

在正常情况下不出现，当中枢神经损害后，锥体束失去对脑干或脊髓的抑制作用则出现的异常反射称病理反射。但在1岁半以下的婴儿则是正常的原始保护反射，以后随着锥体束的发育成熟，这些反射被锥体束抑制。当锥体束受损，抑制作用解除，这类反射又出现。如：**巴彬斯基**（Babinski）征是最重要的锥体束受损害的体征，检查时是用钝针在足底自后向前轻划足底外侧缘的皮肤，其反应为脚趾背屈和其他4趾呈扇形分开；**霍夫曼**（Hoffmann）征，检查者用左手握住患者的前臂，右手食指和中指夹住患者的中指，并使中指和手腕轻度向背侧伸，用拇指轻弹中指指甲，可引起拇指和食指屈曲运动。此外常用的病理反射还有 Chaddock 征、Gordon 征、Oppenheim 征等。

四、神经系统的常用术语

神经系统结构十分复杂，根据神经元胞体和突起在中枢和周围神经系统的分布，使用不同的术语表示。

1. **灰质**（gray matter）在中枢内，神经元胞体及其树突的集聚部位，因新鲜标本色泽暗灰称灰质。分布在大、小脑表面的灰质，又称为皮质（cortex）。

2. **白质**（white matter）在中枢内，神经纤维聚集的部位，因新鲜标本呈白色、而称白质。

3. **神经核**（nucleus）在中枢内，皮质以外，功能相同的神经元胞体聚集成细胞团或柱，称为神经核。

4. **神经节**（ganglion）在周围部，神经元胞体集聚处称神经节。

5. **纤维束**（fasciculus）中枢神经系统中，凡起止、行程和功能基本相同的神经元突起集合在一起称为纤维束，又称传导束。

6. **神经**（nerve）神经元的突起在周围部集聚在一起称为神经，外包被膜，分布于全身各

器官及组织。每条神经或神经干的外周都有结缔组织、血管和淋巴管组成的**神经外膜** (epineurium) 包裹, 这些组成神经外膜的成分伸入神经内, 将其分成大小不等的神经束, 包裹每个神经束的结缔组织成分称**神经束膜** (perineurium); 神经束膜又伸入每条神经纤维之间, 并包裹每条神经纤维, 称之为**神经内膜** (endoneurium)。

第二章

神经组织

神经系统主要由神经组织构成，神经组织由神经细胞和神经胶质组成。

第一节 神经细胞

神经细胞 (nerve cell) 是一种高度分化的特殊细胞，形状大小各异，是神经系统的结构和功能的基本单位，故又称**神经元** (neuron)。神经元具有感受刺激和传导神经冲动的功能，有些神经元还有分泌功能。

一、神经元的构造

虽然神经元的大小不一、形态各异，但每个神经元都由胞体和突起两部分构成 (图 2-1)。

(一) 胞体

神经元的**胞体** (soma) 位于中枢神经系统的灰质和周围神经的神经节内，是神经元的代谢和营养中心。其形态有圆形、梭形和锥形等；其大小不一，直径可从 $3 \sim 15 \mu\text{m}$ 不等，最大的可达 $100 \mu\text{m}$ 以上。神经元胞体的超微结构与其它细胞大致相似，有细胞膜、细胞核、细胞质和细胞器 (图 2-2)。

1. **神经膜** (cell membrane) 又称**神经元膜** (neuronal membrane) 同其它细胞膜一样作为屏障，紧密包裹着神经元内的细胞质，也是球形蛋白以各种镶嵌形式与脂质双分子层相结合的液态镶嵌模型膜。神经细胞通过神经元膜进行信息传递、神经冲动的发生、扩布、物质运输、代谢调控以及细胞外物质识别等多种功能。因此神经元膜在某些部位有些特化。如在突触部位增厚形成突触前膜或突触后膜。

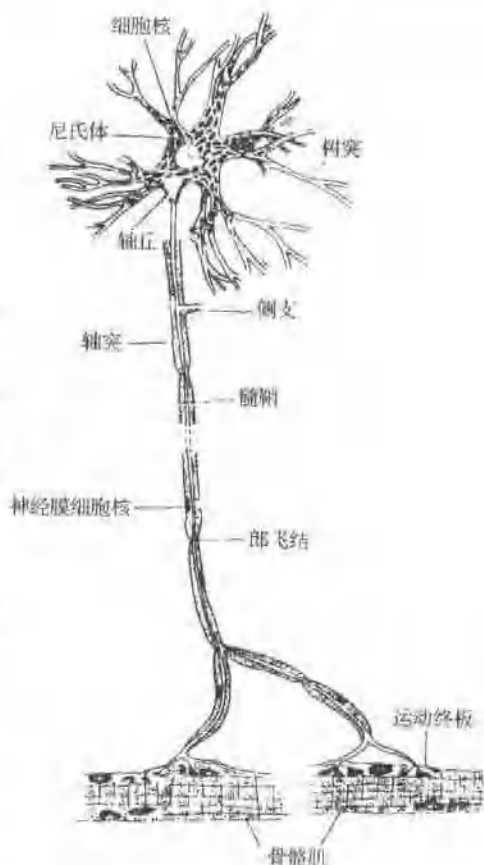


图 2-1 神经元基本构造

2. **细胞核 (nucleus)** 神经元的细胞核呈圆形或卵圆形，一般较大，居于胞体的中心。大多数神经元只有一个细胞核，但有两个核的神经元也不罕见。光镜下染色浅淡，染色质均一地分布于核内。其由核膜、核仁及染色质等构成。在电镜下，**核膜 (nuclear membrane)** 由两层膜（即外膜和内膜）组成。膜间有腔隙。两层膜与内质网池腔相连。因此，可以认为核膜是内质网的一部分。核膜上有许多小孔—核孔，是核与胞浆之间通讯和物质运输的通道。神经元的**染色质 (chromatin)** 主要为**常染色质 (euchromatin)**，为稀疏分布的纤维细丝，丝的直径约 20nm。染色质的主要成分为含遗传物质的 DNA 及蛋白和酶类。**核仁 (nucleoli)** 一般一个，有时 2 个或多个。神经元的核仁也是由纤维部和颗粒部两部分组成，两部彼此紧密混杂，在电子致密成分之间出现透明区，使核仁出现空泡样结构。核仁的主要成分为 rRNA，还有少量的 DNA、蛋白及酶类。

细胞核是遗传信息储存、复制、表达的主要场所，又是将 DNA 转录成 RNA 的部位。染色质直接合成 mRNA，核仁主要合成 rRNA，形成核糖体，它们经核孔至胞浆，由这些 RNA 分子再转录成各种蛋白。核在有丝分裂中复制 DNA。神经元在发育期具有有丝分裂活动，但定向分化一旦开始，有丝分裂的潜力就丧失，细胞不再回复至可诱发有丝分裂的状态，绝大多数哺乳动物出生后或出生不久神经元的有丝分裂活动便停止。

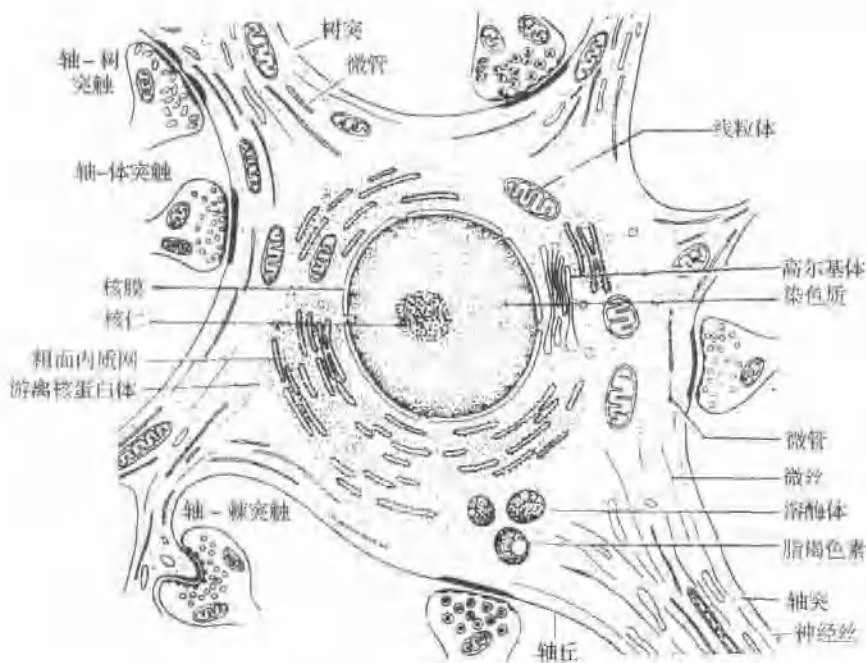


图 2-2 神经元的超微结构

3. **细胞质 (cytoplasm)** 或称核周质 (perikaryon) 神经元的核周质除含有一般细胞所具有的细胞器外，还有其特殊的结构如尼氏体等。

(1) **核糖体** (ribosome) 是胞浆内的致密球状物, 是由蛋白质和 rRNA 组成的复合体。神经细胞内核糖体非常丰富, 远远超过神经胶质和其它非神经细胞。核糖体有的单个存在, 有的几个像花瓣状聚集在一起, 称为**多聚核糖体** (poly ribosome), 核糖体有的游离于胞浆称为**游离核糖体** (free ribosome), 也有的附于膜上称**附膜核糖体**。核糖体是神经元内蛋白质合成的基地。

(2) **粗面内质网** (rough endoplasmic reticulum, ER) 是一种扁平的囊状或管状膜结构, 膜表面附有核糖体。在有些神经元, 粗面内质网可延伸至树突近端, 甚至更远。粗面内质网的主要功能是合成蛋白质。

(3) **尼氏体** (Nissl body) 光镜下碱性染料 (如美蓝、甲基胺蓝、硫堇或焦油紫) 可将神经元内的嗜染质染成深蓝的颗粒或块状, 称尼氏体。在电镜下, 尼氏体是由大量平行排列的粗面内质网和其间游离的核糖体组成。尼氏体为神经元合成蛋白最活跃的部位, 是结构蛋白和分泌蛋白的合成中心。当神经元受到损伤或轴突断裂时尼氏体分解或消失, 这种现象称**尼氏质溶解** (chromatolysis)。如果受伤的神经元得到恢复时, 尼氏体将会重新出现。

(4) **滑面内质网** (smooth endoplasmic reticulum) 神经细胞中的滑面内质网也很多, 由不规则分支和融合的管或池组成。其不仅分布于神经元的胞体, 还延伸到树突和轴突内。有的神经元的滑面内质网紧靠细胞膜下, 形成较宽的扁平囊, 称**膜下池** (hypolemmal cistern), 可能与膜的离子调节运输有关。滑面内质网具有多种功能, 其除运输蛋白质、合成脂质和胆固醇外, 可调节细胞内物质 (如钙) 的浓度, 还是膜发生的主要场所。

(5) **高尔基复合体** (Golgi complex) 神经元的高尔基复合体高度发达。光镜下, 银或铁酸染色, 为一些弯曲的粗线或颗粒, 围绕胞核, 并深入到大树突内, 但不进入到轴突内。电镜下高尔基复合体的结构是由 5~7 层平行排列的扁平囊及其周围的大小囊泡共同组成的复合体。神经递质和调质物的生成和释放与高尔基复合体有关。

(6) **线粒体** (mitochondrion) 线粒体几乎分布于整个神经元, 包括细胞体、树突和轴突, 甚至最小的突起分支和纤维末梢。线粒体的主要功能是为细胞活动提供能量, 它是神经元氧化供能的中心。通过呼吸作用, 将细胞摄取的物质氧化, 并将氧化所产生的能量转变为化学能储存起来, 以供细胞活动之用。多数神经元缺乏储存糖元的能力, 其能量主要依赖于循环的葡萄糖供给, 因此, 人脑的血液供应被阻断几秒钟就会失去知觉。线粒体是动物细胞中除核以外唯一含有 DNA 的细胞器, 而且含有蛋白质合成系统 (mRNA、rRNA、tRNA 等), 但仅有少数蛋白质在线粒体内合成, 大多数蛋白质还是在核 DNA 上编码的。神经元内线粒体的另一重要功能是胞内钙的调节因素之一。线粒体有储存钙的功能, 其在胞内钙的调节中起重要作用。

(7) **溶酶体** (lysosome) 溶酶体是细胞的消化系统, 是一种囊泡状的结构, 内含多种水解酶。可降解各种蛋白质、多肽及多种衰老的膜和细胞器。

一种称为家族性黑蒙性白痴病 (Tay-Sachs 病) 是溶酶体缺陷引起的。这是一种遗传的退行性病变, 导致智力迟钝, 神经系统功能紊乱。

神经元的另一个特点是**脂褐素** (lipofuscin) 颗粒的出现, 随年龄增长而增加。新生儿的细胞不含脂褐素, 约 6 岁时出现于神经节细胞, 20 岁后出现于大脑皮质, 老年时可占据某

些神经元胞体的大部分。这种颗粒实际上是含不消化的残余物的溶酶体。脂褐素由于大量出现在老年人的神经细胞内，故又称老年素。

(8) **细胞骨架 (cytoskeleton)**: 细胞骨架包括微管、神经丝和微丝。

1) **微管 (microtubule)** 直径约 20~30nm, 为不分支的中空管状物。它们有规则地相隔排列。轴突内的微管比较稳定, 但当轴突受到刺激, 如低温和解聚药物 (秋水仙碱, 长春新碱) 的干扰时, 微管断解, 轴突的快相运输被阻断。微管的功能是作为细胞的骨架结构维持细胞的形态, 参与细胞内颗粒和细胞器的运动及细胞内物质运输。

2) **神经细丝 (neurofilament)** 直径约 10nm, 由厚约 3nm 的致密外层和明亮的中柱组成。神经细丝不是神经元独有的, 它存在于所有真核细胞的胞体中, 称为**中间丝 (intermediate filament)**, 在神经元内称神经细丝。神经细丝不分支, 其大小介于微管和微丝之间。神经细丝多聚集于神经元树突的基部和轴丘, 这两个部分使神经元在结构上比较稳固。神经细丝在光镜下称为**神经原纤维 (neurofibril)**, 老年痴呆时出现神经原纤维缠结。神经细丝除起支持作用, 与微管、微丝相连在细胞中传递信息外, 也可与微管、微丝一起参与细胞内物质的运输。

3) **微丝 (microfilament)**: 直径约 5~6nm, 存在于整个神经元之中, 但轴突内最多。微丝在神经元高度活动的部分 (如轴突的生长锥和树突棘) 占优势。微丝的功能除作为细胞骨架起支持作用外, 主要参与细胞的运动。

(二) 神经元的突起

神经元的突起可分为树突和轴突, 其结构和功能有明显的区别。

1. **树突 (dendrite)** 有接受刺激和将冲动传入胞体的功能, 是胞体的延伸部分, 因此, 核周质所含的细胞器尼氏体、高尔基复合体、游离核糖体、微管、神经细丝都出现在树突内。随着树突分支, 这些细胞器逐渐减少。在树突远端只有少量粗面内质网和游离核糖体。尼氏体出现于整个树突, 但随着树突延伸和分支, 尼氏颗粒变小, 数量也逐渐减少。粗面内质网和游离核糖体始终贯穿于树突全长, 而轴突内无粗面内质网和游离核糖体, 因此, 这是电镜下辨认树突和轴突的主要鉴别点。微管是树突中最明显的细胞器。一些神经元的树突有**树突棘 (dendritic spine)**, 这些结构接受某些类型的突触传入。

2. **轴突 (axon)** 其功能是将冲动传出胞体, 是神经元特有的结构, 起自神经元的**轴丘 (axon hillock)**。轴丘是神经元的锥形隆起。轴突表面光滑, 分支较少, 其分支从主干常呈直角发出, 构成**侧支 (collateral branch)**。轴突主干于全长粗细基本一致。轴突的细胞膜称为**轴膜 (axolemma)**, 细胞质称为**轴浆 (axoplasm)**, 内含微管、神经细丝、线粒体、滑面内质网小池, 但常缺乏核糖体, 故轴突内不合成蛋白质。轴突及其所需的蛋白质和其他活性物质依赖于轴浆运输, 由胞体获得。

表 2-1 树突和轴突的主要特点

| 树突 | 轴突 |
|--------------|------------|
| 从胞体发出, 一条或多条 | 发自轴丘, 只有一条 |