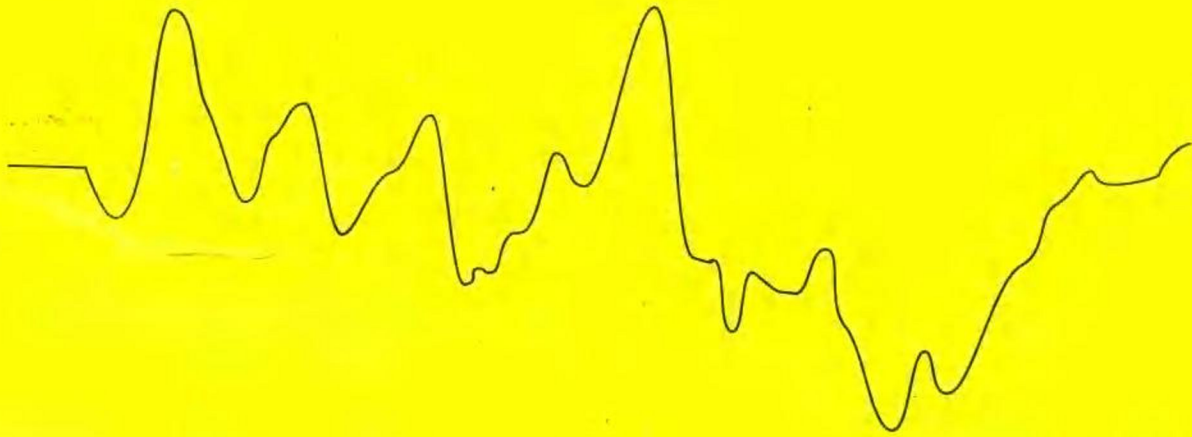


# 简明神经 电生理诊断学

陈国田 曹起龙 主编



科学技术文献出版社

4

R741.044

C9T

1/192/02

# 简明神经电生理诊断学

主 编 陈国田 曹起龙  
 主 审 曹起龙 吴 逊 谭郁玲  
 编著者 (按姓氏笔画为序)

王素香 解放军总医院  
 王援朝 海军总医院  
 刘凤荣 解放军总医院  
 刘秀琴 北京协和医院  
 吴立文 北京协和医院  
 吴 逊 北京医科大学附  
 属一院  
 陈国田 解放军总医院  
 李继德 北京军区总医院  
 肖 荣 解放军总医院

张素珍 解放军总医院  
 侯 沂 北京医科大学附  
 属三院  
 赵 旭 解放军514医院  
 姜泗长 解放军总医院  
 徐敬琴 北京协和医院  
 郭丹华 北京协和医院  
 曹起龙 解放军总医院  
 蒋景文 北京医院  
 谭郁玲 北京天坛医院



科学技术文献出版社

(京)新登字 130 号

## 内 容 简 介

脑电图、肌电图、脑阻抗及导纳图和经颅彩色多普勒超声技术是临床神经电生理常规检查手段之一。本书参考国内外大量有关资料及作者自身经验,比较全面系统地介绍了神经电生理诊断的基本知识和临床应用。具有简明、易懂、实用的特点,使读者能在较短的时间内了解和掌握神经电生理诊断的基本知识。主要内容分为三部分:临床脑电图、脑电地形图、脑诱发电位、事件相关电位、脑电监测等的基本理论及临床应用,临床脑血流动力学测定包括脑阻抗图及脑导纳图、经颅彩色多普勒超声等的基本原理及应用,以及临床肌电图等。本书由著名神经内科、神经电生理专家及长期从事神经电生理诊断专业人员编写和审阅,内容丰富,资料新颖,实用性强,适于各级医务人员,尤其是神经电生理工作者、内科医师及高年级医学生阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

简明神经电生理诊断学/陈国田,曹起龙主编.-北京:科学技术文献出版社,1998.1

ISBN 7-5023-2910-2

I. 简… II. ①陈… ②曹… III. 神经系统疾病-电生理学-诊断  
IV. R741.044

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 00933 号

科学技术文献出版社出版

(北京复兴路 15 号 邮政编码 100038)

北京金特印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 16 开本 22 印张 563 千字

科技新书目:423—326 印数:1—3000 册

定价:33.00 元

## 前 言

脑电图的研究工作,自1924年德国精神病学家 H. Berger 首先从头皮描记了人脑完整的生物电活动以来,已有七十多年历史。随着科学技术的不断进展,脑电图除应用于临床医学外,已广泛应用于航天医学、国防医学、生理学、生物学、药理学、生物医学工程学等领域。随着医学的飞速发展,头颅(CT)扫描、磁共振成像(MRI)、单光子断层扫描(SPECT)、正电子断层扫描(PET)等现代化影像检测技术广泛应用于临床,但是脑电图这门科学不但没有丧失其应有的价值和地位,而且其内容仍不断发展,越来越受到重视,并在许多疾病的早期诊断方面充分显示出它快速、简便、经济、客观的优点。因此,脑电图已成为临床诊断和治疗不可缺少的常规检测手段之一。与此同时,如肌电图、经颅多普勒超声、脑阻抗及导纳图等神经电生理诊断技术,亦有了迅速的进展;且国内要求进修、学习神经电生理诊断技术的人员与日俱增。但目前国内这方面的专著较少,为了满足神经内外科、小儿神经科、五官科、内科等广大医务工作者,尤其是基层医务工作者的需要,我们编写了这本《简明神经电生理诊断学》。

我们整理了多年神经电生理资料,结合其最新进展,以简明、实用并举的形式,从原理、技术、诊断及临床应用等方面,介绍了各种神经电生理诊断的基本知识。同时,也简要介绍了有关检测技术、临床知识及最新进展供读者参考。

本书在编写过程中得到了著名神经病学及神经电生理专家曹起龙、吴逊、谭郁玲、侯沂、徐敬琴、李继德等教授指导,并得到解放军总医院绘图室刘淑范同志、总参通信部门门诊部张爱玲同志的大力帮助和支持,在此一并深表感谢。

由于我们学识浅薄,经验有限,缺点错误在所难免,敬请前辈、师长及广大读者批评指正。

编 著 者

# 目 录

<b>第一章 脑电图学的基本知识</b> .....	( 1 )
第一节 脑电图学发展概要.....	( 1 )
第二节 脑电活动的解剖、生理基础 .....	( 2 )
第三节 异常脑波概述.....	( 11 )
<b>第二章 脑电图仪和检查技术</b> .....	( 14 )
第一节 脑电图机.....	( 14 )
第二节 脑电图室的环境和条件.....	( 17 )
第三节 脑电图室的其它要求.....	( 17 )
第四节 脑电图机的使用、保养与维修 .....	( 18 )
<b>第三章 脑电图描记法</b> .....	( 20 )
第一节 检查前的准备.....	( 20 )
第二节 检查程序.....	( 20 )
第三节 注意事项.....	( 21 )
第四节 关于放大器和记录速度的运用.....	( 22 )
<b>第四章 电极及导联联结方法</b> .....	( 25 )
第一节 电极及其放置.....	( 25 )
第二节 导联联系法.....	( 27 )
第三节 特殊电极.....	( 30 )
<b>第五章 脑电图的伪差和量尺</b> .....	( 37 )
第一节 来自受检者的伪差.....	( 37 )
第二节 来源于脑电图机及其附件的伪差.....	( 38 )
第三节 来自空间的伪差.....	( 38 )
第四节 操作者造成的伪差.....	( 39 )
第五节 脑电图的测量及用具.....	( 39 )
<b>第六章 脑电图检查诱发试验及意义</b> .....	( 42 )
第一节 睁闭眼试验.....	( 42 )
第二节 过度换气试验.....	( 43 )
第三节 闪光刺激试验.....	( 47 )
第四节 睡眠诱发试验.....	( 49 )
第五节 剥夺睡眠.....	( 52 )
第六节 其它诱发试验.....	( 53 )
<b>第七章 脑电图的基本内容</b> .....	( 57 )
第一节 频率.....	( 57 )
第二节 波幅.....	( 58 )

第三节	波形	( 58 )
第四节	位相	( 59 )
第五节	出现方式	( 60 )
第六节	出现部位	( 61 )
第七节	生理反应性	( 61 )
<b>第八章</b>	<b>成年人的脑电图</b>	( 62 )
第一节	健康成年人的脑电图	( 62 )
第二节	成年人的异常脑电图	( 66 )
第三节	老年人正常与异常脑电图	( 70 )
<b>第九章</b>	<b>儿童、青少年正常和异常脑波</b>	( 77 )
第一节	儿童正常脑波的形成基础	( 77 )
第二节	儿童正常脑波的分期和特点	( 78 )
第三节	儿童异常脑波	( 79 )
第四节	儿童热性惊厥和脑电图变化	( 81 )
第五节	儿童期常见的几种异常脑波癫痫	( 82 )
第六节	青少年脑电图	( 84 )
<b>第十章</b>	<b>脑电图的分析及诊断标准</b>	( 87 )
第一节	脑电图的视觉分析与诊断	( 87 )
第二节	脑电图的定量分析与诊断	( 89 )
<b>第十一章</b>	<b>癫痫的脑电图</b>	( 92 )
第一节	脑电图在癫痫诊断治疗的临床意义	( 92 )
第二节	癫痫病人脑电图的常见表现	( 92 )
第三节	癫痫发作和癫痫、癫痫综合征的国际分类及其脑电图特点	( 96 )
第四节	癫痫诊断技术的进展	( 102 )
<b>第十二章</b>	<b>脑肿瘤的脑电图</b>	( 104 )
第一节	脑肿瘤时异常波发生机理	( 104 )
第二节	脑肿瘤时的脑电图改变	( 105 )
第三节	不同部位的脑电图特点	( 109 )
第四节	不同性质脑瘤的脑电图	( 113 )
第五节	老年人脑瘤的脑电图特点	( 115 )
第六节	小儿脑瘤的脑电图特点	( 116 )
<b>第十三章</b>	<b>颅脑损伤的脑电图</b>	( 117 )
第一节	脑震荡	( 117 )
第二节	脑挫伤	( 118 )
第三节	间脑、脑干损伤	( 121 )
第四节	颅内血肿	( 121 )
第五节	外伤性癫痫	( 122 )
第六节	脑外伤后遗症的脑电图	( 124 )

<b>第十四章</b>	<b>脑血管病的脑电图</b> .....	(125)
第一节	脑出血的脑电图.....	(125)
第二节	脑梗塞的脑电图.....	(127)
第三节	蛛网膜下腔出血的脑电图.....	(132)
第四节	短暂性脑缺血发作的脑电图.....	(133)
第五节	颅内动脉瘤、脑动静脉畸形及大脑基底异常血管网病的脑电图.....	(134)
第六节	其它脑血循环障碍的脑电图.....	(135)
<b>第十五章</b>	<b>中枢神经系统感染的脑电图</b> .....	(139)
第一节	脑膜炎的脑电图.....	(139)
第二节	脑炎的脑电图.....	(141)
第三节	亚急性硬化性全脑炎及神经梅毒.....	(143)
第四节	脑寄生虫病及脑脓肿的脑电图.....	(146)
<b>第十六章</b>	<b>智能障碍的脑电图</b> .....	(149)
第一节	智能发育不全.....	(149)
第二节	痴呆的脑电图.....	(152)
<b>第十七章</b>	<b>脱髓鞘性疾病的脑电图</b> .....	(154)
第一节	多发性硬化的脑电图.....	(154)
第二节	弥漫性轴周性脑炎的脑电图.....	(155)
第三节	急性播散性脑脊髓炎的脑电图.....	(155)
<b>第十八章</b>	<b>代谢性疾病的脑电图</b> .....	(157)
第一节	糖尿病的脑电图.....	(157)
第二节	尿毒症的脑电图.....	(157)
第三节	肝性脑病的脑电图.....	(158)
第四节	甲状腺功能亢进症的脑电图.....	(159)
<b>第十九章</b>	<b>精神疾病的脑电图</b> .....	(161)
第一节	精神分裂症.....	(161)
第二节	情感性精神病.....	(166)
第三节	老年性精神病.....	(168)
第四节	儿童期多动综合征.....	(170)
第五节	神经症.....	(172)
第六节	人格障碍.....	(175)
<b>第二十章</b>	<b>动态脑电图、脑电磁图、睡眠监测</b> .....	(177)
第一节	动态脑电图.....	(177)
第二节	脑电磁图.....	(178)
第三节	睡眠监测.....	(179)
<b>第二十一章</b>	<b>脑电地形图</b> .....	(181)
第一节	概述.....	(181)
第二节	方法和原理.....	(181)
第三节	脑电地形图的应用.....	(182)

第四节	国产脑电地形图·····	(185)
第五节	如何分析和评价脑电地形图·····	(186)
第六节	脑电地形图检查要求·····	(186)
第七节	定量及时域脑电地形图·····	(187)
第八节	显著性概率地形图·····	(188)
<b>第二十二章</b>	<b>脑诱发电位及其临床应用·····</b>	<b>(189)</b>
第一节	脑诱发电位的特征·····	(189)
第二节	脑感觉性诱发电位·····	(190)
第三节	脑运动诱发电位·····	(200)
<b>第二十三章</b>	<b>前庭功能检查及临床意义·····</b>	<b>(208)</b>
第一节	眼震电图·····	(208)
第二节	姿势稳定性试验·····	(212)
<b>第二十四章</b>	<b>事件相关电位·····</b>	<b>(214)</b>
第一节	事件相关电位的基本理论·····	(214)
第二节	事件相关电位测试技术与分析·····	(216)
第三节	事件相关电位的应用·····	(224)
<b>第二十五章</b>	<b>彩色多普勒超声定量检测在脑血管病诊断中的进展和应用·····</b>	<b>(227)</b>
第一节	彩色多普勒超声检测技术的进展·····	(227)
第二节	脑循环血流动力学·····	(228)
第三节	方法和指标·····	(229)
第四节	临床应用·····	(238)
第五节	评价·····	(240)
<b>第二十六章</b>	<b>脑梗塞的临床鉴别和 TCD 的相关性·····</b>	<b>(243)</b>
第一节	脑梗塞的基本特征·····	(243)
第二节	脑梗塞临床诊断思维程序·····	(243)
第三节	脑梗塞的鉴别·····	(246)
第四节	脑梗塞和 TCD 检测的相关性·····	(247)
<b>第二十七章</b>	<b>脑阻抗血流图·····</b>	<b>(249)</b>
第一节	概况及进展·····	(249)
第二节	阻抗血流图的基本原理·····	(250)
第三节	测量方法·····	(251)
第四节	测量仪器·····	(252)
第五节	检查方法·····	(253)
第六节	正常脑阻抗血流图的形成·····	(254)
第七节	常用参数·····	(255)
第八节	常见图形及临床意义·····	(258)
第九节	影响检测结果的因素·····	(263)
第十节	功能试验·····	(263)
第十一节	临床应用·····	(265)



<b>第二十八章 肢体阻抗血流图</b> .....	(277)
第一节 基本原理.....	(277)
第二节 测量仪器.....	(278)
第三节 检查方法.....	(278)
第四节 常见图形.....	(278)
第五节 分析指标.....	(278)
第六节 功能试验.....	(279)
第七节 临床应用.....	(281)
<b>第二十九章 脑导纳图</b> .....	(286)
第一节 理论基础.....	(286)
第二节 仪器.....	(288)
第三节 脑导纳变化和导纳变化速率.....	(288)
第四节 脑导纳微分环.....	(290)
第五节 脑导纳图的功率谱.....	(292)
第六节 分析指标及临床意义.....	(294)
第七节 如何分析检测报告.....	(296)
<b>第三十章 临床肌电图</b> .....	(298)
第一节 概述.....	(298)
第二节 检查方法.....	(298)
第三节 神经传导速度检查.....	(300)
第四节 正常肌电图.....	(305)
第五节 异常肌电图.....	(308)
第六节 肌电图的临床应用.....	(310)
<b>附 录</b> .....	(317)
I. 北京地区 2357 例健康人脑电图正常值 .....	(317)
II. 中国 SW-JH2000AVR 型智能化脑电监护仪技术系统及操作规程 .....	(334)
III. 美国 Bio-logic 公司数字化脑电产品 .....	(337)

# 第一章 脑电图学的基本知识

## 第一节 脑电图学发展概要

脑电图是大脑半球的生物电活动,通过电子放大器放大并记录下来,呈节律性脑电活动,是大脑皮层锥体细胞及其顶树突突触后电位同步综合波,并由丘脑中线部位非特异性核团(包括中央内侧核、中线核等)起调节作用,而丘脑、脑干网状结构与大脑皮层各部间的兴奋或抑制刺激和反馈作用,决定着脑电活动的节律性同步活动。

1875年Caton首先用电流计从兔和猴的大脑皮层描记出直流电位和动物睡眠时或死亡前脑电活动的变化。1890年Fleish Von Harxow曾把电极安放在动物颅骨上,并以电流计描记大脑各区对周围刺激的反应,发现视觉刺激以枕区的反应最为显著。1912年Kaufman证实正常大脑有自发性电活动,并以感应电刺激实验动物的大脑皮层时,可描记出强直期和阵挛期抽搐的异常放电。1924年Berger从人脑通过头皮上安放电极,描记出人类的脑 $\alpha$ 和 $\beta$ 节律电活动,且发现这些电活动来源于大脑皮层神经元,与血管和结缔组织无关,但与年龄、感觉性刺激和机体生理化学改变有关,从而奠定了脑电活动在人类的解剖、生理基础。1929~1939年Berger先后发表了10篇论著,对脑电活动在生理、心理及临床各个方面均进行了初步探讨。1936年以后,脑电图学在全世界范围发展,开始为临床和科研服务。1947年国际脑电图学和临床神经生理学会成立,1949年出版了专科杂志。

自1924年Berger首先发现从头皮描记人类脑电活动以来,迄今已有70余年的历史,随着科学技术的发展,70年代计算机技术突飞猛进,脑电生理技术已不仅限于常规脑电图检测。1965年Cooley、Tukey等首先提出快速傅立叶转换算法(FFT),将原来傅立叶转换速度提高了数十倍到上百倍,是目前常用的谱分析法。近10年来又发展了现代谱分析,即A-R模式,大大加强了对脑电短数据的处理能力。80年代初彩色显像技术问世以来,脑电生理的检测进入了一个新阶段。到目前为止脑电生理检测技术已形成了一整套可以彩色直观显示、自动快速进行频谱及功率谱定量分析、时空定位、自动打印成像、大容量贮存、无纸描记及24h有线或无线长期监测、较强的抗干扰装置等完整检测系统,脑电生理检测技术已进入了一个划时代阶段。目前临床应用的各种脑电生理检测技术,有脑感觉及运动(磁、电刺激)诱发电位、事件相关电位、脑电位分布图(脑电地形图)、显著概率地形图、脑时域地形图、压缩功率谱阵分析、24h有线或无线长期脑电监测及分析系统、无纸脑电描记等。上述各种检测技术均是在常规脑电检测技术的基础上发展起来的,能更精确地反映人脑功能变化的心理、生理、病理状态,使脑电生理的检测不仅应用于临床医学,且已广泛应用于军事、航空、航天、深海医学的研究,使脑电生理检测技术达到丰富多彩、完善、客观而前途宽广的境地。但不论脑电生理新技术有多大的发展,在临床诊断和科学研究方面,脑电图的基本描记分析和结合临床实际对照,仍占有无可争议的重要地位。

## 第二节 脑电活动的解剖、生理基础

### 一、脑的解剖

人类中枢神经系统包括脑和脊髓两部分,脑包括大脑两半球、小脑和脑干三部分。大脑半球又分额、颞、顶、枕四叶,由胼胝体和大脑前、后联合等相互连结。脑干又分为中脑、桥脑、延脑三部分,其上和间脑、下和脊髓相联结。脑各部均由神经元组成。神经元包括神经细胞和神经纤维两部分,是神经系统的基本结构或机能单位;神经元在受到各种刺激时,产生和传递兴奋或抑制神经冲动。脑内除神经元外,尚有胶质细胞。胶质细胞除有对神经元支持功能外,更重要的有营养和免疫功能。神经细胞间的相互联系由轴突和树突完成。轴突为主要传出纤维,而树突又分为短树突及顶树突,前者联系各神经细胞间,而一个树突和4000个神经细胞相接触,其面积远远大于细胞体。而顶树突则源于大脑皮层3、5层的锥体细胞,顶树突伸向皮层表面,在脑波形成中起主导作用(图1-1~图1-5)。

大脑皮层各部位厚度不等,平均厚度为2.5mm,由140亿个各种形态的神经细胞及其纤维联系所组成,皮层表面每平方毫米约有5万个神经元。大脑皮层又分为旧皮层和新皮层两部

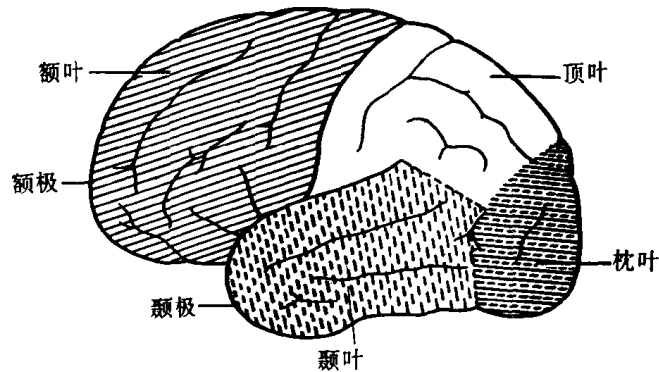


图1-1 左侧大脑半球凸面所见的4个脑叶

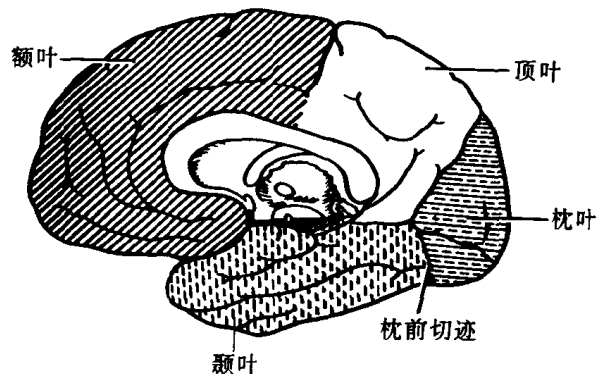


图1-2 右侧半球内侧面所见的4个脑叶

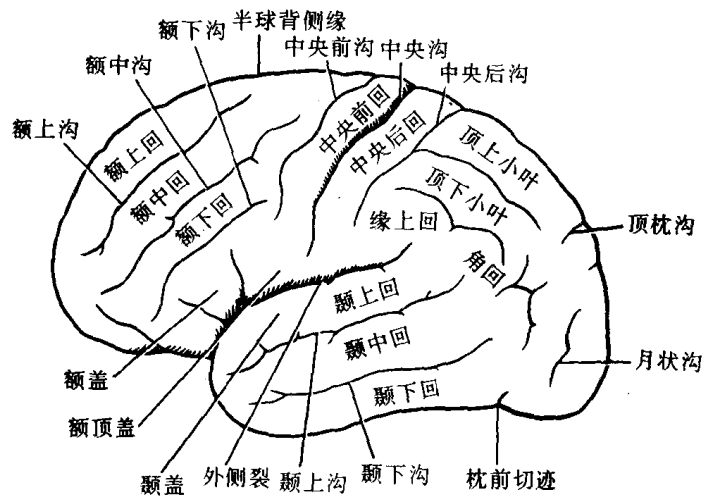


图 1-3 脑回和脑沟(侧面观)

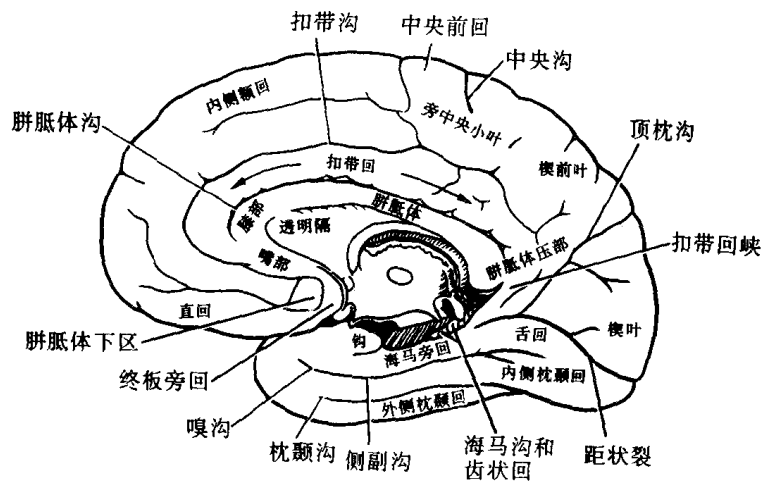


图 1-4 脑回和脑沟(内面观)

分,旧皮层指嗅脑部分的皮层,在胚胎发育较古老、结构简单,其神经细胞及纤维分层不明显。新皮层均形成分层结构,每层均由形态相似的细胞组成,多数皮层分为6层(1909年 Brodman)由外向内各名命为:

1. 分子层(丛状层):内有水平细胞,其轴突横行于皮层表面,有横向传导功能。
2. 外颗粒层:由较密集的小锥体细胞组成。
3. 锥体细胞层:为主要皮层细胞,其顶树突长达皮层表面。
4. 内颗粒层:亦即星形细胞层,由密集的小星形细胞组成。
5. 神经节细胞层:又名大锥体细胞层,由大锥体细胞组成,其顶树突可伸达皮层表面。
6. 梭形或多形细胞层:由不规则的梭形细胞组成,其轴突伸入邻近白质,可通过胼胝体,传达脑电活动到对侧半球相应皮层,故又名为胼胝体神经元。

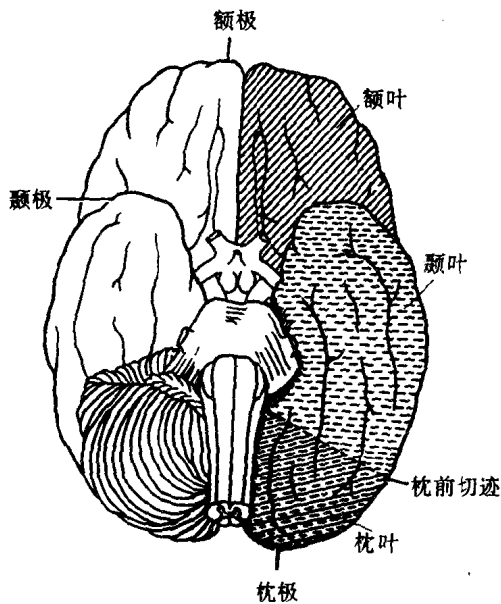


图 1-5 切除左侧小脑后,在左侧半球基底部见到的 3 个脑叶。额叶的眶部常认为是眶叶

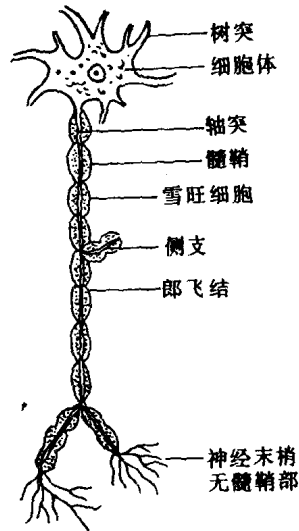


图 1-6 神经元结构模式

## 二、脑干网状结构

脑干网状结构分布在脑干的中轴,包括延髓中央部、桥脑和中脑的被盖部以及丘脑的一部分,亦由神经元和神经纤维组成,但结构及功能和中枢神经系统其他部分有所不同。其神经元比较分散,广泛分布于脑干神经核和神经纤维间,其纤维长短不一,且纵横交错呈网状,故名网状结构(图 1-6)。其轴突向脑干首端或尾端行走,和其他网状神经元的树突建立突触。网状神经元可分为下列主要核团:

1. 网状小脑前核群:由网状外侧核、网状正中旁核和桥脑网状被盖核组成,接受大脑皮层(图 1-7)、小脑、前庭神经核、红核和脊髓的传入,发出网状小脑纤维到小脑。

2. 缝际核群(raphe nuclei):位于脑干中线,呈连续柱状,以中缝大核为主,多数为 5-羟色胺神经元,和边缘系统、大脑皮层、小脑及脊髓相连。

3. 中央和外侧核群:中央核群位于中线两侧,有延髓网状腹核、网状巨细胞核和桥脑网状尾核、吻核;外侧核群有延髓桥脑的网状小细胞核、网状巨细胞旁外侧核、延髓腹外侧核、中脑的楔状核、臂旁核、脚桥核。接受运动及顶叶皮层、前庭、小脑、上丘、脊髓的传入,向丘脑及脊髓双向传出。其功能和运动控制、边缘系统有关。

4. 蓝斑(locus ceruleus):位于菱形窝首端,桥脑网状吻核背外侧,是体内最重要的去甲肾上腺素能神经元集合区。轴突传出达大脑皮层、间脑、脑干、小脑和脊髓。纤维末梢和中枢神经系统毛细血管和小动脉血管运动调节有关。综合上述各核团,其纤维走向可分为上行系统和下行系统两部分。上行系统又分为特异性上行投射系统,即由脊髓经丘脑达大脑皮层各特定感觉

区并产生各种感觉。非特异性上行投射系统又名非特异性上行激活-觉醒系统,由网状结构中央核群的4个核和外侧核群的网状小细胞核等组成,上行纤维经丘脑散射达大脑皮层广泛区域,起维持和提高大脑皮层的兴奋功能,使保持觉醒状态。对脑波失同步节律形成低幅快波活动起重要作用。脑干网状结构下行调节系统,以调节肌张力为主(图1-8)。

### 三、神经元结构及其电位变化

(一)结构 脑波是中枢神经系统神经元群突触后电位的综合波,而神经元是其基本结构单位和机能单位;神经元独特之处在于它具有胞质突起,可分

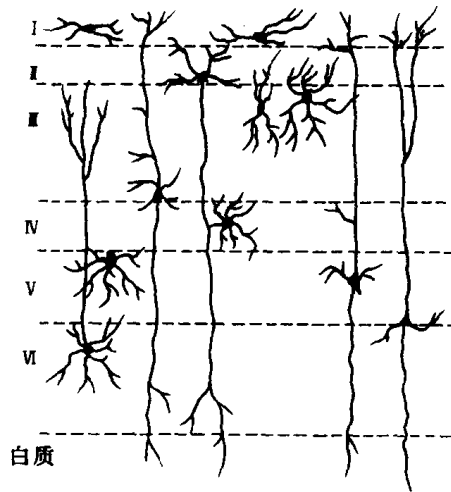


图1-7 大脑皮层的分层

- I. 分子层    II. 外颗粒层    III. 锥体细胞层  
IV. 内颗粒层    V. 节细胞层    VI. 多形细胞层

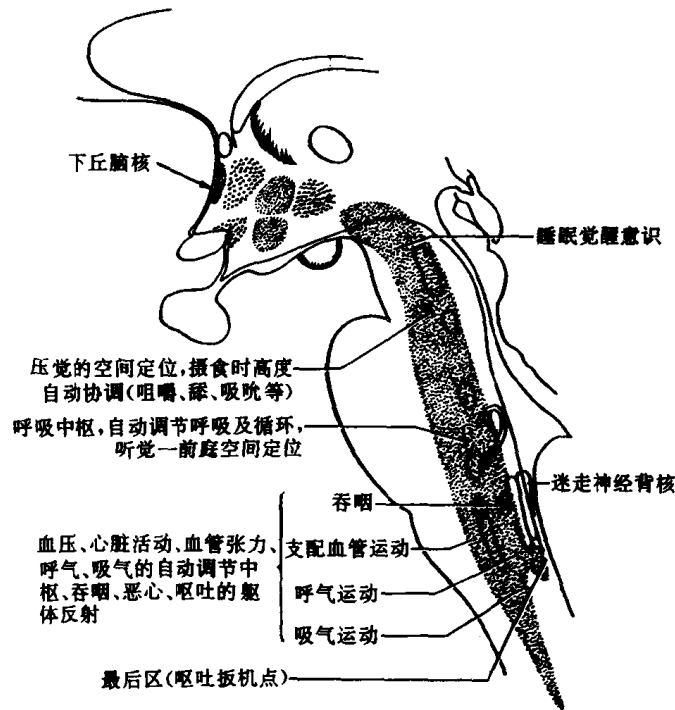


图1-8 网状结构在中脑、桥脑、延髓内的重要调节中枢

为树状突及轴突,故神经元是指一个神经细胞的胞体及其所有突起。胞体内有胞核、核周围胞质及胞膜。核及核周围胞质集中了所有合成蛋白及酶类。细胞器是神经元合成代谢中心,内含丰富的核糖核酸(RNA),起更新和合成蛋白质作用。神经细胞含大量高尔基器,包括扁平囊泡、小囊泡和大囊泡三种基本成分,对各种代谢物质起加工作用,包括糖基化、磷酸化、硫酸基化及选择性蛋白分解等过程;高尔基复合体则参与制造多肽激素、肽类递质,可正确地反映神经

细胞的生理或病理状态。线粒体为氧化供能中心,通过其呼吸作用,将摄取的物质进一步氧化,并将氧化所产生的能转变为化学能贮存起来,为细胞活动提供能量。线粒体由双层膜构成,其内膜只允许分子量小于 $100\sim 150$ 且不带电荷的小分子通过。线粒体内膜上有电子传递系统及氧化磷酸化系统,基质内有三羧酸环酶、氧化酶和蛋白合成酶系统,线粒体内尚含 DNA 和 RNA 以及 DNA、RNA 聚合酶。溶酶体内含多种水解酶,如酸性或碱性磷酸酶、蛋白酶、RNA 酶、DNA 酶等 40 余种。胞核内除染色质外,有三种 RNA 聚合酶,分别合成 rRNA、mRNA 及 tRNA。出核至胞浆,进行蛋白质合成。一个神经元的定向分化一旦开始,有丝分裂即丧失,且不能再回复到可引发有丝分裂状态。而绝大多数的有丝分裂在出生后或出生后几个月即停止。过去半个世纪中,主要研究神经细胞所发出的长投射轴突及其神经元,但近 10 年来对局部回路的神经元有大量研究,在中枢神经系统中发现大量的树突-树突,以及轴突与同一神经元的树突形成的自身突触。局部投射神经元和长投射神经元的比例为 3:1。提示树突在局部神经元间回路中起重要作用。而动物越高级,则局部回路神经元越多。神经系统的整合、可塑性及学习、记忆等功能均和局部网络神经元及其活动有关。树突的形状可分三型,即:同型树突,粗、长而分支少,多见于网状结构及丘脑下部;异型树突,细短而分支多,见于小脑皮层及嗅、视细胞;特异型树突,短小、圆形,是分化最高的神经元,多见于 2~3 级感觉神经元。轴突由胞体锥形隆起轴丘发出,是神经元单向信息传递功能的极性单位,将信息传达其他神经元或效应细胞,其接触点即突触,轴突末端的突触呈囊状,为突触囊,每个神经元上约有 6000 个突触,是神经环路中信息传递的作用部位,可附着在另一神经元的胞体、树突或轴突上,在电镜下可见突触处各自有突触前膜(轴突膜)和突触后膜(树突或胞体膜相隔),两膜间有突触间隙;在后膜上接触处的面积约  $0.1\mu\text{m}^2$ ,前膜上的稍大;突触间隙宽仅  $20\sim 30\mu\text{m}$ 。突触内有突触小泡,内含有各自不同的神经活性物质。由前膜释放出来的神经活性物质已近 50 余种,包括经典神经递质和日益增多的神经肽类物质,可形成神经兴奋或抑制功能,故又称为兴奋性神经递质,以乙酰胆碱为代表;抑制性神经递质则以  $\gamma$ -氨基丁酸为代表。在突触后膜有两种不同类型的受体,各自接受相应的神经递质。当兴奋或抑制神经冲动由一个神经元传达另一神经元,突触膜由“关闭”状态暂时进入“开放”状态,允许某些离子跨膜移动,因而使该处的膜电位发生波动,可产生快速的兴奋性或抑制性突触后电位(EPSP 或 IPSP)。目前的研究结果又将神经活性物质分为:同受体结合时能导致快速的突触后电位产生神经活性物质称为神经递质,其反应速度在 1ms 内产生,且在 10ms 内消失,这种结构称为化学门控通道;而同受体结合后能引起缓慢突触后电位的物质,称为神经调质,反应速度为数秒、数分或更长,必须由促代谢-C 蛋白-第二信使系统起作用。但二者在作用时间长短上,较难形成明确分界线。如 Ach 在同 N 型受体结合时,因后者是一种促离子受体(化学门控),引起快速 EPSP;但当 Ach 同 M 型受体结合,因后者是一种促代谢受体,故引起缓慢突触后电位及促代谢作用。兴奋性氨基酸或 GABA 在中枢内亦存在着两型不同受体,形成不同形式突触后电位;但单胺类或神经肽类物质,几乎都通过促代谢受体-C 蛋白-第二信使系统起作用。第二信使在胞浆内包括 cAMP、cGMP、钙离子、三磷酸肌醇和二酰甘油,上述物质可影响胞核内 DNA 的转录过程,诱导神经元产生新的蛋白质。

(二)神经元的电位变化 神经元不仅在兴奋时伴有电位变化,同时在抑制时或静止时也存在电位现象。而在静止时的电位又名静止电位或称膜电位。细胞膜是由双层脂质组成,是一个完美的绝缘体,有成千上万个非门控离子通道镶嵌在膜内,而神经元膜的电动势来自膜两侧带电荷离子的不均匀分布,而离子通道对不同荷电离子的进出膜运动具有相对的选择性,如

$K^+$ 通道允许通过12个 $K^+$ ，但只能通过1个 $Na^+$ 。而非门控被动离子通道均处于开放状态；但门控性主动离子通道则依据不同条件可处于开或关不同状态。膜内 $K^+$ 浓度高于 $Na^+$ ，外：内=6：125(20倍)，而膜外则 $Na^+$ 浓度高于 $K^+$ ，外：内=160：56(3倍)；细胞内伴随的负离子主要为氨基酸，而细胞外所伴随的负离子主要为 $Cl^-$ 。细胞膜对不同离子的通透性各异，在静止状态时，细胞膜对 $K^+$ 通透性最大，对 $Cl^-$ 次之，而对 $Na^+$ 则最小，对有机物离子则不能通过；且离子总是由浓度高处向低处扩散，故 $K^+$ 易向膜外扩散，而 $Na^+$ 则较难进入细胞内，形成膜外正离子多、电位高，而细胞内则负离子多，电位低。由于膜外及内正负电荷互相吸引，故正离子排列在膜外、负离子则排列在膜内，形成极化状态。当膜外电位增高时，可阻止 $K^+$ 继续外流，当 $K^+$ 外流的力量和因电位差阻止 $K^+$ 继续扩散的力量达到平衡时，则膜内外的电位差就是细胞的静止电位，亦属 $K^+$ 的平衡电位。

动作电位是神经细胞接受神经冲动时形成的，当神经细胞兴奋时，细胞膜对离子的通透性发生变化，细胞膜对 $Na^+$ 的通透性选择地突然增高，因膜有脂质成分，故电阻比周围的溶液高

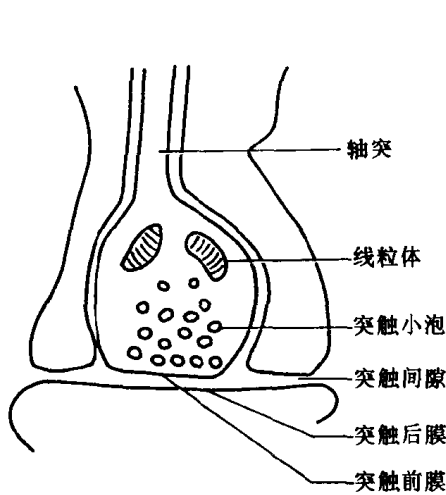


图 1-9 突触微结构

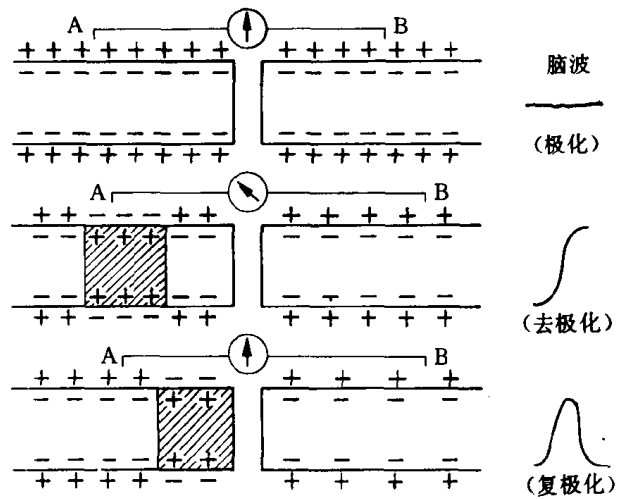


图 1-10 兴奋冲动传递过程及脑波变化

出100万倍，且因细胞内外间的电位差接近 $1/10V$ ，而膜的厚度又小于 $10nm$ ，故跨膜电位的梯度极大，可高达 $2 \times 10^5 V \cdot cm^2$ ，膜通透性有微小的变化，即会引起很强的电效应。膜可等效由 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Cl^-$ 等主要离子相对应的三条单独传导通道组成电路，每一通道具有自己的电动势。在神经兴奋冲动时， $Na^+$ 迅速向细胞内扩散，使膜内正离子迅速增高，并抵消了原有的静止电位，形成去极化，致细胞内的电位高于细胞外，形成动作电位，当动作锋形电位达最高峰后，则膜对 $Na^+$ 的渗透性减小，对 $K^+$ 外渗又增加，逐渐恢复膜内为负、膜外为正的状态，称为复极化。故去极化使脑波由等电位状态，转为锋形电位上升支，当复极过程又形成下降支。当 $Na^+$ 由细胞内跨膜移动到细胞外，而 $K^+$ 则由胞外移入细胞内，其浓度均由低向高移动，这种逆浓度差运动，须由细胞膜的Na-K泵作用并消耗一定ATP能量来完成。用细胞内电极可测出静止时的电位差(膜内、外)为 $70 \sim 90mV$ 。故动作电位的形成，主要因 $Na^+$ 内流而形成。

(三)兴奋冲动的传递 神经冲动从一个神经元沿神经轴突外传时，神经纤维的受刺激点发生去极化和极化的逆转，膜的表面电荷由正转负，而膜内则由负转正，而邻近地区仍属静止状态，膜外电荷为正，膜内为负；由于膜两侧的体液是导电的，故兴奋和静止部位的神经段形成



电流回路,通过环形电路的向前推进,形成新的兴奋点,当这一过程向前反复进行时,促使动作电位沿神经纤维向前传递。神经冲动到达某一神经元突触的前膜时,突触内小泡中的神经递质按冲动的兴奋或抑制不同的性质,在不同的小泡释放出相应的神经递质,兴奋冲动则释放以乙酰胆碱为代表的递质,抑制冲动则释放出以 $\gamma$ -氨基丁酸为代表的抑制性递质,通过突触间隙作用于突触后膜,和相应的受体相结合,使突触后膜对离子的通透性发生变化,使膜电位产生

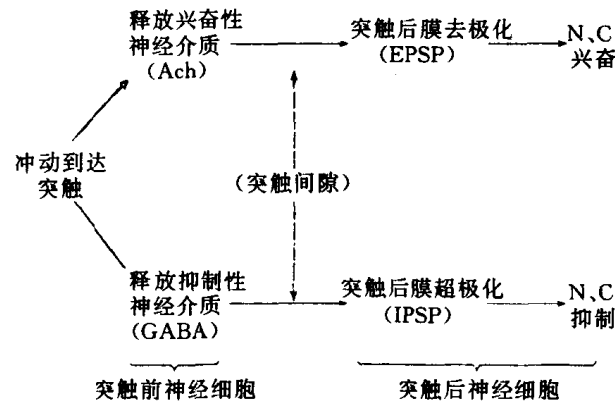


图 1-11 突触电位和神经介质

局部电流并积累达一定强度时,兴奋或抑制冲动即传达下一神经元或效应器,此种电位的变化即突触后电位变化,凡兴奋性突触后电位(Excitatory Postsynaptic Potential; EPSP);当引起突触后膜超极化则形成抑制性突触后电位(Inhibitory Postsynaptic Potential; IPSP)。近年来的研

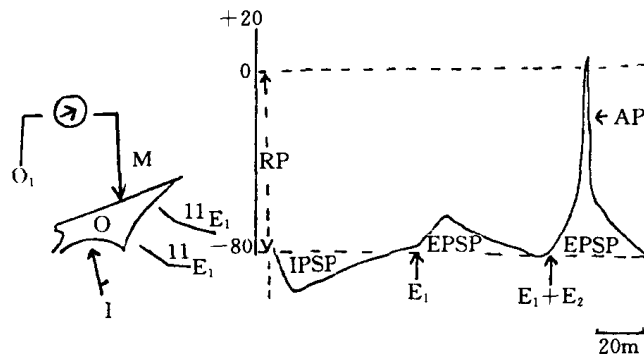


图 1-12 细胞内微电极记录的膜电位变化

究表明,神经冲动不是递质释放的必要条件,真正必需的是膜去极化所引起的钙内流;细胞内游离钙( $Ca^{++}$ )浓度的变化,调节着细胞的代谢、基因表达、始动兴奋、收缩或出胞分泌及激活或失活离子通道等不同细胞反应。树突是一个低电位系统,可产生全或无的锋形动作电位,亦可产生等级性的局部电位,且以局部电位变化为主要形式;而轴突传导的动作电位,属高位系统,其突触前末梢须有较大的电位变化才能引起递质的同步释放。影响轴突神经信号的传导速度的主要因素有四:①神经轴突的直径,由于轴浆纵向电阻  $r_i$  与轴突直径的平方成反比,而单位轴突长度的  $C_m$  却与轴突直径成正比,因而轴突加大的净效应是  $r_{icm}$  值减低,空间常数减小,从而使神经信号传导速度加快。②有髓或无髓纤维的传导速度是不同的,因通过形成髓鞘可使