

心脑电图电子计算机 分析的原理和应用

封根泉 著

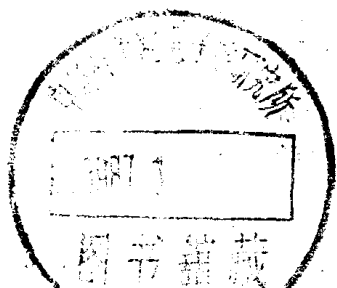


科学出版社

61.53
380
2

心脑电图电子计算机分析的 原理 和 应用

封根泉 著



科学出版社

1986

8710026

DT81/3626

内 容 简 介

本书是第一部有关心脑电信息电子计算机分析方面的、理论联系实际的、具有独创性的科学专著。它主要介绍根据人体工程学的观点、运用生物控制论的原理和方法,通过电子计算机对心脑电信息进行多相信息分析和系统分析所创立的一套心脑电疾病诊断指标和生物信息分析方法。

全书共十章,主要包括心脑电图的基础知识;心脑电图电子计算机分析的基本原理、计算公式、分析设备;各项指标的具体内容;心脑电图电子计算机分析在临床医学和环境医学上的应用、效果;在分析肌电、经络信息等方面的应用前景;一些基础性研究和对实验研究中新发现的现象的探讨等。

本书可供从事心脑电研究、生命科学、生物信息分析和生物医学工程的科技工作者、医学工作者参考,也可供大专院校有关专业的教师和学生阅读。

心脑电图电子计算机分析的 原 理 和 应 用

封根泉 著

责任编辑 唐正必

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年10月第一版 开本:850×1168 1/32

1986年10月第一次印刷 印张:13 1/4

印数: 精 1—1,100 插页: 精 2

平 1—4,000 字数: 346,000

统一书号: 14031·99

本社书号: 4837·11

定价: 布背精装 4.55 元
平 装 3.75 元

2200178

序

当前,人类的科学虽然已经进入了宇宙和核能时代,但是人类对自身的认识却仍处在初级阶段,很多生命现象迄今还是一个谜。尤其是大脑,对它的活动规律,别说“聪明与愚蠢”之类的问题还远未解决,就连“脑有没有病”和“得的是什么病”的诊断,现在许多方面都还是一笔糊涂帐(注意:脑电图对许多脑病的诊断率只有30—40%!)。

生命科学的落后,它与其他自然科学发展上的不相称性,预示着它正面临着(蕴育着)一个飞跃。很多人推测二十一世纪的领头科学将是生命科学,其道理就在于此。但是,生命科学的飞跃究竟从哪里开始呢?

生命现象的奥秘不在于它的躯体,而在于它的运动(活动、变化),生命失去了运动便是死亡。根据这点可以推论:生命科学的首要任务是揭开生命运动的规律。

从人体工程学和控制论的观点看,生命体本身是一个复杂的控制系统,它的内在和外部活动,都是通过信息相互联系并展现的。因此,解开生命运动规律的奥秘,关键在于解开生命信息之谜。

解开生命信息之谜,首先是要寻求获取生命信息的途径,这是作者二十多年来冥思苦想的一个基本主题。经过行为、组织、生化等现代科学手段(包括电子显微镜等)的探索,我得到了一个基本概念:获取生命活动信息依靠这些途径都有一定的困难。这在本书第一章第五节中作了解析。这一申述不仅是作者从评述国内外文献中所得的前人经验的总结,也是作者本身从多年科研实践中所得的教训。

比较有希望的一个途径是从生命电信息中打开缺口。于是,生命电信息便成为本人近年的主攻方向。但是,怎样解开生命电

信息的密码呢？在综览了国内外上千篇心脑电文献之后，我感到失望。因为，迄今别说复杂的生命信息过程，即以了解心脑有无疾病，诊断准确率还远远不能满足要求，每年总有千百万人由于诊断不及时而猝死于这两类病症。电子计算机技术引进心脑电领域已有三十年左右的历史，也没有使这方面获得令人满意的进展。这不能不使我想到：问题也许不只是分析手段是否精确，而更重要的是生命信息分析需要一种新的方法。

本人长期从事人体工程学的研究，对控制论中常用的一些信息分析程序比较熟悉，这便是近十年来本人从事的心脑电信息分析的主要方法。几千例的测试结果使我认识到，这种方法在心脑疾病诊断中具有重要的价值。本书就是这一工作的总结。

心脑电信息分析，对于解开生命科学之谜来说是一个起点——万里长征走了第一步。所以，我们不能单纯地从心脑疾病的早期诊断这一实践作用，以及它对心脑电基础理论的发展来理解本书的意义，而应当从打开生命信息分析的大门这一更深远的意义上来理解本书的价值。

十年来的工作使我认识到，我们所用的这种分析方法之所以能取得成功，乃是因为采用“多相信息”分析方法的缘故。我们所作的功率谱分析乃是频域分析；所用的幅度直方图乃是幅域分析；传递相移乃是时差域分析；脉冲响应和互相关函数都是时域，但不同于常规的时域分析，而是双导程信号对应的时域分析。这种多相分析方法可使生命信息的某些特征在不同相上获得明显的反映，从而有利于生命信息的提取。从这个意义上说，多相信息分析应当不仅仅限于我们所用的那些分析程序，还应当包括常规的时域分析（常规的心脑电图），以及常规的空间域分析（比如心电向量分析）等等。多相分析不仅应当成为心脑电信息分析的手段，而且应当成为打开生命信息之谜的一把极为重要的钥匙（虽然不一定是唯一的钥匙）。

多相分析的概念不仅适用于生命信息分析，也适用于其它复杂的信息分析。多相分析优于单相分析，这应当是一条普遍规律。

它可以推广应用于各个信息分析领域。我们的经验还表明,多相分析不仅限于实际存在的域(比如频域、幅域、时域等等),还可以人为地形成真实世界上并不存在的域。也就是说,多相分析的信息分析程序(公式),可以完全出于人为,目的是用来显示一般分析方法难于察觉的需要的信息内容。困难在于如何构造这类具有特殊用途的程序,其实傅里叶变换中常用的各种“窗”(海明窗等),就是这类人工的信息分析程序。我们也已开始了关于生命信息分析方面专用的人为的程序的探索,个别的已被采用。但是在这本书里难于涉及所有这些方面。

本书所介绍的成果是本人与许多同志共同努力的结晶。其中方丹群、李宗浩、孟福元、寇庆瑞、缪经良、宋广舜、田宗真等同志所起的作用尤为重要。这项成果的主要合作单位有北京市劳动保护研究所、北京急救中心、北京友谊医院、北京市神经外科研究所、北京医科大学第一附属医院、沈阳职业病院、华东师范大学、上海市高血压研究所、中国人民解放军总医院、海军医学研究所、湖南中医学院、昆明〈43〉医院、中国科学院力学研究所、北京钢铁学院、中国科学院高能研究所、北京〈292〉医院、上海市机电一局职业病防治研究所、洛阳轴承厂职工医院、北京大学、航天部二院计算站、天津医学院等。本书在撰写过程中亦得到不少同志的支持和帮助。在新型的心脑电图电子计算机分析专用装备 HBD 心脑电微电脑信息诊断仪的研制和发展过程中,以及本书的撰写过程中,还得到香港创建基立有限公司的大力支持和热忱合作;尤其是得到了该公司董事、总经理沈希光先生,董事、经理傅欣欣先生和杨继麟高级工程师的指教。对所有给予支持的单位和个人在此一并致谢。

由于本人水平有限,时间仓促,书中难免会有缺点错误,请广大读者指正。

封根泉

1985.10.1

目 录

序

第一章 绪论	1
第一节 脑电图发展简史.....	2
第二节 脑电波的神经生理基础.....	5
第三节 脑电图的记录技术.....	31
第四节 心电图的原理和基础.....	48
第五节 脑电图电子计算机分析的研究概况.....	67
第六节 心电图电子计算机分析的研究概况.....	83
第二章 心脑电图电子计算机分析的原理和公式	89
第一节 控制论的一些基本概念.....	89
第二节 功率谱分析.....	112
第三节 传递函数分析.....	119
第四节 脉冲响应分析.....	121
第五节 相干函数分析.....	123
第六节 幅度直方图分析.....	125
第七节 互相关函数分析.....	125
附录一 信息论的一些基本概念.....	128
附录二 傅里叶级数与傅里叶变换.....	140
第三章 分析设备、测试方法和参数选择	176
第一节 脑电仪的使用.....	176
第二节 心电仪的使用.....	178
第三节 磁带记录仪的应用.....	179
第四节 分析设备——数据处理机.....	183
第五节 计算方法和参数的选择.....	186
第六节 计算程序和算法.....	198

第四章 心脑电图电子计算机分析指标	203
第一节 心电功率谱异常	204
第二节 心电相移异常	212
第三节 心电脉冲响应异常	215
第四节 心电互相关函数异常	221
第五节 心电幅度直方图异常	226
第六节 心电传递函数峰值频率的相干和低频功率第一 峰频率的相干的异常	232
第七节 脑电功率谱 H-W 指标异常	234
第八节 脑电 θ 频段高功率指标	240
第九节 脑电 α 主峰频移	243
第十节 脑电传递相干 R 峰(剩峰)	248
第十一节 脑电传递函数幅值比平坦化	251
第十二节 脑电脉冲响应后波动	255
第十三节 脑电脉冲响应的其它异常指标	258
第十四节 脑电幅度直方图异常	259
第十五节 阈值实测的方法	262
第五章 心脑电图电子计算机分析的临床应用	265
第一节 心电图电子计算机分析指标临床效果的 基础实验	265
第二节 心电图计算机分析指标临床效果的进一步验证	269
第三节 心电图电子计算机分析指标在不同类型心脏病 人中的扩大应用	274
第四节 心电图电子计算机分析指标在临床疗效检验中 的应用	276
第五节 脑电图电子计算机分析指标临床效果的基础 实验	278
第六节 脑电图电子计算机分析指标临床效果的进一步 验证	281
第七节 脑电图电子计算机分析指标在临床脑病诊断中	

	的扩大应用.....	285
第八节	脑电图电子计算机分析指标在临床疗效检测上的应用.....	288
第九节	综合性指标(总分)的应用.....	290
第六章	心脑电图电子计算机分析在环境科学上的应用.....	294
第一节	噪声对心功能影响的检测.....	295
第二节	电磁污染对心功能危害的检测.....	300
第三节	氟污染对心功能的损害.....	308
第四节	噪声对脑电影响的电子计算机分析.....	310
第五节	电磁污染对大脑功能影响的检测.....	314
第六节	汞对脑电图电子计算机分析指标阳性率的影响.....	319
第七节	氟污染对脑电功能的影响.....	322
第八节	综合性指标(总分)在环境因素对心脑功能影响上的应用.....	324
第七章	基础研究.....	327
第一节	动物验证实验.....	327
第二节	重复性检验.....	337
第三节	年龄对阳性率的影响.....	339
第四节	心脑电图功率谱各峰(波)的解析.....	344
第五节	心脑电图其他函数异常指标的解析.....	353
第六节	心脑电图幅度直方图的解析.....	359
第七节	磁带记录仪对分析结果的影响.....	361
第八节	关于实验方法的一些经验和体会.....	363
第八章	实验中新发现的现象的探讨.....	367
第一节	关于脑电 α 主宰和 β 主宰问题.....	367
第二节	脑电功率谱 δ 峰和 θ 峰的特点.....	374
第三节	脑电传递相干的特点.....	376
第四节	脑电功能指数.....	382
第五节	各个心周期之间的心电图图形畸变.....	385
第六节	心电图各导程之间图形相应关系的变化.....	388

第七节 心电幅值正常对应关系的破坏和不稳定·····	398
第九章 多相信息分析技术在其他生物医学信息领域中的应	
用前景 ·····	400
第一节 经络感传现象的信息分析·····	400
第二节 在思维科学领域中的应用前景·····	403
第三节 在血管系统特性分析上的应用·····	407
第四节 在其他方面的应用前景·····	409
第十章 结束语 ·····	410

第一章 绪 论

脑和心脏是人体最重要的两个器官，心脑血管疾病也是人类死亡率最高的两种病症。据北京市的统计，心脑血管两种疾病死亡人数约占死亡总人数的一半强。因此，对心脑血管疾病的早期诊断已经成为人们普遍关心的问题。心脑血管电图电子计算机分析的研究，主要目的是为了寻求心脑血管疾病的早期诊断指标。本书作者长期从事这一领域的研究，目的也是为了探索一条解决该问题的有效途径。

关于心脏活动的规律，人们已经有了较多的了解，但还是很不完善，即以心电而言，当前占有很大优势的向量环理论仍有许多不足之处。缺少一种灵敏地、细致地提取心电信息的手段，是使这一课题难于深入下去的重要因素之一。我们认为，心电图电子计算机分析作为一种心电信息开发的新手段来说，有可能为这一课题的深入发展带来新的前景。

揭开大脑活动的奥秘，这是人们向往已久的一件事。这不仅是因为人们需要了解自身智能活动的规律，从而走向有意识地促进、调节和控制自己的智能活动，而且，了解大脑活动规律也将大大有助于智能机的发展，为生产力的发展带来巨大的好处。脑电图电子计算机分析作为大脑信息开发的一种新手段，可以为大脑活动规律的阐明提供新的信息（本书作者在《浅谈工效学》¹⁾一书的第三章第二节中，曾经叙述了这一设想），从而为揭开大脑活动的奥秘，进而为大脑信息活动的调控和模拟开拓新的前景。

以上简单阐述了心脑血管电图电子计算机分析的三个最重要的意义，也是本书作者从事这一领域工作的主要目的。我相信读者理解了其重要意义之后，会以很大的热情读完这本书，并且将和我们

1) 封根泉，浅谈工效学，工人出版社，1981。

一起为共同开发这一新的科学领域而努力。

这是一本介绍本人与有关单位合作研究的心脑电图电子计算机分析技术的专著。由于篇幅有限,因此不可能涉及心脑电图电子计算机分析的各个方面,而只能主要介绍将生物控制论的概念、程序和方法引入心脑电图电子计算机分析领域之后,所取得的主要进展和效果,以及它的基本技术、方法和原理。同时也适当涉及到国内外心脑电图电子计算机分析的其它研究工作。

第一节 脑电图发展简史

生物电现象的发现始于1790年 Galvani 氏发现肌肉收缩时产生的电活动。到1840年, Du Bois Reymond 第一次发现了神经冲动常伴有电位变化,即发现在完整的神经(或肌肉膜)表面与其断面之间用导线接通,可出现电流由未损伤部位向损伤部位流动。在这以前(1820—1830年) Weinbold, Philip, Филомафитский, Weil, Krimer 等人也已先后提出过神经冲动与神经电活动之间的关系的一些看法,但没有进行确切的验证。1858年 Соколовский 将神经的营养及新陈代谢过程,与神经的电现象联系起来。

但是,发现脑的电活动的首次记录是在1875年。英国科学家 Caton 和俄国科学家 Данилевский (几乎同时)在互不相干的情况下,记录到了动物大脑皮层的电活动,这就是最早的脑电图。Caton 在活的兔和猴的大脑皮层的不同部位记录到了电位差和电活动,并且发现当用灯光刺激时,有电位活动的变化。Данилевский 的研究对象则是狗。他利用去极化的土制电极,导出了五只狗的大脑皮层和脑深部组织的电流,并且发现深度麻醉可使这类电活动减弱和消失。1882年 Сеченов 研究了青蛙延髓的电活动。1889年 Вериге 研究了青蛙大脑和脊髓的电活动和静电流。1890—1892年波兰科学家 Цыбульский 和 Бек 对兔、狗和猴大脑皮质的电流振动(电波)现象进行了观察。Fleischl Von Marxow (1890)用接在颅骨上的电极,发现在视觉刺激条件下,大脑枕区电反应最

为显著。Ларионов (1898) Tribus (1900) 和 Kaufman (1912) 等人进一步用各种不同感官刺激研究了大脑皮层不同区域的电反应的差别。这些学者的研究还以大量的证据说明,这类电现象并不是来自实验技术伪差,也不是血液流动、感觉刺激、呼吸和心率的表现,而是来自大脑神经细胞正常的生命活动。同时证实了 Jackson 氏癫痫发作时会出现大脑异常放电的假设。1913 年 Правдичне-минский 用浸了生理盐水的棉束包裹的去极化土制电极引出狗裸露脑的生物电流时,也证实了大脑存在自发性的电流活动。1925 年他用电子放大技术描记了这种电活动曲线,并将它命名为“脑电图”。1918 年 McPherson 在暴露的猫脑上记录到了 10 赫左右的电波,但是他并没有理解到这种节律波(α 波)的发现所具有的巨大意义。以上这些研究可以称之为人类脑电图研究的前期,因为,这些研究主要是在动物身上进行的。

1929 年英国科学家 Berger 第一次发表了关于人的脑电波的研究。他的工作开始于 1924 年 2 月 4 日,人们称这个日子为人类脑电图的誕生日。诞生地则是英国的耶那大学精神科。当然, Berger 也就成为“人类脑电图之父”了。他从事人类脑电的研究达十五年之久(1924—1938)。他最先用针形电极,以后又改用贴附于颅骨外皮肤上的用去极化材料制成的金属薄片电极记录了人的脑电图,并把这种描记技术命名为脑电图描记术。

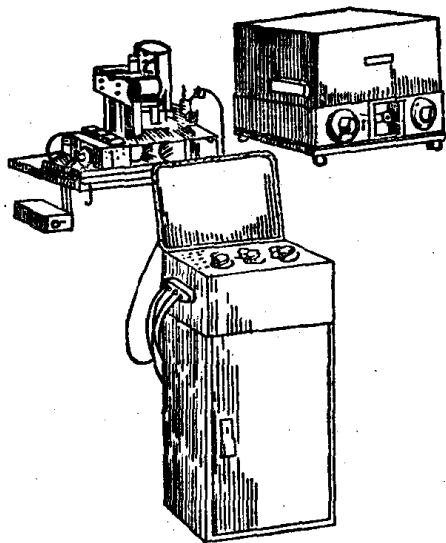


图 1-1 最早的 Berger 氏所用的脑电仪(据平井富雄等,脑波学,文光堂,第 2 页,1974)

但是,由于 Berger 最早使用的生物电放大器比较粗糙(见图 1-1),不少学者对他的结果存有怀疑。经过五年的争论,

直至1934年,当 Adrian 和 Mathews 二氏确认了他的结果之后,人类脑电图才获得了科学界的公认。1936年以后,脑电图学在世界范围内发展起来,并与临床相结合,得到了广泛的应用。在这一过程中,中国科学家汪敬熙也曾为脑电图的确认作出过贡献。

Berger 不仅是人类头皮外记录脑电图的创始人和捍卫者,而且,他对脑电图学的建立作出了不少贡献。他把所发现的每秒10次左右的脑波命名为 α 波,把每秒18—20次左右的波命名为 β 波;他验证了脑电波与血管和结缔组织无关,而与年龄、感觉刺激、生理生化等改变有关;他发现和校正了50赫交流电的伪差;1935年他探讨了单极导联和双极导联两种记录方法,1936年描述了脑电的频率分析。

三十年代脑电的记录方法主要是通过电子管放大器放大后,用示波器照相方法进行记录。描笔记录产生于三十年代末四十年代初。至此脑电描记技术基本定型。五十年代电子计算技术引进了脑电领域。七十年代使用磁带记录器录制脑电信号。对于用电子计算机分析脑电信号来说,这种新的记录方法有它特殊的优越性,这将在第三章中进行论述。

在脑电放大技术方面,最早使用的多数是交流放大,五十年代改用直流放大,并引进了半导体技术,使脑电仪的性能有了很大的改善,体积也缩小了很多。七十年代以后,大量使用集成电路和共模抑制技术,使得脑电仪不仅体积进一步缩小,而且抗干扰性能有了很大的提高。

从临床发展来看,1936年 Grey Walter 就用脑电图作为脑瘤定位的一种手段。棘波和慢波作为一种诊断指标也在四十年代前后基本确定。但是迄今这一方面进展不大,诊断效果难于令人满意,而且对脑电波发生的机理争议颇多。电子计算机的引入,虽然使得这方面的研究取得了某些进展,但是,仍不能令人满意(详见本章第三节)。本书作者采用生物控制论的概念,通过电子计算机对脑电进行信息分析,目的即是希望通过这一新概念的引入,对脑电有效信息的提取获得新的突破,为脑电图的临床诊断带来新的

前景。

1947年国际脑电图学和临床神经生理学会成立,1949年又出版了专科杂志,这是脑电图学发展史上的一个里程碑。

四十年代脑电技术引入我国。1944年第一台脑电仪在南京开始工作。五十年代在上海、北京等地先后开始了临床脑电图的工作。1958年以后,脑电图在我国临床和科研工作中的应用日趋广泛。1965年我国发表了“关于统一临床脑电图学技术工作常规、常用辅助检查方法和常用术语译名的方案”。1983年北京成立了脑电图学专业性的学术组织“脑电协作组”,1985年又出版了我国脑电图研究的论文专集。从此,我国在脑电方面的研究出现了一个新的局面。

第二节 脑电波的神经生理基础

脑电来自脑的神经组织的电活动。神经系统的结构单元是神经细胞或称神经元(图1-2列示了神经细胞的几种主要类型)。神

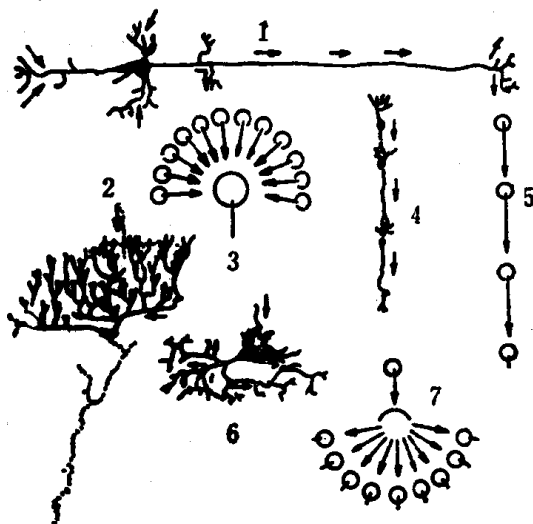


图1-2 脑神经细胞的几种主要类型及其冲动传递方向示意图

1——锥体细胞; 2,3——浦金野氏细胞; 4,5——具有简单树突和轴突的细胞; 6,7——具有复杂轴突的高尔基氏细胞(据冯应璠,临床脑电图学,人民卫生出版社,第3页,1980)。

神经细胞具有接受刺激和传导兴奋的作用。神经细胞由细胞体和突起两部分组成(参看图 1-3)。突起有两类:一类为树突,短而分

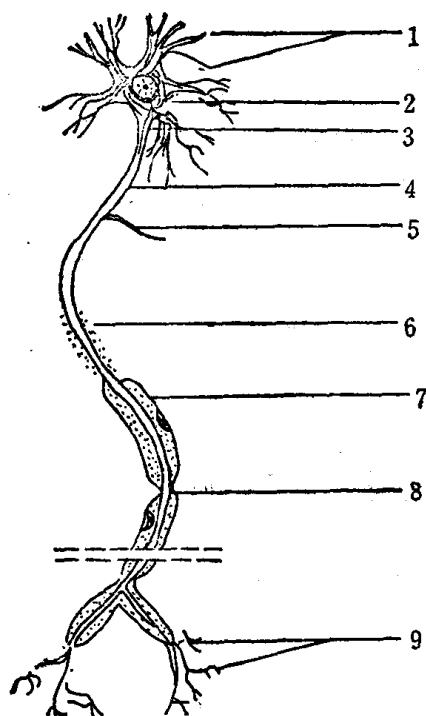


图 1-3 神经细胞的结构示意图

1——树状突; 2——细胞体; 3——豆状轴; 4——轴突; 5——侧枝; 6——髓磷脂鞘; 7——神经膜; 8——郎飞结; 9——裸轴突(据山东医学院第一附属医院,脑电图学讲义,第2页,1973)

枝多。其主要功能是接受来自其它神经细胞的刺激,以冲动形式传向细胞体。另一类为轴突(又称神经纤维),细而长,通常只有一枝。其主要功能是将冲动传离细胞体,而向其它神经元传递刺激(参看图 1-2 中的箭头方向)。因为树突和细胞体经常接受其它神经细胞的刺激,而又不易排除,有碍于精细研究,所以,神经电活动的研究往往以神经纤维作为对象。

一切活组织在兴奋过程中都有电位变化,称作生物电。神经细胞的电活动是生物电的一种,其常见的脉冲式的电反应称作“冲动”。关于神经冲动的机理,目前最广泛地被人们接受的是所谓的离子假设。离子假设最早由 Overton 于 1902

年提出,但没有受到足够重视。到 1949 年 Hodgkin 等人加以修改完善后,才被人们充分接受。

离子假设的基本原理是:生物细胞(包括神经细胞)都有细胞膜,细胞膜(或神经膜)是一种特殊的通透膜,它的通透性会随着环境的变化而发生如下的变化:

当细胞(神经元)安静时,膜内¹⁾(胞浆——细胞质)的钾离子

1) 这里所称的膜内指的是细胞内,膜外指的是细胞外,不过由于所指的是接近膜的部位,所以惯用膜内外之称。下同。

(K^+) 和有机物负离子 (A^-) 的浓度高于膜外 (间质液), 钠离子 (Na^+) 和氯离子 (Cl^-) 浓度则低于膜外。在安静状态下的另一个现象是, 细胞膜的特殊通透性使 K^+ 比 Na^+ 更易透过自身, 两者通透性相差 50—70 倍, 造成膜外正离子浓度超过膜内; 又使氯离子 (Cl^-) 比有机物质离子 (A^-) 更易透过, 造成膜内负离子浓度超过膜外。膜内负离子较多, 膜外正离子较多, 正负离子相互吸引, 这就使得膜内外的正负离子紧挨细胞膜排列于内外两侧, 形成一个相对的平衡状态, 称作极化状态 (参看图 1-4)。此时若对膜内外的电位进行测量, 便可发现膜外电位 (+) 高于膜内 (-), 形成一个电位差。神经纤维在安静状态 (极化状态) 的这种电位差约为 50—80 毫伏, 平均为 -70 毫伏, (参看图 1-5, 负电位表示膜内电位低于膜外。) 这种电位差主要由钾离子浓度差所决定。但是由于细胞内还有其它电解质, 比如上面说过的氯离子 (Cl^-) 和有机物质离子 (A^-) 等, 还会产生负电位, 所以细胞 (膜) 内外的实际平衡电位差为 -90 毫伏, 比钾离子单独形成的膜电位低。细胞内外的离子浓度还受细胞内外生命活动的多种因素的影响。所以安静状态下神经细胞膜只是局部极化。这乃是安静时脑电自发的正常节律的生化基础。

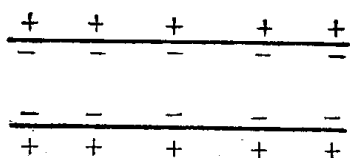


图 1-4 细胞膜的极化状态示意图
(表示正负离子沿着膜两侧排列)(据山东医学院第一附属医院, 脑电图学讲义, 第 3 页, 1973)

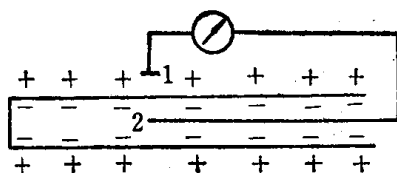


图 1-5 膜电位的测量
1 和 2 为导引电极(据中山医学院第一附属医院, 临床脑电图学, 第 2 页, 1976)

当神经细胞膜接受一个强度超过阈值的刺激时, 膜对离子的通透性便会发生这样的变化: 对于 Na^+ 的通透性增加, 膜外的 Na^+ 便迅速进入膜内, 膜内的正离子数迅速上升, 电位升高 (膜外