

ET

——脑功能研究新技术

梅 磊 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

ET——脑功能研究新技术/梅磊著. —北京:国防工业出版社,1995.8

ISBN7-118-01376-5

I. E… II. 梅… III. ①脑-机能(生物)-X射线诊断②脑病-X射线诊断 IV. ①Q426②R816.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 10530 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京怀柔新华印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 14 3/8 376 千字
1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月北京第 1 次印刷
印数:1—1000 册 定价:24.40 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容明确、具体、有突出创见,对国防科技发展具有较大推动作用的专著;密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的高科技内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合科学技术现代化和国防现代化需要的新技术、新工艺内容的科技图书。
4. 填补目前我国科学技术领域空白的薄弱学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展评审工作,职责是:负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图

书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版,随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技工业战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金

第一届评审委员会组成人员

主任委员：冯汝明

副主任委员：金朱德 太史瑞

委员：尤子平 朵英贤 刘琯德
(按姓氏笔画排列)

何庆芝 何国伟 张汝果

范学虹 金 兰 柯有安

侯 迁 高景德 莫梧生

曾 铎

秘书长：刘琯德

前 言

ET(脑涨落图)是近年来建立的一项脑功能研究的新技术。它原是为发展我国载人航天的一个预研项目,用于测试和研究航天员的脑功能。由于一般脑电方法远不能满足空间应用的要求,所以我们实验室研究发展了本技术,且具有推广到地面应用的广泛潜力。

该技术获得我国国家科技进步二等奖和国防科工委科技进步一等奖。并曾被中央电视台和《科技日报》选为1986年全国十项重大科技成果之一。

著名科学家钱学森曾两次来信鼓励这项研究工作。1991年3月5日来信“我很高兴您赞成把人脑作为开放的复杂巨系统,用从定性到定量综合集成法来研究。”1991年7月5日来信“我希望您的书开创脑科学的一个新时代!”

ET技术的发展贯彻了钱学森倡导的系统科学理论,把人脑看成一个开放的复杂巨系统,改变了将人脑的天然宏观参量——脑波,当做简单巨系统处理的传统,初步实现了对脑波巨系统进行多层次、多序参量、多分支系统、多时空结构、多种类子系统和引入专家系统的综合集成研究。遵循这样的科学方法,经过十多年时间的探索和研究,使我们既从脑波非平衡涨落中分离出一个新的功能层次,又从这一新层次的混沌背景上分离出具有序参量意义的优势谱线系。分析它们的分支精细结构和时空精细结构,进而沟通了不同种类宏观子系统与脑内神经化学微观机制的联系,“破译”了主要神经介质和一些多肽物质的“密码”,形成了对脑内超慢过程进行精细分析和在一次测试中能扫描多个神经化学物质的ET技术,开辟了一个新的研究领域。

ET 技术已在空间脑科学、正常脑功能、脑神经化学、脑功能病理学等多方面得到应用。显示出 ET 技术已把脑波研究推向新的高度,并有可能实现钱学森提出的 ET、CT、PET、NMR 等脑扫描技术的综合集成研究。

我们所建立的 ET 技术,受到众多国内外学者的高度评价,其中包括美苏航天员和美国 NASA 空间生命科学代表团的专家。它曾被选为中美空间生命科学合作项目。

本书对 1984 年以来 ET 研究的进展作了一个初步的总结,着重阐明技术原理。在应用方面,由于 ET 资料积累甚多,而且新的事实不断出现,只能举出其中极小一部分例子。今后若有可能,将整理出版 ET 图谱,以满足读者的需要。

在本书写作过程中深得著名科学家钱学森同志的关注。书中直接引用了白延强、韩东旭同志的许多实验资料。在混沌研究和一系列数学问题上得到了陈道木教授的合作。在此一并表示感谢。作者还要感谢书稿整理过程中,陈慧娟、牟晓菲、慕晓松、周艳华等同志的帮助,以及周传岱、刘月红同志在长年工作中的合作。同时,还要感谢吴本阶教授对 ET 发展和本书出版的一贯鼓励,胥朴如先生、李美琳教授、孙惠先、陈小敏同志对将 ET 技术转入应用所给予的合作。还要感谢北医三院、上海华山医院、解放军 309、261 医院、建工医院等的合作。以及航天医学工程研究所长年的支持和国防工业出版社负责同志对本书出版的基金赞助。

ET 是一项发展中的技术,离钱学森对本书的期望和要求还很远,很多方面还有待进一步完善,书中的错误和不足之处,欢迎国内外同行批评指正。

梅 磊

1993. 10. 25.

于航天医学工程研究所,北京。

目 录

第一章	导言(对脑科学的新挑战)	1
第二章	大脑——开放的复杂巨系统	5
第一节	脑理论的演变	5
第二节	系统论的兴起	11
第三节	一般系统的理论和方法	20
第四节	开放的复杂巨系统的研究方法	36
第五节	从系统论看脑功能	40
第三章	脑波巨系统的研究	48
第一节	脑波作为简单巨系统的分析	48
第二节	脑波混沌研究	54
第三节	脑波作为复杂巨系统的分析(一) ——脑波非平衡巨涨落	63
第四节	脑波作为复杂巨系统的分析(二) ——脑波的新层次新结构	88
第五节	ET 专家系统研究	98
第四章	脑内神经化学活动的检测 ——大脑宏观参量与脑内微观机制的联系	106
第一节	化学振荡及数学模型	106
第二节	脑内神经化学活动	127
第三节	脑内乙酰胆碱活动的 ET 特征	136
第四节	脑内去甲肾上腺素活动的 ET 特征	144
第五节	脑内多巴胺活动的 ET 特征	153
第六节	脑内 5-羟色胺活动的 ET 特征	162
第七节	氨基酸类神经介质的 ET 特征	171
第八节	神经介质选择性特征的进一步证据	183

第五章	正常脑功能的 ET 分析	193
第一节	记忆状态的 ET 分析	193
第二节	正常脑功能态的转变	203
第三节	气功态观察	214
第四节	大脑空间结构的基本特征	227
第五节	不同年龄组的基本特征	237
第六章	病理状态下的 ET 试验	262
第一节	脑病的 S 系统分析和神经化学基础	262
第二节	巴金森氏症	266
第三节	弱智和痴呆	282
第四节	脑血管病	306
第五节	癫痫和部分分裂脑	331
第六节	精神病及其它脑病	350
第七节	ET 和神经药理学研究	362
第八节	病理状态下的分支精细结构	374
第七章	空间脑科学研究	
	——脑活动与外部世界的联系	376
第一节	空间脑科学的发展	376
第二节	模拟失重的 ET 分析	383
第三节	超重的 ET 分析	391
第四节	抗运动病药(Mix. B)的 ET 分析	398
第五节	空间脑科学和地外文明	
	ET 和 ETI	405
第八章	脑扫描技术的发展前景	
	——ET、CT、PET、NMR	413
简要的总结		418
参考文献		421

第一章 导 言

(对脑科学的新挑战)

今天,人类已来到下世纪的门口。在世纪交替之际,新的形势展现在人类社会面前。由于经济的发展,当代科学技术日新月异的进步,特别是新技术产业的崛起,科学技术成为强大的生产力,使自然科学研究不能不带有鲜明的时代特色⁽¹⁾。

自然科学目前正处在一个大转变的时代。同上世纪末一样,自然科学的最基本的学科——物理学,当前也面临着一场深刻的革命。从对复杂系统(生命现象到宇宙)的探索中产生的物理学新思潮(非线性、非平衡态、协同论、耗散结构、自组织、混沌等新理论和新概念)正改变着从牛顿以来的传统科学的思维方式。由于在复杂系统中,以牛顿力学为基础的简单因果关系和叠加原则失效了,从而促使自然科学在方法论上发生从分析式思维到整体式思维的转变。人们已认识到生命系统的运动是整体的行为,而不是组成它的部分性质的叠加。“探索复杂性”已成为有远见的理论物理学家的行动目标。

当今理论物理学的前沿,除继续向微观世界深入,研究基本粒子的深层结构和探索几种基本力的统一外,正转向探索复杂系统,包括从宇宙至生命各自然领域中有序结构的起源和演化的规律。尤其是同宇宙起源和演化的问题一样,物质运动的最高形式——人脑及其工作原理已成为对理论物理学最大的挑战。一些激进的理论物理学家正开始用新的物理学观点和方法来解释生命及其进化过程。脑的功能正成为他们竞相研究的对象。

人们预测,在生物学领域内,分子生物学似乎将在继续解决一

些生物学基本问题的过程中,进一步得到发展。然而,分子生物学在试图解决脑的功能问题时,在方法论上却遇到了难以克服的困难。人脑的功能活动是系统的整体的特性,而不能简单地归结于分子水平的活动。在解决脑功能这样的复杂系统问题时,分子生物学传统的分析方法显然已经不够用了,需要借助于新物理学整体思维的理论和方法。人脑是由上千亿细胞组成的结构和功能无比复杂的超巨系统,必须有不同于简单系统的理论和方法对它进行研究。人们正期望对人脑研究的突破将导致自然科学理论的重大发展。同时,人脑完全不同于现有计算机的结构和工作原则,脑研究方面的突破又将推动信息科学和技术的进展,从而导致计算机、人工智能和智能机器人等高新技术领域的革命性变化。因此,有人预料从分子、细胞和整体水平,对脑和神经系统进行综合研究的脑科学将成为未来生物学发展的下一个高峰。即脑科学将成为继分子生物学之后,生物学的又一个发展高峰。

总之,在物理学、数学、化学和技术科学等学科的新思想和新技术广泛渗透的推动下,未来生物学发展的总趋势是对生命现象的研究不断深入和扩大,向宏观和微观、最基本的和最复杂的两极发展。特别是生命复杂系统(脑、发育和生态系统)的研究正吸引着整个自然科学界,包括数学家、物理学家和生物学家越来越大的注意。系统论思潮正在兴起和发展。系统科学涉及对物理、力学、生物学等领域中复杂运动过程的认识。它已从对简单系统、简单巨系统的研究发展到对开放的、复杂巨系统的研究^[2]。在其影响下,未来生物学将面临一个理论上的大综合和大发展时期,而脑科学在其中占有特殊的地位。这种发展将对自然科学和人类文明产生重大影响。生物学思想对人类思维发展曾产生很大影响。生物进化论在上世纪对了解人在自然界的位置,生态学在本世纪对了解人与自然的关系方面做出了重大贡献;而未来生物学在了解人脑及其思维等精神活动方面还将做出意义更为深远的贡献。物质、生命与思维是人类认识自然和理解自身的三大层次。人类对物质世界的认识所发生的革命性变革是量子论和相对论。人类对生命世界

的认识所发生的革命性变革是分子生物学奠基的。而到今天,人类面临的重大科学任务之一是:揭示思维的本质和脑的工作原理。它的重大意义将是前两次变革所不能代替及不可比拟的,但都是前两次变革的逻辑发展。

从脑科学本身来说,它的理论从 19 世纪中叶以来,经历了一系列的演变(详见第二章第一节)。

目前,脑科学本身的发展也正处在历史的转折点上。它一方面表现为量的增长,即大量的实验数据呈指数式增长;另一方面是质的变化,即新的理论思潮正在涌入。前一阶段分子生物学的浪潮涌入这一领域,并在脑科学的发展中起到了推动作用。目前引入注目的历史性转变是探索复杂性,研究复杂巨系统的系统论思潮正在进入脑科学,新的研究领域将被相继开发出来。

几个世纪以来,哲学家试图理解“思维的脑”,物理学家试图理解“物理的脑”,生物学家试图理解“生物的脑”,计算机科学家试图理解“计算的脑”,……。但是,脑同时是“物质的”、“精神的”、“思维的”、“生物的”、“计算的”、……。同理,当前各学派的争论也应统一起来:脑同时是协同学的、耗散结构式的、相干激励式的、混沌式的、……。由此可见,在脑科学的未来发展中,我们将会看到各个学科间的大协同,各个研究水平的大统一。

人类已经进入空间时代。载人航天标志着地球文明已经进入一个新的阶段。在载人航天系统中,正像在其它现代大生产系统中一样,人脑成为系统中最活跃、最具能动性的主导环节。因此,航天员脑功能的研究成为最具代表性的、有显著时代特色的课题。我们需要选拔有良好脑功能的航天员送入宇宙空间,并且要求人脑能最有效地在人—飞船系统中发挥作用。我们需要研究人类第一次脱离地球重力场后人脑能否和怎样适应空间微重力环境。我们还第一次有可能和有必要从宇宙的尺度研究重力场对大脑演化的影响,并进而估价在其它天体上产生高级脑功能和地外文明的可能性。而所有这些对入脑研究的紧迫要求,都使传统脑科学中的分析研究途径显得无能为力,而要求以新的理论和方法,从宏观的尺度

上,对脑功能进行综合集成的研究,实现宏观和微观的统一。一门崭新的学科——空间脑科学正在兴起。本研究就是对这方面工作的一个尝试(详见“空间脑科学”),并在理论探索和实验研究的基础上形成了脑功能研究新技术——ET。本书将系统描述ET技术的理论背景、技术原理和应用潜力。

我们的这种尝试,自然绝不意味着已对新的脑科学建成体系和大厦。但如果读者能从本书中呼吸到一点新鲜空气,感觉到对人脑进行宏观综合研究并非无路可走,那对作者来说已经感到非常满足了。也许最重要的一点是,作为物质世界自组织的最高产物——大脑,是可以认识的。它不但在微观上是非常美丽的,而且在宏观上也是非常美丽的。

第二章 大脑——开放的复杂巨系统

第一节 脑理论的演变

脑理论的发展,大体上经历了从早期的粗略性整体描述,到后来的分析性研究,直到近来出现新的整体综合探索几个阶段。

关于早期的粗略性描述,由于那时尚未形成某种脑理论,此处从略。

一、神经网络研究

分析研究过程中出现的脑理论,都力图用有关单个神经元的知识(“理想”神经元)来构筑多个神经元一起工作的模型,即所谓神经网络模型^(3,4)。图林(Turing)1936年提出《图林机器》⁽⁵⁾,认为利用某些数学运算方法可以实现和描述很多状态,从而解决任何逻辑问题。并指出,任何问题只要能表达为可用机器演算的有限次数的数字操作,就能用机器来解决。这个原理被用来研究神经机制。麦卡洛克(Mc Culloch)和皮茨(Pitts)最早描述了神经元冲动发放的理想“全或无”性质,并观察其网络的冲动发放逻辑⁽⁶⁾。他们于1943年发表的论文“神经活动固有性质的逻辑运算”,曾对脑研究的发展有很大影响。其基本思想是:脑内神经元的活动是对外部世界规则的表达。通过感官可以辨明外部世界的简单规则,而与这些感官联系的神经元则可以表达这些规则的更复杂的组合。由于在神经网络中能应用逻辑联系“是”、“与”、“非”,通过神经联系和适当的神经元阈值就可表达每种可能的、有限的逻辑组合。

这种在单个神经元上可以表达外部世界有关规则的思想,曾

是 50 年代以来神经物理学中主要实验工作的基础。从莱蒂文 (Lettvin) 等的工作开始^[7], 导致哈贝尔 (Hubel) 和威斯尔 (Wiesel) (1963 年, 1977 年等) 的突破, 并出现了感受野和母细胞理论。

但这种简单规则的有限逻辑表达, 对于描述复杂神经活动来说是过于简单了。这种原理只观察从输入到神经元的极简单过程而且没有反馈。这种原理中提出的关于神经活动中基本关系是二进制的看法, 也未被大多数生物学家所接受。

冯·纽曼 (Von Neumann) 开始将概率概念引入这类研究, 并提出怎样从不可靠的部件中产生可靠的网络行为^[8]。随后, 伯尤利 (Beurle) 写出了这些“理想”神经元网络冲动发放的基本方程^[9]。而拉尔 (Rall) 则进而研究树突分支模型的内部动力学, 试图理解突触活动的整合特性、大群神经元的系统行为以至类似学习的现象^[10]。他主要着眼于树突电活动的分析, 建立了相应的方程, 并进行了计算机模拟。与此同时, 还有赫布 (Hebb) 关于记忆的突触理论^[11], 他认为突触前后相关变化是产生记忆痕迹的基础。在他 1949 年写的:《行为的组织, 一种神经心理学理论》一书中, 提出了这个著名的神经生理学假设, 在脑理论中有重要影响, 并被称为“赫布-突触”, 其中心思想是: 如果神经元 A 通过突触向神经元 B 不断重复地发放冲动, 则某种生长过程和代谢变化将会发生, 从而使神经元 A 作用于神经元 B 的效率增加, 使“记忆”得以实现。此外, 还有些工作者着重观察神经兴奋和抑制的相互作用。格里菲思 (Griffith) 考虑了兴奋和抑制的统计平衡在神经网络活动稳定中的意义^[12]。威尔森 (Wilson) 和科恩 (Cowan) 考察了兴奋和抑制的不同空间分布产生在时间和空间上不同形状的稳定活动图像^[13]。另有些人用兴奋和抑制的相互作用研究脑波的某些行为。

在这类研究观点的基础上, 提出了有关脑功能的一些假设, 也进行了一系列模型试验。罗彻斯特 (Rochester) 首先在数字计算机上进行了较大规模的模拟研究^[14], 以观察赫布突触如何构成稳定的赫布细胞集团。怀特 (White) 也作出了类似的分析研究^[15]。法利 (Farley) 和克拉克 (Clark) 则进行了脑波模拟试验^[16]。用 36×36 个

兴奋神经原构成脑网络以观察与脑电相似的活动图像。后来很多人进行这类模拟研究,取得了一定的结果。

二、脑和计算机

以上这些研究,主要从神经系统元件——神经原的特性出发,而且广泛地应用了逻辑网络等概念。这些都很容易和计算机工作的原理联系起来。所以“大脑像计算机”这样的观点广为流传。冯·纽曼的《计算机和大脑》一书^[17],较全面地比较了计算机和大脑的特性,包括数字和模拟、串行和并行、算术深度和逻辑深度等。但这些类比并不支持流行观点,结论是:“大脑和计算机是根本上不同的,人脑的语言不是数学的语言”;“脑内信息是用周期性或准周期性脉冲系列统计地传送的。”

计算机观点在脑研究中的渗透还反映在其他人的某些著作和研究工作里,如罗森布拉特(F. Rosenblatt)对脑机制和感知机的研究。他于1961年发表《神经动力学原理》一书^[18],书中综述和讨论了有关感知和脑功能的各种思想和观点,分析了他开展的感知机的工作。但他自己清楚地意识到用感知机研究脑功能虽有一定帮助,却有明显的局限性。又如马尔(D. Marr)关于小脑模型的研究。他于1969年出版《小脑皮层理论》一书^[19],书中集中分析了小脑功能的一个侧面——可塑性。根据一些实验证据,他认为小脑的主要神经元普金野细胞,能“学会”识别从很多传入纤维(平行纤维)送来的图像,其条件是同时支配它们的稠密的攀援纤维必须能引起普金野细胞的去极化。马尔的工作被认为是脑模型研究的成功例子,引起很大影响。马尔自己写道:“人们终于能期望以功能方面的语言来理解皮层结构,这将是令人振奋的。”可是小脑作为运动整合功能的重要中枢,还有很多问题需要更全面地研究才能解决。马尔还写了一篇题为:“大脑新皮层理论”的文章,用计算理论和算法来初步探讨视皮层的功能原理。

与此有联系的还有在脑研究中运用控制论观点的,例如阿什比(Ashby)的《脑的设计》一书^[20],书中论述了脑作为有反馈的系