

101
本书献给：国家教委委托北京大学主办的“认知神经科学讲习班”

献给：国家自然科学基金委员会“九五”重大项目“知觉信息的基本表达及其无创性认知成像研究”

B842.1
J28

认知神经科学

RENZHI SHENJING KEXUE

〔美〕 M.S. Gazzaniga 主编



A0841534

承担本书主要译、校、审的专家
(姓氏笔划排列):

王甦、朱滢、沈政、迟惠生、
陈永明、范思陆、黄希庭、崔耀、
彭聃龄

总 论

沈 政*

麻省理工学院(MIT)出版社1995年推出的大部头专著《认知神经科学》由170多位国际著名学者分11篇92章写出,全书1400多页,百余张插图和27张彩色图。各章不但总结了作者所在实验室的研究成果,而且综述了各研究领域的发展历史、现状和存在问题,该书是一部高水平的当代前沿科学专著。由于我们的人力和财力有限,只能译出该书的一半,并重新编排了篇章序号。我们选择原书第III、V、VI、VII、VIII和XI篇,依序编排为第一篇至第六篇。这些内容为我们描绘出当代认知神经科学对基本认知过程的研究成果和存在问题。此外,由于该书缺少对《认知神经科学》的科学性质、基本理论和方法学问题的论述,难以使读者对这一前沿科学形成总体认识。所以,在中译本内有必要补写一篇简短的总论,并对原书各篇章内容作一梗概介绍。这样既有助于读者形成总体概念,又有助于他们确定对原书某一篇章是否有必要继续精读。因此这篇总论包括:认知神经科学基本命题和分支学科、认知神经科学的基本理论问题、认知神经科学方法学问题和原著中各篇的主要内容简介。

一、认知神经科学的基本命题和学科分支

虽然,认知神经科学(cognitive neuroscience)一词曾在一些文章中偶尔应用,但其成为倍受重视的科学分支却是近七八年间的事。1987年—1988年间,欧洲认知科学界由35位著名科学家组成的科学技术发展预测和评估委员会(FAST),经过反复研究后,建议出版一套认知科学研究指南,倡导五个领域的研究工作:认知心理学、逻辑和语言学、认知神经科学、人一机接口和人工智能。认知神经科学作为该系列出版物的第四卷已于1991年出版,标志着认知神经科学在欧洲作为一门科学分支已经得到认可。1989年,美国发行一本名为《认知神经科学》的专业期刊。美国麦克唐奈-皮尤(McDonnell-Pew)基金会于1991年拨款1200万美元作为资助认知神经科学的专款,并在1991年—1993年内用完。1992年,美国也出版了名为《认知神经科学》的专著。因此,认知神经科学是当代科学发展中引人注目的认知科学和神经科学相结合的新生儿。它不仅倍受双亲的喜爱,也颇受计算机科学界的关注。因为智能化计算机研究中,所遇到的棘手问题无不与认知神经科学有关。**认知神经科学的研究任务在于阐明认知活动的脑机制。换言之,人类大脑如何调用其各层次上的组件,包括分子、细胞、脑组织区和全脑去实现自己的认知活动,是认知神经科学拟回答的根本命题。**然而,人脑的复杂性与精密性对认知神经科学的约束是显而易见的。只是90年代的今天,认知科学理

* 北京大学心理系、视觉听觉信息处理国家重点实验室博士生导师

论发展对这一命题的迫切要求和神经科学的巨大成果,使科学家着手认知神经科学的命题成为可能。迫切需要和实现的可能性,正是认知神经科学得以诞生的条件。作为认知神经科学之父的认知科学,为什么强烈需要一个新生儿的诞生?作为认知神经科学之母的神经科学具备了哪些条件,确认自己可以孕育这个新生儿呢?

认知科学的核心学科分支——认知心理学、心理语言学、人工智能和人工神经网络的研究,都发现在自己的研究领域内出现许多难点,必须在人脑认知活动机制中寻求答案。例如,认知心理学和心理语言学研究,信息加工的并行或串行方式,外显机制和内隐机制,基于经验和知识的认知活动和靠灵感、顿悟的认知活动等,其脑机制有何异同?在人工智能和人工神经网络研究中,物理符号的离散表征和运算原理,与亚符号连续运算原理之间存在何种关系?人工神经网络的学习机制为何需要千万次训练,而人类观察模仿学习为何一看就会?这类问题都尖锐提到认知科学各分支学科发展面前。人类社会发展对智能信息系统越来越高的需求和遇到的技术难题之间的尖锐矛盾,正是认知科学迫切希望有一个新生儿在未来继承自己未竟的事业。

神经科学在过去的二三十年中,取得了令人瞩目的进展。生物医学构像技术特别是近年功能性磁共振成像(fMRI)可以用于人类认知活动的研究;脑事件相关电位、脑磁图和高分辨脑电成像等生理学方法,可为人脑认知功能研究提供许多新的数据;分子神经生物学和细胞神经科学,为人脑认知障碍和动物认知行为提供脑内机制的许多科学数据,包括动物的学习记忆障碍与某些基因序列的关系。这些都使神经科学有资格孕育一个径直研究认知活动脑机制的新学科。传统神经科学的某些分支,吸收了认知科学的理论和神经科学的新技术,就可以成为新学科分支的组成部分。神经心理学、心理生理学、生理心理学、神经生物学、行为药理学等都是这类传统神经科学的分支。一经吸收了认知科学和神经科学新理论与新技术,这些传统学科就得到新生,于是,认知神经心理学、认知生理心理学、认知心理生理学等逐渐形成。现就这些认知神经科学分支逐一讨论,并说明它们的理论和方法与原来的传统学科有何不同。

1. 认知神经心理学

认知神经心理学(Cognitive neuropsychology)是在传统神经心理学(Neuropsychology)的基础上逐渐发展起来的。为说明什么是认知神经心理学,首先应交待神经心理学的性质、任务和学科发展的历史,然后再阐明它怎样发展为现代的认知神经心理学。

神经心理学用神经心理测验和神经检查的方法,研究脑损伤病人心理障碍与脑损伤定位和性质之间的关系,从而揭露心理活动的脑解剖学和生理学基础。因此,这是一门心理学与神经病学和神经外科学之间的交叉学科。虽然脑与心理活动之关系的命题源远流长,早在1863年Broca根据8例脑损伤病人的言语运动障碍,发现了言语运动区;1874年Wernicke发现了言语感觉区。但是,神经心理学成为一门独立的学科仅是20多年前的事。1973年,俄国科学家Luria发表了她的专著:《神经心理学原理》,标志这一学科的形成。这本专著总结了他对第二次世界大战中遗留的大量脑外伤病人所做的研究工作。与此同时,德国科学家Godstein也在德国伤兵中进行了相似的研究。所以,神经心理学诞生的摇篮竟是第二次世界大战两个伤亡最大的交战国家。Luria的专著发表之后,神经心理学在世界上普遍受到重视。1977年—1978年,7种专业刊物问世。1975年,在国际性学术刊物《神经病学》上发表的心理神经学研究报告13篇,1985年则达32篇,可见研究工作的发展之快。从70年代至

80年代,神经心理学的发展仍与70年代以前一样,主要研究工作范式是:(1)临床神经病学或神经外科检查;(2)神经心理测验;(3)病人死后做脑病理解剖学检查。在理论上主要是继续发展大脑两半球功能一侧化的学说。在这一时期内,神经病学家和脑外科学家们异常重视神经心理测验方法,因为它对脑损伤的定位问题可给出相当满意的回答。然而,80年代以后,由于脑CT成像技术在临床检查中的普遍应用,对脑损伤部位的确定提供了更有利的科学手段,使临床神经心理测验的热潮开始降温。因此,80年代中期以前,神经心理学主要沿着临床医学和心理学的道路迈进。80年代以来,神经心理学吸收认知心理学的精细实验方法和理论概念之后,逐渐沿着认知神经心理学的方向发展。已经扩展了除大脑两半球功能一侧化的理论之外,还出现了多重功能系统理论和多重编码的信息加工理论。在方法学上,对脑损伤病人除进行神经心理测验外,还采用双重任务法(dual task)进行认知心理学实验,并应用双分离(Double dissociation)的分析原则。认知神经心理学已脱离临床医学的轨道,转入认知科学或认知神经科学的家族,所研究的对象也从脑损伤病人扩展为正常人类被试,甚至猴等动物模型的分析。即使是病人研究对象,也不再仅限于脑器质性疾患的病人,还对精神分裂症和神经症病人进行了注意功能的实验研究,这是因为认知心理学关于注意的理论概念和实验方法,为这类病人的神经心理学研究开辟了新的方向。认知神经心理学与传统神经心理学相比,在方法学上的另一个特点,在于它并不强调研究报告中的例数。即使对一例脑损伤病人的精细实验分析,也会写成优秀研究论文。传统神经心理学以神经心理测验为主要方法,靠病例的积累。观察组病人与对照组被试间,同一测验成绩差异的显著性,是得到神经心理学研究结果或结论的重要依据。如果我们翻阅几本近几年出版的认知神经心理学专著,与十多年前的传统神经心理学相比较,我们就会发现,认知神经心理学从理论到方法学以及研究的问题,都大大超越了十年前的神经心理学。

本书中典型的认知神经心理学研究是第十九章关于视觉注意的神经病学研究,第二十四章关于注意、智力和额叶的研究,第四十五章关于工作记忆的神经心理学证据。

2. 认知心理生理学

认知心理生理学(Cognitive psychophysiology)是在传统心理生理学(Psychophysiology)的基础上,特别是最近10年内逐渐发展起来的认知神经科学的基础上形成的重要分支学科。为使读者对这一学科特点有较明确的概念,我们先考查一下心理生理学与生理心理学(Physiopsychology)之间的异同。心理生理学与生理心理学都是心理学和生理学之间的边缘学科,心身关系是它们共同的命题。在研究这一命题时,自变量与因变量在两个学科间易位或倒置。生理心理学以脑形态和功能参数为自变量,观察分析不同生理状态下行为或心理活动的因变量;心理生理学则以心理参数为自变量,分析或记录生理参数随心理活动而发生变化的规律,生理参数是因变量。传统生理心理学以低等哺乳动物为主要实验对象,为控制其生理活动的自变量,常采用刺激、切除法干预脑的功能,观察或记录其本能行为或习得行为的变化;心理生理学从来都以人类被试为研究对象,为控制其心理活动的自变量,常对被试施予不同形式的心理负荷,观察或记录其心率、血压、呼吸、皮肤电和脑电活动等因变量的变化规律。传统生理心理学的历史悠久,远在现代科学心理学诞生之前,就存在着《感官生理心理学》等专著;心理生理学诞生于本世纪40年代,多谱测流是其早期的著名研究课题。50年代应激引起的心理生理学问题和60年代工程心理学关于工作负荷与心理负荷的关系问题,促进了心理生理学的发展。因此,60年代创立了心理生理学会和心理生理学国际刊

物,形成了心理生理学的国际研究领域。然而,心理生理学沿认知科学方向迅速迈进,则是80年代以来的事情。80年代,认知心理学的许多理论和研究方法已形成,为认知心理生理学提供了理论基础;生理信号的采集与分析技术,特别是脑事件相关电位分析技术在80年代的新进展,为认知心理生理学提供了方法学基础。此外,80年代认知科学对人类智能活动脑机制研究的迫切要求与关注,也促成了传统心理生理学向认知心理生理学的方向迅速发展。认知心理生理学的发展,形成了时序心理学原理和容量心理学观点的理论基础,方法学上对脑事件相关电位、心率、瞳孔、眼动等的记录分析技术与已往相比有了较大的提高,对注意、知觉和记忆的心理生理研究都积累了丰富的资料。尽管如此,心理生理学的发展由于方法学的局限性,仍面临许多不解的难题,是一个尚待发展的研究领域。

本书第二十一章关于选择性注意的研究和第二十九章人类记忆的研究是沿认知心理生理学方向发展的典型。

3. 认知生理心理学

认知生理心理学(Cognitive physiopsychology)是在心理科学体系中核心的基础学科——生理心理学的基础上发展起来的。前文已经提到生理心理学以对脑功能和生理参数的控制为自变量,观察各种行为的因变量为其研究的基本方法学策略。对脑功能及其生理参数的控制通常采用刺激法、切除法和药物法。记录或观察的因变量主要是本能行为、习得行为和情绪行为等。正因为刺激、切除或药物法影响脑的功能,是一类损伤性研究手段,所以在漫长的学科发展史上,大都以低等动物为研究对象,特别是啮齿类动物。低等动物的认知行为与人类相差甚远。与之相比,认知生理心理学则十分注重高等灵长类较复杂认知功能的研究。虽然,远在1935年,美国杰克逊以猴前额皮层损伤对交替延缓学习行为影响的研究,开创了认知生理心理学,但认知生理心理学的真正发展只是最近十多年才开始的。一方面,由于细胞微电极技术的发展,为认知过程的慢性研究提供了有力的手段;另一方面,微机控制的各种认知实验模式对于慢性行为研究提供了方便条件;再一方面,现代神经组织学和组织化学为认知生理心理学提供了检查脑形态变化的精细手段。正是在这些技术条件的基础上,80年代展开了猴面孔识别单元的生理心理学研究,前额叶功能的经典研究也取得了较大的进展,枕-顶-颞联络区皮层的复杂功能的研究也有了许多新发展。目前,认知生理心理学已形成了有效的三个热点研究领域:前额叶皮层功能,颞叶认知功能和复杂视觉及运动功能研究。这些研究,大都是以灵长类动物为对象,采用当代神经科学的新技术,研究脑功能对认知过程的制约规律。在MIT出版社的《认知神经科学》一书中,以非人灵长动物为实验材料的认知生理心理学研究构成感知觉、运动规划和思维与表象等篇章的主要内容,在中译本中以第十一章最为典型。

4. 认知神经生物学

认知神经生物学(Cognitive neurobiology)是最新发展起来的认知神经科学的分支学科。艾马斯(Eimas)和加拉布尔达(Galaburda,1990)在《认知神经生物学》专著的序言中,对认知神经生物学的研究任务和学科特点作了精辟的论述。他们认为,虽然对学习、记忆、知觉、意识等认知活动的脑机制从解剖学、生理学方面进行了许多研究,但从生物物理学和生物化学方面,对这些认知过程进行分子、细胞或细胞网络的研究,还没有形成一个系统的学科。因此,促成这一学科的迅速建成,是他们在90年代第一春编辑出版认知神经生物学专著的基本出发点。这本专著收集了七个专题论著,都是国际上知名专家的专论,包括《认知神经

生物学导论》、《回忆和再认的神经基础》、《认知功能的神经元模型》、《言语知觉的神经生物学基础》、《知觉及其神经元机制》、《回声定位的听觉表象和学习记忆的神经生物学》。由此可见,从生物物理学和生物化学的角度深入研究各种认知过程的分子、细胞学基础,是认知神经生物学的基本任务。实验材料是多种多样的,从原生动到哺乳动物,只要对揭露认知过程生物物理和生物化学机制有利的动物或离体标本都可采用。由此可见,在认知神经科学各分支中,它不同于以人类为主要研究对象的认知神经心理学和认知心理生理学,也不同于以灵长类动物为主要对象的认知生理心理学。认知机制研究的深度自然制约于研究对象、材料和方法。所以,认知神经生物学是从最低层次上研究认知过程,关注最精细的生物化学与生物物理学机制。可见,认知神经生物学在认知神经科学中有其独特的地位和学科特点。《认知神经科学》原版第 I 篇 7 章均属认知神经生物学研究,其中以第二章关于长时记忆的分子和结构基础,最为典型。

5. 计算神经科学

1943 年,McCulloch 和 Pitts 首先利用布尔逻辑函数对神经过程加以数学模拟。1961 年,Caianiello 提出神经元方程,对神经元的生理功能利用布尔代数加以模拟,形成了神经元的有限自动机模型。但是,现代计算神经科学的理论概念,却在 80 年代初才出现,直到 80 年代末才成为一个公认的认知神经科学分支。这是由于当代智能计算机、智能化机器人和智能化武器的研究,比以往任何时候都迫切希望从人类智能活动中寻找新的启迪。50 年代黑箱子方法学原则建立的人工智能,曾使自动化科学和计算机软件的发展受益匪浅。80 年代初,对认知微结构探索的人工神经网络理论,不但提出研究和模拟人脑的迫切要求,还为它的发展提出了并行分布式的理论概念。另一方面,随着神经科学的发展,在各层次上的研究工作都积累了许多新科学事实和大批数据。计算机理论和当代计算机技术的运用,已经帮助神经科学研究者预见实验研究结果,添补利用生物学实验难以得到的数据。这些都使神经科学家们乐于接受计算神经科学家作为自己的伙伴。正是在这种历史条件下,1988 年,Sejnowski 等人在美国的科学杂志上发表了专论,其标题为《计算神经科学》(Computational neuroscience),阐明这一学科的研究目标、方法和意义。随后在 1989 年至 1992 年间,许多专业刊物、出版社都刊登和出版有关计算神经科学的论著,形成了计算神经科学发展的热潮。本书第十四章关于灵长类颞中回皮层视觉运动加工模型的研究最为典型,英文原版第 37、38 章则对运动功能的调节进行了计算神经科学研究。

我们从传统学科与认知神经科学的渊源关系中,概括上述五个分支,它们构成当代认知神经科学研究感知觉、注意、记忆、语言、思维、意识等认知过程相互渗透的研究领域,为智能本质及其起源问题开拓了富有前景的多学科研究前景。

二、认知神经科学的基本理论和存在问题

作为认知神经科学的基本重大理论问题,乃是智能的本质和意识的起源。我们尽可能避免对此问题进行哲学上的探讨,注重从认知神经科学研究的实际出发。作为智能基础的基本认知过程包括感知觉、注意、记忆、语言、思维和意识,究竟是从外部世界个别物体属性的检测开始,还是人与环境相互作用的总体反应。认知科学理论发展的历程,经历了三个不同阶段,出现四种大的理论体系:物理符号论、联结理论、模块论和生态现实理论。这四个理论分别与认知神经科学中的检测器与功能柱理论、群编码理论、多功能系统理论和基于环境的脑

认知功能理论相对应。在认知神经科学的这些理论中,不断地出现脑功能定位论和等位论的矛盾观点,从脑区和脑细胞水平,乃至神经信息传递的分子神经生物机制中,某些未决的问题仍存在着特异的定位观点或是非特异的等位观点。这一基本问题有待未来科学发展做出裁决。

1. 物理符号论、信息加工学说和特征检测理论

物理符号论是人工智能的认知科学理论,信息加工学说是认知心理学的基本理论,特征检测理论是神经生理学说,三个领域的理论一脉相通。

本世纪 50 年代计算科学和人工智能诞生不久,就试图把人类的智能用物理符号加以表达,再转化为机器语言的编程,以便在机器运行这些程序过程中实现人工智能。心理学家以产生式原理用“如果……那么……”的符号形式表达了人类解决问题的思维过程,而逻辑学家用数理逻辑符号表达了人类的认知过程,两者分别形成人工智能的心理学派和逻辑学派。认知心理学家们则吸收物理符号论的原理把人类认知活动视为信息加工过程。

本世纪上半叶,在心理学中占主导地位的理论是行为主义,它注重刺激和其引起的行为反应,而忽略了人们头脑中的心理过程。当时实验心理学也主要是研究简单的感觉、运动和记忆等心理过程。在 50 年代末,计算机科学和信息科学的迅速发展,特别是在 1956 年,以 Simon and Newell 为先导的人工智能领域的形成,以及乔姆斯基(Chomsky)为代表的心理语言学的诞生,都极大地促进了心理学的变革。所以,在 50 年代末就形成了利用信息加工的概念,改造传统心理学的发展趋势,形成认知主义的理论思潮。1967 年,奈谢尔(Neisser)出版了名为《认知心理学》的专著,标志认知心理学的确立。这本专著将认知心理学划分为视认知、听认知和记忆、思维高层次心理过程等三大部分。随后,传统实验心理学也采用信息加工的理论观点,研究感觉、运动、记忆、知觉等心理过程。高层次心理过程的研究,如概念形成、问题解决、语言运用等,也在信息加工理论下迅速开展起来。80 年代初,完整的认知心理学体系已经建成。西蒙(Simon)把认知心理学看成是认知科学第一个重要组成学科,然后才是人工智能学、语言学、哲学、神经科学等。认知心理学与认知科学在理论和方法学上有许多共同之处,其差别仅在于认知心理学以人类认知过程为研究对象,而认知科学面对的是各种智能系统(人、动物和机器等智能系统)。在研究高层次认知过程,如思维、解决问题、概念形成与推理过程、语言理解、知识利用等问题时,其方法学可根据采数据的时间密度分为:原始记录分析、内容分析、元分析等;在研究低层次的认知过程,如感觉、知觉、短时记忆等问题时,则根据感觉通道不同分别采用速示法、分听法和目标搜索法等。近年越来越多地使用计算机程序控制显示刺激、记录反应时、正确率、反应过程、模型建立和计算机模拟。认知心理学在视知觉、语言知觉、记忆、注意、运动控制、问题解决等领域中,近十年都取得较大进展。一方面,由于智能化计算机、机器人研究的需要;另一方面,当代脑构像技术以及许多神经科学新理论和新技术,使认知心理学的发展有了坚实的脑科学基础;再一方面,由于计算机技术在认知心理学实验中的应用,为其实验研究提供了有效的新手段。因此,近十多年来认知心理学发展得非常快,不但反映在研究报告的数量与质量上,也反映在许多新的教科书中。例如, Solso 所著的《认知心理学》于 1978 年、1988 年、1991 年再版三次。Best 所著的《认知心理学》在 1986 年、1989 年、1992 年每隔三年修订一次。认知心理学在跨入 90 年代之后,理论上发生了重大变化。过去三十多年间信息加工理论一直是其指导思想,90 年代以来,联结理论和多功能系统的理论已经逐渐形成。认知符号的信息加工理论,面对联结理论和多功能系

统理论的挑战,也在反思着自己的基本理论概念和研究路线。因此,信息加工理论及其相关的认知心理学元理论,在新的科学事实面前不断检讨着一些基本理论概念,促进着心理过程的精细研究。

从 50 年代至今认知心理学一直认为,人类认知过程的本质就是信息加工过程,那么,什么是信息? 计算机处理的信息是数据和文本,是来自外部输入的离散的物理符号。人类认知过程的信息加工则是对内外刺激中决策与选择所得到的内部表征。因此,人类认知加工的信息寓于认知主体之中。经过四十多年的研究,认知心理学发现人类认知活动所加工的信息相当复杂,并不能简单地使用信息论“熵”进行计算。人类认知加工的信息有许多特性:可描述性、层次性、方向性、阶段性和实体包容性。

认知心理学在认知过程研究中,经常使用信息加工的名词,但直到 70 年代中期,才形成两类加工过程的基本概念,即自动加工过程和控制加工过程。与此相应,则提出信息加工时序性、心理资源有限性和心理资源分配的概念。这些基本概念都是通过知觉、注意和短时记忆的研究,面对反应时的变化和认知作业成绩的实验事实,提炼出来的。除了描写信息加工的性质之外,还在分析加工形式上使用了串行加工、并行加工、连续加工、离散加工、底-顶加工和顶-底加工等基本概念。总之,认知心理学根据严格控制的认知实验中得到的反应时和正确率,对具体认知加工机制进行研究时,很少考虑结构的生理、生化机制,仅靠行为或操作数据,以上述基本概念为基础,对认知微结构进行推论或巧妙构思。认知过程脑结构与功能基础问题由神经生理学研究,提出了特征检测和功能柱理论。

在神经生理学领域中,从 50 年代至 80 年代利用细胞微电极记录的方法研究视神经元功能中,逐渐形成特征检测器和功能柱理论,为智能的物理符号论和信息加工的心理理论提供了生理学基础。视觉生理心理学研究发现,在视网膜、外侧膝状体和大脑皮层中都存在一些专门对线段方位敏感的细胞,将它称为特征检测器。随后在皮层上又发现对颜色进行选择性反应的颜色检测细胞。在大脑皮层上,通过对外界视野同一空间部位发生反应的这些不同特征检测细胞聚集在一起,形成垂直于皮层表面的柱状结构,称为功能柱,它是皮层功能和结构的基本单元。在视皮层内存在着许多视觉特征的功能柱,如颜色柱、眼优势柱和方位柱。利用细胞微电极技术和脱氧葡萄糖组织化学技术,可以证明一些功能柱的存在。方位柱不仅存在于初级视皮层(枕叶 17 区),也存在于次级视皮层中。它们对视觉刺激在视野中出现的位置和方向的特征进行提取。

尽管特征提取的功能柱理论可以很好地解释颜色、方位等某些视觉特征的生理基础,但对于外界千变万化的诸多视觉特征,是否都有与之相应的功能柱呢? 这些都是特征提取功能柱理论所无法肯定回答的。然而,空间频率柱理论却试图对这种难题给出一种理论解释。

与上述特征提取的功能柱模型不同,视觉空间频率分析器的理论则认为视皮层的神经元类似于傅里叶分析器,每个神经元敏感的空间频率不同。例如与视网膜中央区 5° 范围相对应的大脑皮层 17 区细胞和 18 区细胞之间敏感的空间频率显著不同,前者为 0.3 周/度~2.2 周/度,后者仅为 0.1 周/度~0.5 周/度。那么,什么是图像的空间频率呢? 概括地说,每一种图像基本特征在单位视角中重复出现的次数就是该特征的空间频率。例如:室内暖气设备的散热片映入人的眼内时,在单位视角中出现的片数就是它的空间频率。显然同一物体中某种特征出现的空间频率与其对人的距离和方位有关。当我们观察暖气片时,随着我们站的距离和方位不同,映入眼内单位视角中的片数就有差异。一般地说,由远移近地观察同一客体时,其

空间频率变小;反之,则空间频率增大。像暖气片这种以相等距离规律性重复排列的景物,类似于周期性正弦波,更多的景物特征不规则排列所形成的图形可以用傅里叶分析,将其分解为许多空间频率不同的正弦波式的规则图案,由不同的皮层神经元按其发生最大反应的频率不同,分成许多功能柱,称为空间频率柱。空间频率柱成为人类视觉的基本功能单位,对复杂景物各种特征的空间频率进行着并行处理和译码是视觉的基本生理心理学基础。

综上所述,人工智能中的物理符号论、认知心理学中的信息加工学说和神经生理学中的特征检测与功能柱理论,大体都始于五六十年代,在80年代初达鼎盛期,其中特征检测器和功能柱理论代表人物 Hubel 和 Weisel 于 1981 年获诺贝尔生理和医学奖。人工智能创始人之一 Simon 于 1986 年获美国总统颁发的美国国家科学奖。在本书许多篇章中都贯穿着物理符号论、信息加工论和特征检测器理论,特别是在本书第七章至第十一章最为典型。知识或认知活动以物理符号表征,认知主体或智能实体(智能机和人)对这些符号进行着并行或串行地加工,这种加工过程就是认知活动。人脑内分化出许多特征检测器和功能柱,对外部世界的相应物理特性进行专一地检测,然后再把这些特征整合或捆绑起来,形成知觉和记忆以及在此基础上的复杂认知活动。这种认知理论至今仍是认知神经科学的主导学术思想。然而,它却不断受到 80 年代中期和 90 年代中期两个新的理论冲击,这两个理论便是联结理论和模块理论。

2. 联结理论、并行分布处理和群编码理论

与人工智能中离散物理符号论不同,联结理论始于 40 年代的人工神经网络研究,在沉闷了近二十年之后于 80 年代中期再度兴起。这一理论认为,认知活动本质在于神经元间联结强度不断发生的动态变换,它对信息进行着并行分布式处理,这种联结与处理是连续变化的模拟计算,不同于人工智能中离散物理符号的计算,因而又称亚符号微推理过程。这种连续模拟计算的基础就形成一定数量神经元的并行分布式群编码。由此可见,认知心理学从人工神经网络研究中的联结理论吸收其信息加工的并行分布式处理概念,神经生理学则吸收了神经元间群编码的理论概念,遂使三个领域一脉相通,在神经元活动的时空构形中找出认知活动的神经基础。本书第十六章关于视觉模式识别中悬而未决的问题以及第五十章关于意识的脑模型中贯穿着这种学术思想。

这里值得指出,过去十多年间心理学取得的重大研究进展当推内隐认知过程的实验分析,包括内隐知觉、内隐学习、内隐记忆和内隐思维等。这些无意识的自动加工过程似乎比外显陈述性知识操作,更适宜用联结理论加以解释。与之相比,似乎外显知识的控制性加工过程以离散物理符号表征为主。在认知神经科学吸收并行分布处理的学术思想并形成群编码概念之前,神经元理论特别是“祖母细胞”的概念占主导地位。即对物体和对象的识别和记忆,均由特化的相应神经细胞作为生理基础。尽管群编码概念与之相比更令人信服并与联结理论思潮合拍;但神经元理论也获得一些新的实验事实,证明单个神经元激活的阈值与主观知觉形成的阈强度间存在着精确的平行关系。本书第一、二、十二、十三和第四十六章等分别介绍了这些新发现及单一神经元活动或是群编码在认知过程中的意义,仍是至今悬而未决的问题。

3. 模块论或多功能系统论

根据计算机编程和硬件模块的启发,Fodor(1983年)提出认知功能的模块性(Modularity),认为人脑在结构与功能上都是由高度专门化并相对独立的模块(Module)组成,这

些模块复杂而巧妙的结合,是实现复杂精细认知功能的基础。80年代末与90年代初,模块思想已发展为多功能系统理论,特别是记忆研究中取得了较多科学发现的支持,本书第三十三章,将记忆分为五大功能系统,在系统发生上具有一定的层次性。脑损伤时,各功能系统受到的伤害也有一定的顺序性。原版第III篇将运动功能调节分为头坐标、体表坐标和外界空间坐标等不同的功能模块,对运动发生复杂的组合性调节和控制功能。

4. 基于环境的生态现实理论

1993年初在认知科学杂志上掀起环境作用与物理符号理论的大论战,一批年轻的心理学家与人工智能物理符号理论大师Simon之间展开了大论战。50年代以来认知科学家们一直把认知过程看成是发生在每个人头脑或智能机内部的信息加工过程,而环境作用(situated action)的观点则认为认知决定于环境,发生在个体与环境交互作用之中;而不是简单发生在每个人的头脑之中。1994年Gibson的理论在美欧复兴。从50年代到1979年美国心理学家J. J. Gibson出版了几本专著:“视觉世界的知觉”、“生态光学”和“视知觉的生态理论”等,认为生物演化中外界环境为其生存提供了足够的信息,为生物机体提供了足够的信息,使之直接产生知觉,故而将生物机体的知觉看成是直接的不变性知觉,不需要对环境中的诸多物理特性逐一检测。《认知神经科学》原版第I、II、IV篇的许多章节中都从环境的制约性中揭露脑和认知发展的多层次机制,包括脑功能区、模块的分化、细胞发育和生物化学与生物物理机制的发展,无不与生态环境变迁有关。

综上所述,当代认知神经科学在阐明认知过程的脑机制中,存在多元化的理论观点,有些可以分别用于分析不同层次机制中,它们之间并无根本对立或排他性;但有些理论观点则很难相容,例如,神经元理论中特化细胞与群编码观点就各有自己的实验事实依据。因此,如何建立统一的认知神经科学理论是认知神经科学发展的重大问题。

三、认知神经科学的方法学及其存在问题

认知神经科学方法学包括了两大类互补的研究方法:一类是无创性脑功能(认知)成像技术,另一类是清醒动物认知生理心理学研究方法。前一类方法中又分为脑代谢功能成像和生理功能成像两种;后一类方法中包括单细胞记录、多细胞记录、多维(阵列)电极记录法和其它生理心理学方法(手术法、冷却法、药物法等)。本书主要收集了无创性脑成像和清醒灵长动物的实验研究;但也介绍了许多低等动物和清醒人类神经末梢刺激实验的研究。脑代谢功能成像包括正电子发射层描技术(PET对区域性脑代谢率、脑血流和葡萄糖吸收率的测定)、单光子发射层描技术(SPECT,对脑血流测定)、功能性磁共振(fMRI,通过氧合血红蛋白顺磁性测动脉血流量)。这些脑代谢功能成像技术的空间分辨率和时间分辨率各不相同。PET的空间分辨率在80年代为1.75cm,90年代提高为6mm~7mm,其时间分辨率由分钟数量级提高为秒数量级,现在约40秒~60秒可给出一幅清晰图像;fMRI的空间分辨为mm水平,时间分辨率最高可达50ms,一般100ms即0.1秒就可给出一幅清晰图像。由此可见,fMRI无论就其空间分辨率还是时间分辨率均优于PET。脑代谢功能成像对于快速认知活动无法做到实时成像,或快速跟踪,则采用了积分测量法(integrated measurement),将数十秒数据积分起来以形成清晰的图像。然后进行对照的认知实验,将两种认知条件不同的图像采用减法处理,即完成A认知任务的PET图像减去无A任务的对照PET图像,所得差值为A任务操作的脑代谢功能差异。除减法法则外,还利用一致性分析(consistent analysis),

即将 A 任务减 A 对照组的差值与 B 任务减 B 对照组之差值再相减,以作为完成不同认知任务的脑代谢功能的特异性变化的代谢基础参数。

无论是减法法则还是一致性分析虽有一定的实验心理学基础,但它在一定前提下才可靠。首先应用减法法则意味着脑内的认知过程信息加工是串行的,按一定方向无曲折地层次性处理过程;被试在完成认知作业时,忠诚执行指示语要求,并毫不分心地完成作业;此时参与这项认知任务的脑结构与其它心理活动的脑结构分立而不相干。只有这样,其减法所得结果才与所进行的认知活动完全相关。显然,这种约束条件在实现 PET 认知测量中是很难满足的。

第二类生理功能成像是在自发脑电活动(EEG)、诱发脑电活动(EP)和脑磁(MEG)场变化的基础上,结合计算机控制的断层扫描技术(CT)而实现的。它的时间分辨率极为理想,可实时跟踪认知活动的脑功能变化;但其空间分辨在记录的头皮电极为 19 个电极时空间分辨率为 6cm,41 个电极时为 4cm,120 个电极时为 2.25cm,256 个电极时为 1.0cm。由此可见,其空间分辨率很不理想。为提高其空间分辨率,采用了偶极子(dipole)算法;但常常发现所得结果不是唯一的。虽然生理功能成像技术时间分辨率佳,技术所耗资金少是其优点,但其空间分辨率却无法满 足认知神经科学的要求。因此,近年将脑代谢功能成像与生理功能成像结合起来应用,取各自之长相互补充以满足空间和时间分辨率的要求。

在多种脑认知成像技术应用中,为了比较各种方法所得图像之间的关系,必须进行多种比例性立体变换。这些变换不仅以解剖学定位标志为标准,还要以 10 多种脑数据参数进行线性和非线性变换。因此,这是一项技术难度很大的研究工作。

尽管如此,脑认知成像对于认知神经科学的要求,仍存在许多问题。首先脑代谢功能成像的激活区反映出脑代谢率或脑区域性血流量的增加,与神经元的兴奋性水平并非总是平行性变化,特别是对于抑制性神经元而言,代谢率增高,导致神经元单位活动的降低。实际上,脑抑制性神经元和兴奋性神经元的分布至今尚难以给出明确的答案。因此,代谢功能成像的激活区是否能代表神经元功能活性的问题还需进一步实验研究。其次,在代谢功能成像分析中,每个场激活区至少为 0.8cm^3 ,即使假设为 1mm^3 ,则至少含有数以万计皮层神经元(10^5 细胞/ mm^2 皮层),不能设想这么多神经元都是在同步性发放,功能均一地发挥生理心理功能。总之,脑认知成像技术可以为我们对认知过程的脑功能形成直观的图像;然而这种图像仅可提供结构或区域性功能关系,对于细胞水平的机制显然过分粗糙。因此,这本认知神经科学专著,更多的新科学事实来自清醒动物,特别是清醒猴的认知生理心理学研究。细胞电活动的微电极记录迄今仍是最常用的方法,常将细胞发放率与认知作业成绩以及脑局部低温处理等手段结合应用。此外,利用荧光组织化学、酶组织化学和电压敏感染料等新方法在认知作业前后进行组织化学和生理学参数测量的研究,也逐渐增多。下面介绍几种认知神经科学最基本的方法及其原理。

1. 脑功能之窗——事件相关电位和高分辨脑电成像技术

脑功能之窗的提法已有 20 多年的历史,但它的真正含义只是最近脑功能成像技术问世以来,由于脑电成像和其它神经成像联合运用,才显出它们作为脑功能之窗的本意。

本世纪 20 年代,德国精神病科医生伯格(Berger)面对许多精神病的诊断问题,决心寻找一种检查人脑功能的方法,以便作为诊断精神病的重要根据。他利用当时物理学上最灵敏的弦线式电流放大器经过反复的试验,终于在 1925 年,从安静闭目的人头上记录出

8次/秒~13次/秒变化的波形。每当睁开眼睛后,这个曲线就被幅值很小变化更快的波形所代替。他把这个发现写成文章寄给德国生理学杂志,一些审稿专家都认为这些波形不是发自人脑,而是来自记录仪器的不稳定性。直到1929年经当时世界最著名的意大利电生理学实验室反复验证,才证明伯格医生发现的8次/秒~13次/秒节律变化的头皮电活动确实发自大脑海,并把该节律称为伯格节律或 α 波,把睁眼后的低幅快波(14次/秒~30次/秒)称为 β 波。

30年代至50年代人们一直努力发现一些新的波,试图用以诊断精神疾病,都没有成功,但脑电活动的记录用于诊断癫痫和脑瘤等占位性病变却得到了广泛的应用。因此,伯格医生的心愿至今未了,脑电图(EEG)至今仍无法作为诊断精神病的重要手段,更无法作为脑认知功能的有效手段,然而,60年代以来通过许多信号处理技术,已能分析出认知活动的平均诱发电位。

脑的自发电活动 α 节律大约在 $25\mu\text{V}\sim 100\mu\text{V}$ 范围随机地波动,而人的认知过程或外部刺激诱发的电活动小于 $1\mu\text{V}$,淹没在自发的 α 节律之中。因此,在60年代以前无法在正常人类被试的认知活动中观察脑的诱发电变化。随着信号处理技术的发展,利用时间锁定叠加的办法,多次重复同一刺激,使诱发反应逐渐加在一起,而自发活动由于其本质是随机变化的,叠加中相互抵消。这种时间锁定叠加技术可以大大提高信号与噪声的比例,使自发脑电活动背景上的诱发活动能够检测出来,这就是平均诱发电位。

平均诱发电位是一组复合波,用组成成分的潜伏期和波幅对其进行分析。刺激之后1毫秒~10毫秒的一些小波称早成分,10毫秒~50毫秒的波称中成分,50毫秒以后的成分称晚成分。早、中成分主要反映感觉器官和传入神经通路的活动,晚成分才是认知过程脑功能变化的生理指标。对于认知活动来说,可以把其诱发的内外刺激看成事件,而这些晚成分就是事件引起的脑电活动变化,故称之为事件相关电位。

脑事件相关电位的变化与被试接受的刺激和脑功能变化的时间尺度能精确的一致。换言之,脑电活动的时间分辨率很高,可以实时记录认知过程的脑功能变化;但其空间分辨能力较差,头皮外记录的脑电活动很难分析出是脑内哪些结构或细胞群活动的结果。为了克服事件相关电位分析的这一弱点,80年代中期以来逐渐增加头皮上记录的点数,从原来常用的8导增加为12导、21导、32导、64导、128导和256导。随记录部位的增加,得到较多的数据,就可以通过一种偶极子的算法求解出每一电活动成分由脑内发出的位置。把这种分析的结果变换成断层扫描图,就称为高分辨率或高密度脑电成像技术。美国Neuroscan公司利用这种技术,形成商品化脑电成像扫描仪。

2. 心灵窥镜

窥镜是现代医学中检查内脏的一种有效工具,如胃窥镜、膀胱窥镜等,它可以使医生直接看到脏器的内壁,检查是否有肿块、溃疡和出血等病变。那么心灵窥镜是否也能使研究家们看到人们脑子里的心理活动呢?对这个问题不能用是或否加以简单地回答。我们先从断层扫描技术为起点回答这个问题。

对脑进行X线摄影,由专家用肉眼进行分析,由于脑内各种软组织X线吸收的值相差很小,也由于脑立体结构在平面胶片上显影的重叠,就无法得到有价值的信息。计算机控制的**脑断层扫描技术(CT)或简称脑层描术**从两个方面解决了上述方法的不足。它应用连续旋转,不断改变X光线方向所得到的大量连续体层图代替单一平面图;用光电探测器和电子

计算机分析处理代替人类肉眼直接分析。因此,脑层描术装置由连续旋转的 X 线发射部分,穿过脑组织吸收后 X 射线的接收和换能装置,计算分析系统等三大部分组成。X 线放射部分,由可旋转的 X 线发射球管组成,其 X 线束宽度可调,球管每次以一度的角度可连续旋转 180 度,可得 43200 个数据。计算分析系统,由一套计算机装置构成,包括主机、输入输出卡、存贮器、显示器、打印机和绘图仪等。计算机系统把接受的数据进行处理。在显示器或绘图仪上,可显示出 160×160 点矩阵,形成一个由 25600 个点的脑组织图像。每个点反应了 1.5×1.5 体层扫描厚度(毫米)的脑组织吸收 X 光的值。若体层扫描厚度为 13 毫米时,则计算机给出的 25600 个点中的每一个点,均是 0.03375cm^3 脑组织吸收 X 光的值。通常以水对 X 光吸收值做标准值为零,光吸收值每相差 0.2% 则为 1,头骨为 400~500;大脑灰质为 19~23;白质为 13~17;脑室系统为 1~8;流动血液为 6,凝血为 20~30。灵敏接收器和换能系统把各种脑组织对 X 光吸收差异灵敏地传递给计算机分析系统,很快地计算出结果,并在荧光屏或绘图仪上显示出各种脑结构的变化。近年来,利用人工颜色技术已把这种黑白图形转变为彩色图形,便于观察。虽然 X 光断层扫描技术与脑功能构像没有直接关系;由计算机控制的扫描技术却是各种脑成像技术的共同基础。无论是单光子还是正电子发射或磁共振成像,甚至高分辨率脑电成像都通过脑断层扫描的基本方法得到图像数据并构成三维脑结构图像。

正电子发射层描仪(PET)是当今世界上最昂贵的生物医学构像机,每台造价 600 万~700 万美元。它与其它生物医学构像技术不同,不是关于脑结构的造影,而是一种关于脑功能造影技术,测定脑中不同区域葡萄糖的吸收率和血流量等。这种机器是由半衰期很短的放射核素产生并合成到葡萄糖分子中去的放射化学装置和探测系统组成。当人们注射一种放射性半衰期只有几十分钟的 ^{18}F -D-脱氧葡萄糖之后,静静地躺在床上时,PET 机器就开始了紧张的工作,脑吸收的 ^{18}F -D-脱氧葡萄糖分子发射出正电子,遇到脑内的负电子,就会对撞,两败俱伤,化成一对 180° 反方向的强光子发射出来,这时就可以对脑不同结构进行造影。这种造影就像 CT 技术一样对脑进行一层层、一块块的逐一检查,对其葡萄糖吸收率进行活体动态测定。所以,利用 ^{18}F -D-脱氧葡萄糖和 PET 机器,就可以研究人们各种认知活动时,脑区域性葡萄糖的吸收率。通过 PET 技术研究,脑科学家发现,人们看黑白素描时,初级视皮层葡萄糖吸收率最高,看复杂彩色风景画时,次级视皮层的葡萄糖吸收率最高;不太懂音乐的人听音乐时,右半球葡萄糖吸收率高,音乐行家听音乐时,左半球葡萄糖吸收率高;单独遮住眼睛进行视觉剥夺或单独掩起耳朵进行听觉剥夺时,葡萄糖吸收率在两侧大脑半球是对称的,但视、听觉同时被剥夺,则右半球特别是右前额叶下区和后枕区的葡萄糖吸收率下降率更为明显;一些退行性痴呆的病人,脑额区葡萄糖吸收率显著变低;一些精神分裂症病人与正常人不同,脑的葡萄糖吸收率在额叶最低,而正常人则额叶较高。这些事实说明 ^{18}F -D-脱氧葡萄糖分子在脑内吸收率,不但是脑信息加工的灵敏指针,也可以作为脑疾病的诊断指标。

核磁共振(Nuclear magnetic resonance, NMR)的基本理论研究工作远在 1952 年就得了诺贝尔物理学奖,应用核磁共振波谱仪分析化学物质的组成部分,也有 30 多年的历史,但是形成关于脑组织构像的核磁共振技术,应用于生物医学研究则是 80 年代的事情。

在恒磁场中,某些物质的原子核在射频电磁波的能量激发下吸收能量,随后又发射能量的现象,就称为核磁共振现象。每种原子或离子的结构不同,受激发后出现共振的频率不同,

如氢原子的核磁共振频率 42.59 兆赫兹,钠原子核磁共振频率仅为 11.26 兆赫兹。脑核磁共振的构像仪器中,射频线圈(RF)可以发出 1 兆赫兹~700 兆赫兹的射频电磁波,足以激发脑内化学组成中主要原子核产生的核磁共振现象。除射频线圈外,脑核磁共振构像机内还有一组恒常磁线圈引出一万高斯以上的强磁场成为脑核磁共振的背景磁场,通常其场强为 1T~2T,常见为 1.5T。在 X、Y、Z 三维方向上各有一组梯度磁场是检测脑核磁共振现象的主要部分。梯度磁场中,每一微小的变化都由计算机采集数据,构成图像显示出来。计算机采集数据和图像分析的基本原理与 CT 和 PET 机器中的原理完全相似。

磁共振成像技术自 80 年代以来在世界各国的大医院中普遍使用,我国已有 300 多台机器在各地医院应用,主要用于各脏器器质性病变的诊断,当然包括脑器质性病变,这种仪器不能进行脑功能成像研究,但却是功能性磁共振研究的技术基础。下面我们进一步介绍功能性磁共振成像的技术原理。

功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)虽然功能性磁共振成像原理,即回波平面成像(EPI)原理于 1977 年就提出来,但直到 1992 年,fMRI 即功能性磁共振成像技术才问世。这是由于 EPI 要求仪器中梯度磁场的变化梯度 0.2mT/m,而且上升时间不得慢于 100ms,这在技术上难度大。此外,功能性磁共振成像中采样率要求不得少于 500k,只有这样才能在短于 100ms 射频脉冲期对磁共振数据采样 k 空间给出足够快的扫描。最后,普通磁共振成像仪器的信噪比也满足不了功能磁共振快速成像的要求。因为随着成像速度快,噪声成比例增加,磁共振仪的这些条件满足之后还要有较好的计算方法和软件,才能对快速成像的数据进行处理。由于软、硬件条件的上述改进,使传统磁共振成像从约 60s 才能给出一幅清晰图像,改变为每 0.1s 可给出较好图像。除仪器条件的这些特点还有多种不同 EPI 方法,用于不同目的,如水扩散成像法适于得到脑灰质和白质分布的精细变化,而灌注成像法适于得到局部血容量的测定。一般采用梯度快速成像法可灵敏测定含氧血红蛋白的分布状态,以此作为脑功能的灵敏指标,适用于认知神经科学和精神病学研究,也就是通常所讲的磁共振认知成像技术。

四、《认知神经科学》一书的内容简介

Gazzaniga 在简短的前言中把认知神经科学描绘为一门新建立的科学,以便理解脑怎样产生心理活动,未来将会研究出一些算法,用以解决结构的神经组织怎样通过其生理活动产生知觉、认知和意识等精神现象,简言之,它是关于脑和认知活动机制的科学。

第 1 篇分子和细胞水平的可塑性,本书未译。在引言中把可塑性解释为机体对环境反应过程中其结构和功能的可变性(flexibility)和突变性(mutability),分子和细胞水平的可塑性是知觉、记忆和认知等过程的重要基础。该篇分为 7 章,第 1 章营养作用和脑的可塑性,第 2 章长时记忆的分子和结构机制,第 3 章视网膜神经节细胞先天和后天发育,第 4 章成年哺乳动物中感觉和运动映射的重组,第 5 章成年视皮层的动力特性,第 6 章新皮层信息处理空间的时间编码:一种假说,第 7 章感觉的分子基础。该篇首先阐明,就神经生物机制而言,已揭露许多不同层次的可塑性,但它们与认知活动的关系则尚待进一步研究。一般而论,凡是影响认知活动的可塑性机制,一定影响神经系统和非神经细胞的功能。所以说,脑运用的可塑性机制也为其它系统或器官所利用,另一方面不同系统和不同的脑功能又会有自己特有的可塑性机制。特异性不同的可塑性机制可能是脑模块性形成的基础,对此第 1 章给出较充

分的证据。其次,该篇试图说明不同层次可塑性具有特异性、选择性和共同性。第5章图形与背景的分离等说明视皮层神经元间的水平联系已超出每个神经元感受野的范围,可能为视知觉恒常性和图形背景分离等认知现象提供了细胞学基础。第4章说明皮层运动功能的映射是依赖个体经验中基于运用时间的变化过程,经常运用的功能在皮层中的投射比例增大。因此,运动功能在皮层中的投射不是绝对不变的解剖关系。第6章提出,在知觉或概念表征中,不同部位神经元发放的同步化可能具有重要作用。第2章描写了海兔非联想学习(习惯化和敏感化)形成长时记忆中,神经元间突触数和活化区增多,且维持数周之久,与长时记忆的维持时间大体相符。最后还指出神经递质5-羟色胺可引起相似的突触数和活化区增多现象。说明这种神经递质又具有突触活化区的生长因子作用。第1章还提出了毫秒数量级的神经脉冲如何转化为神经系统准长时变化的一种机制,在海马离体培养脑片中去极化刺激引起神经生长因子(NGF)基因的表达,生成的NGF可以引起持续数日至数周的神生长,递质和突触的变化。揭露某些递质受体亚型可能诱发出促营养因子的反应。第3章根据视网膜神经节细胞轴突分叉的细胞构筑特性认为,它具有明确的促营养作用;但第7章在嗅系统的信号处理分析中则提出相反的看法。

第II篇神经发育和心理过程的发展。该篇包括第8—13章计6章,本书未译。第8章人类和非人灵长类皮层发生学,第9章大脑皮层发育原理的实验方法,第10章婴儿中的物体知觉,指向物体的运作和物理知识,第11章婴儿的物理推理,第12章人类社会能力的起源,第13章人类神经认知发展中的特性。第8章首先总结了大脑皮层发育中的细胞学基本变化,包括细胞繁殖、迁移、集聚成放射状和分层状成人新皮层结构。特别是第9章给出了详尽的相关实验数据,说明从胚胎期到新生儿之间脑细胞如何发生变化及对此研究的一些新技术,第10—12章揭露皮层突触发育和婴儿认知发展间的平行关系。第13章说明皮层功能成熟中从弥散到精细的变化过程。该篇除介绍了一些神经生物学研究新技术外,还应用当代脑功能成像研究成果阐明婴儿脑发育和认知发展的关系。

第III篇感知觉,由第14—30章计17章组成,本书编译为第一篇第一至第十七章,触觉2章听觉3章,其余12章均为视觉。该篇阐明了当代感知觉研究中三个重要问题。第一个问题为单一感觉神经元的的信息是否引起主观感知觉变化,分别在第一、二、十、十二和第十三章中加以讨论,其结论大都较为肯定;第二个问题是神经元群的群编码是感知觉多样性的生理基础,由第四至第七章,第一章和第十四章分别加以讨论;第三个问题为信息加工的组合及其对环境的制约关系,由第八章和第十五至第十七章加以讨论。

第IV篇运动系统的策略和规划,由第31—38章计8章组成,本书未译。第31章坐标变换的神经生物学,第32章运动皮层和认知加工,第33章后顶叶皮层中的坐标变换和运动规划,第34章第35章肢体精细运动中本体感受系统与视觉系统的作用,第36章上丘:研究整合神经科学问题的窗口,第37章向量编码和空间认知的前庭功能基础:神经生理学的和计算的机制,第38章计算运动控制。第31章报道三类发现:(1)发现猴后顶叶皮层神经元活动中,与视网膜间存在着空间对应关系,同时又受躯体感觉信息的调节,正是这些神经元较好表征着以头为坐标的外界物体;(2)外侧顶间区(LIP)和顶叶7a区的神经元也同时受来自眼和头部位置信号的调节,说明7a区存在以身体为坐标的空间表征神经元;LIP区细胞还受眼和前庭系统的调节,说明这类细胞以外部环境为坐标表征着视觉刺激。第37章报告海马神经元也具有这种外部环境坐标表征刺激的特性。第35章研究抛物运动中手、眼关系,发

现手臂中的本体感受线索必须依靠眼对手臂监视的信号,才能准确完成确定目标的抛物运动。第 34 章也发现四叠体中驱动着眼对目标的扫视运动。第 31 章提出肢体运动规划构成运动信息加工的早期分立的阶段,特别是手位置与运动信息具有主导作用。随后在运动执行中,骨骼肌系统的运动控制是保证运动完成的关键。第 38、31 和 32 章均讨论了人类精细躲避障碍物运动,包括直线和曲线运动中的神经元机制。第 38 章还对此提出了数学模型,说明外坐标的运动规划在这类运动控制中发挥的重要作用。第 32 章则着重分析皮层运动区神经元在运动不同阶段的活动规律。

第 V 篇注意,由第 39—46 章计 8 章组成,本书编译为第三篇第十八章至第二十五章。本篇围绕的一个中心问题是各种感觉刺激在心理定向中的作用,除第 44 章和 45 章(本书第二十三和二十四章)外的各章均从不同角度阐明此问题。第 44 章则沿袭网状结构的研究历史讨论了唤醒问题;第 45 章着重揭示额皮层在注意中的可能作用。

第 VI 篇记忆,由第 47—54 章,计 8 章组成,本书编译为第三篇第二十六章至第三十三章。该篇围绕记忆过程和多重记忆系统两个重大问题分别阐明一些脑结构的作用,包括海马、边缘系统、颞叶和额叶皮层等。该篇系统总结了过去十多年记忆研究的重大成果,特别是内隐记忆和多重记忆系统的理论研究成果。

第 VII 篇语言,由第 55—61 章计 7 章组成,本书编译为第四篇第三十四章至第四十章。语言由词和语法两大原理构成,该篇各章分别从神经心理学、语言学、语言发展等角度阐明语言获得、产出和理解的脑机制。一方面破除了传统的左半球皮层机能定位的观点,列举语言功能定位于许多皮层与皮层下脑结构,另一方面又难以说清不同层次的语言脑机制。不同脑区、脑回路以及细胞、亚细胞或突触水平上的微回路都是今后研究的重要内容。

第 VIII 篇思维与表象,由第 62—68 章计 7 章组成,本书编译为第五篇第四十一至第四十七章。该篇对近年应用事件相关电位、脑构像技术、脑损伤病人的神经心理学研究和动物模型研究进行了较全面的总结。在理论上偏重于思维与表象中脑功能的实时动态变化规律。本篇另一特点在于重视清醒猴实验研究的理论意义。

第 IX 篇情感,由第 69—77 章计 9 章组成,本书未加编译。第 69 章脑内情感系统的探索:从恐惧到情感和意识的飞跃,第 70 章情感活动的细胞机制,第 71 章恐怖条件反应的脑机制,第 72 章情感和意识的理论及其在理解情感神经基础中的意义,第 73 章灵长动物意向知觉的神经生理学,第 74 章应激经验,脑和情绪:心理发展、遗传和激素的作用,第 75 章整合人类情绪的神经生理网络。

第 69 章概述情绪的神经机制,作者利用条件恐惧模式的实验研究证明杏仁核为中心的神经回路中细胞间信号转导的机制;第 70 章分析了情绪的细胞机制,着重分析以杏仁核为中心的神经回路中细胞间信号转导机制;第 71 章利用细胞单位记录的方法研究情绪过程,特别是情绪变化对感觉刺激加工的影响。作者强调在皮层胆碱能传入的激活中杏仁核具有重要作用,而丘脑-皮层通路和皮层内胆碱能通路间的关系与情绪调节有关;第 72 章以灵长动物情绪过程研究为基础提出一种情绪理论,认为情绪是由强化刺激而引起,杏仁核和眶额皮层强化刺激所引起的细胞电活动变化是情绪的生理学基础;第 73 章在社会关系的复杂层次上研究了情绪的神经生理学基础,文中指出杏仁核、眶额皮层和扣带前回由于其具有广泛的传入和传出联系可能对情绪调节具有关键作用;第 74 章研究心理应激的生理基础以及应激对脑和身体的不良影响;第 75 章以癫痫病人脑深部结构的记录数据为基础研究了情绪的

神经生理学基础,认为皮层-边缘-脑干网络是情绪活动的重要基础;第76章报道对家族性抑郁症病人的PET脑成像研究结果,边缘结构和边缘相关的结构在情绪活动中激活水平增高;第77章总结了对焦虑症和精神分裂症的神经心理学研究,证明海马、杏仁核和基底神经节与这些疾病间关系密切,并在此基础上阐明边缘系统-基底神经节理论。

第X篇进化理论,由第78—84章计7章组成,本书未编译。第78章心、脑机能结构映射的进化;第79章认知神经科学中从机能到结构的计算理论和进化论;第80章进化理论能预测脑内的性别差异么?第81章在认知神经科学中关于动物和人类的争论;第82章人脑的进化:神经解剖学理论;第83章对适应性特化的一般目的论的取代;第84章鉴别性双亲焦虑和动机系统的进化模型。

第78章阐明认知神经科学家们能从进化生物学借用的理论工具,包括生物功能的刚性概念,人脑功能特化序列和功能结构单元(神经和认知功能)区分的标准等;第79章介绍进化生物学的一系列适应性计算模型,阐明这些模型对认知神经科学的意义;第80章介绍一种通用模型用以预测何时产生性别分化的表型,其独立变量是生殖率。认知特质及其神经解剖基础也是性别选择的目标,因此本文对空间能力的性别分化,用此模型加以预测;第81章讨论能否从非人类脑研究结果推论人脑问题,作者认为这需要比较许多种属动物脑结构功能数据,考虑每种动物与人类之间的进化关系,才能得到较可靠的结论;第82章从多方面讨论人脑进化的解剖学资料,包括新皮层的大小,哺乳动物新皮层的一般结构特性,并从中提出两种重要的发展机制,即传入的特化和皮层结构的冗余性在哺乳动物解剖和功能分区中所具有的重要意义;第83章介绍了以计算理论重新认识条件反射实验,建立一种新的适应性特化理论;第84章在行为生物学中传统的自然选择和近因理论模型的基础上,阐明自然选择模型怎样用于分析双亲动机系统及其认知神经科学机制。

第XI篇意识,由第85—92章计8章组成,本书编译为第六篇(第四十八至第五十五章)。该篇回顾关于意识生理基础问题的研究历史,60年代电生理学发现快速眼动睡眠与梦的关系以及70年代对割裂脑病人的研究,80年代失认症的研究都为意识神经基础问题积累了许多科学事实。

参 考 文 献

1. 沈政、林庶芝:《脑模拟与神经计算机》 北京大学出版社1992年版,台湾五南图书出版公司1996年版
2. 沈政、林庶芝:《认知神经科学导论》 内蒙教育出版社1995年
3. Osberson, D. N., Smith, E. E (ed) An Introductuon to Cognitive Science, The MIT Press. Cambridge, Mass. 1990
4. Posner, M. I. (ed) Foundations of Cognitive Science, The MIT Press, Cambridge, Mass. 1989
5. Roland, P. E. and Zills, K. Brain atlases-a new research, TINS 1994, 17: 458-466
6. Stergent, J. Brain-imaging studies of cognitive functions, TINS 1994, 17: 221-227
7. Thatcher, R. W., Hallett, M., Zeffiro, T. and John, E. R (eds) Functional Neuroimaging Technical Foundations. Academic Press, San Diego, 1994
8. Ungerleider, L. G. Functional brain imaging studies of cortical mechanisms for memory, Science 1995, 270: 769-775