

Higher Human Brain Function
Clinico-Experimental Research

狄海波 虞晓菁 陈宜张 〇编

人类大脑高级功能： 临床实验性研究

上海教育出版社



*Higher Human Brain Function :
Clinico-Experimental Research*

人类大脑高级功能： 临床实验性研究



狄海波 虞晓菁 陈宜张 ◎ 编

上海教育出版社



YZLI 0890089051

图书在版编目(CIP)数据

人类大脑高级功能: 临床实验性研究 / 陈宜张等编.
—上海: 上海教育出版社, 2010.8
ISBN 978-7-5444-2949-8

I. ①人... II. ①陈... III. ①大脑-机能(生物)-研究
IV. ①R338.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 160254 号

人类大脑高级功能:
临床实验性研究

狄海波 虞晓菁 陈宜张 编

上海世纪出版股份有限公司出版发行
上海教育出版社

易文网: www.ewen.cc

(上海永福路 123 号 邮政编码: 200031)

各地新华书店经销 昆山市亭林印刷有限责任公司印刷

开本 890×1240 1/32 印张 6.5 插页 2

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5444-2949-8/R·0008 定价: 18.00 元

(如发现质量问题, 读者可向工厂调换)

前言

人类大脑皮层是自然界中最复杂的物质,人类大脑皮层的活动与功能是自然界中最复杂的运动形式,揭示人类大脑皮层的工作原理也就成为当代自然科学面临的最大挑战之一。

研究人类大脑皮层功能与原理的方法包括病理结合行为的方法、电刺激人脑的方法、电生理的方法、行为结合神经元单位活动的方法、无创性脑功能成像方法等。加拿大神经外科学家潘菲尔德(Penfield)用电刺激人类大脑皮层以获取患者口头报告的方法,获得了对大脑皮层功能定位方面极有价值的认识。这集中体现在大脑皮层初级感觉区和初级运动区的两个“小人图”上(见扉页上的彩图)。50年后的今天,人脑的“小人图”仍然出现在几乎所有神经生理学教科书上。

20世纪30至50年代,潘菲尔德出于诊断和治疗目的,同时也为了进行人类大脑的临床实验研究,先后分析了一千多名癫痫患者。在神经外科手术环境下,他用电刺激器刺激了患者特定大脑皮层,让患者报告其主观感受并观察患者的行为表现。由于所刺激的大脑部位、癫痫特征和个体在先天和后天诸方面的差异,电刺激引起的行为表现和口头报告是极为丰富的。这些报告为理解大脑皮层的奥秘、为研究大脑的神经机制提供了翔实的材料。其中尤其是患者的口头报告,我们在编译、整理这些材料的过程中,感到相当震惊。这些材料无疑为我们理解大脑皮层打开了一扇十分

有价值的窗口。不过，潘菲尔德的工作也难免有时代局限性。为此，在某些我们认为必要的地方，加了一些编者注。

本书不仅适合于广大医学院校的学生、医务工作者、心理科研工作者阅读，也可作为对人脑神秘性感兴趣的广大读者的科普读物。

编 者

2010年3月18日

黄正荣 [381]

一 [381]

二 [381]

contents

[1] 第一章 人类大脑皮层的临床研究

[1] 一、人类高级脑功能的研究

[2] 二、潘菲尔德的人类高级脑功能临床实验性研究

[5] 三、人类大脑功能实验研究的发展

[7] 四、“脑功能定位”与“脑功能整合”

[14] 第二章 潘菲尔德的临床研究方法

[15] 一、手术

[16] 二、电刺激

[16] 三、反应的记录

[22] 第三章 运动功能

[22] 一、躯体运动病例

[43] 二、自主性运动病例

[46] 三、脑刺激反应汇总表

[48] 第四章 躯体感觉

[48] 一、躯体感觉病例

[121] 二、躯体感觉病例的小结及讨论

[123] 三、脑刺激反应汇总表

- [126] 第五章 视觉、听觉、平衡觉
- [126] 一、视觉病例
- [148] 二、视觉病例的小结及讨论
- [150] 三、听觉病例
- [157] 四、听觉病例的小结及讨论
- [157] 五、平衡觉病例
- [158] 六、平衡觉病例的小结及讨论
- [159] 七、脑刺激反应汇总表
- [161] 第六章 语言、记忆及心理活动
- [161] 一、语言和记忆病例
- [179] 二、心理活动病例
- [195] 三、脑刺激反应汇总表
- [197] 参考文献
- [199] 后记
- [200] 索引

第一章

人类大脑皮层的临床研究

一、人类高级脑功能的研究

人类高级脑功能包括:知觉、行为、意识、注意、判断、情绪等。粗略地讲,这些就是被称为“认知功能”的那一部分脑功能。

在人类大脑研究的历史上,加尔(Gall, 1758—1828)曾提出了脑功能定位的科学思想。起先他把这种思想方法称为器官学(organology),以后他的学生施普尔茨海姆(Spurzheim, 1776—1832)称之为神智学(phrenology)(陈注:phrenology,以前译颅相学,希腊文 phreno 意为 mind,即神智,所以这个名词的意思就是神智科学)。神智学企图把颅骨特征与行为联系起来,加尔所用的方法学是不完善的,毕竟他选用了特殊个体的颅骨测量方法,而没有用神智学的检查方法,也没有用临床病例与病理结合的方法。

布罗卡(Broca, 1824—1880)有了突破,他确定了人脑的语言区(语言运动区)位于左侧顶叶下部。布罗卡的研究特点是抓住临床遇到的典型病例,研究这个疾病与脑病变的关系。其实法国人沙可(Charcot, 1825—1893)所开创的把神经病理学与临床相结合的方法也属此类。这种方法是临床的,但谈不上是实验性的。

二、潘菲尔德的人类高级脑功能临床实验性研究

对人类大脑高级功能作临床实验性研究,其实验性是指要人为地增加一些因素,例如用电刺激脑,同时(包括其后)观察病人的行为、知觉方面的改变。

最早,由美国人巴塞洛(Bartholow, 1831—1904)在 1874 年做了这种研究。他是辛辛那提的一位医生,又是俄亥俄州医学院的教授。他有一个患头颅侵蚀性肿瘤的病人。据报道,将电极通过硬脑膜插进去,直到中央前回,刺激导致病人对侧肌肉收缩。此后,巴塞洛曾遭到严厉谴责:为什么要用病人做实验,刺激病人的脑并做这样一个非常极端的实验(今天我们可能怀疑病人是否知情,因为据报道病人是弱智的)。之后 15 年内又增加了 6 个病例。再过 20 年,电刺激人脑就相对地常见了。1912 年德国神经外科学家克劳斯(Krause, 1857—1937)报告了一组(142 位病人)病例,他用充灌盐水的玻璃滴管作单极电刺激,并根据刺激结果作了图,发现大脑中央前回刺激时产生肌肉收缩,他还承认,有时候麻醉已经消失。这种做法成了潘菲尔德著名探索的前奏。

为了诊断和治疗的目的,同时也进行临床实验研究,以探索人脑高级功能,当首推加拿大神经外科学家潘菲尔德。

1. 潘菲尔德和蒙特利尔神经病学研究所

威尔德·潘菲尔德(Wilder Penfield, 1891—1976)是出生于美国华盛顿州的加拿大神经外科学家。在获得剑桥大学学士学位后开始学习生理学并进行医学研究。在谢灵顿(Sherrington, 1857—1952)的鼓励和影响之下,起先潘菲尔德的兴趣在组织学和神经细胞学。后来他到约翰霍普金斯医学院,在那里获医学学位。1918 年潘菲尔德的第一篇论文是关于轴突切断后神经元高尔基器的变化,1924 年他开始研究损伤后脑愈合过程。潘菲尔德接受了谢灵顿的意见,在西班牙跟奥尔特加学习神经组织学,收集了很多外科手术的标本,研究脑疤痕的组织学及外伤后癫痫的发病原因。潘菲尔德曾

在布雷斯劳看到如何在清醒病人身上做脑电图,1928年回到北美后,他在麦吉尔大学亲自建立并领导了蒙特利尔神经病学研究所(MNI),进行了人类大脑皮层功能的一系列研究。

潘菲尔德是谢灵顿学术生涯中晚期的一个学生,有一次他从加拿大去英国看望谢灵顿,那时谢灵顿已超过90岁了。潘菲尔德站在谢灵顿身边,很有礼貌地告诉谢灵顿他在加拿大做了些什么,他说他用的是清醒病人,病人由于严重癫痫治疗需要而做神经外科手术,并报告了手术与实验的结果。谢灵顿回答说,如果我们能对“标本”提出一个问题,而且请他回答,那一定是非常有趣的事。(陈注:“标本”即指病人)

2. 潘菲尔德的人类大脑皮层功能临床研究

潘菲尔德了解谢灵顿关于灵长类大脑皮层定位的工作,1928年他与福斯特(Foerster, 1911—2002)一起,学习在局部麻醉的癫痫病人身上用轻微电刺激大脑皮层,观察病人的行为与反应。潘菲尔德对人类大脑高级功能进行的系统临床研究,其目的是为了正确地切除癫痫疤痕组织,之所以在术前用轻微电刺激来确定病人感觉皮层和运动皮层的范围,是为了监视外科切除的正确与否。

潘菲尔德的人类大脑皮层临床研究的特色是让病人处于清醒状态,这样可以询问病人的主观感受,观察行为变化。例如,大脑皮层电刺激可以引起病人语言和发声的改变,病人会报告过去经验的记忆、视觉和听觉的效应,等等。在某些病理条件下,电刺激也可能激动大脑皮层容易兴奋的癫痫灶,从而诱发病人的习惯性抽筋。这样,外科医生可以确定哪些脑区是生理学上已经紊乱了的癫痫病灶。潘菲尔德总结出一系列关于癫痫脑外科治疗的经验,形成研究报告。潘菲尔德甚至认为,如果有机会,所有外科医生都有义务来增加对脑功能知识的积累。

为了进行人类大脑皮层的临床研究,研究方法显然是十分重要的。潘菲尔德曾制定并执行了一套严格的、科学的记录方法,以获得准确翔实材料。在长期的科研活动中,潘菲尔德有许多合作者,包

括外科医生、神经病理学家等,值得引起重视的是他曾与脑电图学家贾斯珀(Jasper, 1906—1999)的合作。贾斯珀是一位著名的神经生理学家、脑电图学家,他与潘菲尔德的合作——在暴露的人的大脑皮层上直接记录脑电图(脑电图可以反映人脑的活动水平),实在是对行为记录的一个很好的补充,这使他俩的人脑研究更为可靠、可信。

潘菲尔德的工作大大地扩展了我们关于人类大脑皮层功能定位的知识,这些都是他用电刺激方法获得的,导致他在人脑上画出了一个“小人图”(见扉页彩图)。在暴露的脑表面,用电刺激方法有可能非常准确地确定大脑皮层躯体感觉区及运动区的位置,以及皮层各区对特定功能的贡献。结果表明,整个人类体表按照一定次序排列在脑表面,加工来自身体某一部分的信息。“小人图”的分布并非与身体所占面积大小成比例,而反映这部分神经支配的精确程度,例如,来自嘴唇与手的感觉输入所占大脑皮层面积比来自肘部、臀部的要大。皮层输出也以同样原则组构,人类大脑皮层用更多的面积来控制手指以及语言相关的肌肉。今天,人脑的“小人图”几乎出现在所有的神经生理学教科书上。

潘菲尔德的工作大大地扩展了我们对于记忆和语言等神智功能的了解。1938年,潘菲尔德注意到刺激病人颞叶皮层某些部分,偶然地可以引起病人对已经遗忘经历的生动回忆。潘菲尔德又证明,差不多有半数病人的癫痫发作,起源于一侧颞叶皮层。潘菲尔德关于颞叶癫痫的工作引导他看到海马与记忆功能非常重要的关系,以及负责记忆的其他大脑皮层。在此基础上,潘菲尔德与神经心理学家米尔纳(Milner, 1918—)进行了卓有成效的合作,导致对海马与记忆功能的新认识。1951年,潘菲尔德与米尔纳发现,有一例一侧内侧颞叶海马切除病人有严重的记忆障碍;后来又发现这位病人的另一侧海马是损伤的。这也就是说,病人是双侧海马功能丢失。这种双侧海马功能缺失的病人,完全不能回忆手术后所发生的各种事情。这种记忆丧失并不伴随智能的丧失,也没有注意能力的丧失。

潘菲尔德总结并分析了1132位清醒病人大脑皮层的刺激实验

资料。积累这么多的病例资料世所罕见。

三、人类大脑功能实验研究的发展

自 20 世纪 50 年代以来,人脑功能实验研究方法有了很大进展,但电刺激人脑研究方法的独特贡献仍不可轻视。

1. 大脑病理结合行为的方法

布罗卡确定位于左侧顶叶下部的运动语言区,就是典型的大脑病理结合行为的方法。这种方法后来也被许多其他研究者所采用,如韦尼克(Wernicke, 1848—1904)、格施温德(Geschwind, 1926—1984)等。此方法隐含的是“减法逻辑”。“减法逻辑”的原理是,由于病理变化或手术切除,缺少了一块脑组织,从而出现了某一功能的缺失或者减弱,假设记为功能 B,人们就把功能 B 归功于所缺损的这一块脑的(如果不缺损时的)正常脑功能。布罗卡的运动语言区以及后来其他人的工作,就是基于这样一个原理。

2. 电刺激人脑的研究方法

以潘菲尔德为代表的神经科学家所做的以电刺激人脑同时观察受试者行为变化的方法,它所隐含的是“加法逻辑”,增加了这一块脑组织的活动,相应地就增加了这一块脑组织的正常脑功能。电刺激增强了刺激点的脑活动,由于刺激,引发了脑所调控的 A 功能的加强,因此人们就说, A 功能是受刺激点的脑的功能。19 世纪弗里奇(Fritsch, 1838—1927)和希齐格(Hitzig, 1838—1907)刺激狗的大脑皮层运动区作出的运动区的结论,潘菲尔德根据电刺激人脑引起的效果,在人脑上画出了一个“小人图”,它们所依据的原理就在于此。

但在以上两种方法中,怎样解释电刺激或损伤、切除脑的实验结果,还是存在问题的。问题在于功能的缺损或增强是不是仅仅归功于相应脑区的功能缺损或增强。因为刺激某个点,效应不一定来自电极底下这个脑区,还可能是这个脑区对其他脑区的影响。同样,损伤脑区出现了某一个效应,可能是这个脑区产生的,也可能是和这个脑区发生联系的其他脑区所产生的。正因为如此,脑功能定位学说

提出以来,不同年代都有不同的学者对于严格的功能定位的看法有诸多不同的意见。下面将一一详述。

3. 电生理学方法

1929年德国人伯杰(Berger, 1873—1941)记录了人的脑电波,他本人就是一位临床精神病学家,他的初衷就是想看脑电波与人的精神现象的关系。事实的发展是,脑电波以后在临床上除了对癫痫有重要的诊断作用以外,对于理论方面的贡献并不是很大。与脑电图的发展几乎同时,科学家们又找到了诱发电位的方法。诱发电位是刺激,或者是脑内的刺激,或者是光线、声音、躯体皮肤方面的刺激,引起脑内的活动。诱发电位结果对于脑内的点与点之间的投射关系作出了很多贡献,但是对于精神、神智现象的理解,也没有太多的影响。再往后,人们注意了慢的电位变化,例如,准备电位(readiness potential),这是在人发动一个运动之前就出现的脑的慢电变化;以后在诱发电位的基础上,又发展了慢的事件相关电位(ERP),慢电位变化的发现以及新的方法的应用,都比以前单纯诱发电位前进了一步,有其独特的长处,但是就其对神智的问题,贡献仍然是有限的。

4. 行为结合神经元单位活动的方法

20世纪五六十年代,埃瓦茨(Evarts, 1926—1985)研究猴在实行一个随意运动时,它的运动皮层单位放电变化;同时,胡贝尔(Hubel, 1926—)和威塞尔(Wiesel, 1924—)对猫和猴给以视觉刺激时,观察相应的初级视皮层 V1 区的简单细胞和复杂细胞的活动,这些都是开创性的工作。胡贝尔和威塞尔的工作是一个光辉范例,它揭示了人类知觉的脑内过程。近年来在运动行为方面也有很好的研究,诸如知道某一个脑区的神经元活动,专门与动物运动要达到的目标相关。所有这些,都是用动物实验的方法得到的,其优点在于能按设计作深入分析,但同样难以解决的是,缺少实验对象的主观体验报告。

5. 近代无创性脑功能成像的研究

这是指正电子断层扫描(PET)以及功能性磁共振成像(fMRI)这

两种方法。它们先后在 20 世纪八九十年代出现,为研究清醒人体的脑功能,研究人的神智活动,提供了无可比拟的优越手段。这类方法的主要依据还是脑的代谢活动,例如与血液氧的水平相关(BOLD)。这种方法往往采用的是观察脑功能成像变化与受试者对作业(task)口头报告的相关,受试者本人的体验和经历报告并不是主要目的。

如前所述,潘菲尔德应用电刺激人脑的研究方法得到了许多宝贵的材料,其非凡的特点是由病人口头报告自己的经验,同时记录受刺激的脑部位及其他必要的脑活动客观指标。但这种方法显然也有不少缺点。首先,即使是刺激引起了病人的一种体验,刺激的点是不是就是负责这项功能的,这本身就是一个问题。第二,刺激限于脑的皮层的表面,不能够做脑的深部刺激。第三,开展这类研究,既需要开颅手术的条件,还需要相当好的临床实验研究条件。第四,近年来已有不需开颅的刺激方法,譬如经颅磁刺激(TMS, transcranial magnetic stimulation),这种用磁刺激的方法不需要开颅,这已成了临床上常规可用的脑刺激方法,但是它的定位远不如直接电刺激那么准确。

可见,电刺激人脑的研究方法,有其时代的、技术的局限性。但电刺激人脑结合病人(受试者)口头报告的方法有它独特的优越性,毕竟人的神智功能最终还是要由人自己的体验表达出来,由自己把经验报道出来。也就是说,人的口头报告成了一个无可匹敌的优点。可见,电刺激人脑研究方法的独特贡献不容忽视。近年来,李伯特(Libet, 1916—2007)用电刺激人脑的方法,证明人意识状态的发生需要一定的潜伏期,也可说明这一点。这也就是谢灵顿对潘菲尔德讲的那句话:“我们来问一问‘标本’的反应,一定是很有趣的。”我们或者还可以这样说,其他种种有关人脑与认知的科学资料,至少应当与人的口头报告不相矛盾。

四、“脑功能定位”与“脑功能整合”

本书介绍潘菲尔德电刺激人脑的实验结果,重点在于介绍由病

人自己口述的主观经验,这是脑科学研究中无可取代的宝贵材料。

但潘菲尔德在人脑上画了一个“小人图”,这本身就提示着脑的功能定位。脑功能定位学说到底是否正确?应当怎样来理解它?这确实需要作一些分析。

1. 不赞成“脑功能定位”的种种早期的看法

脑是一个非常复杂的功能结构,有着上上下下的神经连接,主宰着感觉和运动。加尔提出神智学时,弗卢朗(Flourens, 1794—1867)就反对他的意见,但弗卢朗用的动物是鸟类,实验方法不够严谨。布罗卡提出运动语言区以后,玛丽(Marie, 1853—1940)就认为语言的缺陷不一定是那个部位脑损伤的结果。英国的杰克逊(Jackson, 1835—1931)曾经与布罗卡在同一讲台讨论过脑功能定位问题。杰克逊赞成定位,但不赞成严格的定位。脑的功能定位,特别是一些复杂功能,与高级的、心理有关的功能(如语言、知觉),心理学家难以接受。美国的拉什利(Lashley, 1890—1958)提出了脑等能学说,俄罗斯的卢里亚(Luria, 1902—1977)提出脑可以分成三个功能系统。这些异议都试图说明,人体的某一功能并非局限在某一特定脑区。

(1) 弗卢朗对加尔的异议

弗卢朗不同意加尔关于脑功能定位的观点。弗卢朗实验做得非常好,在法国享有盛誉。自1820年开始,他花了20年时间做了一系列以鸽子为实验对象的有关脑损伤影响行为的实验。弗卢朗报道,损伤大脑对于鸽子的判断、意愿、记忆以及知觉都有非常大的影响。但他也发现,不同部位的损伤与影响大小无关,任何大脑区域对于这些功能的作用是同等的。唯一例外是视觉,一侧损伤引起对侧视觉缺失。即使如此,大脑皮层也没有局部定位。

(2) 玛丽对布罗卡的异议

1906年玛丽检查了当时保存的、布罗卡用来支持他脑定位学说的那个病人的脑。玛丽发现该脑损伤比较广泛,而不是如布罗卡所讲的那种特定部位的损伤。因此,玛丽认为病人之所以不能够讲话,是由于广泛的脑损伤引起智力的一般性丢失,而不是特定的不会讲

话。玛丽的报告出来以后,有的研究者也表达了类似想法,支持等能理论。总的说来,这些研究者认为,即使基本的感觉及运动功能是可以 在脑内定位的,但是高级功能的皮层过程太复杂,不可能局限于某一脑区。

(3) 杰克逊的模型

杰克逊研究癫痫发作时肢体运动和脑特定区域的关系。他的主要工作是在 19 世纪后期做的。他认为高级神智功能不是单一的能力,而是包括了简单的和更基本的技巧。就语言而言,他认为没有一个“语言中枢”。相反,他认为人有这样的能力,可以把一些基本技巧结合起来,如听和辨别讲话的声音,还有发音器官调控的细致运动和运动感觉,这样才能够产生高级复杂的技巧。因此,语言丧失可以追溯到任何一个基本功能系统丧失的层面上,失语症可以联系运动调控的丧失,可以联系从口部来的反馈的丧失。由于理解的缺陷以及应用语言基本能力的缺陷,因而才不能够讲话。

当脑的某一个特定区域损伤时,引起所有高等技能的损害。即使有某一部位损伤引起了语言丧失,并不一定表明这个脑区是负责语言的。杰克逊认为,局限的定位损伤破坏了语言,和定位语言是两件不同的事情。他相信,行为可以在神经系统的不同水平上表达,例如,当你要求病人复述一句话,他可能不能重复这句话,但即使这样,病人还会讲另外一句话。例如,病人不会讲“不”,但当这个“不”字是作为一个自动反应的一部分时,病人却能够说出来。所以能够讲“不”这个能力分属两个分开的技巧,一个是随意的,一个是自主的,每个能力可以独立地受损,而另一个可不受损伤。杰克逊注意到,行为很少是完全损失的,除非对脑区的损伤特别大。

杰克逊认为,行为是由所有脑区之间的相互作用而产生的,即使一个最简单的运动动作,也需要全脑、神经系统各个水平的协作,从外周神经到脊髓,一直到大脑皮层。因而,杰克逊是倾向一个更加整体论的观点,接近于脑功能全能的观点。但杰克逊又说,每个脑区有其特定的功能,该区通过这一功能贡献给整体的神经系统,所以他的

观点也具有定位学派的味道。

(4) 拉什利的脑等能学说

拉什利是著名行为学家华生(Watson, 1878—1958)的学生,而华生是实验神经心理学的奠基人。拉什利是把行为与神经学结合起来的第一人,他认为基本感觉和运动技巧是定位的,但脑组织是等能的,并支持等能(equipotentiality)观点。他的根据来自用老鼠做的实验。拉什利发现,在迷宫实验中老鼠所出现的紊乱,直接与手术切除脑量的多少相关,而与切除哪个特定区没有什么差别。根据实验,拉什利形成了他著名的质量作用(mass action)原则,认为行为损害程度直接与切除的脑质量的多少相关。他认为脑的一部分不只参与一种功能,它可以参与各种作业,并不像脑定位学家所指定的那样。

在不同情况下定位和等能学会各占优势,在美国心理学界,这两种学说中没有哪一种被大家接受,因为两者都不足以解释现有的科学资料及临床观察。临床上,有时病人仅有非常小的脑损伤,甚至是显微镜水平的,但却有明显的行为缺损,这种结果有利于定位学说,而等能学说难以解释这种特定的缺损,因为病人也没有普遍性的智力、抽象知觉的以及其他宏观的认知能力的缺损。

(5) 卢里亚的功能系统学说

卢里亚是第一位对杰克逊原理作详细补充的俄罗斯神经心理学家。他认为,一个有活力的脑-行为学说不仅能解释既符合定位学说,又符合等能学说的材料,也能解释与这两个学说都不符合的现象。他认为,中枢神经系统的每个区域参与三种功能之一,这种基本功能他称之为“单元”。按照卢里亚的看法:第一单元大致包括脑干和联络区,其作用是调节脑的觉醒水平,保持肌肉的正常张力;第二单元包括大脑皮层靠后面的区域,这些区域的作用是感受、整合分析来自内、外环境的感觉信息,且起关键的作用;第三单元包括额叶和前额叶,其作用是参与设计、计划和执行,并且实施行为。

任何行为均需要这三个基本单元的相互作用,因此,它均反映了脑作为整体活动的结果。同时,每个脑区又在某一个特定行为中起