

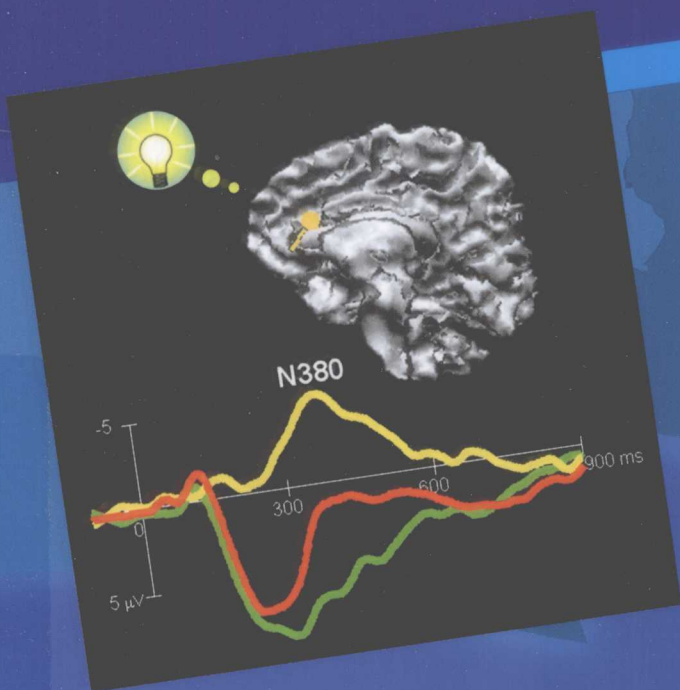
Principle and Technique of
Event-Related
Brain Potentials



P₃
T₅ T₃

事件相关电位 原理与技术

魏景汉 罗跃嘉 编著



科学出版社
www.sciencep.com

事件相关电位 原理与技术



事件相关电位原理与技术

Principle and Technique of Event-Related Brain Potentials

魏景汉 罗跃嘉 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书内容主要包括事件相关电位(ERP)的发展与基础,数据记录与提取的基本技术原理与方法,主要ERP成分与实验范式、刺激方法,ERP的数据测量和统计分析方法。本书的论述深入浅出,兼顾基本原理的系统性和内容的实用性。

本书既是初学ERP的入门教材,又是深入研究ERP的高级参考书,可供心理学、生理学、医学、认知科学、神经科学及其他生命科学有关专业的科研人员、教师、工作人员、博士研究生、硕士研究生、本科生学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

事件相关电位原理与技术/魏景汉,罗跃嘉编著. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-027152-5

I. 事… II. ①魏…②罗… III. ①神经生理学-实验 IV. ①R338-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第058247号

责任编辑:莫结胜 陈珊珊/责任校对:朱光光
责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年4月第一版 开本:787×1092 1/16

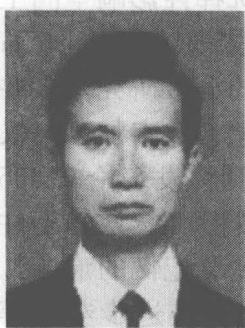
2010年4月第一次印刷 印张:13 1/2 插页:1

印数:1—3 000 字数:320 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介



魏景汉 1957~1963年(学制6年)就读于北京大学生物系人体及动物生理学专业。从事事件相关电位(ERP)研究近40年。现为中国科学院心理研究所研究员、博士生导师、博士后流动站导师。在国际上首先观察到解脱波(extrication wave)、二级CNV、文字认知加工过程中形音义的反复重叠与交错、文字是否认识的ERP差异等现象;创建了研究情绪、MMN、CNV的新的ERP实验方法;首先提出CNV心理负荷学说、大脑半球间优势的两维观点、注意过滤器的可塑性及脑高级功能的多维动态模式等假说。在国内心理学界最早建立ERP实验室,首先以国内工作在国际(美国)学术刊物发表论文,首先在《中国科学》发表论文,首先担任博士后流动站导师。在国内外学术刊物发表论文80余篇,其中SCI或SSCI收录16篇。曾获中国科学院科技进步奖两次,全国优秀博士论文导师奖,重庆市科技进步奖。因对发展我国自然科学事业作出的突出贡献,获得国务院颁发的政府特殊津贴。



罗跃嘉 北京师范大学教授、博士生导师,认知神经科学与学习国家重点实验室主任。国家杰出青年基金获得者,首批“新世纪百千万人才工程”国家级人选,中国科学院“百人计划”入选者。目前兼任中国科学院心理研究所研究员,以及国内外20余所高校、医院、国家部委实验室教授、专家、学术委员等。负责“973”计划子课题、科技部支撑计划课题、国家杰出青年基金项目、国家自然科学基金重点项目、中国科学院重要方向项目、教育部创新团队项目等10余项。目前当选为美国心理科学联合会(APS) Fellow、中国心理学会理事、北京师范大学学术委员会委员,并担任国家自然科学基金委员会、科技部评审专家等20余项国内外学术兼职。曾任中国科学院心理健康重点实验室主任。

1984年获华西医科大学学士学位,1990年获第三军医大学硕士学位,1993年赴法国进修,1997年获中国科学院心理研究所博士学位,同年到美国Catholic大学从事博士后研究,1999年入选中国科学院“百人计划”,

2000年7月回国，2005年5月调入北京师范大学。

主要从事认知神经科学和心理生理学基础研究，目前的研究兴趣为社会认知神经科学。建立了中国情绪刺激材料系统，利用ERP与fMRI结合的最新技术手段，研究情绪与认知的关系及其神经机制，发现情绪负性偏向可以发生在注意、评价和反应准备等多个时间点，负性情绪选择性影响空间工作记忆，证明情绪性刺激对不同焦虑状态的注意及视觉加工具有调节作用；提出了面孔表情加工的三阶段模型；建立了视觉空间注意的分级研究范式并不断完善，阐明了视觉搜索的早期调节机制；在思维、想象、数字加工与汉语认知方面也有一些新的发现。迄今为止，在国内外学术刊物发表论文235篇，其中SCI收录70篇。近年出版专著《认知神经科学教程》、《认知事件相关脑电位教程》、《注意的认知神经科学研究》，译著《追寻记忆的痕迹》。多次应邀在国内外院校和科研机构讲学。曾获军队、省级科技进步奖一等奖、二等奖、三等奖共5项，并获全国优秀博士学位论文奖（2001年），是中国科学院“百人计划”优秀入选者（2003年）、中国科学院优秀研究生导师（2005年，2009年）、中国科学院优秀教师（2006年），享受国务院颁发的政府特殊津贴（2008年）。培养博士后、博士研究生、硕士研究生60多人。

前 言

事件相关电位 (event-related brain potentials, ERP) 是从自发电位 (EEG) 中经计算机提取而获得的脑的高级功能电位。ERP 的问世开创了神经电生理学的新时代。半个多世纪以来, ERP 被广泛应用于脑功能研究, 在心理学、生理学、认知神经科学及临床医学等领域取得了巨大成就, 被誉为“观察脑功能的窗口”, 有很高的研究与应用价值。特别是在 20 世纪与 21 世纪之交, 随着正电子发射断层扫描术 (PET)、功能性磁共振 (fMRI) 等脑功能成像技术的飞速发展及其在脑高级功能研究中的成功应用, 问世已经 50 多年的 ERP, 不但与新方法一起催生了认知神经科学的诞生, 而且促使心理学进入了认知神经科学新时期。当前, 国内外有关心理过程的基础研究纷纷增加了脑机制的内容或转向了脑机制的研究, 心理学实验室争相安装脑功能研究仪器, 在普通心理学与实验心理学专业会议上越来越多的论文增加了脑机制的内容, 不少著名教科书的新版本增加了认知神经科学的内容, 认知神经科学蓬勃发展的局面已经形成。现在, ERP 以其高时间分辨率的独特优势, 继续在认知神经科学的深入发展中起着无可替代的作用, 显示出强大的生命力与广阔的发展前景。

ERP 研究工作在我国历来是有基础的, 并取得了一定的先进成果。近年来, 随着我国脑科学与认知科学的发展, 各有关科研、教学和应用部门纷纷配置先进的 ERP 仪器, ERP 工作在国内出现了空前迅速发展的局面。中国科学院心理研究所早在 20 世纪 70 年代初就建立了 ERP 实验室, 工作一直十分繁重。特别是改革开放后, 随着我国心理科学研究事业的迅速发展, 我们对培养博士后、访问学者、进修人员的工作已应接不暇。为了提高培训效率, 我们从 2001 年开始连续举办了 ERP 高级讲习班, 进行集体培训。为了更快地推进我国 ERP 研究工作的发展, 我们于 2002 年在培训教材基础上编写出版《认知事件相关脑电位教程》一书。7 年过去了, ERP 在研究方法上有了明显的进步, 取得了一系列新的研究成果, 在研究内容上更是明显深入细致到了一个新的层次。此时, 原书已不再完全适应新的要求, 需要重新编写出版。为了论述的方便和出版的及时, 我们将新书分为两册先后出版。本书是第一册, 内容是 ERP 的基本原理和技术。

本书贯彻了技术、方法为学术研究服务的理念。当前关于认知脑机制的 ERP 研究已经不限于初级的感知觉范畴, 而是深入到了行为前的决策, 行为中的监控, 行为后果的预测和评估, 行为的正确与错误, 行为的抑制、阻

止等人类社会行为各个环节的细致研究。例如，从脑的前部 ERP 中提取出可能和信息的抑制或控制相关的成分，从脑的后部 ERP 中提取出可能和信息的注意、评价有关的成分，就属于这一类的研究成果。本书在第三章和第四章都对这些新方向所涉及的原理和方法进行了比较详细的论述。

在本书写作过程中，王乃弋博士、杜博琪、吴婷婷分别撰写了有关句子理解、E-Prime 简介、Presentation 简介方面的相关内容；周曙教授解答了作者提出的多个技术问题；尧德中教授在参考电极方面提供了很多帮助；本书的责任编辑莫结胜女士为本书的出版付出了大量的心血；本书出版得到了国家自然科学基金项目（30930031）、教育部创新团队项目（IRT0710）、科技部国家重点实验室专项经费支持，特此致谢。

本书论述力求深入浅出，可供心理学、生理学、医学、认知科学、神经脑科学及其他生命科学相关领域的科研人员、教师、工作人员和学生阅读、参考。由于作者水平有限，加之写作时间仓促，不足之处恐难避免，恳请读者批评指正。

魏景汉 罗跃嘉

2009年8月30日

目 录

前言

第一章 事件相关电位的发展与基础	1
第一节 事件相关电位的发展.....	1
第二节 事件相关电位的神经基础.....	5
一、中枢神经系统的组成	5
二、大脑皮质解剖生理基础	5
三、神经细胞的生物电现象	8
四、ERP 的形成原理.....	9
参考文献	10
第二章 事件相关电位记录与提取的基本原理与方法	11
第一节 脑电记录及其技术原理	11
一、晶体管的放大作用	12
二、简单的交流放大电路.....	13
三、差动式放大电路	14
四、记录 ERP 所应用的电生理放大器技术指标	16
五、模/数转换	24
六、陷波.....	26
七、导联方法	26
八、记录电极的选用原理.....	28
第二节 事件相关电位及其提取的基本原理与方法	29
一、事件相关电位的定义.....	29
二、事件相关电位提取的基本过程和原理.....	30
三、参考电极问题	39
四、事件相关电位的研究分类	43
五、命名法	44
六、成分、外源性成分、内源性成分、中源性成分和纯心理波	44
参考文献	45
第三章 事件相关电位的成分	46
一、CNV、O 波、E 波、解脱波	46
二、运动相关电位 (BSP、MP、RAF) 与偏侧预备电位 (LRP)	49
三、P300	52
四、失匹配负波	55
五、N400	63
六、加工负波 (PN)	65

七、识别电位	69
八、错误相关成分 (ERN、Pe、FN)	73
九、视觉 C1 和 P1	80
十、视觉 N2 诸成分	80
参考文献	86
第四章 事件相关电位的实验范式	93
第一节 经典的 ERP 实验范式	93
一、Oddball 范式	93
二、Go-Nogo 范式	94
第二节 知觉和意识研究的实验范式	94
一、视知觉组织	94
二、局部优先与整体优先	94
三、视运动知觉启动范式	97
四、意识转化研究范式	98
第三节 视觉注意研究的实验范式	100
一、最早的视觉注意研究实验范式	100
二、ERP 与 PET/fMRI 结合的研究范式	100
三、视听跨通路空间注意范式	102
四、空间注意提示范式	102
第四节 记忆研究的实验范式	112
一、工作记忆实验范式	112
二、“学习一再认”实验范式	114
第五节 语言文字研究的实验范式	117
一、关于西文的 ERP 研究	117
二、研究形、音、义对 N200 与 N400 影响的范式	118
三、跨感觉通路 N400 研究的范式	119
四、汉字联想的 ERP 研究范式	120
五、句子理解的研究范式	121
第六节 思维研究的实验范式	122
一、顿悟	122
二、想象	124
三、归纳推理	126
第七节 情绪与认知相互关系研究的实验范式	129
一、意识对情绪影响的 ERP 研究范式	129
二、情绪分别影响空间和词语工作记忆的 ERP 研究范式	131
三、情绪冲突控制中的选择性注意实验范式	132
四、焦虑对情绪的影响	133
第八节 结果评价研究的实验范式	135
一、简单反应任务结果评价的范式	135

二、欺骗任务结果评价的实验范式	136
三、归因任务结果评价的实验范式	137
四、情绪控制对结果评价的影响	138
五、反向眼跳法	139
参考文献	143
第五章 刺激材料与刺激程序	148
第一节 刺激材料	148
一、刺激材料分类	148
二、刺激序列	149
第二节 E-prime 软件简介	151
一、什么是 E-prime 软件	151
二、性能和主要作用	151
三、主要操作步骤	153
四、注意事项	155
第三节 Presentation 软件简介	157
一、Presentation 软件的特点	157
二、Presentation 软件的使用方法	158
三、使用注意事项	162
第四节 STIM 软件应用	162
一、编制图像文件	162
二、编制声音文件	163
三、编制序列文件	163
四、调用刺激文件和刺激序列文件	165
五、设置并调试各项参数	165
六、特殊命令	166
参考文献	167
第六章 事件相关电位数据分析原理	168
第一节 ERP 成分的测量	168
一、绘 ERP 图	168
二、潜伏期测量	169
三、波幅测量	171
四、被试间与被试内 ERP 差异	174
五、反应时与 ERP 潜伏期的关系	174
六、差异波	177
七、以反应为起点叠加	177
第二节 统计分析	178
一、方差分析及其有关统计学基本概念	178
二、ERP 研究应用方差分析的特点	197
参考文献	203
附录 事件相关电位 (ERP) 仪器简介	204

第一章 事件相关电位的发展与基础

第一节 事件相关电位的发展

当代科学技术的进步使人类对外在世界的认识已相当深刻。在微观方面，人类可以观察到分子、原子甚至更小的微粒子；在宏观方面，人类已经可以进入茫茫太空。但是人类对自身的认识还十分肤浅，许多常见疾病仍缺乏根治方法，对某些常见致命疾病束手无策。至于对脑的工作原理，特别是脑的高级功能——心理功能原理的认识就更粗陋了。科学家通常把从事心理活动的脑比喻为一个黑匣子，脑电研究在探索这个黑匣子的奥秘中起着不可或缺的重要作用。心理活动是脑的产物，脑电的产生与变化是脑细胞活动的基本实时表现，因此，从脑电中提取心理活动的信息，从而揭示心理活动的脑机制历来是心理学研究的重要方向，脑电方法历来是心理学的重要研究方法。人脑只要没有死亡，就会不断产生脑电，这种在自然状态下发生的脑电称为自发电位（electroencephalogram, EEG），它是事件相关电位（event-related potentials, ERP）产生的基础。

EEG 是 1875 年 Richard Caton 等在暴露的家兔脑表发现的。1924 年 Hans Berger 首次在颅骨损伤患者大脑皮质和正常人头皮上记录到 EEG。1929 年 Hans Berger 首先发表头皮记录的 EEG 论文，并报告心算可引起 EEG 的 α 节律减少。这是人类首次将从脑电中观察心理活动的理想变为现实，是脑电发展的里程碑。可是当时电生理学家正致力于动作电位研究，认为 Berger 观察到的 EEG 节律是一种噪声。1934 年 Adrian 等，1935 年 Jasper 等也观察并证实了 Berger 的观察，EEG 的客观存在才得到了科学界的一致认同。

EEG 一般是由头皮表面电极记录得到的。它的谐波成分相当复杂，看上去是一种连续而不规则的电位波动（图 1-1）。健康成年人在清醒状态下，头皮表面记录的 EEG 波幅为数微伏至 $75\mu\text{V}$ ，但在病理状态下（如癫痫发作时）可达 1mV 以上。按周期长短或频率高低可将 EEG 分为 α 节律、 β 节律、 γ 节律、 θ 节律、 δ 节律等，见图 1-2。节律也可称为波。它们的频率范围分别为： α 节律 $8\sim 13\text{Hz}$ ， β 节律 $14\sim 25\text{Hz}$ ， γ 节律 25Hz 以上， θ 节律 $4\sim 7\text{Hz}$ ， δ 节律 $0.5\sim 3.5\text{Hz}$ 。严格地说，以上只是常用的分类方法，还存在其他分类方法，不过各种方法只是具体数值略有差异，所分的类型、代表的希腊字母及其顺序是相同的。 α 节律波幅一般为 $30\sim 50\mu\text{V}$ ；在闭眼时增多，睁眼时减少。 β 节律波幅很低，一般为 $5\sim 30\mu\text{V}$ ；在闭眼时减少，睁眼时增多； β 节律通常会伴随朝向反应而突然出现，可作为朝向反应出现的指标。除了这些波以外，常见的还有 μ 节律、顶尖波、 σ 节律、K 复合波等。 μ 节律为 $8\sim 12\text{Hz}$ 的梳形节律，与 α 节律基本相同，但它在闭眼睁眼时无变化，而在握拳时受到抑制。顶尖波频率为 $3\sim 5\text{Hz}$ ，波幅为 $100\sim 300\mu\text{V}$ ，在前顶部波幅最高。 σ 节律频率约 14Hz ，在睡眠时出现，又称睡眠纺锤波。K 复合波是顶尖波与 σ 节律组成的复合波。脑电波具有较大的个体差异，每种波的波形、波幅都会有很大的变化。对于 EEG 的主要节律来说，某些同步化作用来自丘脑非特异投射系统。

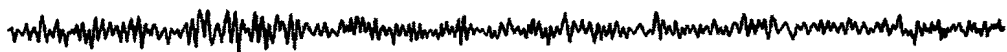


图 1-1 正常 EEG

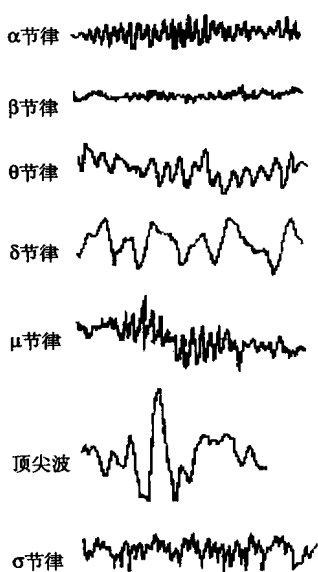


图 1-2 某些常见的 EEG 波形
(修改自鲁在清等, 1996)

在 EEG 被发现以后, 科学家曾对其寄予厚望, 力图从中提取心理活动信息, 以揭示脑的心理功能奥秘。此后的 30 年间, 关于 EEG 与心理活动关系的研究, 以及从中提取心理活动信息的研究一直没有中断, 可是由于受到科学与技术水平的限制, 收效甚微。与此同时, 采用刺激诱发脑电的方法研究诱发电位 (evoked potentials, EP) 的工作却不断取得进展。1935~1936 年 Pauline 和 Hallowell Davis 首先在清醒人脑头皮上记录到感觉诱发电位。1939 年 Davis 等首次发表了诱发电位的论文, 他们当时是在被试平静、EEG 也很平静的状态下记录的单次刺激诱发的 EP, 这种 EP 由于没有叠加, 所以信噪比很低, EP 掩埋在 EEG 中, 很不清楚。1947 年 Dawson 首次报道用照相叠加技术记录人体 EP, 这是科学家首次实现用叠加方法提高 EP 信噪比。为了实现叠加, 必须做到刺激记录与 EEG 记录同步; 为了实现照相叠加, 必须实现刺激出现与照相机快门同步。此时, 感光胶片不动, 快门随刺激的一次次出现而同步地感光多次。EEG 是随机变化的,

每次随机在各处感光, 而 EP 则每次完全在同一个地方感光, 结果 EP 感光强度明显大于 EEG 的感光强度, 从而使 EP 从 EEG 中显现出来。由于胶片的感光次数不可能太多, 几次重复刺激就会达到光强分辨率的极限, 所以叠加次数仅限几次, 信噪比仍然很不理想。1951 年 Dawson 发明了机械驱动-电子存储式 EP 叠加与平均方法, 使 EP 的记录速度和记录精度都得到了提高。以上方法都是对模拟信号的叠加平均。20 世纪 50 年代末, 随着计算机在生物学中的应用, 计算机取代了机械驱动-电子器件, 成了叠加平均的主体, 开始对数字信号叠加平均, 开辟了 ERP 研究技术的新纪元。

脑的心理活动所产生的脑电信号通常比 EEG 波幅低, 它被淹没在自发电位中而难以观察。仅从 EEG 也很难获得关于复杂认知的起始时间、持续时间、时间顺序等信息。实际上, 在自发电位水平上, 并没有观察到脑的心理活动所产生的脑电波形本身。采用计算机叠加技术可将这种波形信号从自发电位中提取出来。这样提取出来的波形信号就是 EP。它是刺激事件 (包括物理刺激和心理因素) 引起的脑电真实的实时波形, 时间分辨率目前已可精确至微秒级。EP 是刺激诱发产生的, 不过随着研究的深入, 发现 EP 不仅可以由外界刺激感觉所致, 也可由主动的自上而下的心理因素引起, 故将“刺激”改为“事件”, “诱发电位”改为“事件相关电位”。

1962 年 Galambos 和 Sheatz 首次发表计算机平均叠加的 ERP 论文。1964 年 Grey Walter 等发表第一个认知 ERP 成分 (CNV), 标志着 ERP 研究新时代的开始。此后, 脑电与心理因素关系的研究重新焕发了生机, 像雨后春笋般迅速发展起来。半个世纪以

来,采用 ERP 方法进行的脑的高级功能研究出现了一系列突破,ERP 遂被誉为“观察脑的高级功能的窗口”,蓬勃发展,硕果累累,令人瞩目。

在学术研究领域,采用 ERP 方法进行的研究工作属于心理生理学范畴。20 世纪 60 年代以前,研究心理活动的生理基础的工作统称为“生理心理学”。由于 ERP 的问世和应用的迅速发展,一个取得空前巨大成果、独特而具有相当规模的研究领域在十几年内迅速形成,“生理心理学”已不能准确地反映它的特性,于是一个新的名词“psychophysiology”(心理生理学)和新的学术组织“Society for Psychophysiological Research, SPR”(心理生理学研究会)也就应运而生了。名词“psychophysiology”及其概念是美国德高望重的心理学家 John Stern 教授在 1964 年提出来的。该词是指以心理因素为自变量,以生理指标为因变量的学科,一般以人为被试的研究工作领域。除了 ERP,心理生理学还包括采用眼动、皮电、肌电、心电、脑化学等方法进行的研究工作。原来的“生理心理学”(physiological psychology)则将概念缩小为以生理变化为自变量,以心理因素为因变量,一般以动物为被试的研究工作。

认知神经科学是近十几年才出现的一门新兴的大规模交叉学科,当前颇受科学界关注,心理学也因其出现而进入了认知神经科学时期。新的脑高级功能成像方法学的突破性进展是这门学科形成的内在动力,ERP 则与这些新方法一起,在催生认知神经科学中起到了重要作用。ERP 问世已经 40 多年了,在新的脑高级功能成像方法出现后,它是否还能发挥作用呢?对于这个问题的回答是肯定的。除了其学术价值本身毋庸置疑外,相关的各种数据,如新建实验室的数量、论文发表数量等,也都能说明问题。例如,在论文发表数量方面,在 Medline 中以“ERPs or ERP or event-related potentials or event-related potential or evoked potentials or evoked potential”检索,1965~2008 年,每两年发表的 ERP 论文篇数为:410、1577、2091、2186、2344、2701、2863、3734、4375、4702、4967、5435、5773、6171、6146、6265、6263、6701、6540、7712、8714、8995。如图 1-3 所示,图中每两年之和绘为一线。该图显示,ERP 论文发表篇数目前继续保持着不断递增的态势,ERP 领域的研究仍然不减速地发展,说明 ERP 是不可替代的,甚至还有发展潜力。之所以如此,主要是由于 ERP 具有独特的优点,这些优点可以概括如下:①时间分辨率高。认知可分为认知过程和认知状态,过程指的是时间过程。认知心理学是心理学吸取了信息加工科学的营养才形成的,信息加工研究的主要是过程,而不是状态,认知神经科学是侧重研究认知过程神经机制的学科。ERP 是对脑组织反应的直接电信号测量,电信号的传导速度极快。而认知神经科学赖以形成的其他方法,如正电子发射断层扫描术(positron emission tomography, PET)、功能性磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)、光成像(optical imaging)等只是对脑组织代谢物质或代谢相关物质浓度的测量,是对脑组织反应的间接测量,时间分辨率远远低于 ERP。因此,高时间分辨率的 ERP 是进行认知神经科学研究的得力方法。认知神经科学的提出人之一 Gazzaniga 教授在他主编的 *The New Cognitive Neuroscience* (2000 年版)关于认知神经科学研究方法的介绍中强调介绍 ERP 与事件相关脑磁(ERF),突出强调了实时性在认知神经科学中的重要性。②行为方法的指标是反应时(reaction time, RT)和正确率,它们通常反映的是从刺激到反应的全部认知的结果,不能区分认知中的阶段而观察其过程。ERP 测量的则是从刺激到反应的

连续过程，可以显示受实验自变量影响的是认知加工的哪个阶段或哪些阶段。例如，Stoop 效应，当字色与字义不一致时，RT 变慢。那么，是知觉过程变慢了，还是反应过程变慢了，行为反应难以回答这个问题。而用 ERP 的 P300 成分则可以解答这个问题。已经证明，当知觉过程延长时，P300 的潜伏期延长；而 Stoop 效应中当字色与字义不一致时，P300 的潜伏期不延长，说明 RT 变慢不是知觉过程变慢，而是知觉阶段以后的反应变慢所致。③ERP 可以实时地测量没有行为反应的认知加工。例如，非注意的事件不引起行为反应，但可引起 ERP，并可观察其变化。又如，在语言理解研究中，ERP 可以观察到句中某个词的实时加工，而不需被试做出反应。鉴于此，有的科学家将 ERP 称为“21 世纪的反应时”（Luck, 2005）。④具有脑自动加工的指标。例如，失匹配负波（MMN）是人脑对外界变化进行自动加工的指标，加工负波（PN）是人类在前注意阶段决定对事物是否注意的自动分类的指标。这些客观指标在认知神经科学中的成功应用，为人类非意识加工、潜意识行为、无意识状态、内隐认知这类重要却难以研究的脑的自动加工领域提供了难得的研究方法与有效的研究途径。⑤与 PET、fMRI、脑磁或事件相关脑磁场（magnetoencephalogram or event-related field, MEG or ERF）相比，ERP 价位低得多，设备相对简单，对环境的要求不高。⑥ERP 对人完全无创伤，而 PET 需要将放射性核素注入静脉，对人具有一定的侵入性。

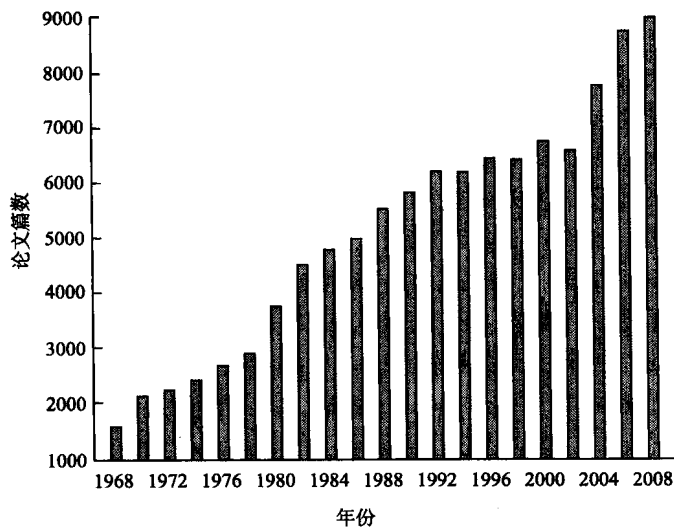


图 1-3 历年 ERP 论文发表篇数（检索自 Medline）

任何研究方法都有其局限性与缺点，ERP 也不例外。ERP 的主要缺点是空间分辨率不高。虽然宣称 128 导的 ERP 空间分辨率可达 3mm，达到了领先水平，但数据是经过间接推算得到的，具有不确定性。妨碍 ERP 提高空间分辨率的原因主要有如下几点。①颅骨不匀且有个体差异，因此得不到个体间通用的颅骨厚度分布模型。不同厚度的颅骨具有不同的电阻，电位大小与电流通过的电阻大小相关，因此记录的头皮脑电位因头颅厚度而变，导致颅表电位分布失真，也就造成了溯源计算的误差。②容积导体效应。脑神经元是导体，它们集合在一起构成了脑，它们又都浸浴在具有导电性能的体液中，

致使脑成为了一个容积导体。脑的每个神经元的电活动都会传导到整个脑，在某个部位记录到的电变化并不意味着电变化就发生在这个部位，结果造成了定位的不确定性。

③脑电源间电场开放性的差异直接影响所记录的 ERP 的大小。ERP 主要来自锥体细胞层的突触后电位，其他层的神经元同样程度的活动记录的 ERP 小，甚至为零。而实际的心理活动不会只局限在锥体细胞层，因此 ERP 的大小并不一定完全反映距离脑内源的远近，给定位带来了困难。图 1-4 是各种脑研究技术的时间与空间分辨率的比较，从中也可看出 ERP 的价值。

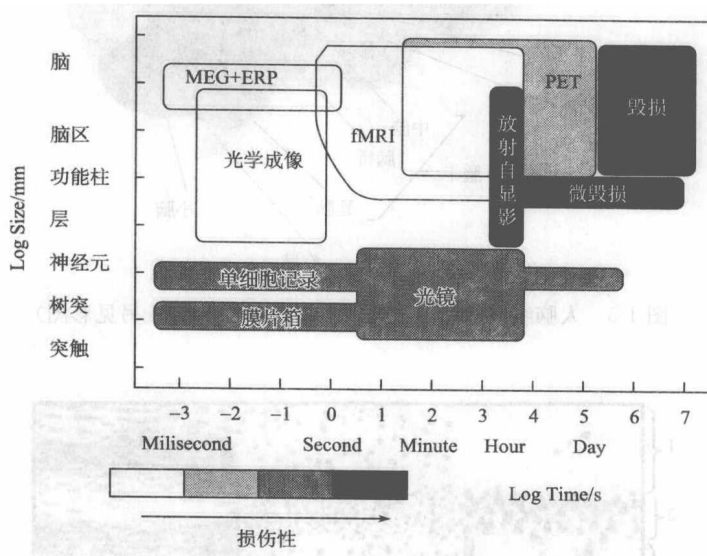


图 1-4 各种脑研究技术的时间与空间特性 (唐孝威, 1999)

第二节 事件相关电位的神经基础

一、中枢神经系统的组成

中枢神经系统由脊髓和脑组成。脑可分为脑干、间脑、小脑和大脑。脑干分为延髓、脑桥和中脑。间脑分为丘脑（外侧膝状体和内侧膝状体即属于丘脑）、丘脑上部（又称上丘脑）、丘脑下部（又称下丘脑）和丘脑底部。大脑分为皮质和髓质（图 1-5）。

二、大脑皮质解剖生理基础

大脑皮质是神经细胞，颜色发灰，又称灰质；髓质是神经纤维，颜色发白，又称白质。神经细胞又称神经元。人类大脑皮质约有 220 亿个神经元，每个神经元约有 1 万多个联结与其他神经元构成错综复杂的联系。

人类大脑皮质依神经元的不同可分为 6 层，从外到内分别是分子层、外颗粒层、外锥体细胞层、内颗粒层、内锥体细胞层和多形细胞层，见图 1-6。①分子层：分子层较

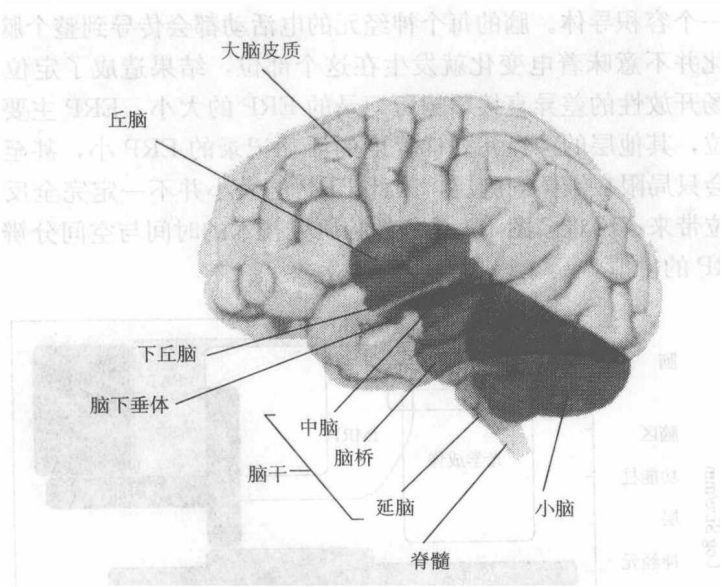


图 1-5 人脑组成示意图 (修改自 Carlson, 1999; 另见彩图)

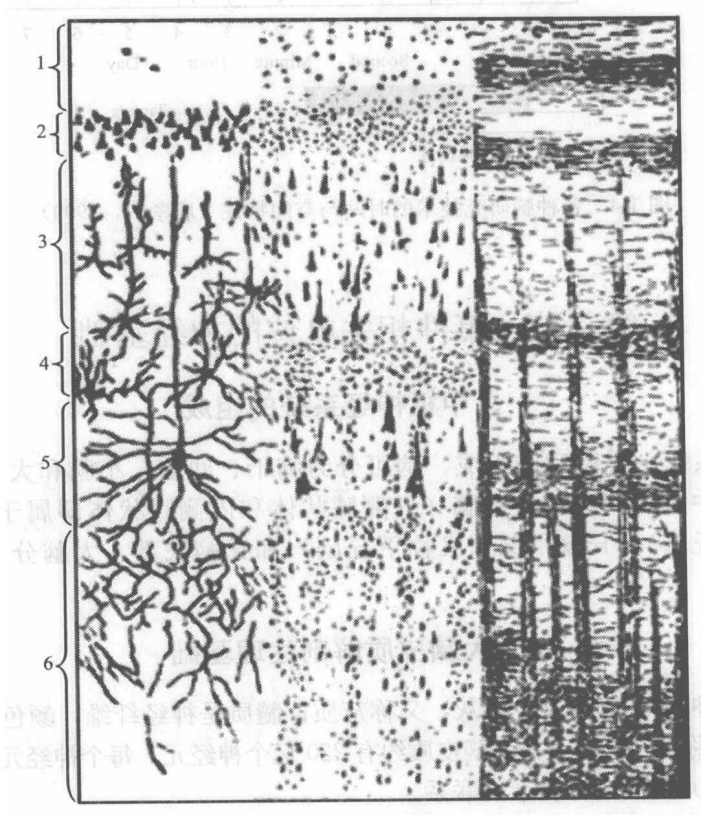


图 1-6 人类大脑皮质 6 层示意图 (修改自 Carlson, 1999)

图中 1~6 含义见正文①~⑥说明