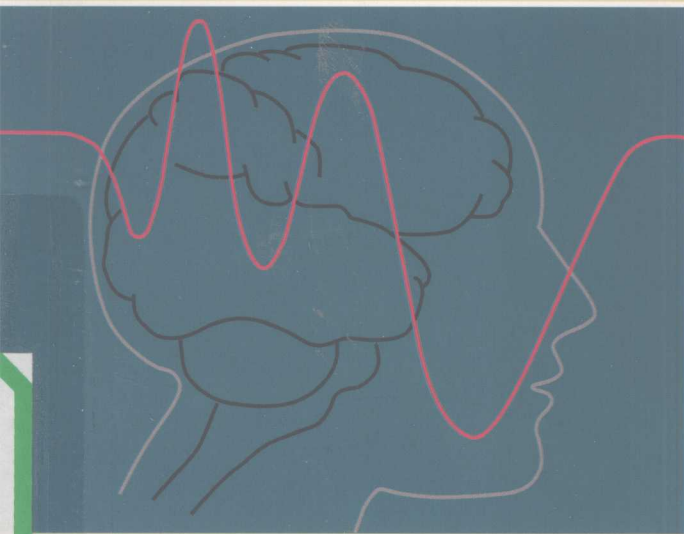


心理与教育研究方法丛书

# 事件相关电位基础


AN INTRODUCTION TO  
THE EVENT-RELATED  
POTENTIAL TECHNIQUE



(美) STEVEN J. LUCK 著

范思陆 丁玉珑 曲折 傅世敏 译

范思陆 高定国 校

 华东师范大学出版社

心理与教育研究方法丛书

# 事件相关电位基础

(美) STEVEN J. LUCK 著

范思陆 丁玉珑 曲折 傅世敏 译

范思陆 高定国 校

## 图书在版编目(CIP)数据

事件相关电位基础/(美)拉克著;范思陆等译. —上海:  
华东师范大学出版社, 2009  
(心理与教育研究方法丛书)  
ISBN 978 - 7 - 5617 - 6672 - 9

I. 事… II. ①拉…②范… III. 认知科学  
IV. B842.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 090874 号

## 心理与教育研究方法 事件相关电位基础

撰 著 (美)Steven J. Luck  
翻 译 范思陆等  
责任编辑 彭呈军  
装帧设计 卢晓红

出版发行 华东师范大学出版社  
社 址 上海市中山北路 3663 号 邮编 200062  
电话总机 021 - 62450163 转各部门 行政传真 021 - 62572105  
客服电话 021 - 62865537(兼传真)  
门市(邮购)电话 021 - 62869887  
门市地址 上海市中山北路 3663 号华东师范大学校内先锋路口  
网 址 www.ecnupress.com.cn

印 刷 者 上海商务联西印刷有限公司  
开 本 787×1092 16 开  
印 张 20.75  
字 数 318 千字  
版 次 2009 年 8 月第 1 版  
印 次 2009 年 8 月第 1 次  
印 数 4100  
书 号 ISBN 978 - 7 - 5617 - 6672 - 9/B · 487  
定 价 42.00 元

出 版 人 朱杰人

(如发现本版图书有印订质量问题, 请寄回本社客服中心调换或电话 021 - 62865537 联系)

## 中文版前言

对于理解心理及其相应的脑活动,ERP技术是一个非常好的工具,它与其他测量人脑活动的技术相比较,也不算昂贵。所以,近二十年来,出现了大量的ERP实验室。看到ERP技术应用的这一发展,我感到非常高兴。但我在20世纪90年代就逐渐了解到,很多发展ERP实验室的研究者缺少这方面的技术经验。我有幸在加利福尼亚大学圣地亚哥分校Steven Hillyard博士的实验室接受了研究生训练,这个实验室的历史可以回溯到非常早的EEG与ERP记录。我愿其他研究者也能受益于从我研究生训练开始的几十年经验,因此,我写了《事件相关电位基础》一书。

该书出版以后,范思陆先生同我联系出中文版的可能性。我做研究生时,范先生曾在Hillyard实验室待过一年半多的时间,我们还曾合作进行了一些实验。因此,我知道范先生会很好地组织该书的翻译工作,而且,我也很高兴,我们从Hillyard实验室获得的经验,能够传播给正在进行ERP研究的很多中国研究者。我希望这些研究者会发现该书中文版对他们的研究是有用的,我也希望将来我会看到这些研究者的很多重要科学发现。

我想用感谢我的前研究生与博士后张伟伟博士来结束这个前言。张博士是一位聪明的年轻科学家,他阅读了中文版的手稿,并提出了很好的建议,我相信该书中文版会得益于他的参与。

Steven J Luck 博士

美国加利福尼亚大学戴维斯分校心理系、心理与脑研究中心,教授

## 英文原版前言

事件相关电位技术(ERP)已经有几十年了,其普及性仍在增长。20世纪60年代与70年代,大多数ERP研究者都是在神经科学实验室得到训练的,这些实验室都有长时间的动物与人类电生理学研究历史。随着80年代认知神经科学的兴起,以及计算机价格的下降,很多先前没有电生理经验的人开始建立自己的ERP实验室。这是一个重要的发展趋势,因为这些研究者从其他科学领域带来了非常有价值的专业特长,而且,开始将ERP应用到多种而广泛的问题上。但是,他们没有从历史久远的电生理实验室的几十年经验积累中获益,此外,很多标准的ERP技术是因60与70年代的工作而得到认可的,因此,新的研究者就常常不知道为什么要使用某种特定方法的理由(例如,我们为什么使用锡或者银/氯化银电极)。

我幸运地能在加利福尼亚大学圣地亚哥分校 Steve Hillyard 的实验室受到训练,这个实验室有人类电生理学研究的传统,甚至可以回溯到最早的人类ERP记录。我写这本书的目的,就是要总结贯穿于 Hillyard 实验室的 ERP 理论与实践的积累,同时也包括我自己的一些新想法,这些信息对于初级和中级 ERP 研究者都是容易接受的。

这本书对于怎样设计、实施和解释 ERP 实验,以及为什么要以某种方式进行,都给出了详尽与实际的参考。我不想包揽每一种可能的记录与分析 ERPs 的方法,因为那样的话,内容会太多,对于初、中级研究者可能难于消化。我只试图对最基本的技术提供详尽的描述,我也试图使这本书对那些虽然不打算进行自己的 ERP 研究,但却希望有能力理解、评

价已经发表或者已经递交的 ERP 实验与论文的人有用。这本书主要适于认知神经科学家,但对诸如情绪神经科学乃至实验精神病理学等相关领域的科学家,也是有用的。

# 致谢

很多人对这本书的形成有直接或者间接的影响,我要感谢他们的帮助。

首先,我要感谢俄勒冈地区灵长类研究中心的 Martha Neuringer 和瑞德学院的 Dell Rhodes,是他们最先将我领入 ERP 的大门。

接着,我要感谢 Steve Hillyard 以及和我一起加利福尼亚大学圣地亚哥分校(UCSD)Hillyard 实验室工作的所有人,这本书的几乎所有内容都属于 20 世纪 80 年代末 90 年代初在这个实验室工作的那个令世人瞩目的研究集体。特别是,我要感谢 Jon Hansen、Marty Woldorff、Ron Mangun、Marta Kutas、Cyma Van Petten、Steve Hackly、Hajo Heinze、Vince Clark、Paul Johnston 以及 Lourdes Anllo-Vento。我还要感谢 Bob Galambos 给予我的启发,他从另外的角度教导我,从研究事业伊始,“你心中就要有个目标”。

我还要感谢我在爱荷华大学的第一批研究生,特别是,Massimo Girelli、Ed Vogel 以及 Geoff Woodman。这本书里的很多想法都是在我教授他们 ERP 的过程中变得清晰的,而且,在实践中他们还帮助我细化与提高了这些想法,他们将永远是最亲密的战友。从我现在的学生 Joo-seok Hyun、Weiwei Zhang、Jeff Johnson、Po-Han Lin 以及 Adam Niese 那里,我也得到许多非常有价值的评论和建议,他们提出大量的增补意见,新入门的 ERP 研究者将会发现那是很有用的。在我完成这本书的几个月时间里,我每天上午都不能到实验室来,对此,他们都忍受了。我的合作者 Max Hopf 对第七章的写作提供了帮助,填补了我在脑磁图与源定位方面的某些不足。

我还要提到那些慷慨的经济支持,使我能够从事 ERP 研究与书的写作。特别是,认知神经科学的 McDonnell-Pew 计划,它对我在爱荷华的最早研究以及对我研究生的教育训练给予了支持。我还得到国家精神卫生研究所(NIMH)与国家科学基金的支持。爱荷华大学给我提供了额外的财政与管理上的支持,包括几年前我开始写这本书时给我的假期以及后来的假期,使我能够完成这本书的写作。最重要的是,James McKeen Gattell 基金提供的休假,它有助于提供完成这本书所需要的时间与动力。

最后,我要感谢我的家庭,在我写书时,为我提供了情感上的支持和休闲的放松。Lisa 帮我计划与分配写作这本书的时间,Alison 帮我缓解紧张,而 Carter 保证我每日清晨 5:30 醒来,以便我早早开始每日的写作(因为他能看天线宝宝)。



## 书评：从使用者角度看事件相关电位

1929年，Hans Berger借助置于头皮的电极，成功测量到脑部的电活动，从此，有了被称作脑电图（EEG，electroencephalography）的技术。20世纪60年代以后，科学家们开始记录同执行认知任务相关的EEG，他们将同刺激事件相关的、并在时间上同刺激锁定的EEG信号平均起来，观察到一系列的所谓事件相关电位（ERPs，event-related potentials），这些电位提供了关于认知过程的脑内信息，而且具有毫秒级的时间分辨率。这种方法，又称作事件相关电位技术。

尽管后来又发展了多种新的神经图像方法，如脑磁图（MEG，magnetoencephalography）与功能性磁共振成像（fMRI，functional magnetic resonance imaging）等，但事件相关电位技术仍被广泛地采用。其部分原因是ERP记录要比MEG和fMRI便宜得多，一套像样的ERP设备只需不到十万美元的投资。现在，在认知心理学系、发展心理学系乃至语言学系等很多学术部门，都可以看到ERP设备，这已经不足为奇了。

但是，ERP方法的这种进展，也带来了某种风险。ERP方法的早期用户具有坚实的心理生理学背景，对于所测量的电生理信号，以及对于EEG记录与信号处理的复杂性都具有足够的知识；然而许多新用户却缺乏这样的背景，因此，一本能提供ERP方法基础的教科书，对他们将会是非常有帮助的。尽管现在也有一些教科书出版，但全面地从使用者角度进行介绍的书籍，还是缺乏的，Luck的“事件相关电位基础”一书，恰好填补了这个空缺。

对于这本书的写作，Luck做了大量的工作，这主要在于他是从使用者的角度出发，以此作为写书的指导原则。譬如，什么是需要知道的？哪

些问题是要面对的？如果你不得不从零开始建立 ERP 实验室，而且想用 ERP 方法来研究认知问题的话，那么，有些什么实际的解决办法可用？这本书回答了所有这些问题，Luck 既同读者分享了他的理论知识，也同读者分享了他在长期 ERP 研究中所积累的实际经验。Luck 首先描述了怎样设计 ERP 实验与怎样解释 ERP 波形，提供了不同认知领域中的（如视觉注意与语言）研究实例，总结了与这些领域最相关的 ERP 成分。并由此将读者带入与 ERP 方法相关的所有问题的系统讨论，这些方法对于回答具体研究问题是至关重要的，这些问题包括滤波，伪迹的避免与排除或纠正，数据的统计分析 with 图形表达，ERP 的定位，以及对于建立实验室最重要的实际问题等等。某些章节还将一些有用的精华信息归纳成一系列的准则或策略。

在相关问题的讨论之后，Luck 还常常给出他自己的建议。譬如，在源定位那一章里，他告诫读者，“我的基本结论是，ERP 定位是非常困难的，只能由专家，而且只能通过诸如 MRI 结构像以及电磁数据结合等一些合理的限制，使得解空间降维之后，才可以进行尝试”。他强调，ERP 方法的主要贡献与它所提供的高时间分辨率有关，这使我们能够研究认知的动态神经特性。而这也正是我的意见。在本书中，作者怀疑超过 32 个并仍在增长的记录电极数目的当前趋势，他认为，对于估计相关认知过程的时间概貌，32 个记录电极是最佳的。

本书尽可能避免电磁学的数学讨论，只在附录中加入了有用的电学基本原理。作者还谨慎地避免可能增加读者负担的高级技术，而将注意力放在基础上。但同时，他也让读者了解到，付出努力还是需要的。因为，用 ERP 方法来研究认知神经科学问题，需要一些起码的有关专业知识，包括你所记录信号的有关知识，以及当你分析这些信号时所遇到的各种可能问题与失误的有关知识，也包括通过所搜集的 ERP 数据，究竟什么是你可以做结论的，什么是你不可以做结论的（后者是同样重要的）。

这本优秀的介绍 ERP 方法的书，值得所有进入 ERP 研究领域的学生阅读，也值得所有那些想用 ERP 方法来扩展他们当前研究途径的研究人员阅读。即使对于那些已有 ERP 研究经验的人，这本书所提供的一些有

思想的评论与建议,也值得在选择最佳研究途径的时候认真考虑。正当需要一本适合于 ERP 初学者的书的时候,Luck 适时地满足了这个需求。在我的实验室,这本书是所有开始 ERP 研究的学生必读的入门读物。很可能,在不远的将来,这本书将在全世界很多的 ERP 实验室用于同样的目的。

Peter Hagoort

荷兰 Radboud 大学 F. C. Donders 认知神经图像中心

转自 *Nature Neuroscience*, 9(4):463,2006

# 目录

中文版前言 / 1
英文原版前言 / 3
致谢 / 5
书评:从使用者角度看事件相关电位 / 7

## 第一章 事件相关电位(ERPs)及其神经起源 / 1

本书目标与观点 / 1
ERP 发展简史 / 3
一个简单的实验范例 / 6
一个实际实验 / 11
ERP 波形的可靠性 / 14
ERP 技术的优缺点 / 17
ERP 的神经起源 / 21
主要 ERP 成分介绍 / 27
阅读参考 / 38

## 第二章 ERP 实验的设计与解释 / 40

波峰与潜在的 ERP 成分 / 40
什么是 ERP 的成分? / 45
避免 ERP 解释的不确定性 / 48
避免混淆与曲解 / 51
来自文献的例子 / 58

阅读参考 / 74

准则、原理与策略的总结 / 75

### **第三章 ERP 记录的基本原理 / 77**

干净数据的重要性 / 77

活动和参考电极 / 79

环境中的电噪声 / 87

电极和阻抗 / 90

信号的放大、过滤和数字化 / 97

### **第四章 迭加平均、伪迹排除和伪迹校正 / 101**

迭加平均过程 / 101

伪迹排除和校正 / 117

阅读参考 / 133

### **第五章 滤波 / 135**

为什么一定要滤波? / 136

滤波须知 / 137

频域滤波 / 144

时域滤波 / 148

时域和频域的关系 / 154

滤波引起的时域失真 / 157

再次建议 / 172

### **第六章 画图、测量和分析 / 173**

画图 / 173

测量 ERP 振幅 / 176

测量 ERP 潜伏期 / 182

统计分析 / 191

阅读参考 / 203

**第七章 ERP 源定位 / 204**

概述 / 205

前向求解 / 206

等效电流偶极子和 BESA 方法 / 207

分布式源定位方法 / 214

我们真能定位 ERPs 吗? / 220

一些建议 / 224

阅读参考 / 229

**第八章 ERP 实验室的建立 / 231**

数据收集系统 / 231

数据分析系统 / 243

刺激呈现系统 / 246

**附录 电学基本原理 / 255**

电压、电流和电阻 / 255

欧姆定律 / 256

阻抗 / 257

电和磁 / 257

注解 / 259

参考文献 / 263

索引 / 278

译者后记 / 314

# 第一章 事件相关电位(ERPs)及其神经起源

本章将对事件相关电位(ERP, event-related potential)技术做一个概要性的介绍。第一部分描述本书的目标,并讨论写这本书的有关观点;第二部分简单介绍 ERP 技术发展的历史;第三部分通过两个简单的 ERP 实验来介绍 ERP 实验的某些基本概念;第四部分通过与其他技术比较,讨论 ERP 技术的优缺点;第五部分描述 ERP 的神经与生物物理起源以及事件相关磁场;最后一部分简单介绍在认知神经科学实验中最常见的 ERP 成分。

1

## 本书目标与观点

本书试图为那些希望运用 ERPs 来回答认知神经科学(cognitive neuroscience)及其相关领域中广泛而有意义问题的人提供一个指南。这包括那些打算使用 ERPs 并以探索认知问题为主,而不是以探索神经科学问题为主的认知科学家们。这本书对于那些工作在情绪神经科学(affective neuroscience)前沿领域的以及工作在精神病理学领域的研究人员,也是非常有用的。此外,还为那些在文献中接触 ERP 研究的研究者和学生,提供能够理解和评价这些文献的知识背景。

这本书既适合那些刚刚开始 ERP 研究的人们,也适合那些虽然已经做过几年 ERP 研究但又想对为什么要以某种特定方式那么做有更多理解的人们。对于 ERP 专家也可能有一定的参考价值(他们也许能从第五章学到一些新东西。该章相对详细地介绍了有关滤波的各种考虑,对那

2

---

\* 编辑注:本书边码为原版书页码。

些没有获得电气工程高级学位者有一定的帮助)。

这本书对于记录与分析 ERPs 的方法,连同这些方法为什么适宜的理论背景,提供了简明实用的描述。还对怎样设计 ERP 实验提出一些建议,以使这些设计在回答普遍而有意义的问题(即对那些并不亲自做 ERP 实验的人是非常重要的问题)上确实有用。由于本书的目标是为那些还没有成为 ERP 专家的人介绍有关知识,所以集中于最基本的技术上,而忽略很多更复杂的方法(当然我还是尽可能提及其中最重要的方法)。对于以专家为对象的更广泛的论述,请参考 David Regan 的著作(Regan, 1989)。

为简便起见,本书主要介绍了我自己实验室(以及世界上很多一流实验室)所使用的技术,其中大多数技术都是我做研究生时,从加利福尼亚大学圣地亚哥分校 Steve Hillyard 实验室学习到的。这反映了电生理记录的一段很长的历史,可以追溯到 20 世纪 30 年代的 Hallowell Davis 实验室(Davis 是 Bob Galambos 的导师,而后者又是 Hillyard 的导师;在下一部分说到的第一个感觉 ERP 实验中, Galambos 还做过被试)。当然,其他的 ERP 实验方法也同样好,甚至更好。但是本书所介绍的技术经受了时间考验,也为更先进的技术提供了良好的基础。

这本书也反映了我在认知科学中应用 ERP 记录的个人看法。有两个方面应该说一下。首先,尽管我自己使用 ERP 记录做了许多研究,但我相信,对于认知神经科学家而言,非常适合于使用 ERP 技术来回答的问题,仅仅是他们所关心的重要问题中的一小部分。当然,关键在于用这种技术来探索哪些问题。其次,我采取了一种相对低技术的 ERP 研究方法(a relatively low-tech approach to ERPs)。在大多数情况下,我认为,最好使用适量的电极以及适当简单的数据分析技术,而不是总使用大的电极阵列和复杂的数据分析技术。这种看法可能会被很多 ERP 研究者视为异端,但简单的事实告诉我们,ERPs 不是功能神经成像技术,不能用来确切地定位脑活动(除非在很严格的限制条件之下)。我还认为,脑定位的作用被夸大了。很多研究者似乎以为,了解了认知过程在哪里发生,就等于了解了认知过程是怎样发生的。换句话说,认知神经科学的内容要



比功能解剖学多得多。即使我们不知道 ERPs 发生在哪里,ERPs 对于了解认知机制及其神经基础也是非常有用的。

## ERP 发展简史

1929 年,Hans Berger 报道了一组令人瞩目且备受争议的实验,他证明可以用放在头皮上的电极测量人脑的电活动,这种信号可以放大,还可以画出时间电压的变化(Berger, 1929)。这种电活动被称作脑电图(electroencephalogram)或者 EEG。由于当时的神经生理学家只认识动作电位(action potentials),所以很多人最初认为那不过是某种伪迹而已。但几年后,受尊敬的生理学家 Adrian(Adrian & Matthews, 1934)也观察到了人类 EEG 活动。而且,Jasper 和 Carmichael(1935)以及 Gibbs、Davis 和 Lennox(1935)还肯定了 Berger 观察到的细节。从而,人们才承认 EEG 确实存在。

在接下来的几十年里,EEG 被证明在科学领域和临床应用中都是非常有用的。但它的原始形式还只是对大脑活动的一种粗糙测量,很难用它来评价认知神经科学关注的那些高度特异性的神经过程。EEG 的这种缺陷在于,它是一种有许多神经来源的混合活动。因此,我们很难从中把个别的神经一认知过程分离出来。不过,埋藏于 EEG 中的毕竟是与特异性的感觉、认知以及运动事件相关的神经反应。因此,我们就有可能使用简单的平均技术(也包括更高级的技术)从 EEG 中把这些反应提取出来。这些特异性反应就叫事件相关电位,即与特异性事件相关联的电活动。

据我所知,Pauline 和 Hallowell Davis 于 1935—1936 年首次获得清醒人类感觉 ERP 的明确记录,并于几年之后发表(Davis et al., 1939; Davis, 1939)。那是在使用计算机记录 EEG 以前很早的事情。那时的研究者就已经能从变化不大的 EEG 中,观察到清楚的单试次(single trial) ERPs(当然,第一个计算机平均的 ERP 波形,是 Galambos 和 Sheatz 在 1962 年发表的)。但由于二战的影响,20 世纪 40 年代的 ERP 工作不多,直到 50 年代才再次兴起。当时多数研究集中在感觉问题上,而其中只有