

认知神经科学 实验指导手册

贺金波 王福兴 赵庆柏 ◇ 编著

华中师范大学国家级心理学实验教学示范中心 组编



中国出版集团



世界图书出版公司

认知神经科学 实验指导手册

贺金波 王福兴 赵庆柏◇编著

华中师范大学国家级心理学实验教学示范中心 组编



中国出版集团

世界图书出版公司

广州·上海·西安·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

认知神经科学实验指导手册 / 贺金波, 王福兴, 赵庆柏编著. — 广州: 世界图书出版广东有限公司, 2016.8

ISBN 978-7-5192-1508-8

I. ①认… II. ①贺… ②王… ③赵… III. ①认知科学—实验—手册 IV. ①B842.1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 142611 号

认知神经科学实验指导手册

责任编辑 吕贤谷

封面设计 楚芊沅

出版发行 世界图书出版广东有限公司

地 址 广州市新港西路大江冲 25 号

印 刷 虎彩印艺股份有限公司

规 格 787mm × 1092mm 1/16

印 张 19.375

字 数 308 千字

版 次 2016 年 8 月第 1 版 2017 年 2 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5192-1508-8/B · 0140

定 价 66.00 元

版权所有, 翻印必究

编 委 会

主 编：郭永玉

副主编：莫书亮

编委会（按姓氏笔画排列）：

马红宇 王忠军 孔繁昌 朱 旭 张 微

范 炤 定险峰 赵庆柏 贺金波 郭永玉

莫书亮 陶 嵘 唐汉瑛 龚少英 温芳芳

总序

自从德国学者冯特在莱比锡大学建立第一个心理学实验室开始，心理学家便采用实验的方法研究感知觉等心理学问题。随后，艾宾浩斯采用实验方法研究记忆这一更高级的心理活动，画出了著名的“遗忘曲线”。采用实验的方法研究心理学问题，标志着心理学从哲学中分离出来，成为一门独立学科。经过一百多年的发展，实验方法已经在心理学各个研究领域得到应用。应用的范围也从早期主要关注感知觉、记忆等基本的认知过程，发展到研究意识、无意识知觉、思维、社会认知等问题。认知神经科学研究方法，采用新型仪器（如脑电、核磁共振成像、眼动仪等）来研究几乎所有心理学领域的问题。除了实验方法，心理学家也采用其他研究方法和工具，如心理测量、质性研究法等。这些方法并不矛盾，只是在适用的研究问题和逻辑规则上存在一定差异。

心理学研究既关注基础领域的问题，揭示心理现象的基本过程和发展规律，也关注心理学知识的应用和实践。尤其是在现代社会，人类面临个人和社会发展中的各种问题，因而心理学研究力求揭示心理现象和大脑的秘密，为人类个体的幸福和社会的进步做出自己的贡献。大学的心理教学，担负着培养心理学研究者和心理学工作者的重任。教给学生心理学的研究方法，既是为科学研究打基础，也是为心理学的专业服务打基础。研究方法是心理学专业的核心竞争力，无论是对于研究者还是对于以心理学为职业的工作者而言都是如此。本书系就是为了满足大学心理学科的实验教学需要而编写的。

华中师范大学心理学科的历史可以追溯到1930年代的华中大学时期，先驱者们从美国留学回来并引进了实验心理学的方法。1949年以后，心理学教学时

断时续，直到文革结束后得以恢复。特别是2005年心理学院独立建制以来，心理学科的教学和研究得到了跨越式的发展，实验室的建设则是这种发展的支撑和保障。2009年，我校心理学实验室成为湖北省教育厅立项建设的省级实验教学示范中心。2012年获批国家级心理学实验教学示范中心，2015年获批国家级心理与行为虚拟仿真实验教学中心，成为国内首家心理学科国家级虚拟仿真实验教学中心，也是国家首批、本校首家虚拟仿真实验教学中心。

华中师范大学心理学实验教学示范中心与湖北省人的发展与心理健康重点实验室、青少年网络心理与行为教育部重点实验室共建共享。本中心的发展以心理学院的学科发展为支撑，以服务于专业建设和人才培养为目的，形成了“培养实验技能、提高实践能力、训练科学素养、突出创新教育，促进学科交叉”的教学理念。中心经过几年的建设，形成了鲜明的特色。第一，构建了依托和支撑学科发展、教学对象广泛、教学和科研相互促进的实验教学平台。第二，建立了教师教育特色鲜明的多层次、分阶段和模块化的实验教学体系，以及网络化、信息化和人性化的实验教学管理体系。第三，实验中心建设和发展具有鲜明的交叉学科和新兴学科特色。

实验课程教学资源建设是本中心的重要工作之一。根据以下指导思想，我们编写了这套实验教学指导丛书。在已有实验教学体系中，实验课程设置的实验项目安排要适应不同生源、不同专业方向的要求，从基础演示型实验到研究创新型实验，进行分层次模块化管理。总体上根据教学计划，在不同阶段根据学生的基础和培养方案，安排不同的课程。充分尊重学生自主选择，独立实验，把最新的教学思想、教学方法和实验项目反映在教材之中。通过各个层次和阶段的实验教学，培养学生的实验操作能力、实践应用能力和创新能力。实验项目设置上充分考虑到实验软件和现代化技术对实验教学提出的要求，各门课程都开设了使用现代化设备的新型实验项目。随着认知神经科学的发展，事件相关脑电位（ERP）、脑功能成像（fMRI）、眼动实验技术等也被纳入实验课程。

丛书也充分体现了实验教学与科研紧密结合的思想。实验课程教师将创新型和设计型实验项目的开设与自己的科研项目结合起来。通过教师指导学生完成实验研究，或由学生自主完成实验研究，培养学生的科学创新能力。同时，心理学

实验教学还应该与社会实践紧密结合，该套丛书也体现了实验室实验与实验室外的实践活动相统一的特点。在实验课程的内容设计上，采用广义实验教学的思路，将实验室实验与社会机构实践基地的活动教学结合起来。

本丛书从2013年底开始组织编写，由实验中心讨论确定指导思想，明确编写思路和写作风格，选定课程及指导书名称。丛书包括实验心理学、生理心理学、发展与教育心理学、社会心理学、心理测量与人才测评、认知神经科学、心理学实验编程、学校心理健康教育实践、心理学专业实习与实践等心理学实验或实践课程。由华中师范大学心理学院富有实验和实践教学经验的一线教师编写。由于每本实验指导书的课程性质和教学形式不同，为了教学中方便师生应用，我们在体例上没有完全统一。

感谢世界图书出版公司编辑付出的辛苦劳动。由于时间和水平所限，错误之处在所难免，敬请批评指正。

郭永玉 莫书亮

2016年6月

前言

心理学本应是研究心理现象、心理规律及其应用的科学，但因为心理的不可见性，很多心理学研究是基于对行为的控制性观察和测量来间接探究心理的发生过程和规律，因此现代心理学将心理学定义扩展为：心理学是研究心理和行为的科学。这个定义实际上概括了自 1879 年冯特创立现代科学心理学以来心理学研究的基本范式，即“行为反推心理”。如果按照“先后顺序的因果关系”推理法则，这种范式的缺陷性显而易见。众所周知，心理是神经系统，特别是大脑的产物，如果能从神经发生的角度来研究心理的产生及其机制，才是更为顺理成章和符合因果关系规则的。虽然心理科学家很早就意识到这个问题，但限于活体脑研究的复杂性和困难性，在科学心理学诞生后近 100 年时间里，从神经或脑的角度来研究心理的方法多数只能借助于脑创伤病人和动物实验，无法对人的神经或大脑进行自然的、无创性的直接研究。直到 20 世纪 70 和 80 年代，随着一些无创性研究技术手段的出现，从“神经到心理”的研究范式才受到越来越多的研究者青睐。采用这样的范式来研究心理的神经基础或脑机制的心理学分支学科，被称之为认知神经科学。本手册就是一本从事认知神经科学实验研究的入门指导书。

认知神经科学当前采用的无创性技术主要包括：事件相关电位(event-related potential, ERP)、眼动(eye tracking)、功能性磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)、正电子发射扫描(positron emission tomography, PET)、脑磁图(Magnetoencephalography, MEG)和近红外光谱技术(Near infra-red spectroscopy, NIRs)等。但基于经济和方便性的原因，目前心理学用得最普遍性的是事件相关电位、眼动和功能性磁共振三种技术。

人类对脑电的研究有很长的历史。早在 1875 年, Richard Caton(1842—1926)

使用一个检流计把两个电极放到一个受试者的头皮上，最早以电信号的形式记录了大脑的活动。随后，他的博士生 Danilevsky (1852—1939) 通过电刺激研究了动物自发的脑电活动规律。1929 年，Hans Berger (1873—1941) 使用西门子双线圈检流计（达到每秒 130 uV 的敏感度）和单通道双极额枕引线的方法在相纸上记载了持续 1~3 分钟的记录，首次做出了人类脑电的报告。但因为脑电信号很弱，信号分辨率很低。到 1930 年左右，德国人 Toennies (1902—1970) 研究出第一套脑电位报告的生物放大器。大约 1934 年的时候，Hallowell Davis 描记出了一个非常好的脑电 α 节律，促进了对睡眠和癫痫脑电活动的研究。1947 年，美国成立了脑电图协会。同年，第一届国际脑电图大会在英国伦敦举办。但以上这些研究均是记录人脑在基线活动状态的电活动，只能称之为自发脑电位 (electroencephalograph, EEG)，因为它们无法揭示与特定心理活动的相关电位变化。直到 20 世纪 70 年代，一些研究者才开始记录到某种刺激后大脑特定部位的电位变化情况，其基本原理是用大脑受到某种刺激后的电位减去基线电位 EEG，即诱发电位 (EP)。后来，随着研究设备的精确性提高和实验设计的完善，研究者进一步提高了施加刺激（事件）与电位变化之间的关联精确度，并把这种与某种事件引发的心理活动高度关联的电位称为事件相关电位 (ERP)。1971 年，认知神经科学的先驱 Hillyard 在 *Science* 上用 ERP 技术发表了第一篇心理学研究论文，从而开创了 ERP 研究心理活动的新时代。

眼动技术自从 19 世纪 70 年代被提出后，就一直受到心理学研究者的关注。经过一个多世纪的发展，眼动技术已从最初的观察记录、机械记录，演变到现在的光学记录和电磁记录等。20 世纪 70 年代以后，伴随着计算机技术的进步，眼动技术在数据记录精确性和数据处理方式上都取得了长足的发展。技术的发展也带动了基础研究的兴旺。如今，眼动技术被应用到阅读心理、视觉搜索、场景知觉、认知发展、学习与教学、专长心理、体育运动、汽车驾驶、广告心理等几十个心理学研究领域。现代的眼动技术主要利用基于瞳孔—角膜反射技术来记录眼睛的注视信息，以此来分析和了解视线或注视与心理学认知活动的关系。眼动技术具有即时测量 (moment-to-moment) 的特点，可以采集个体进行认知活动时的实时信息加工过程，为了解视觉信息加工的过程提供了独特的窗口。

功能性磁共振成像是一种新兴的神经影像学方式，是利用核磁共振成像来测量神经元活动所引发之血液动力的改变。1945 年美国物理学家 Bloch 和 Purcell

首先发现了核磁共振现象。1973年Lauterbur在《自然》杂志上发表了用试管样品得到的磁共振截面像，显示了磁共振成像的可能性。1980年研究人员在实验室中获得了足够清晰的、有医学诊断价值的人的头部磁共振图像，磁共振成像仪逐渐形成产业，开始进入医院，主要用于观测人体内部解剖学结构，确定肿瘤和其他疾病的位置。fMRI最早起源于1991年春天，美国麻省总医院的磁共振研究中心利用磁共振成像生成反映脑血流变化的图像。随后，这一研究领域得到了迅速的发展。它虽然是一种非介入的技术，但是能对特定大脑活动的皮层区域进行准确、可靠的定位，空间分辨率可以达到2mm，并且能以各种方式对物体进行反复扫描。fMRI的另一个特点是能够实时跟踪信号的改变，比如反映几秒内发生的思维活动，或认知实验中信号的变化，时间分辨率可以达到1s。

基于这三种技术现在在心理学研究的普遍性和实用性，本手册分三编分别介绍了事件相关电位、眼动和功能性磁共振研究技术的基本原理、实验操作和常见实验范式。手册不仅通俗易懂地简单介绍了三种技术的基本原理，而且详细直观地阐述了它们的实验操作和实验方法，希望本手册能对高校从事认知神经科学教学的老师和对认知神经科学感兴趣的学生有所助益。

贺金波 王福兴 赵庆柏

二〇一五年十月十九日

目 录

第一编 事件相关电位实验指导手册

第一章 事件相关电位技术原理	3
第一节 自发脑电位的产生和记录	3
第二节 诱发脑电位的发现和提取	7
第三节 事件相关电位的发现和意义	11
第四节 事件相关电位的提取原理	14
第五节 事件相关电位的主要指标	17
第六节 事件相关电位的分析过程	22
第二章 事件相关电位技术的基本操作	29
第一节 Neuroscan 设备的操作	29
第二节 EGI 设备的操作	61
第三节 STUDY 模块	102
第三章 事件相关电位技术实验指导	113
第一节 选择性注意 N100 实验指导	113
第二节 面孔特异性 N170 实验指导	117
第三节 新异刺激知觉加工 P3a 实验指导	121
第四节 知觉深加工 P3b 实验指导	125
第五节 失匹配负波 MMN 实验指导	132

第六节	冲动控制 N2No-Go 实验指导	142
第七节	语义失匹配 N400 实验指导	145
第八节	反馈负波 FRN 实验指导	151

第二编 眼动实验指导手册

第四章	眼动实验原理	157
第一节	眼睛的结构	157
第二节	眼睛运动的生理机制	158
第三节	眼睛运动的基本形式和特点	159
第四节	眼动记录方法	163
第五章	眼动实验操作	168
第一节	SMI RED 眼动仪编程与操作	168
第二节	Tobii Studio 眼动仪编程与操作	179
第三节	EyeLink 编程与数据分析	192
第六章	眼动实验技术应用	207
第一节	人类对蛇是否有更快的注意觉察	207
第二节	探究人类快速觉察蛇的原因	211
第三节	探究同步化线索和经验的作用	215
第四节	文化对场景知觉的影响	220
第五节	探究中国不同经验棋手的知觉差异	224

第三编 功能性磁共振实验指导手册

第七章	fMRI 实验设计与操作指导	231
第一节	fMRI 技术简介	231
第二节	fMRI 实验设计	236
第三节	fMRI 实验操作流程	240

第八章 fMRI 数据分析指导247

 第一节 fMRI 数据分析软件简介247

 第二节 fMRI 数据转换253

 第三节 fMRI 数据处理257

第九章 fMRI 实验案例指导275

 第一节 汉语歇后语理解的 fMRI 实验275

 第二节 汉语成语谜语解决的 fMRI 实验279

主要参考文献286

第一编

事件相关电位实验指导手册



第一章 事件相关电位技术原理

第一节 自发脑电位的产生和记录

一、自发脑电位的概念

人类运用脑电技术进行心理学研究的历史要追溯到自发脑电位的发现和记录,了解这段历史和自发脑电位的基本特征有助于更好地理解事件相关电位的研究技术。

人类的大脑皮质由数以亿计的神经元组成。神经元像人体中的其他细胞一样,具有生物电活动。所谓自发脑电位,是指在没有任何明显外加刺激的情况下,大脑皮层的神经细胞产生的持续的节律性电位波动,这种电活动与感觉输入无特殊的相关。神经细胞的跨膜静息电位可认为是 K^+ (钾离子) 外流而形成的, 大约为 -70 mV (毫伏), 这种状态称为极化状态。当神经元接受一个大于一定阈值的刺激(刺激可来自电、热、机械或化学能的扰动)时, 该处极化膜对 Na^+ (钠离子) 通透性突然增大, 大量 Na^+ 迅速进入细胞膜内, 使膜内电位急速上升, 产生膜的去极化, 同时产生一个膜电位, 即动作电位。脑电波是由大脑皮质中无数个神经元同步化的电活动所形成的, 波形因不同的脑部位置而异, 并与觉醒和睡眠的水平相关, 且存在很大的个体差异。通过电极和导线从头皮上或者大脑皮质上直接将大脑产生的节律性电位变化传送至特殊的记录装置——脑电图机上记录下来的动态曲线, 就是我们通常所说的脑电图 (electroencephalogram, EEG)。

1781年 Galvani 发表“动物电”理论。1875, Caton 首次以电信号的形式记录了动物大脑的电活动。1924年 Hans Berger 首次在颅骨损伤患者大脑皮质和正常的人头皮上记录到了 EEG。1929年 Hans Berger 首次发表头皮记录的 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。可是当时的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 和 1935年 Jasper 等也观察并证实了 Berger 的观察结果,EEG 的客观存在才得到了科学界的一致认同。

二、自发脑电位的频率

动物和人脑的自发电位,就头骨外或大脑皮层表面的脑电图(EEG 或 ECOG)来说,频率大部分在 0.5~100 Hz 范围内,最常见的是 0.5~30 Hz 的低频率电活动;就大脑深部脑电图(DEEG)来说,频率常较高;小脑皮层的自发电位频率最高,可达 300 Hz。自发电位的振幅十分微弱,一般在 10~150 μ V,必须用多极放大器放大 $10^6 \sim 10^7$ 倍才能进行肉眼观察。描记时一般采用双极法(两电极均置脑部)或单极法(一电极置脑部,另一电极置耳垂等作为“参考”电极),颅骨皮肤电阻一般要控制在 5 k Ω 以下。此外,也可用电极插入鼻咽部记录脑底部的自发电位,或插入外耳道记录颞叶的自发电位等。不同动物脑自发电位的基本节律(类 α 节律)有所差异。例如,成年兔为 4~7 Hz,成年猫为 5~8 Hz,成年猴为 7~9.5 Hz,成人的 α 节律为 8~13 Hz 等。

三、自发脑电位的波段

人脑的自发电位按频率通带分成 δ 、 θ 、 α 、 β 四个波段。

1. δ 波: 频率 0.5~3 Hz, 振幅 40~200 μ V, 最高可达 500 μ V。3 岁前婴孩呈现最显著,且全皮层同步。正常成年人酣睡中也有全皮层同步呈现,但若觉醒时也呈现,则反映智力低下,多半为白痴或痴愚。此外,患脑瘤或癫痫发作时也可局部或全皮层呈现 δ 波。

2. θ 波: 频率 4~7 Hz, 振幅 10~120 μ V。3~7 岁儿童最显著,正常成人睡眠初期可呈现。若觉醒时全皮层呈现也反映智力低下,但低下的程度较呈现 δ 波者为轻。此外, θ 波的呈现与情绪状态有关,不悦时易呈现 θ 波,愉快时则消失。