

Event-Related Brain Potentials

THE COGNITIVE
ERP TEXTBOOK

认知

事件相关脑电诱发电位

作者：[作者姓名]

在济出版 2002

THE
CONSTITUTIONAL
MAP

1850

THE
CONSTITUTIONAL
MAP



1850

1850

目 录

第一章 绪 论	魏景汉(1)
第二章 ERP 的技术原理	魏景汉(7)
第一节 ERP 的基本概念与数据提取过程	(8)
一、ERP 的定义	(8)
二、ERP 的技术原理	(8)
第二节 ERP 技术的模拟电路基础	(13)
一、晶体管的放大作用	(14)
二、简单的交流放大电路	(15)
三、差动式放大电路	(16)
第三章 ERP 成分概述	魏景汉(27)
一、CNV	(28)
二、P300	(32)
三、BSP	(34)
四、MMN	(35)
五、N400	(37)
六、PN	(39)
第四章 视知觉加工的 ERP 研究	(45)
第一节 视觉加工的两条通道	罗跃嘉 买晓琴(46)
一、WHAT 通道的物体感知机制	(47)
二、WHERE 通道的空间知觉机制	(50)
三、两条中枢视通道的比较	(51)
四、通过纹状前皮质的皮质—皮质路径	(52)
五、纹状—纹状前皮质连接	(52)
六、小结	(53)
第二节 运动知觉与大脑功能	罗跃嘉 姜 扬 罗艳琳(54)
一、视觉运动知觉的若干理论与实验模式	(54)
二、视觉运动知觉启动的脑机制	(61)
三、视觉运动知觉启动的年龄变化	(65)
四、小 结	(66)
第三节 面孔识别研究	罗跃嘉 彭小虎(67)
一、面孔识别研究的意义	(67)

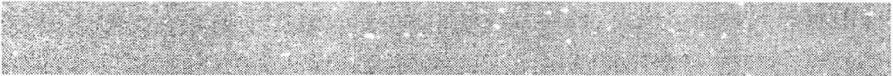
二、面孔识别研究的现状	(68)
三、面孔识别的 ERP 特征成分	(78)
四、面孔识别的跨文化 ERP 实验研究	(82)
第五章 注意的 ERP 研究	(93)
第一节 听觉注意的 ERP 研究	魏景汉(94)
一、关于注意选择性发生时程的 ERP 证据	(94)
二、对非注意感觉信息加工抑制的脑机制	(96)
三、对注意信息加工增强的脑机制	(98)
四、注意保持的脑机制	(100)
五、非随意注意的脑机制	(101)
第二节 视觉空间注意的 ERP 研究	罗跃嘉 高文斌(105)
一、有效提示与无效提示	(107)
二、符号性提示与位置性提示	(108)
三、提示范围的 ERP 效应与脑机制	(112)
四、不同任务难度对视觉空间注意的影响	(127)
五、视觉空间注意研究小结	(128)
第六章 脑的信息自动加工的 ERP 研究	魏景汉(135)
一、脑的信息自动加工功能	(136)
二、MMN 是脑的自动加工的宝贵客观指标	(137)
三、MMN 的产生原理	(137)
四、实验模式的革新	(139)
五、“跨通路延迟反应”研究的结果与结论	(143)
第七章 记忆的 ERP 研究	罗跃嘉(151)
第一节 近年发展的记忆理论	(152)
第二节 记忆编码的 ERP 研究	(153)
第三节 再认的 ERP 研究	(155)
一、研究方法	(156)
二、再认的 ERP 重复效应与新旧效应	(157)
三、影响因素	(158)
四、问题与争论	(159)
五、汉字的再认研究	(160)
第八章 语言加工脑机制的 ERP 研究	(167)
第一节 关于西文的 ERP 研究	罗跃嘉(168)
一、关于 N400 的研究	(168)
二、形、音、义对 N200 与 N400 的影响	(172)
三、跨感觉通路的 N400 研究	(174)
四、N400 与脑内语言信息加工的关系	(175)

第二节 关于汉字的 ERP 研究	魏景汉 罗跃嘉(176)
一、关于汉字语义识别	(177)
二、关于全视野汉字词义联想的研究	(178)
三、关于半视野汉字词义联想的研究	(185)
四、关于汉字词义联想实验研究的总结论与观点	(197)
第九章 ERP 的应用	(203)
第一节 ERP 的临床应用	罗跃嘉(204)
一、P300 的临床应用	(204)
二、失匹配负波的临床应用	(222)
第二节 ERP 在航天脑科学研究中的应用	赵 仑(231)
一、航天脑科学研究概述	(231)
二、模拟失重条件下的 ERP 研究	(240)
三、航天飞行中的 ERP 研究	(255)
第十章 ERP 刺激程序	(269)
第一节 刺激程序的一般原则	罗跃嘉(270)
一、刺激物分类	(270)
二、刺激序列	(272)
三、实验模式	(273)
第二节 STIM 的应用	罗跃嘉 高文斌(275)
一、编制图像文件	(275)
二、编制声音文件	(276)
三、编制序列文件	(277)
四、调用刺激文件和刺激序列文件	(281)
五、设置并调试各项参数	(281)
六、特殊命令	(282)
第十一章 ERP 数据处理	罗跃嘉 彭小虎 高文斌(285)
第一节 脑电数据的采集与记录	(286)
一、步骤	(286)
二、记录参数	(287)
第二节 波形平均与叠加	(288)
一、步骤	(288)
二、自动处理	(298)
第三节 波形识别与测量	(300)
一、波形识别	(300)
二、波峰测量	(301)
三、平均波幅测量	(301)
四、相减技术	(302)

五、总平均	(302)
六、行为数据测量	(302)
第三节 统计分析	(305)
一、统计分析的设计	(305)
二、数据文件	(306)
三、分析软件	(306)
第四节 ERP 结果解释	(307)
一、定性分析	(307)
二、源定位分析	(308)
第十二章 ERP 英文论文撰写与记录标准	(313)
第一节 ERP 英文论文写作规范	罗跃嘉(314)
一、一般原则	(314)
二、不应忽视的细节问题	(314)
三、手稿的组成	(315)
第二节 关于人类认知 ERP 研究的指导手册	罗跃嘉 南云 买晓琴译(318)
一、研究简述	(318)
二、被试者	(320)
三、刺激和反应	(322)
四、电极	(323)
五、信号放大和模数转换	(325)
六、信号分析	(326)
七、伪迹	(327)
八、实验数据展示	(328)
九、ERP 波形的测量	(329)
十、主成分分析法(PCA)	(331)
十一、溯源分析(Source Analysis)	(332)
十二、统计学分析	(333)
十三、结果讨论	(335)
第十三章 脑科学和认知科学的发展趋势	罗跃嘉(337)
第一节 概述	(338)
一、认知科学的历史渊源	(339)
二、认知科学的四大理论体系	(341)
三、脑与认知科学的主要研究路线	(342)
第二节 脑与认知科学的发展现状	(342)
一、西方国家科学战略计划中的认知科学	(342)
二、认知科学的应用得到越来越多的重视	(343)

三、国际学术组织	(343)
四、国际著名的脑与认知研究机构	(344)
五、我国的脑与认知科学研究	(347)
第三节 脑与认知科学的发展趋势	(351)
一、在研究内容上越来越重视环境对认知能力的影响	(351)
二、越来越重视“跨学科”“多层次”的研究策略	(351)
三、在研究方法上越来越注重采用无损伤性实验技术	(353)
第四节 前沿研究问题	(354)
一、“认知科学及其信息处理”科学论坛	(354)
二、中国科学院心理研究所认知科学发展战略建议	(355)
英文缩写词表	罗跃嘉(358)

第 一 章



绪 论

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,人类可以操纵分子、原子甚至更小的微粒子;在宏观方面,人类已经可以脱离地球而进入遥远的茫茫太空。但是人类对自身的认识却十分肤浅,对许多常见疾病缺乏根治方法,在某些常见致命疾病面前束手无策。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,脑波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。1929年,Hans Berger首先发表脑的自发电位(即脑电图 electroencephalogram,简称 EEG)论文,报告心算可引起 EEG 的 α 节律减少。从此科学家对 EEG 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,可是由于受当时科学与技术水平的限制,收效甚微。20 世纪 50 年代末,随着计算机在生物学中的应用,特别是用于 EEG 分析而产生了事件相关电位(event-related potentials,简称 ERP)方法,才使脑波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。40 多年来,采用 ERP 方法进行的脑的高级功能研究出现了一系列突破,为这个领域的研究开辟了一个新纪元,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。

人脑只要没有死亡,就会不断产生 EEG。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。健康成年人在清醒状态下,头皮表面记录的 EEG 为数微伏至 75 微伏左右,但在病理状态下(如癫痫发作时)可达 1 毫伏以上。脑的心理活动所产生的脑电信号通常比自发电位小,它被淹埋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信号本身。采用计算机叠加技术可将这种信号从自发电位中提取出来。这样提取出来的信号就是 ERP。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,时间分辨率可精确至微秒级。由于 ERP 是刺激诱发产生的,故又称诱发电位(evoked potentials,简称 EP)。

关于经典 EEG 节律形成的机制,目前一般认为主要是由皮质大量神经组织的突触后电位同步总和所形成的。这就是说,EEG 主要来自突触后电位变化,即胞体和树突的电位变化。对于 EEG 的主要节律来说,轴突的动作电位变化过快,难以形成 EEG 的主要成分。由于单个神经元的电活动过于微小,只有神经元群的同步电位才可以被记录到。其中某些同步化作用来自丘脑非特异投射系统。ERP 则与 EEG 不同,除了皮质突触后电位以外,还含有皮质下组织活动及轴突动作电位成分。无创伤的 EEG 与 ERP 记录不能确定其脑内发生源的精确位置。手术中的颅内记录、脑损伤

或脑局部切除术患者的颅外记录、动物模型、偶极子的数学推导等方法可得到 EEG 与 ERP 脑内源空间定位的较为可靠的资料,从而弥补无创伤 EEG 与 ERP 记录在定位上的不足。

只有当偶极子源具有开放型电场时,才能被远距离记录到。简单地说,当脑组织中神经元的排列方向一致时,例如皮质第三、五层的锥体细胞,其同步发放所形成的电场即是开放型电场,此时神经元电场相加总和,可在颅外记录到相应的电位。当缺乏上述清楚的局部神经元解剖学基础时,例如内侧丘核,则产生封闭式电场。此时,神经元虽可同步发放,但局域外电场方向不能一致,互相抵消,偶极子电场不能总和,远距离处则不能记录到有关的电位。见图 1-1。

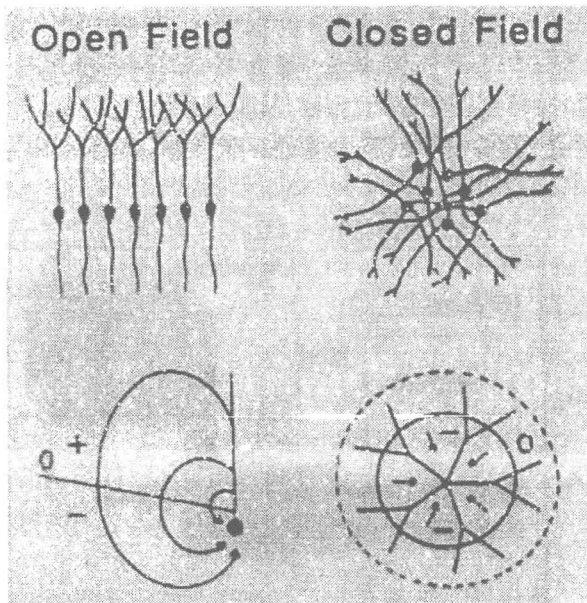


图 1-1 开放电场与封闭电场

记录点与活动神经元源的距离是影响头皮电位强弱的主要因素。头皮电位的颅内神经元发生器(源)可分为近场源与远场源两类。初级体感诱发电位产生于中央后回,是近场源的例子。其神经元源位于半球表面,头皮电场较强,波幅最高处位于顶部电极点,恰在中央后回之处。典型的远场源例子是脑干听觉诱发电位(BAEP)。BAEP 的脑内源包括从第八对脑神经到丘脑的一系列脑干结构。这些脑内源与头皮距离颇远,其偶极子电场强度在头皮上很弱,所记录到的 BAEP 波幅也就很小。

在学术研究领域,ERP 属于心理生理学(psychophysiology)范畴。心理生理学的概念是 John Stern 在 20 世纪 60 年代提出的,它是以心理因素为

自变量,以生理指标为因变量的学科,一般以人为被试。生理心理学(physiological psychology)则是以生理变化为自变量,以心理因素为因变量的学科,一般以动物为被试。心理生理学是从生理心理学中分离出来的。认知神经科学是在近十年才兴起的一门交叉学科,当前颇受脑科学界关注,ERP是其中的重要组成部分。认知可分为认知过程和认知状态,过程指的就是时间过程。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,信息加工研究的是过程,而不是状态,因此,认知神经科学是侧重研究认知过程神经机制的学科。ERP的优势正是具有高时间分辨率。此外,ERP便于与RT配合进行认知过程研究,具有无创性,128导ERP的空间分辨率可以达到3mm,是科学工作者进行认知神经科学研究的最得力的方法。认知神经科学的提出人之一 Gazzaniga 教授在他主编的2000年版《The New Cognitive Neuroscience》关于认知神经科学研究方法的介绍中强调的是ERP与ERF,突出了实时性在认知神经科学中的重要性。图1-2是各种脑研究技术的时间与空间特性的比较,从中也可看出ERP的价值。关于妨碍ERP提高空间分辨率的原因,主要是容积导体效应与封闭电场问题。

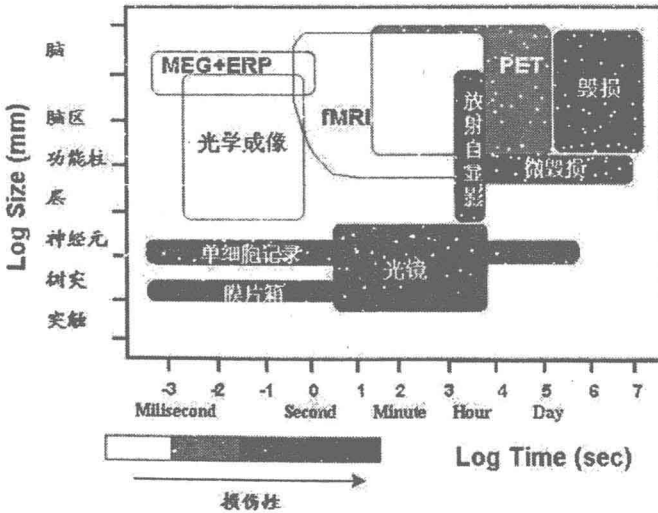


图 1-2 各种脑研究技术的时间与空间特性

ERP问世已经40多年了,它现在是否还有发展潜力呢?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,相关的各种资料,如仪器发展与购买情况,论文发表情况等,也都有所反映。例如,从1967年至2000年,每两年发表的论文篇数为:1501,1971,2063,2216,2538,2624,3445,4208,4416,4538,4610,4804,5479,5386,5461,5888,6205。将其绘

为图 1-3,明确显示 ERP 论文发表篇数目前依然保持着逐年递增的发展趋势。

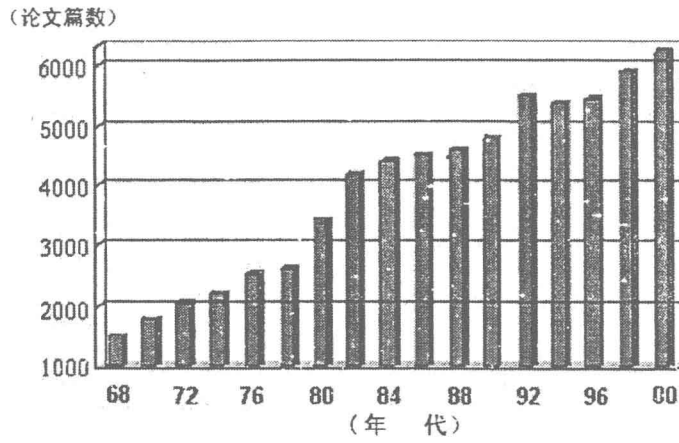


图 1-3 历年 ERP 论文发表篇数

(魏景汉)

第 二 章



ERP 的技术原理

第一节 ERP 的基本概念与数据提取过程

1947年 Dawson 首次报道用照相叠加技术记录人体诱发电位(Evoked Potentials, EP)。1951年 Dawson 首次介绍诱发电位平均技术,开创了神经电生理学的新时代。目前用计算机对诱发电位进行平均,故诱发电位又称平均诱发电位(Average Evoked Potentials, AEP)。平均诱发电位是由刺激引起的,随着它的应用日益广泛,刺激种类不断增加,科学工作者将各种刺激统称为“事件”(event),诱发电位遂也被称为“事件相关电位”(event related potentials, 简称 ERP),一直沿用至今。有些正式场合使用“事件相关脑电位”(event-related brain potentials)一词,则是为了更清楚地专指脑产生的事件相关电位。

一、ERP 的定义

狭义定义:凡是外加一种特定的刺激,作用于感觉系统或脑的某一部位,在给予刺激或撤消刺激时,在脑区所引起的电位变化。一般 ERP 仅指该狭义定义。

广义定义:凡是外加一种特定的刺激作用于机体,在给予刺激或撤消刺激时,在神经系统任何部位引起的电位变化。

撤反应:刺激或长或短总是要持续一段时间的,通常只考虑刺激出现时所引起的诱发电位,其实在刺激消失时也会产生诱发电位。后者在生理学上称为撤反应。这种撤反应引起的诱发电位比刺激出现时所引起的诱发电位小得多,人类视觉诱发电位约为 $1/7$ 。如果刺激长度(持续时间)适宜,它就会与刺激出现时所引起的诱发电位混合,使诱发电位失真,因此严格地讲,这是一种伪迹。

为了消除这种伪迹,可以(1)延长刺激持续时间,在拟观察的 ERP 成分出现后,再使刺激消失。(2)缩短刺激持续时间,在拟观察的 ERP 成分出现前,已使刺激消失。(3)用持续时间长的刺激测出撤反应的潜伏期与波形,从混合的 ERP 中将其减掉。(4)在观察不同心理条件下同样刺激的差异波(difference wave)时,由于撤反应已被减掉,可以不考虑撤反应。当然,由于撤反应较小,有些工作所研究的成分波幅又很高,有时也不严格要求,这属于 ERP 水平问题。

二、ERP 的技术原理

1. EEG 对 ERP 的淹没与叠加基本原理

一次刺激诱发的 ERP 的波幅约 $2 \sim 10 \mu\text{V}$,比自发电位(EEG)小得多,淹没在 EEG 中,二者构成小信号与大噪音的关系,因此无法测量,无法研

究。但 ERP 有两个恒定,一是波形恒定,一是潜伏期恒定。利用这两个恒定就可以通过叠加,从 EEG 中将 ERP 提取出来了(见图 2-1)。

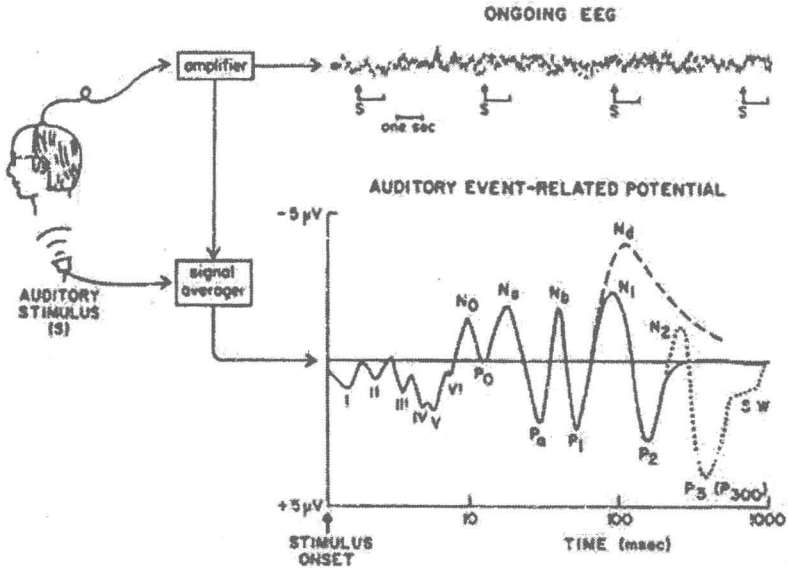


图 2-1 ERP 提取原理(Hillyard and Kutas, 1983)

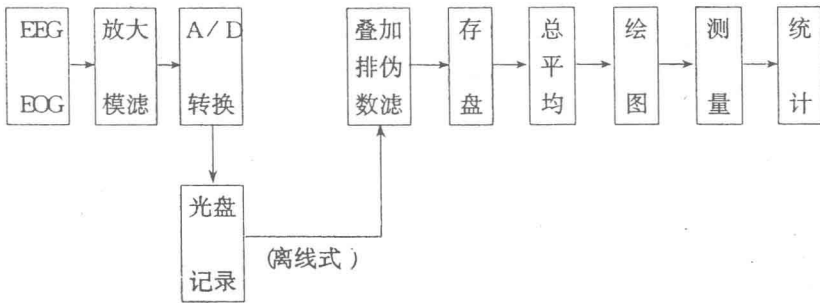
为了从 EEG 中提取出 ERP,需对被试者施以多次重复刺激“S”。将每次刺激产生的含有 ERP 的 EEG 加以叠加与平均。由于作为 ERP 背景的 EEG 波形与刺激间无固定的关系,而其中所含之 ERP 波形在每次刺激后是相同的,且 ERP 波形与刺激间的时间间隔(潜伏期)是固定的,经过叠加,ERP 与叠加次数成比例地增大,而 EEG 则按随机噪音方式加和。若刺激次数为 n ,则叠加 n 次后 ERP 增大 n 倍,而 EEG 只增大 \sqrt{n} 倍,信噪比提高 \sqrt{n} 倍。若叠加前 ERP 波幅为 EEG 波幅的 $1/2$,ERP 被埋在 EEG 中难以观察,经过 100 次叠加后 ERP 增加 100 倍,EEG 增加 10 倍,叠加后的 ERP 波幅成为 EEG 的 5 倍,于是 ERP 就从 EEG 背景中浮现出来了。叠加后的 ERP 数值除以叠加次数,其平均值即还原为一次刺激的 ERP 数值,因此 ERP 又称平均诱发电位,通常所谓的“平均”实际就意味着是叠加后的平均。这就是提取 ERP 的基本原理。

2. 噪音、干扰和伪迹的概念区分

ERP 的噪音主要是指自发电位和来自仪器的本底噪音。ERP 的干扰主要来自 50Hz 市电。ERP 的伪迹主要是指来自实验刺激或被试的 EOG、运动电位等。

3. ERP 数据提取过程

ERP 数据提取的主要过程可图示如下：



含有诱发电位的脑电与眼电 (electrooculogram, 简称 EOG) 进入放大器放大并同时模拟滤波。如前所述, 模拟滤波是由频带宽度设置的。垂直眼电 (VEOG) 必须记录, 供排除 EOG 伪迹用。水平眼电 (HEOG) 可根据实验需要记录。眼电需单独设置频带宽度与放大倍数。然后, 放大并经模拟滤波的模拟信号进入计算机, 首先将模拟信号转换为数字信号, 这个过程称为模数转换 (analog to digital converter, 简称 A/D 转换)。由于多导记录的数据量很大, 计算机处理速度跟不上, 更由于进一步的数据处理需要主试者的参与, 例如数据确认、参数设置等均需根据具体情况临时确定, 所以 A/D 转换后的数据需存在光盘上供实验后离线处理。排除 EOG 伪迹是以回归方程计算每一个记录点受 EOG 影响的程度, 即求出每一个记录点的 EEG 中所含的 EOG 大小与 EOG 的比值, 再减掉所含的 EOG, 结果得到无 EOG 的 EEG, 犹如未受 EOG 影响一般。数字滤波主要是针对 50Hz 市电进行陷波处理, 以进一步清除 50Hz 市电干扰。这里重点介绍 ERP 采样的精度问题及 A/D 转换原理。

所谓模拟量就是连续量, 而数字量是断续量。脑电信号是连续量, 而计算机只能识别数字量, 因此必须把模拟量变成数字量。如上所述, 这个过程称为模数转换, 属于计算机的采样 (sample) 过程。其中主要的变量是采样速度与采样分辨率。采样速度应由记录的导数、所观察的 ERP 成分的潜伏期、波宽和波幅高度综合考虑决定。例如, 若要求时间精度为 1 毫秒, 则意味着组成 ERP 波形的点间距为 1 毫秒, 潜伏期 50 毫秒将由 50 个点表达, 40 毫秒波宽的波将由 40 个点组成。若波幅为 4 微伏, 则平均前支与后支各由 20 点组成, 这时的平均分辨精度为 0.2 微伏。应考虑这样精度的数量级是否能够满足观察实验自变量变化引起的 ERP 成分差异的分辨要求。此时每导采样速度为 1/1 毫秒, 即 1KHz, 128 导总采样速度为 128KHz。一个波由多少点组成是由采样速度决定的, 另一方面, 由于波幅随着时间变化未必是均匀的, 各采样点间的幅度差异也就未必相同。点间幅度差异表达的精确程度是由采样分辨率决定的。以下举例进行定量分析。