

# 事件相关脑电位与人类行为活动

张 武 田

中国科学院心理研究所

事件相关脑电位 (Event Related Potential, 缩写为ERP) 不同于自发脑电位 (EG), 前者代表与刺激和反应的出现有一定关系的神经活动。由于在头皮外记录到的 ERP 信号一般不高于10微伏, 所以在一般情况下它很容易被自发的脑电活动噪音 (其电位可达50微伏以上) 所掩蔽。六十年代以来采用了改进信噪比的技术, 使ERP的研究有了长足的进步。

改进信噪比, 最常用的方法是信号平均法。一个刺激重复多次, 每次呈现刺激, EEG 都有一个响应出现。每个响应在时间上和刺激之间有比较稳定的对应关系。将这些响应用计算机进行平均处理。与刺激有一定时间关系的电位就被叠加起来, 与此同时, 自发的电活动因为与刺激没有对应关系, 所以平均后就互相抵消。ERP的出现除了要求有关的刺激事件在呈现时间上必须固定外, 被试的反应策略也要相对稳定。

事件相关电位是一组复杂的波形, 以听觉事件相关电位为例 (图1)。一般认为它是由一系列“成分”组成。它是在刺激呈现后的不同时间里, 脑的不同部分的细胞群受到激活后所产生的电位变化。它们的潜伏期随刺激参量和被试的主观状态的变化而改变。同时, 几个脑区也可以在大约同一时间被激活, 出现电位的重叠。因此脑波的成分并不总是对应于波形中的峰和谷。事件相关电位成分的确定和识别要根据实验条件以及电极在头皮上的位置的变动所引起的波形变化等情况进行推论。图1所显示的早成分I—IV起源于听觉通道和脑干神经核; 中等潜伏期成分No—Nb有广泛的头皮分布, 表明它们可能起源于象丘

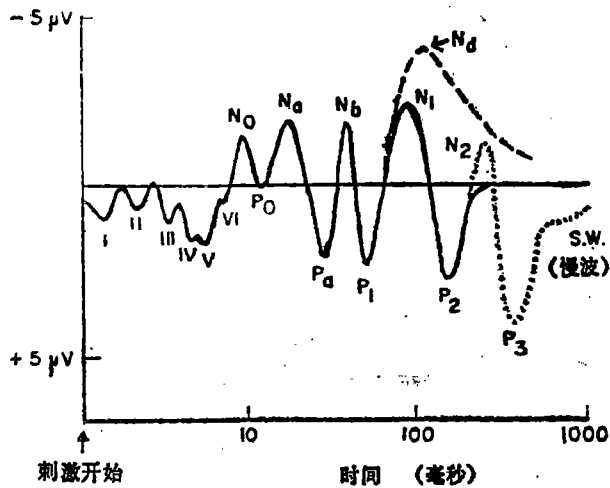


图1 听觉ERP理想波形

脑这样的深层结构；还有长潜伏期的头顶电位（ $P_1N_1P_2N_2$ ）。以上各成分属外源性成分，即随外界物理刺激的变化而变化，而 $N_1N_2$ 也具有内源性成分的特点，即与信息的认知加工和行为的组织有关。因此内源性成分包括 $N_1$ （Nd波）以及由 $N_2-P_3$ 慢波组成的复合成分。前者是由不随意注意的声音引起，后者经常是由与任务有关而又是未预期到的刺激所诱发。近年还有人发现与语义期待有关的 $N_4$ 波。下面着重介绍与人类行为有关的事件相关电位包括 $N_1N_2P_3N_4$ 和慢电位以及某些实际应用。

## 一、 $N_1$ （Nd）成分与选择注意

当向被试呈现刺激物时，被试注意刺激比不注意刺激时，在其颅顶区的诱发电位振幅增大。峰值潜伏期大约在80—110毫秒。是负向偏转，故定名此成分为 $N_{100}$ 或称 $N_1$ （有人用Nd表示选择注意的电位成分，详见后）。诱发电位潜伏期对注意问题的研究是个关键问题。因为从信息加工的观点看由环境中选择有关信息要经历一个认知加工过程。而选择注意活动是在此过程的什么阶段产生，一个重要的判别指标就是加工时间的长短。

在注意的行为研究中长期以来存在着早期选择模型和晚期选择模型的争论。早期理论认为人们只是根据对刺激物的物理特性（如音高、位置、颜色等）作出快速抉择。它是通过假定的“外周滤波器”或“刺激定势”完成的。晚期理论则认为在决定接受或拒绝一个刺激之前必须对该刺激物的所有特征作全面分析，因而要花费更多的时间。此后的一些实验证据表明早期或晚期选择可以分开诱发也可以协同唤起，这取决于任务的要求。用ERP作指标可以揭露出对刺激物的选择时间和注意加工的阶段特点并为注意的层次结构提供证据。

在有关的研究中对实验条件的控制直接影响到对ERP结果的解释。早期实验所用的刺激系列往往造成被试对刺激物产生预期的条件（例如刺激物呈现速度较慢，低于1 Hz，以及单通道呈现，呈现时间间隔固定等），结果诱发出慢电位，这可能是表现了被试的非特异准备状态而不是选择注意。

Hillyard等人的实验解决了上述问题。他们用短的时间间隔（200—400毫秒），向被试的两耳随机地呈现音高不同但却容易区分的刺激，其中之一一定为目标刺激。被试的任务是力求觉察在注意耳（左或右）中目标刺激的出现，并且计算其出现的数目。在这种注意负荷条件下，当刺激出现后，在注意耳诱发出一个增强的负波，其振幅比由同样的声音在未注意耳所诱发的 $N_1$ 波要高（图2）。Hillyard将它定义为注意和不注意条件之间的ERP差异，并称它为“负差异”（Nd）波（看图1）。但传统上还是以 $N_1$ 波代表选择注意的诱发电位。进一步实验表明当用不同的物理刺激（如音高、方位、声音强度等）作为注意线索时，诱发出相同的ERP波型。而且只要它们是属于注意通道的，不管它们是否与任务有关都可以诱发出 $N_1$ 波。其潜伏期可短至50毫秒，远在对刺激物的完全分析和认知之前就出现。这些现象说明 $N_1$ 成分与较强的定向反应有关，是被试对刺激物简单物理特点的快速被动选择的结果。这与早期（刺激定向）学说相一致。但进一步的实验表明，在 $N_1$ 成分开始出现之后有时跟着出现一个晚正成分 $P_3$ 或 $P_{300}$ 成分。 $P_3$ 波只被在注意通道不经常出现的刺激所诱发，同样的刺激在未注意通道并不诱发此种成分。这似乎表明 $N_1$ 和 $P_3$ 成分反应了注意的不同层次。例如一个实验向被试两耳以随机次序呈现音节（ba、da、ga、ja）。

被试的任务是选择性的倾听一只耳朵的音节声，并且在觉察到规定的目标刺激时，作按键

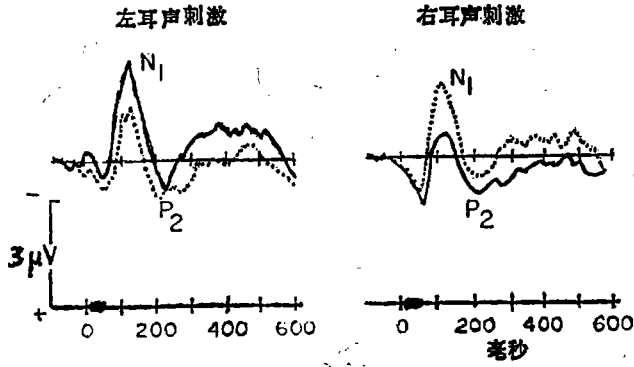


图2 选择注意ERP 注意左耳—— 注意右耳……

反应。对注意耳和非注意耳的目标刺激与非目标刺激所诱发的ERP分开进行平均处理。所得结果如图3，由图上可以看到注意耳比非注意耳所诱发的N<sub>1</sub>波振幅要高，而在注意耳条件下，目标刺激比非目标刺激诱发大的P<sub>3</sub>波。这表明N<sub>1</sub>和P<sub>3</sub>反应出在层级上似乎是两种选择水平。N<sub>1</sub>是在对刺激线索作快速分辨的基础上表现出注意通道和非注意通道之间的选择，而P<sub>3</sub>则是反应了对目标识别后的过程和注意通道中对刺激物特征做更精细分析的过程，在此过程中与所期待的记忆模式或刺激类别相比较并进一步做出评价。

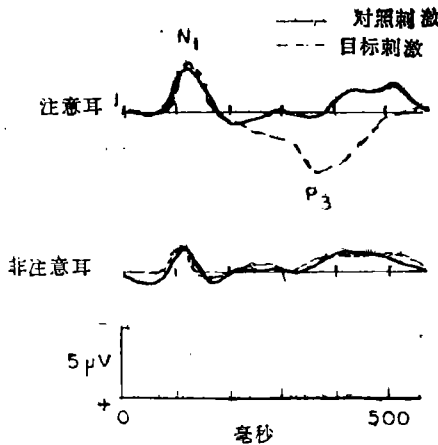


图3 对注意耳与非注意耳呈现音节刺激的ERP

上述看法受到Naatanen 的反对。他认为在短的时间内被试不仅能被动选择刺激物的简单物理特征，也能主动地分辨这些特征。他及其同事的实验表明N<sub>1</sub>效应的增强，可能不是注意定向反应的结果，而是有其他成分参加造成的。他们用了Hillyard的双听模式，结果显示出在注意刺激呈现之后有一个慢负向偏移出现，它显然不同于尖的N<sub>1</sub>波峰而是宽的波形，其分布更偏于脑前区。潜伏期也不像N<sub>1</sub>那样固定 它随刺激参量诸如呈现速度以及注意和非注意通道的分辨难度而变化。在慢速呈现时，N<sub>1</sub>成分之后出现了负向偏移，而在快速呈现时它与N<sub>1</sub>重叠了，因此引起N<sub>1</sub>振幅的明显增强。Naatanen认为这种加工的负向变

化不反应通常的选择性本身，而反应了选择之后所执行的操作。它包括感觉输入与记忆中的存贮表微相比较的主动过程。Naatanen用慢速呈现条件下的电位变化推测和否定快速呈现条件下的诱发电位 $N_1$ 成分是不合适的。因为行为实验已证明只有在快速呈现条件下才能保证被试只监听一边的通道，这是进行选择注意的先决条件。但是认为选择注意不是单一阶段，而是多层次的过程，就这一点来说，他们的看法有共同之处。然而选择注意中记忆因素是如何起作用的，它在诱发电位中是如何表现的仍然是一个有待进一步探讨的问题。

## 二、 $N_2$ 成分和不随意注意

前面讲的 $N_1$ 成分的出现依赖于注意状态的事先建立，即在指导语中要求被试注意某个通道或某种刺激。这种注意是随意控制的不是由刺激物本身决定的。此外，注意也可以由刺激物本身的物理特点和在刺激系列中出现未料到的项目以及在期待的时间内未出现应有的刺激等引起不随意注意。这些异常的刺激往往在诱发电位中产生一个负向的 $N_2$ 成分。

$N_2$ 成分具有通道特异性，即不同感觉通道获得的刺激，其诱发电位在头皮上的分布不同。Simson等(1977)和Renault等(1980)分别用声音和闪光做为刺激物，结果表明听觉诱发 $N_2$ 成分最大峰值出现颅顶区，而视觉刺激诱发 $N_2$ 主要表现在枕区。 $N_2$ 成分另一个明显的特点是它在随意注意和不随意注意情况下产生相同的反应。例如Fod(1976)用音调作刺激，一种条件要求被试对其中的异常声调作反应，另一种条件要被试读书，不去注意音调的变化。结果由异常音调所诱发的 $N_2$ 成分在两种条件下是相同的。在双耳听的实验中也发现对注意耳音调的变化和非注意耳中音调的变化诱发同样的 $N_2$ 成分。在Naatanen等人(1983)的进一步的实验中还发现当被试对差别细微的声音刺激做选择反应时(如1000Hz对1010Hz，要求对后者作反应)，尽管被试在主观上未觉察到二者的差别但也表现出 $N_2$ 成分。实验结果显示出正确觉察和未觉察到声音刺激的差别所诱发的 $N_2$ 成分的振幅几乎是相等的。因此，Naatanen等提出 $N_2$ 表现了以自动方式对环境的变化作出反应的过程，可能参与到定向反应活动中，它要求进一步对感觉输入作知觉分析。

## 三、晚正成分 $P_{300}$

人类诱发电的 $P_{300}$ 成分(或称 $P_3$ 波)是由Sutton等于1965年首先观察到并报告的。自那以后在许多不同的实验情况下都曾经观察到 $P_{300}$ 。在可以诱发此种成分的种种条件中，最经常使用的是“oddball”范式的不同变形。在“oddball”的任务中，向被试呈现两种刺激。一种刺激在实验中出现次数少，另一种出现次数多。它们是以“Bernoulli”的次序出现的。就是说在一次实验中，只出现两种刺激中的一种。在整个实验系列中它们出现的概率是互补的(参看下面的实验例子)。典型的情况是每1—2秒钟呈现一次刺激，要求被试默默地计数出现次数少的刺激数目。结果表明出现次数少的刺激不可避免的总会诱发出 $P_{300}$ 成分。使用各种oddball任务所诱发的 $P_{300}$ 成分在头皮上的分布基本上是恒定的，在颅顶区电极位置振幅最大，在中央区较小，在额区最小。由于篇幅所限，下面仅就造成 $P_{300}$ 的振幅和潜伏期变化的某些行为实验作一介绍。

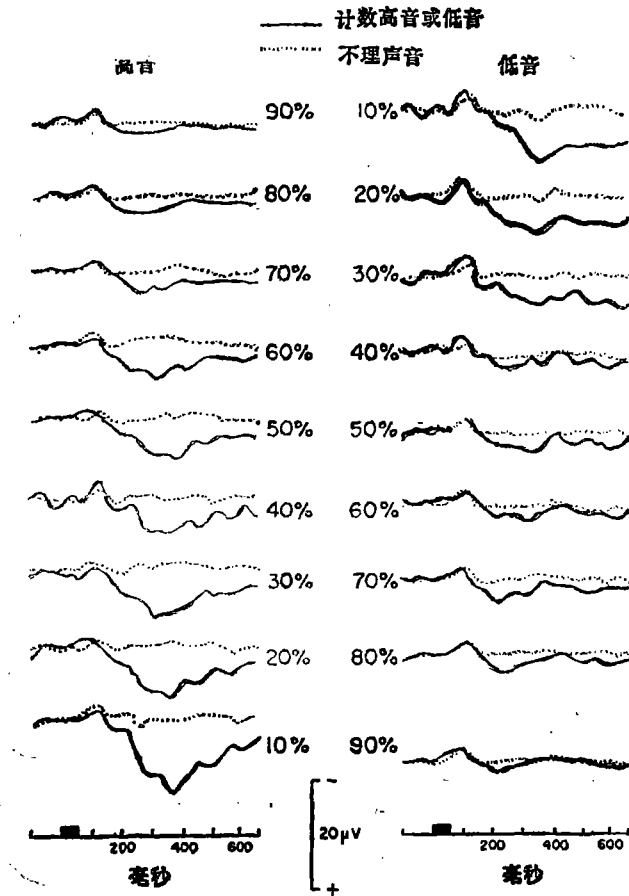


图4 与任务有关(实线)和无关的刺激物呈现概率对 $P_3$ 振幅的影响

### $P_3$ 波的振幅与主观概率

$P_3$ 波振幅大小的变化受与任务有关的刺激物呈现概率的影响。刺激物呈现的概率高则 $P_3$ 波振幅低,反之,刺激物呈现的概率低则其振幅高。例如Ducan-Johnson等(1977)向被试呈现由两种不同音高的声音组成的刺激系列。在不同的系列中,两种声音的呈现概率由0.1到0.9的不同比例组成。实验中要被试计数其中一种音高的出现次数。随着对高概率刺激物的计数,其 $P_3$ 波振幅逐渐降低,而对低概率刺激物的计数则 $P_3$ 波振幅增高。这种反向关系并不因刺激物的物理性质是高音还是低音而有不同。(参看图4)。从图上还可以看到,在呈现同样的刺激系列条件下,给被试的任务不是计数某种声音的出现次数而是解决一个字谜任务或读一本书,结果并不诱发 $P_3$ 波(图4中的虚线)。这表明和被试的任务有关的刺激物的呈现概率决定了诱发 $P_3$ 振幅的大小。这也就是说刺激物的客观概率的变化,可能引起也可能不引起 $P_3$ 振幅的变化,这里决定性的因素是被试的主观参与。

刺激的主观概率对 $P_3$ 振幅的影响更明显的表现在被试对一系列刺激项目的期待水平。当期待的项目确实出现时, $P_3$ 振幅低,如所期待的项目被其他项目代替时则振幅高。例如Squires等人(1976)用高低两种声音刺激组成刺激系列,先后呈现给被试。当用高音作为相关刺激(目标刺激),即要求被试计数高音的出现次数时,发现在目标刺激物呈现

前, 刺激系列的组织模式对 $P_3$ 波有决定性的影响, 如果在目标刺激物出现前, 连续呈现的项目不同于目标刺激物则诱发 $P_3$ 波振幅大, 反之, 如果连续呈现的项目是相同的则 $P_3$ 振幅就小。而且刺激系列末尾呈现的目标刺激所诱发的 $P_3$ 振幅的大小, 是该刺激系列长度的函数, 非目标的刺激系列越长, 目标刺激物诱发的 $P_3$ 振幅越大。

刺激概率对 $P_3$ 振幅的影响还受到刺激之间间隔时间的限制。实验表明尽管是低概率的目标刺激, 但由于刺激间隔时间长则 $P_3$ 振幅不如间隔时间短的振幅高。例如一个实验在电视屏上以oddball 范式呈现两种刺激(三角形和四方形), 要求被试计数方形。方形和三角形的概率以及刺激间隔是变化的。当刺激间隔为1.3秒时, 不管被试是计数什么刺激, 低概率刺激事件诱发一个较大的 $P_3$ 波。而在3秒的刺激间隔条件下, 不管刺激物呈现概率如何, 目标刺激(计数的刺激)诱发一个较大的 $P_3$ 波。Donchin假定这是由于记忆表征衰退造成的。当刺激概率低时, 刺激物表征在工作记忆中减弱, 故诱发 $P_3$ 波, 而高概率刺激其表征在头脑中持续所以不诱发较大的 $P_3$ 波。当刺激间隔加长时, 高低概率刺激的表征都有衰退所以二者都会诱发较大 $P_3$ 波。Karis等(1984)的实验证明了记忆活动与 $P_3$ 波振幅的关系。他们发现对词的回忆(机械回忆)比不回忆诱发较大的 $P_3$ 波(详见参考文献6)。

### $P_3$ 波潜伏期和反应时间

在Sutton的早期实验中, 刺激呈现后300毫秒左右诱发出一个正向成分脑电波。后来的研究发现 $P_3$ 波的潜伏期(从刺激物呈现到 $P_3$ 波峰的出现其间所经历的时间)是变化的。其范围大体在250—700毫秒之间。这种变化是由什么因素引起的呢? 它是否与行为实验中的反应时指标的变化有一定的关系呢? 近些年的研究表明 $P_3$ 潜伏期的长短主要取决于被试对刺激物进行评价或分类的难度, 而它与反应时的关系却并不一定是对应变化的。

Kutta(1978)等的实验证明了由刺激物的识别难度而引起 $P_3$ 潜伏期的变化。他们向被试呈现由两种不同的项目组成的随机序列。其中一种项目的数量为总数的20%, 另一种为80%。在三组实验中两种比例的刺激项目分别为一个男人名字和一些女人名字; 一些不同的男人名字和一些女人的名字以及一个词的同义词与非同义词组成。要求被试用按键法对低比率的词作反应。结果表明,  $P_3$ 潜伏期在第一种条件下最短, 第二种条件次之, 第三种条件用时最长。这是由于在第一种条件被试较易做分类判断, 而在第三种条件则较难进行判断造成的。

Adam等(1978)、Fod等(1979)先后用Sternberg的短时记忆提取实验范式探讨了视觉诱发电位潜伏期的变化情况。他们向被试呈现不同数量的数字, 要求进行识记。当一组数字呈现完, 马上呈现一个探查数字。被试的任务是判断在前面呈现的数字系列中是否有此探查数字, 从而做出肯定或否定反应。实验结果表明, 随识记数量的增多,  $P_3$ 潜伏期亦增加, 这说明 $P_3$ 潜伏期的变化与对刺激物的主观评价难度密切相关。

在认知行为实验中反应时常作为一个重要指标。但反应时作为一个时间指标, 它代表一个完整的认知过程所需的时间, 其中包括对刺激物的编码、选择决策和反应等几个环节。 $P_3$ 潜伏期的记录则是在头皮外的直接引出, 是上述认知过程所伴随的不随意的生理表现, 它只是上述认知过程某个环节的表现。从时间进程上看反应时与潜伏期二者有一定关系但又有差别。例如Kutas等人(1977)发现如果实验要求被试作精确反应的时候, 对刺激的

加工就必定是在作出反应之前进行，这时 $P_3$ 潜伏期与反应时的相关是高的，而且 $P_3$ 是在行为反应之前出现。然而当要求被试对刺激物作尽快反应的时候，此时被试往往是对刺激物还未作完全加工就作出反应。表现出反应时是快的，而且在许多情况下是出现在 $P_3$ 反应之前，在那些作出不正确反应的实验中，反应时总是先于 $P_3$ 而出现。

McCarthy等（1981）的实验进一步证明了 $P_3$ 所代表的认知加工阶段以及它与反应时指标的关系。一种假定认为在选择反应实验中，对刺激物所进行的编码加工和作出选择反应两个阶段是独立操作的。根据此假定他们使用了“因素相加”程序即在实验中分别改变编码阶段的实验条件和反应阶段的实验条件，同时观察它们对 $P_3$ 潜伏期的影响。具体实验时，要被试对呈现屏幕上的“左”或“右”两个词用右手或左手做选择反应。每个词以相等的概率用大写或小写的形式呈现。当用大写时，刺激词的意义和反应手应是匹配的，即右手反应“右”字，左手反应“左”字；当用小写字时，刺激词义与反应不匹配，即右手反应“左”字，左手反应“右”字。实验表明这种不匹配实际上造成被试反应时间的增加。这是由于对反应作出选择和对动作进行组织所要求的时间增加，故而延长了反应时间。

实验中“左”和“右”两个词分别在屏幕上呈现时，可能是只呈现这两个词本身，也可能是用许多字母（噪音）将两个词掩蔽起来。“噪音”字母在每次实验时随机选择，其大小与构成目标词的字母一样。对有噪音掩蔽的刺激项目进行加工时，要求更多的时间，这从反应时间的增加可以看出。通常将这种反应时间的增加归之为对刺激的评价过程，在很大程度上与反应过程无关。在刺激-反应不匹配的条件比匹配条件反应时间大约增加100毫秒，而当刺激字被噪音掩蔽时，无论在匹配或不匹配条件反应都变慢。因此刺激-反应不匹配以及噪音掩蔽二者的效应是相加的。这意味着它们影响着不同的而且被认为是各自独立的加工阶段。也就是说噪音掩蔽影响着对刺激物的评价过程，而刺激-反应的匹配性则影响着对反应的选择。McCarthy等的实验结果表明在增加噪音掩蔽的条件下， $P_3$ 潜伏期慢了60—70毫秒，它完全不受刺激-反应匹配与否的影响。因此可以肯定影响反应时间的两个因素之一影响着 $P_3$ 潜伏期，而影响对反应进行选择的因素对 $P_3$ 潜伏期无影响，此结果受到Magliero等（1984）的支持。

#### 四、与信号作用和予期相联系的慢电位

Walter在1964年发现了一种脑电现象。他向被试先后呈现两个刺激，第一个刺激是预备信号，随后间隔一秒多钟呈现第二个刺激。事先指导语要求被试在听到第二个刺激后要尽快做出按键反应。结果发现在第一个刺激和第二个刺激之间的间隔时间内，从被试头皮外记录到一个负慢波，其波幅逐渐增高，当反应活动出现时达到最高，可达25微伏。因此慢波好像依赖于前后刺激间的联系，所以Walter称此为附随负变化（英文缩写为CNV）。后来人们对这种现象进行了大量的生理心理研究，对它所代表的心理学意义提出种种猜测。不同的实验分别提出CNV振幅的高低与注意、觉醒、动机、期待能量的输出、意动、期望、准备行动等变量有显著相关。但是这些心理学概念的定义都不是很严谨的，它们之间在意义上有许多交叉和重叠。因此并不能说明确切的心理学含义。

近些年来一些人通过实验表明CNV并非是一种单一的脑电成分，它是由早期的诱发电和晚期的动作电位合并而成。他们认为传统的CNV现象的出现是由于实验采用的前后刺激

之间的间隔时间短（在1—1.5秒之间）造成的。当把间隔时间加长，譬如加长到3秒以上时，就会出现两个不同的波形。第一个刺激呈现后所诱发的波形其峰值在一秒左右，第二个波形的峰值紧挨在反应活动出现前。在长间隔条件下CNV的这种两阶段的性质受到许多报告的支持（看参考5）。第一阶段的波形被认为是一般的诱发电，它是由警告信号引起。这种由警告信号所诱发的电位与由同样的刺激单独呈现时所诱发的脑电位在头皮上的分布是一样的。它们是由不同的正负成分组成。其波形正负走向与任务有一定关系也与在头皮中线不同部位的记录有关。例如由不同呈现频率所诱发的脑电成分，虽然由于被试对它们的目标指向不同而在波幅上有一定差别，但都包括P<sub>3</sub>成分以及随后出现的脑前区的负慢波和颞顶区的正慢波（Loveless, 1983）

第二阶段的波形好像表现了预备电位。它是被试自身发动活动期间的负电位偏移。当两个刺激（警告信号和命令作运动反应的信号）之间的间隔时间是固定的，即被试可以较好地猜测命令刺激的呈现时间时，他的反应时较短，同时其CNV的终端电位振幅增加；而当两个刺激间的间隔是变化的，即对命令刺激的出现时间不能准确猜测时，其电位就消失了。实验还表明对被试指导语的不同也影响第二阶段电位的波幅。例如当要求被试一听到命令刺激时就尽快做反应，或要求被试对命令刺激作精确分析后再作反应。由于这两个指导语的不同，前者的反应时快，错误率高，而预期电位也高；后者反应时长，错误少，不出现预期电位。这些似乎都表明第二阶段电位的出现与对运动反应的准备有关，当将第二阶段的电位与一般的预备电位相比较时就会发现，它们在波形特点以及在头皮上的分布都颇相似。首先二者都是在运动反应执行之前1—2秒钟开始逐渐出现，而且其负偏移电位在运动皮层区最为突出；再者两种电位都是在反应手的对侧运动区占优势。当要求用脚做运动反应时，二者又都表现为同侧优势（Brunia, 1980, 1981）。

尽管对命令信号的反应电位类似于运动反应（包括肢体、眼动、言语活动等）的预备电位，但一些实验也表明在没有要求作运动反应的实验中，当第一个信号出现后仍表现出电位的负偏移（虽然比要求运动反应的电位小）（Walter 1967, Donchin 1972）。这是否就是真正的CNV呢，Rorbaugh等（1983）认为在无反应要求条件下，所出现的电位变化类似于（或就是）传统的非成对信号刺激条件下所获得的电位变化。

由以上所述可以看出对于CNV是否是一种名附其实的附随负变化电位提出了不同的看法。实际实验表明它可能并不是真正的附随在两个刺激之间的一种负波，而可能是由许多因素诱发并由多种脑电成分复合而成的一种复杂波形。至于这些波形的心理学含义是什么还有待更进一步的分析研究。

## 五、语句加工中的N<sub>4</sub>成分

许多ERP研究使用语言信号（听觉或视觉的）作为刺激物（Wood 1975, Molfese等1980），他们得出结论认为ERP对于整体的言语知觉范式的变化是敏感的。Kutas等（1980, 1981）用建立对上下文期待的方法研究ERP的变化。这种期待的方法影响了人们对字母、词、句子和短文的识别和记忆。例如他们要被试对句子进行视觉加工。这些句子中有的符合被试对上下文语义的期待有的不符合他们的期待。对这些句子进行加工的同时记录ERP。以此法研究语言现象中上下文因素的作用。具体作法是要求被试读句子，一次呈现一个词，事后要求回答有关句子内容的问题。这些句子大多是简单的和有意义的如“他喝



了一点凉水”。但其中有大约25%的句子是由不适宜的词结尾的，如“他喝了一点话筒”，因而使该句子成为无意义的。对这两类结尾词的句子所诱发的ERP进行比较，发现对意义上异常词的反应特点是在刺激呈现后300—600毫秒之间出现一个负成分（定其为 $N_{400}$ 或 $N_4$ ），而对语义上适宜词的反应是不明显的。进一步研究表明并非对语言的上下文中所有的引起“惊奇”或“意外”的词的形式都表现出 $N_4$ 。例如在句子中语义上适宜的词是以特大号字型或黑体字出现时，这种“惊奇”明显地使一种晚正复合成分增强。此外，这两种不同的ERP效应（ $N_4$ 和晚正成分）似乎可以被同样的词所诱发，如果这些词在语义上是不适宜的而在字形上又是奇特的大时候。Katas等后来用不同长度的句子组成短文作为实验材料。其中有的有语法和语义的错误，实验结果如图5所示。语义上不适宜的词不管出现在结尾还是在句子中间都诱发出非常相似的ERP效应。在上述两种情况下 $N_4$ 都有一个中央—顶—枕区的分布。文法异常的短文（如没料到会出现的不正确的动词时态或名词数），不像语义异常所诱发的具有相同的ERP形状。因此 $N_4$ 的出现很可能与语义加工的某些方面有关。

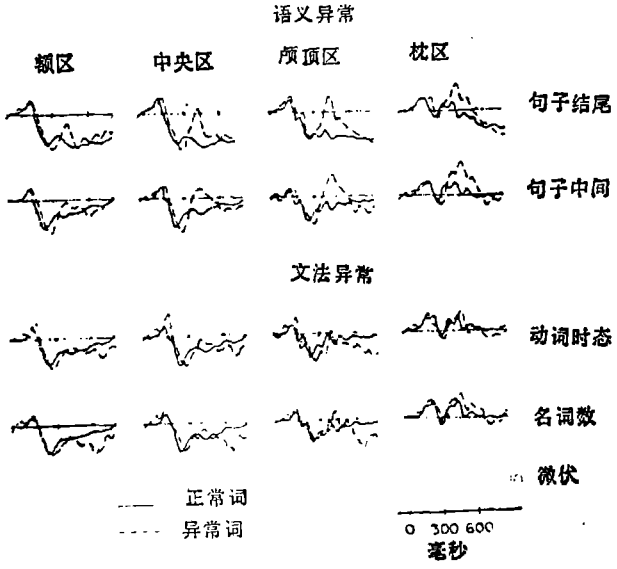


图5 语义和文法异常的句子的ERP

## 六、ERP的应用研究

### 1. ERP的临床应用

选择注意缺损在许多不同的临床综合症中表现出来。其中包括精神分裂症、多动症、学习不能以及老年性痴呆症等。研究发现多动症儿童 $N_d$ 成分减弱。这表明此种儿童从无关输入中做早期选择时存在问题。此研究是让儿童作听觉注意选择任务，其中 $N_d$ 和 $P_3$ 成分与正常儿童相比大为减小（Loiselle等1980）。这些ERP减少与行为测验中，在注意和警觉方面的较低记分呈正相关。

前叶损伤的病人也发现在选择注意双听音调的任务中 $N_d$ 成分减小。这表明前叶有控

制早期注意选择的作用（但不一定必然对产生Nd波起作用）（Knight等1981）。许多研究报告表明在各种任务活动中，P<sub>3</sub>成分随年龄增长其潜伏期逐渐增加（Beck等1980）。有老年性痴呆症状的人，其P<sub>3</sub>成分显示出更大的延迟（Gooding等1978）。ERP的这种表现意味着对刺激的评价和分类过程或者随后的决策过程的变慢（它与老年人可能存在的任何运动活动的变慢无关）。

广泛的认为精神分裂症患者具有注意缺损，但它是对注意的加工早期还是晚期阶段产生影响，尚不清楚。目前尚无研究报告说明N<sub>1</sub>效应或其他早期指标是否存在。已有报告表明精神分裂症患者P<sub>3</sub>成分变弱（Roth等1980）。

## 2. ERP应用于工效学

脑事件相关电位也可做为工具应用于工效学的有关问题研究。因为在工效学的研究中涉及到人的因素，其中人的认知因素是主要的。因此对认知因素的评价就成为必须的，以ERP为基础的生理心理学方法可以用于此目的，前面已谈过当意外的和有关的任务存在时，表现出P<sub>3</sub>成分，无关刺激不诱发P<sub>3</sub>成分。如果刺激只是部分有关时又将如何呢？这是在工效学中研究心理负荷现象时常碰到的问题。

①ERP应用于心理负荷的研究。完成一个任务所消耗的加工源的多少常用以评断负荷的大小。二级任务技术常用作测量心理负荷的方法。所谓二级任务是指在完成主要任务的同时完成另一附加任务。一般认为，当要求同时完成两个任务时，其作业不如单独完成一件任务时水平高。由于ERP（特别是其中的P<sub>3</sub>）可以反应认知加工过程的某个阶段，所以可用它作为指标探查心理负荷的阶段性。例如Wikens（1977）首次报告了用补偿追踪任务作为初级任务，而把oddball范式作为二级任务。具体作法是被试坐在显示屏前，要求用操纵杆的运动抵消计算机产生的游标运动。使游标叠加在处于显示屏中心的目标上。此任务的难度因追踪是一维变化或二维变化而有不同。此补偿追踪任务定为初级任务，完成此任务的同时要求被试对以Bernoulli系列呈现的高低声调（此为探查任务也是二级任务）中的一种声调的出现次数进行计数。为了比较的目的而采用的对照条件则是只完成无追踪的任务。实际结果表明在追踪任务期间，由探查任务所诱发的P<sub>3</sub>成分的振幅比无追踪任务情况下降低。但当增加追踪任务的难度（一维变二维）时，P<sub>3</sub>振幅并未进一步变低。这项实验以及此后的一系列实验表明，这种实验难度的增加并不是知觉难度的增加，只是对反应活动的难度要求增加，因而P<sub>3</sub>振幅不再下降。因为P<sub>3</sub>主要是反应认知过程的前边阶段（知觉评价阶段）的活动。这类实验结果对设计和评价复杂的追踪任务系统是有用的。例如若要求操作者对操作追踪反应较注意，那么要求同时完成的操作任务就应尽量减少其知觉-中枢加工负荷。

②技术熟练化与ERP。关于熟练化的发展有两阶段说和连续发展说（Shiffrin等1977；Hirst等1980）。但它们都与某种假定的资源（resources）调节有关。在完成任务的初期，由于不熟练，完成任务相对困难，因而要求对任务分配更多的知觉资源和操作资源。如果P<sub>3</sub>振幅在事实上，确实是分配到一个作业任务的知觉资源数量的指标，那么设想，作为一个熟练行为发展基础的资源调节，在P<sub>3</sub>振幅中就应该反应出来。

根据二级任务范式，由二级任务探查诱发的P<sub>3</sub>成分，当初级任务熟练化，其振幅应该增加。P<sub>3</sub>振幅的这个变异可以假定是由于分配到二级任务的加工资源数量的增加造成的。Kramer等（1983）所做的目标获得的研究其结果与此假设是一致的。在此实验中，两组

被试对任务作不同水平的练习。一组接受120次实验，另一组接受520次练习。然后记录ERP。行为指标表明高度练习组比低练习组作业较好，当被试对任务相对无经验时，初级任务操作的难度减弱了P<sub>3</sub>振幅，较复杂困难的任務诱发较小的P<sub>3</sub>振幅。当被试对任务彻底练习后，二级探查任务诱发的P<sub>3</sub>振幅对于不同的负荷水平是同样的。在航空模拟的操作负荷研究中也得到同样的结果(Natani等1981)。这些结果都表明，在监视人们操作复杂系统熟练化的过程中，由P<sub>3</sub>振幅推论所需资源的调节可能是有用的。P<sub>3</sub>对知觉资源的敏感，对于随练习而出现的资源分配的变化可提供有用的信息。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] Evoked brain potentials and behavior. Edited by H. Begleiter, New York: Plenum press, 1979.
- [ 2 ] Pritchard, W.S. Psychophysiology of P300. Psychological Bulletin, 1981, 89, 506-540.
- [ 3 ] Cognitive neuroscience. Edited by M. Gazzaniga, 1983.
- [ 4 ] Physiological correlates of human behavior. Volume 2: Attention and Performance. Edited by A. Gale, J. Edwards, Academic press, 1983.
- [ 5 ] Tutorials in event related potential research: Endogenous components. Edited by A. W. K. Gaillard and W. Ritter, North-Holland Publishing company, 1983.
- [ 6 ] Psychophysiology: System, Processes and Applications. Edited by M. G. H. Coles, E. Donchin and S. W. Porges, The Guilford press, 1986.