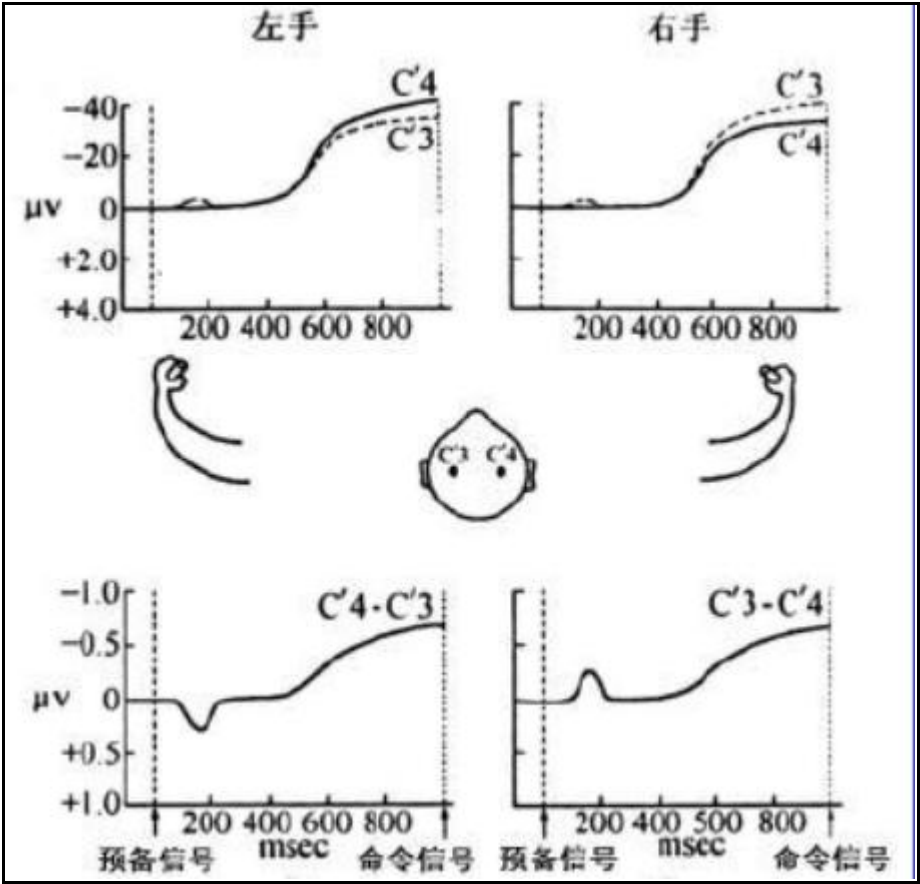
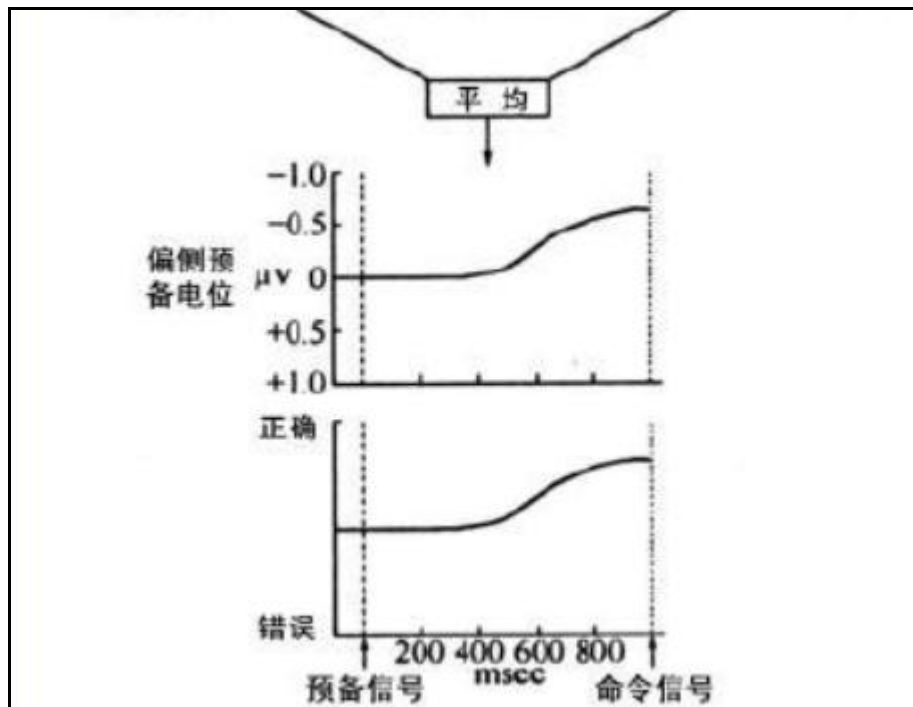


ERP 的主要成分

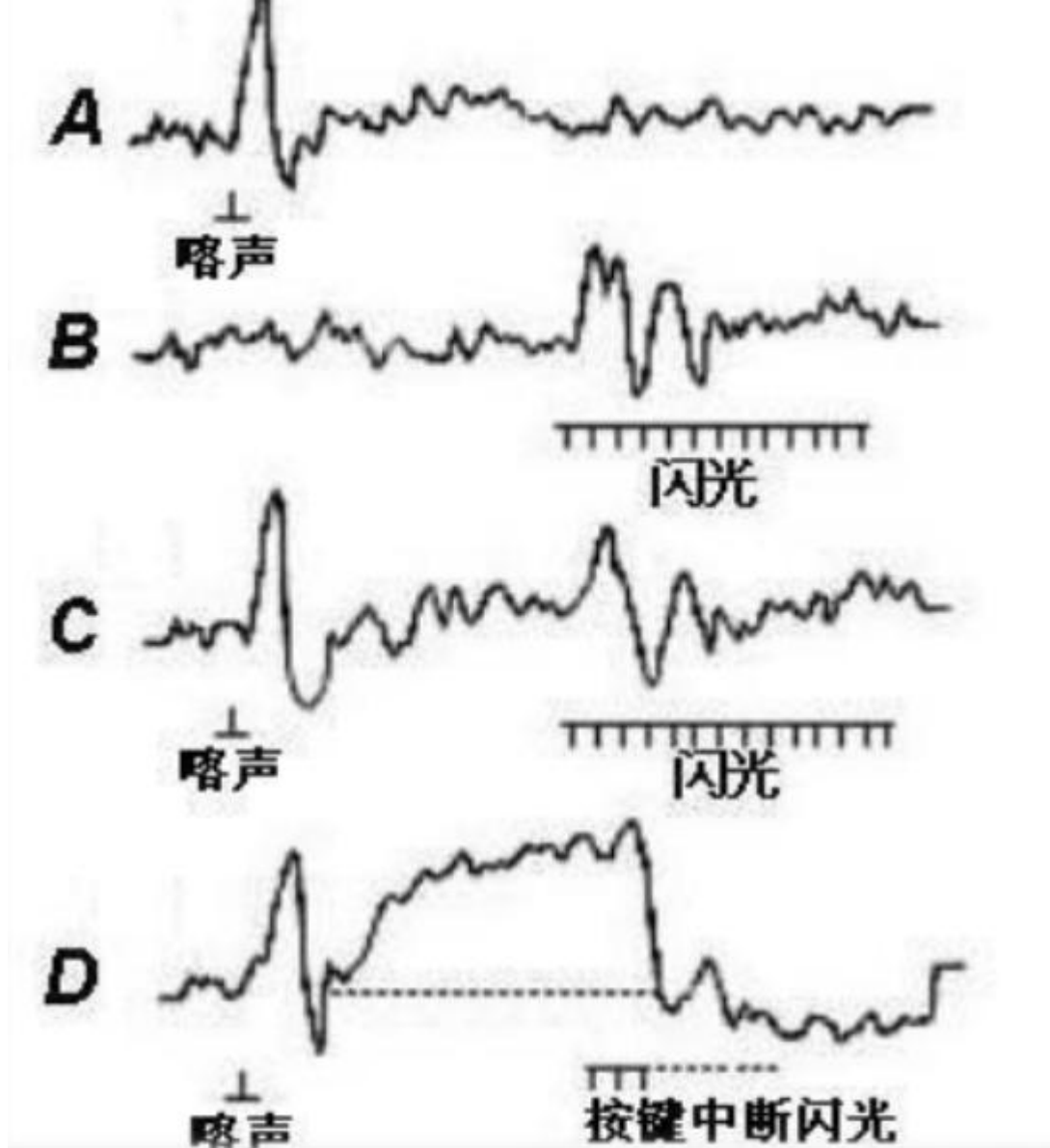
一、偏侧预备电位 LRP 的获得

1、1989 年 Coles 命名。 2、如上所述，在令被试对命令信号做反应的 CNV 中含有运动预备电位 BSP，且运动肢体对侧头部记录到的 BSP 波幅高于同侧。左图是 LRP 示意图。第 1 行图表示在 CNV 中左右手按键时在左右脑手运动区代表点 C'3 和 C'4 所引起的 RP(预备信号诱发的 ERP 晚成分未绘出)，左右手皆对侧高于同侧。





3、在有些情况下，在 RP 中会掺杂某些与 BSP 无关而且总是一侧半球偏大，甚至只在一侧半球出现的电位。如第 1 行图所示之小突起仅出现在 C'3，即在约 180ms 总是出现一个负成分。实际上，CNV 中含有预备信号诱发的 ERP 晚成分与 BSP 混在一起，需要剔除。为了剔除这种电位而得到纯的 LRP，可将左右肢运动得到的电位，首先分别进行对侧减同侧，得到两个差值（第 2 行图），然后将这两个差值平均，即得到 LRP，如第 3 行图所示。经过这样处理，掺杂的成分



（小突起）就被剔除了。

二、伴随性负变化 CNV(contingent negative variation)

(一) CNV 的发现

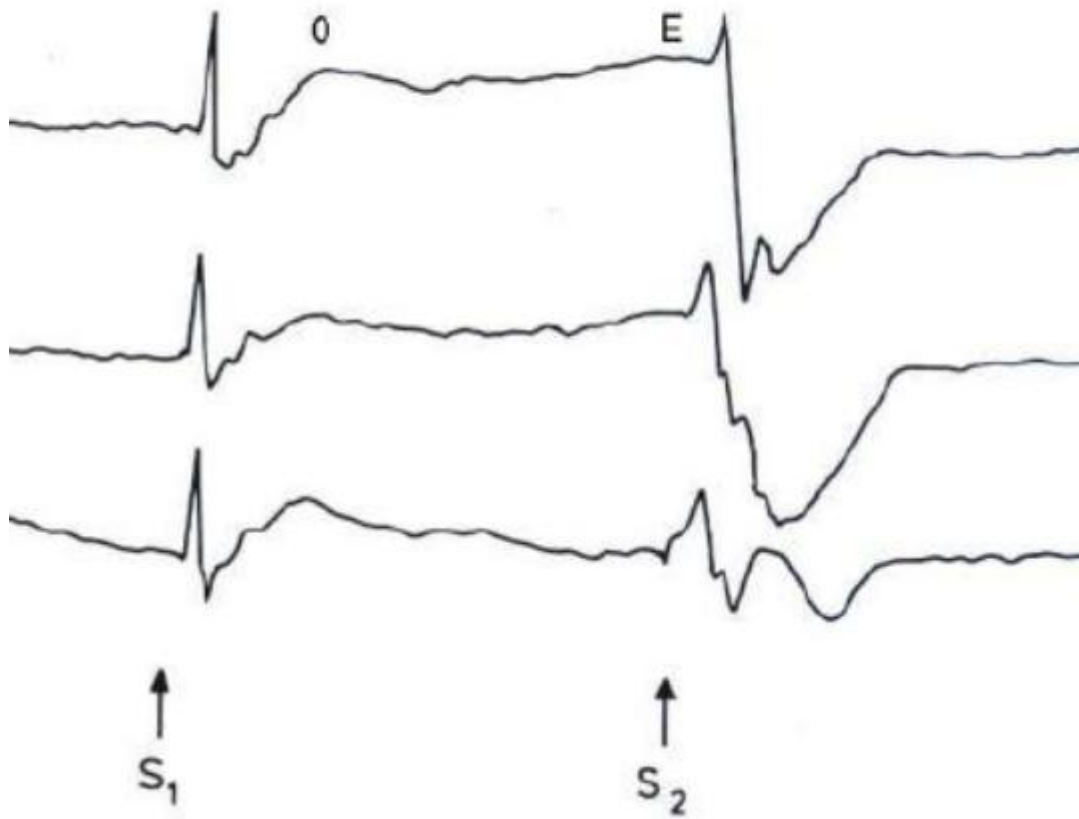
1.1964 年为 Walter 和 Cooper 等所发现。发表在“Nature”. 2.叠加 12 次，Cz. 3.A:喀声，B:闪光,C:喀声+闪光

4.以上三种情况都不出现 CNV. 5.D:令被试在闪光出现时尽快按键,按键即将闪光终止，只有这时才出现 CNV.

(二)CNV 与心理因素关系的各种假说，O 波与 E 波

各实验室一致证明 CNV 主要与心理因素相关，但究系何种心理因素所致，各家分别提出关于 CNV 系期待、意动、朝向反应、觉醒、注意、动机等不同假说，未能统一。同时，学术界逐渐认识到 CNV 不是单一的电位。例如，Weerts et al.(1973),Loveless et al.(1974)提出 CNV 是由 2 个成分构成的，一为 orientation wave (o 波)，在约 650ms 达到峰值，系对 S1 的朝向反应所致;一为 expectance wave (E 波)，在约 S2 出现时达到峰值，系对 S2 的期待所致。其后，Gaillard

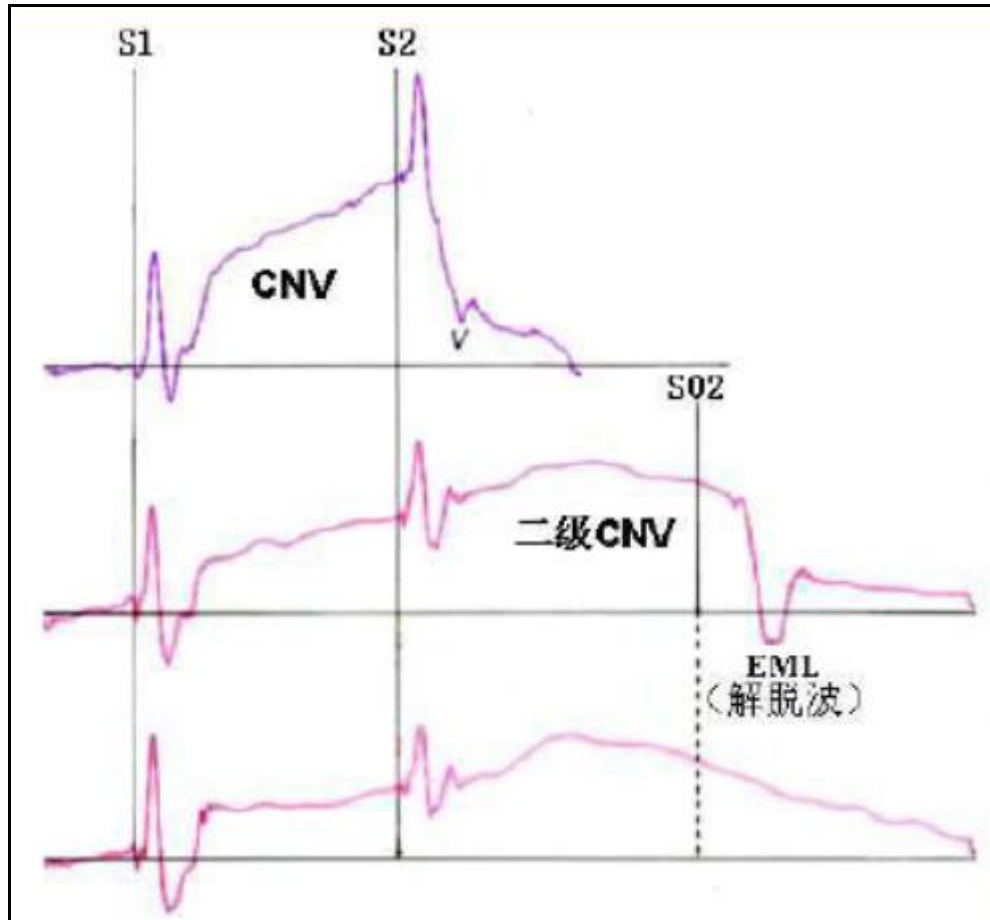
(1976) 证明, O 波与 E 波在头皮分布 (O 波靠前) 与影响因素 (如运动仅影响 E 波, 仅 O 波听觉大于视觉) 不同, 确



为不同成分, 但 E 波非为期待, 而是 RP。

(三) 解脱波和二级 CNV 的发现, 关于 CNV 的心理负荷假说:

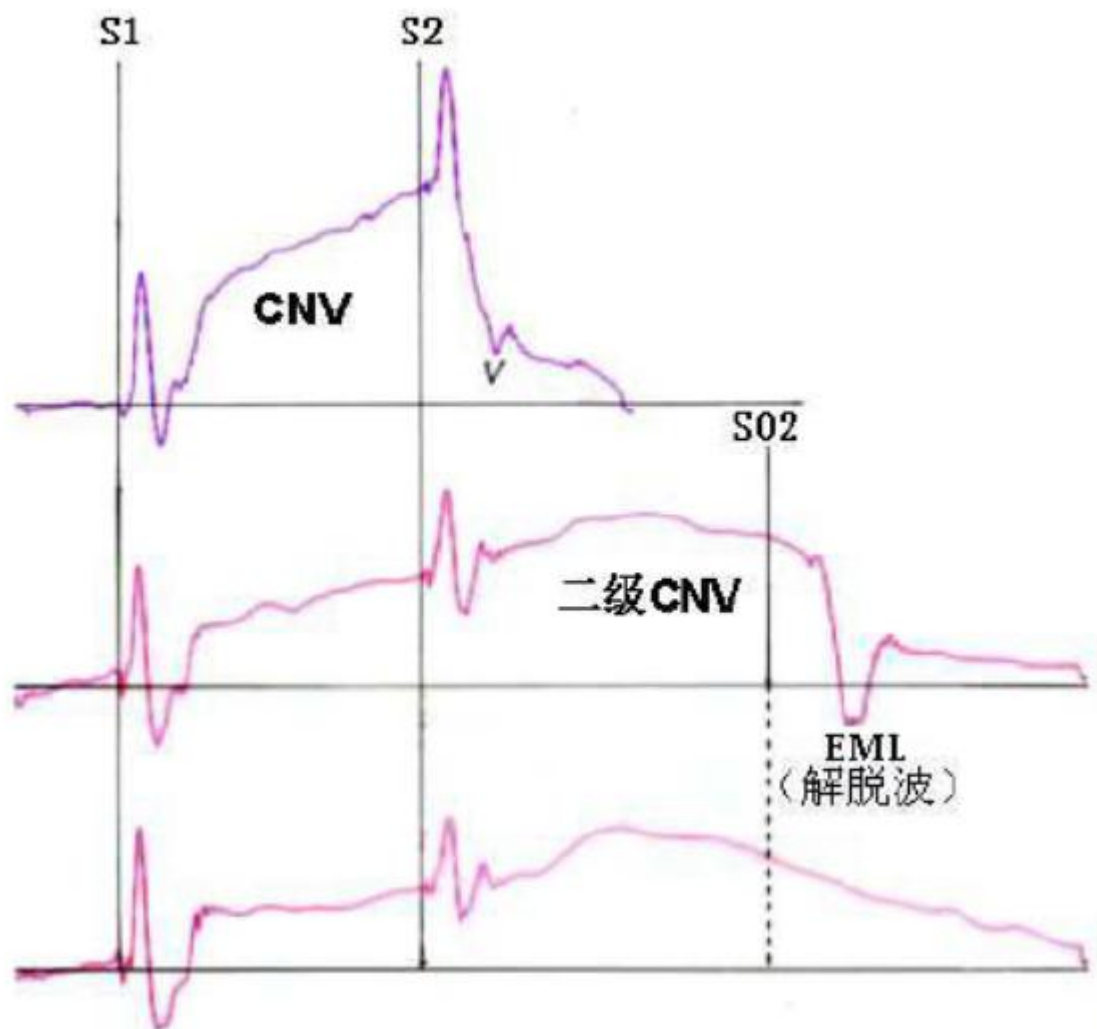
魏(1984, 1986, 1987)设计出无运动二级 CNV 实验模式(TL.CNV), 首先观察到解脱波(Extrication of mental load, EML), 促进了这个问题的进展。



1.刺激信号增加为三个，将其间出现的脑电变化分成了两段，以观察脑电是否逐级升高;第三个信号 S_02 介于听觉阈限与 ERP 阈限之间。 S_1 、 S_2 、 S_02 的间隔分别固定为 1.5 秒与 1.7 秒。 S_1 与 S_2 每次皆出现， S_02 仅以 50%的概率随机出现。

2.令被试判断 S_1 与 S_2 后是否出现了 S_02 ，并记忆 S_02 出现的次数。强化被试认真努力。

3.分别叠加 S_1 出现与不出现的 ERP。取消了经典的 CNV 模式中的按键反应，可排除意动和运动因素,以企突出心理因素;由于 S_02 本身不能引起脑电变化，则其后若有脑电变化,必为心理因素所致。这种实验模式称为无运动二级 CNV 模



式(命名之为 NmTL.CNV 模式)

结果:

1. S₁与S₂间出现了负向偏转 (CNV), 在 S₂与S₀₂间出现了更大的负向偏转, 此即二 级 CNV.
- 2.只有在 S₀₂ 出现的条件下 ERP 才于 S₀₂后骤然下降, 形成了一个正波, 在 S₀₂ 不出现的条件下 S₀₂ 后 ERP 没有骤然下降, 不形成任何波。由于 S₀₂本身不会引起 E 脑波变化, 那么此正波必为心理因素所致。

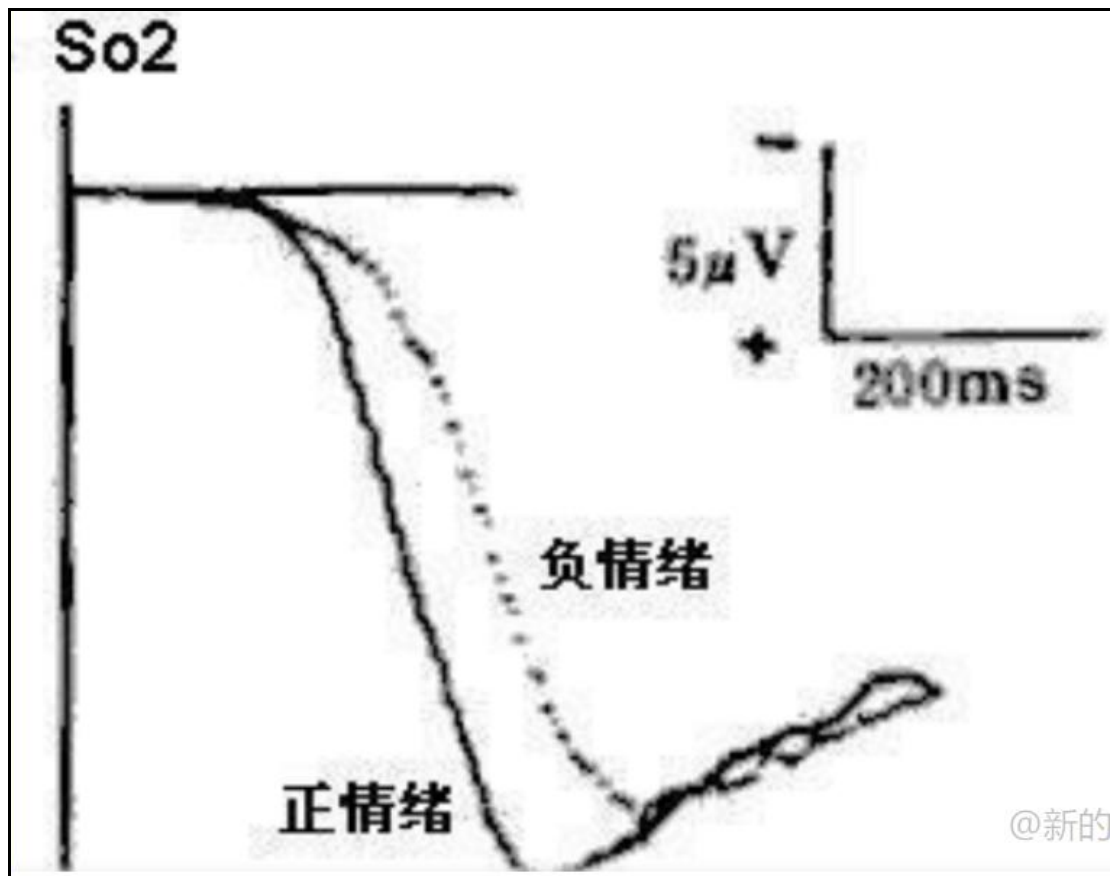
讨论与结论:

1.S₀₂过分微弱, 当被试在 S₁ 与 S₂ 后没有听到 S₀₂ 时, 存在三种可能: S₀₂ 出现的时间还没到、S₀₂ 出现了而我没听到、这一次没有 S₀₂, 被试不能断定是哪种情况, 心理负荷不能解脱。而当被试在 S₁ 与 S₂后听到 S₀₂ 时, 记一次数, 心理负荷立刻解脱。因此, 心理负荷的解脱是引起该正波的原因, 二级 CNV 的增大是由于随着 S₀₂ 的逐渐临近, 心理负荷逐级加重所致, 依此将该正波命名为解脱波(extrication of mental load, EML)。

2.据此提出了心理负荷加重假说, 认为 CNV 心理因素的性质是在完成同一种任务时由期待、意动、朝向反应、觉醒、注意、动机等多种心理因素综合构成的心理负荷加重。该假说是对此前诸单个心理因素假说的统一, 至此, 关于该问题的研究已告一段落, 从此已无人再认为 CNV 只与单个心理因素相关了。

补充

解脱波与情绪的关系-----猜测 CNV 实验模式 (G.CNV)



三、P300

(一)1965 年 Sutton 等发现，“Science”

(二)Oddball 实验模式:

对同一感觉通路的一系列刺激由两种刺激 组成，一种刺激出现的概率很大（如 85%），称为标准刺激；另一种刺激出现的概率很小（如 15%），称为偏差刺激。两种刺激出现的顺序是随机的。这样，对被试者来说偏差刺激具有偶然性。令被试者发现偏差刺激后尽快按键或记忆其数目。此时偏差刺激已成为靶刺激。如此可在偏差刺激后约 300 ms 观察到一个正波，此即 P300。

(三)P300 与注意、概率、靶的关系:

注意效应、概率效应与靶效应 注意实验:只对高频刺激记数（左图实线为靶，右图实线为非靶）

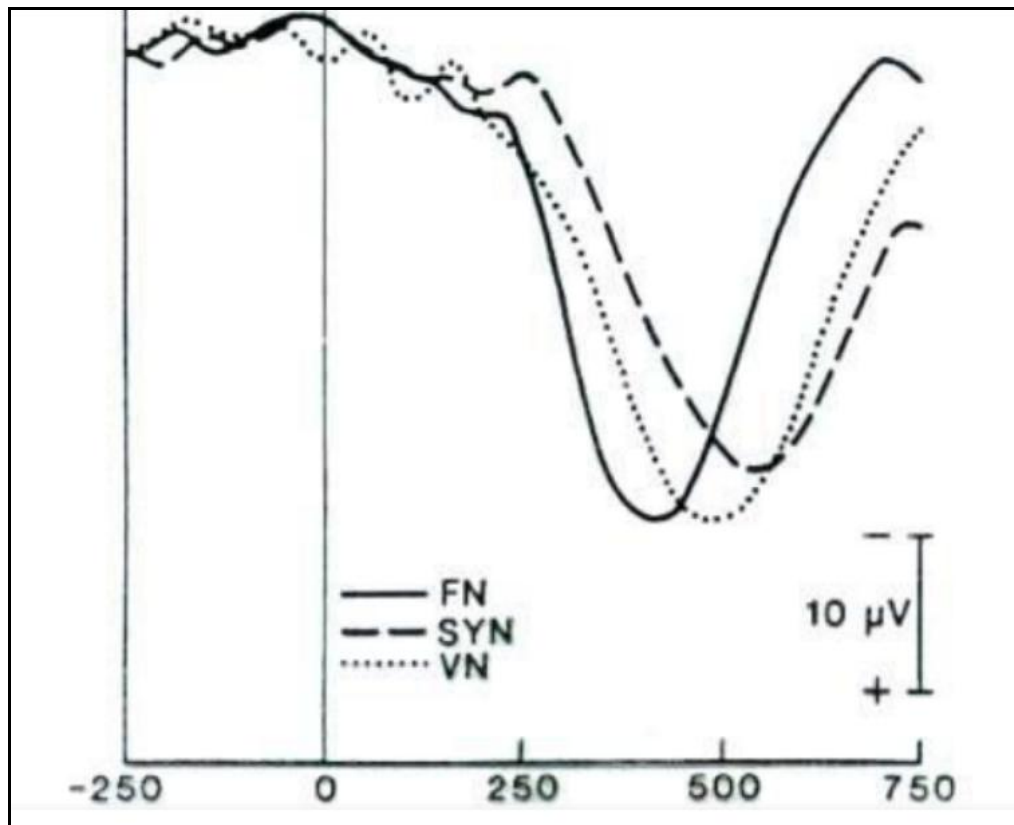
非注意实验:进行视觉加工任务，如困难的词汇判断（左右图虚线皆为非靶）。结果:

注意是产生 P300 的条件。

P300 波幅与概率成反比，靶与非靶皆然。

同概率的靶 P300>非靶 P300.

(四) P300 的潜伏期随任务难度的增加而增加



3 项实验，各含 2 种刺激，以大小不同概率出现。实验 1 实线:判断具体名字是否相同。

实验 2 虚线:判断名字性别。

实验 3 断线:判断是否为“刺”的同义词。[扎、挑]

(五)P300 的源

头皮记录 Pz 点波幅最高。

(六) P300 的理论

目前尚存在不同意见。一种观点认为，P3b (P300) 代表知觉任务的结束。按照这种观点，P3b 代表某种刺激加工的抑制，当对所期盼的刺激作某种有意识的加工时，相关的顶叶或内侧颞叶部位被激活，产生负性电位，一旦这一加工结束，则这些部位受到抑制，此时即产生 P3b。另一个被心理生理学研究广泛支持的假说是 Donchin (1979,1981)根据他们设

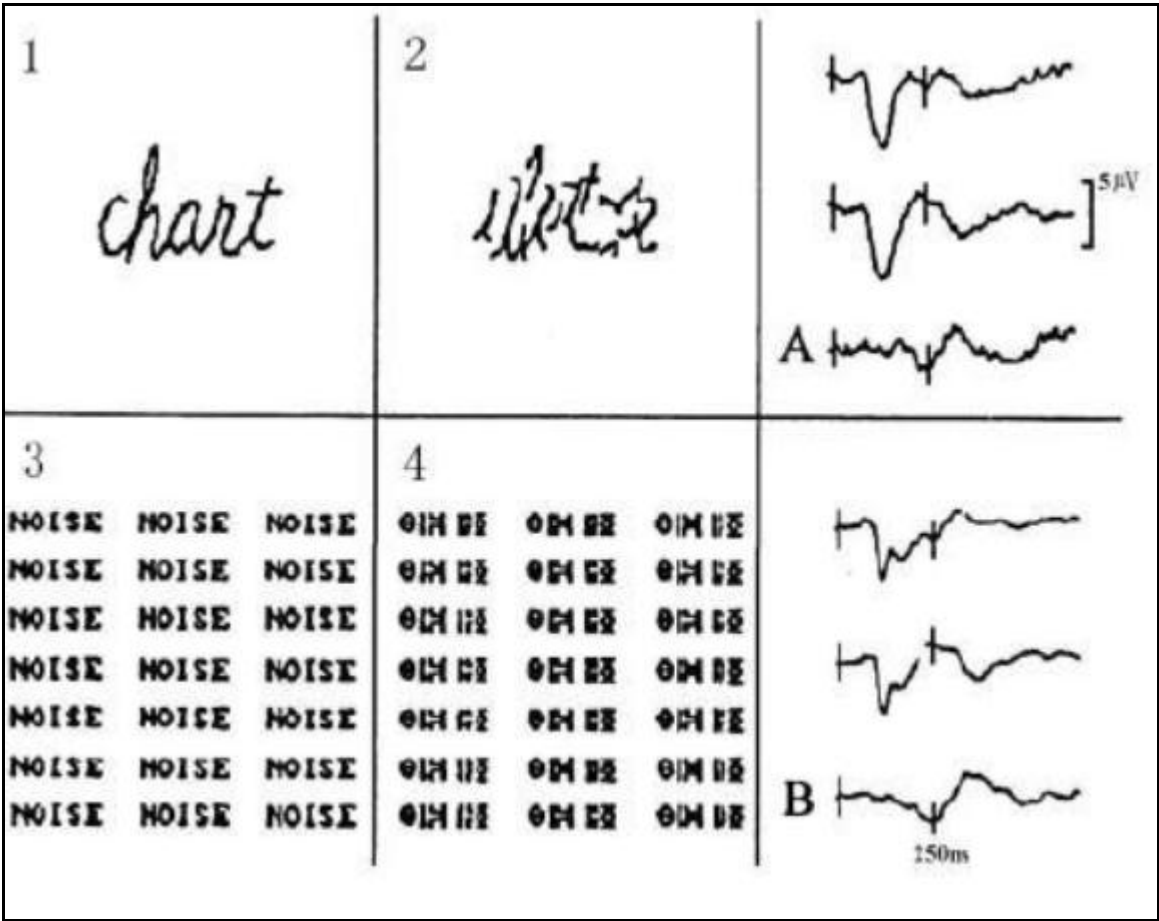
计的精密实验及其结果提出的，认为 P300 的潜伏期反映对刺激物的评价或分类所需要的时间，P300 的波幅反映工作记忆中表征的更新程度（未预料性/概率）。其他假说，诸如认为 P3b 与模板匹配有关等观点，均可归纳在这一概念之中。

四、识别电位 RP (Recognition potential)

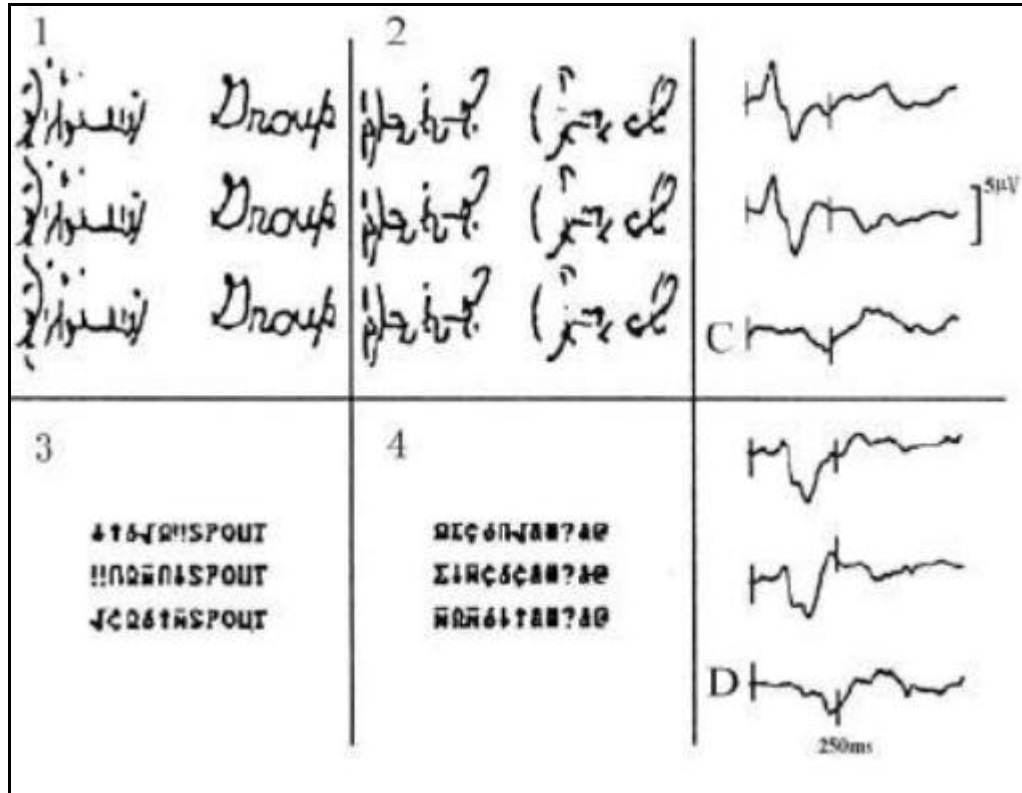
(一) 1990 年 Rudell A.P.发现。

由可识别的视觉刺激诱发的 200-300ms 的负电位。

(二)RP 出现的条件



图的左列（1、3）为可辨认的词。它们诱发的 ERP 绘于其右列第 1 行。中列（2、4）为不可辨认的物理参量相同的乱码或非字。它们诱发的 ERP 绘于其右列第 2 行。第 3 行（A、B）为差异波。短竖线为 250ms 处。实验结果表明，无论字词单个呈现还是多个同时呈现皆诱发出 RP,而被试不可辨认的视觉刺激不诱发 RP.



该图绘制格式与上图相同。与上图的区别只是可辨认的词与不可辨认的对照物混合呈现（1、3），2、4则全部为不可辨认的对照物。实验结果表明，无论字词是手写体(group)还是印刷体，或者可辨认的词与不可辨认的对照物混合呈现，皆诱发出 RP，而被试不可辨认的视觉刺激不诱发 RP。在这些实验中可辨认的刺激不一定是靶，但它是被试注意的对象。

(三) 诱发 RP 的实验范式

在一般刺激呈现方式中，视觉刺激呈现在空背景中，不论刺激图像能否被识别，都会在 500ms 内诱发出系列波幅较高的 VEP 晚成分。其中的 RP 在 250ms 左右出现，波幅较小，与 VEP 晚成分重叠在一起，实际上是被 VEP 晚成分掩盖而不能看出全貌。可采用两种方法减弱 VEP 晚成分而分离出较清晰的 RP (Rudell 等,1991,1992 ,1997)。

1、前置刺激法 (preempt stimulus technique)

ERP 实践表明，当两个刺激连续快速呈现时 (SOA~100ms)，第一个刺激可的 VEP 尚未出完，第二个刺激引发的 VEP 就得出出现，此时其波幅将显著减小。前置刺激法即采用成对出现的刺激。

2、快速刺激序列法 ((rapid stream stimulation)

当增多连续快速呈现刺激的数目时，VEP 将更显著地减弱。一系列不可识别刺激连续快速呈现引起的 ERP 乃是一系列波幅很小的节律性波动，VEP 晚成分实际已不复存在。其节律近似于刺激的频率。

在 RP 实验中，常用的刺激呈现时间有 100 毫秒、200 毫秒和 257 毫秒三种。可考虑两方面因素选用。一方面，刺激呈现时间越短，VEP 越小，RP 越容易分离出来，但另一方面，如果刺激呈现的时间过短则可能导致被试看不清刺激，因而合适的刺激呈现时间应该是综合这两方面因素的一个折衷选择。

(四) 影响 RP 的因素

这里所讨论的不是决定 RP 是否出现的条件，而是在 RP 出现的情况下，对它的量发生影响的因素。RP 的潜伏期约 200-250ms。此时出现的 ERP 成分往往具有外源性与内源性的双重属性。RP 即是如此，刺激的物理因素和心理因素都对它的量发生影响。

1、刺激的物理性质对 RP 的影响

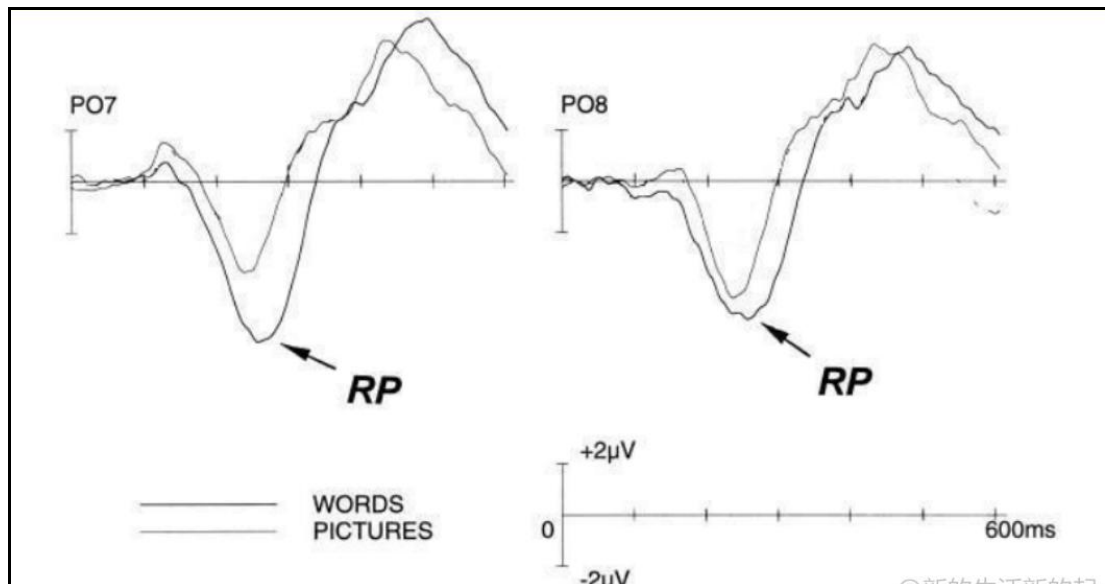
增加刺激落在视网膜上的面积使 RP 波幅增大，但非线性关系；降低刺激的清晰度（即刺激强度）则延长 RP 的潜伏期 (Rudell 等, 1995); 改变刺激在视野中的呈现位置会影响 RP 的头皮分布: 落在视野上部的刺激诱发的 RP 在枕叶下部的波幅最大，落在视野下部的刺激诱发的 RP 在枕叶上部的波幅最大 (Rudell, 1991)。

2、RP 与语义加工的关系

Manuel Martin-Loeches et al. 1999 年比较了随机字母串、符合正字法的字母串和真字诱发的 RP。发现: RP 的波幅不是一种全或无的现象，而是随着刺激接近真字的程度的增长而逐渐增加，并在刺激是真字时达到最大值。由此他们认为，对随机字母串、符合正字法的字母串和真字的加工反映了文字加工中三个逐次增高的加工水平: 字母识别、词的正字法加工和语义加工，在此三种条件下 RP 波幅的渐次增长，说明 RP 与文字加工的多个水平有关; RP 对语义加工的敏感性说明 RP 是反映语义通达的一个很好的电生理指标。

3、图片与文字的 RP 的区别

Hinojosa 等 (2000) 发现，由可识别的文字引发的 RP 的波幅、潜伏期均大于、长于由图片引发的 RP。两者诱发的 RP 在半球间略有差异，文字诱发的 RP 的最大波幅位于 PO7（左脑），图片诱发的 RP 的最大波幅位于 PO8（右脑）



4、内容词与功能词的 RP 的区别

Hinojosa 等（2001）发现，内容词（名词、动词等）诱发的 RP 在左右半球分布对称，而由功能词（连词、介词等）诱发的 RP 的分布则是左半球优势。对此，作者的解释是：内容词包含的语义信息较多，对其加工涉及到较广范的脑区。而功能词的语义信息较少，对其加工则主要集中在左半球。

5、可识别刺激与背景刺激间差异对 RP 的影响

过去的研究皆以乱码为背景，比较真字、假字、非字的 RP 区别，观察到 RP 波幅真字>假字>非字。得出结论认为字词的识别性是诱发 RP 大小的原因。只考虑了刺激本身的识别性，未考虑背景的影响因素。

蒲洁（2003）皆以真字为可识别刺激，当真字出现时被试按键。分别以假字、非字和乱码为背景进行 3 项实验。假字是由完整的成字部件组成的符合正字法规则的符号，非字是由完整的成字部件组成的不符合正字法规则的符号，乱码由汉字随机拆分后的各部分随机组合而成，新生成的符号中不含有任何完整的成字部件。结果也观察到 RP 波幅随着真字与背景之间差异的增大而增高。此时刺激的识别性相同，因此证明可识别刺激与背景间差异也是诱发 RP 大小的因素。可见 RP 具有反映“可识别性”和反映“与背景的差异”的双重属性。

徐伦（2004）以真字为背景，以一个无意义的图案为靶，观察乱码的 RP，结果观察到乱码引起 ERP 正于真字背景 ERP，但真字减乱码 ERP 仍出现 RP，证明可识别性是诱发 RP 的因素，背景差异对 RP 的影响也属于识别性的差异。

6、选择性注意是引发它的重要条件

只有受到注意的语言才会引发 RP (Rudell & Hua, 1996)。RP 可否在非注意条件下由于脑的自动加工而出现，目前实验证据尚不充分，有待继续研究。

(五) RP 的源

Hinojosa 等认为，图片和可识别文字都含有语义信息，RP 可能反映二者共有的语义加工，RP 可能是外侧纹状区底部的多重语义加工的指标。两者诱发的 RP 波幅与潜伏期的不同，则可能是由于图形和文字在前语义水平加工中所经历的通道不同造成的，因为在达到语义水平以前，文字加工要经过 Wernicke 区（语言感觉中枢，颞上回后部），而图片加工则要通过视觉腹侧 What 通道到颞下回(Mesulam, 1998;Farah and Aguirre,1999)。

(六) RP 与 P300 的区别 为比较 RP 与 P300 的区别，Rudell (1991)在一项实验中，以一半刺激为词，另一半刺激为不可识别的图形，两类刺激随机呈现。刺激的位置会偶尔出现微小但可以被人识别的改变。被试的任务是看到认识的刺激时即做按键反应。结果发现，改变位置的词或不可识别的图形（小概率）均诱发出了 P300，而位置固定的词或不可识别的图形（大概率）未能诱发出 P300;但不论是否改变位置，只有词诱发出了 RP，不可识别的图形未能诱发出 RP。这就是说，P300 只与刺激的概率有关，与是否可被识别无关，相反，RP 与刺激的概率无关，只与是否可被识别有关。由此，作者认为，RP 与 P300 是两种不同的 ERP 成分，与 P300 相比，RP 较少受到刺激出现概率的影响，它的出现主要取决于刺激能否为被试识别。如前所述，RP 与 P300 的脑内源也是不同的。

五、加工负波 PN (Processing Negativity)

·1978 年 Naatanen 首先提出

(一)“N1 效应”的发现（Hillyard 等，1973）

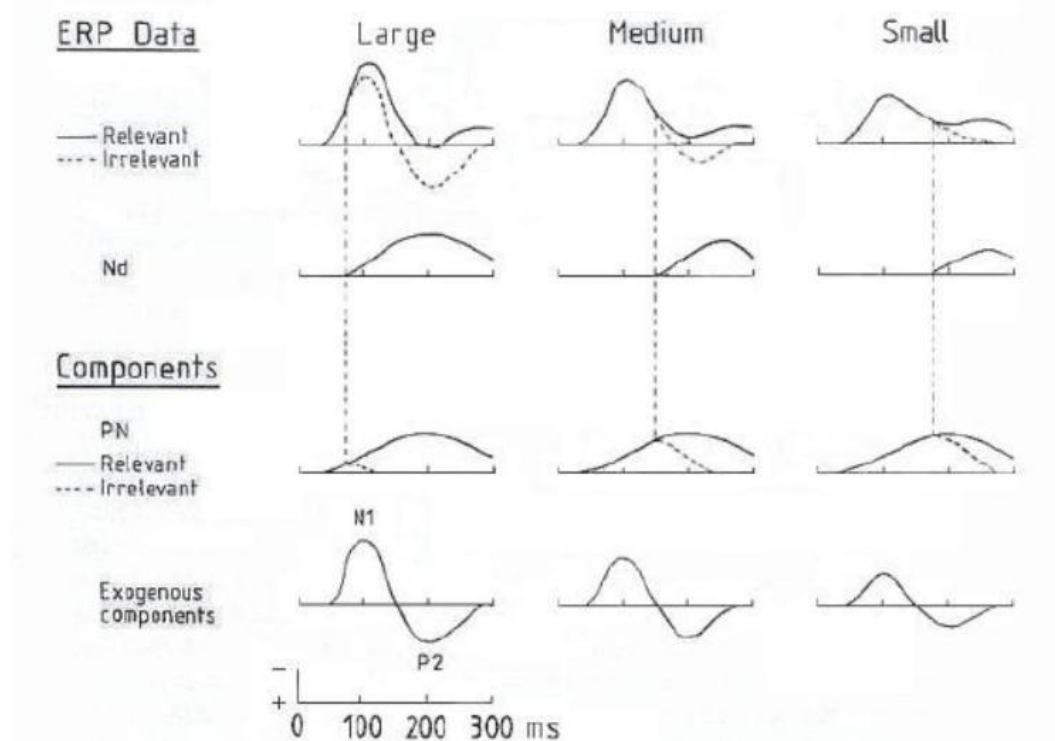
Oddball 实验模式，双耳分听任务。左耳的标准刺激为 1500Hz，偏差刺激为 1560Hz。右耳的标准刺激为 800Hz，偏差刺激为 840Hz。刺激间隔（ISI）为 100-300 ms 随机变化。被试的任务：数出指定的一只耳中随机出现的偏差刺激的数目并忽视另一耳的刺激。结果发现：被注意耳比非注意耳的 ERP 在 Cz 点的 N1 波幅明显增高。这就是注意的“N1 效应”。此后，在视觉通路以及视听通路结合的研究中也验证了这个现象的存在。

(二)PN 的发现(Naatanen 等，1978)

·使用类似于 Hillyard 等人的上述实验模式，不过延长并固定刺激间隔为 800 ms。·结果发现：被注意的标准刺激比非注意的标准刺激产生更大的 ERP 负偏移，它位于 N1 峰后的下降支上。·从刺激呈现后 150ms 开始，持续约 350ms。·Naatanen 等认为这是一个新的内源性成分，与信息加工有关，称之为加工负波(Processing Negativity)，简称 PN。·此后许多实验室对选择性注意与 PN 的关系进行了研究

(三) Naatanen 的观点

·他们认为，以视觉注意作为听觉非注意对照的实验较为可靠。。令被试进行 6 项实验，3 项听觉注意实验，3 项视觉注意对照实验。·3 项听觉注意实验皆等概率地随机呈现两种不同频率的纯音。·3 项实验的区别在于两种纯音的频率差异大小不同，分别为差异大(如 800 /500Hz) 差异中（如 800/650Hz）、差异小（如 800/750Hz）。令被试分辨各该两种声音，并对其中之一进行按键反应。·3 项对照实验的刺激分别与上述 3 项实验相同，只是令被试注意阅读，不注意听觉刺激。



此外，Naatanen 实验室还进行了一系列其他有关的实验 Naatanen 实验室于 1987 年总结了这方面的工作。根据他们的观点实验结果概括的示意图如下。

第 1 行为注意非靶与非注意该音引起的原始 ERP 图。

第 2 行为第 1 行的注意 ERP 减非注意 ERP 所得到的差异负波 Nd。

第 3 行为 PN。

第 4 行为外源性成分 N 与 P2。不因注意否而变化。第一列为纯音间频率差异大的实验。

第二列为纯音间频率差异中等的实验。

第三列为纯音间频率差异小的实验。·差异负波 Nd:随着被分辨声音间差异的减小，始潜时加长，波幅减小。·加工负波 PN:随着被分辨声音间差异的减小，非注意 PN 持续时加长，波幅增大，注意 PN 不变。·外源性成分 N1、P2 与 PN 相加即为第一行之 ERP，即 $3+4=1$ 。

·这样，由于 $3+4=1$ ，其中注意与非注意的 4 相同，所以 1 的注意与非注意 ERP 区别就等于 3 的注意 PN 与非注意 PN 区别，1 的注意与非注意 ERP 相减等于 Nd，则 3 的注意 PN 与非注意 PN 相减也就等于 Nd，换句话说，Nd 是注意 PN 与非注意 PN 的差异造成的。·关于非注意产生 PN，非注意 PN 随着被分辨声音间差异的减小而持续时加长、波幅增大，

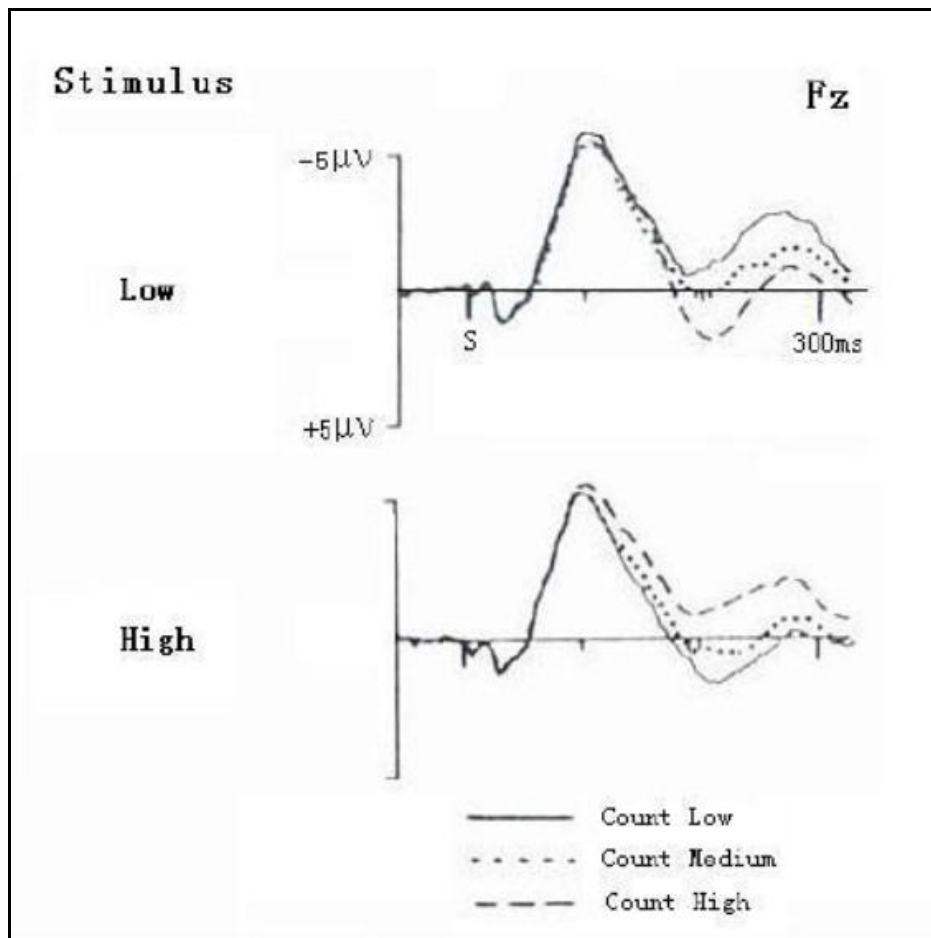
注意 PN 不变等观点得到了实验的支持。Alho 等(1986) 的实验便是一例。他们的实验方法如下表所示。

刺激系列	被试任务：每 项实验只对一 种音（靶）记 数，共9项实验 靶	ERP结果 每项实验含3种音刺激 ，得3种ERP，9项实 验共得27条ERP曲线 。粗体字为靶
A 差异大 800，500，200	高音 800Hz	高、中、低音ERP
	中音 500Hz	高、中、低音ERP
	低音 200Hz	高 ² 、中、 低² 音ERP
B 差异中 600，500，400	高音 600Hz	高、中、低音ERP
	中音 500Hz	高、中、低音ERP
	低音 400Hz	高 ² 、中、 低² 音ERP
C 差异小 543，500，460	高音 543Hz	高¹ 、中、低 ¹ 音ERP
	中音 500Hz	高 ¹ 、 中 、低 ¹ 音ERP
	低音 460Hz	高 ¹² 、中、 低¹² 音ERP

·每项实验皆向被试右耳送入等概率随机呈现的三种不同频率的纯音刺激系列。·令被试对其中一种纯音进行记数（靶）。·纯音刺激系列依其纯音间频率差异的大小分为3类，如表中左列A、B、C所示。·被试在不同的实验中分别对每一刺激系列的每一种纯音记数,因此实验共为9项。

·被试在不同的实验中分别对每一刺激系列的每一种纯音记数,因此实验共为9项。·每项实验中皆可得到记数的1种纯音（靶）与不记数的2种纯音(非靶）引起的共3条ERP曲线9项实验共得27条ERP曲线。

实验结果



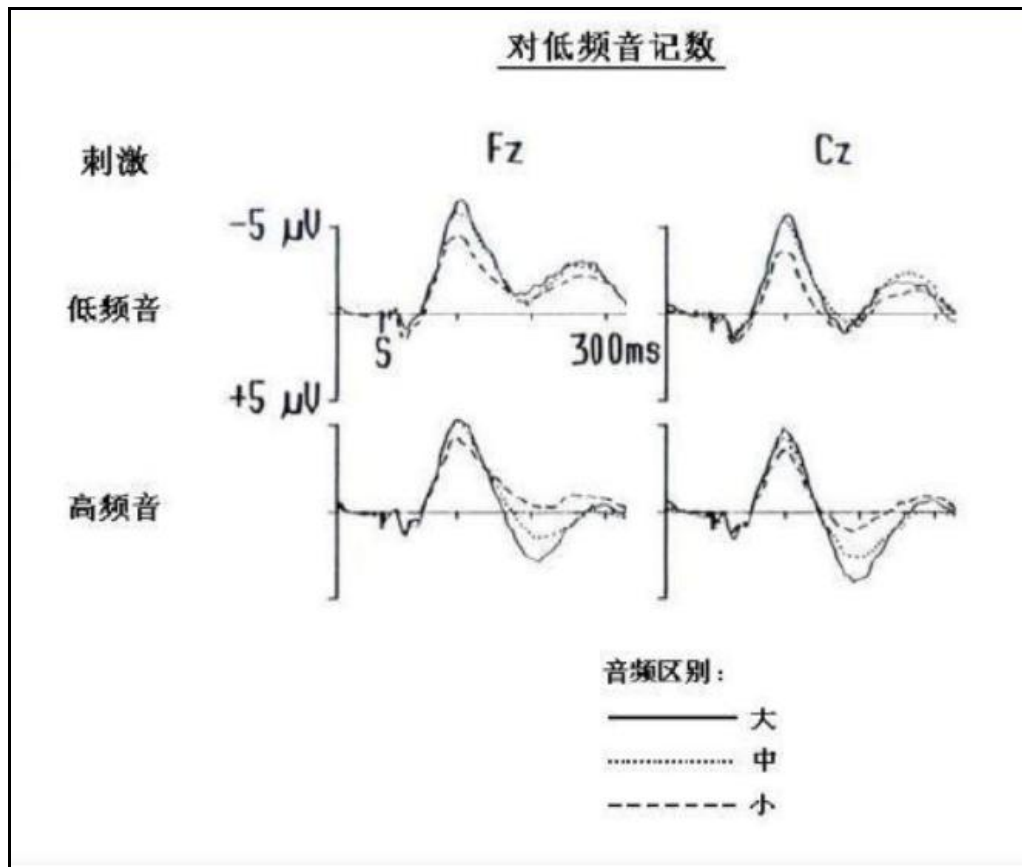
该图显示在同一刺激条件下(差异小),刺激作为靶(记数)与作为非靶(2种)时 ERP 之比较。(表中标注 1 的项目)

·上图显示对高中低三种纯音记数时,低音引起的 ERP,即低音作靶与不作靶的比较。

·下图显示对高中低三种纯音记数时,高音引起的 ERP,即高音作靶与不作靶的比较。

·从中可见,靶(记数)刺激引起最负的 ERP,差异始于 100-150ms,邻近它的非靶刺激引起的负 ERP 次之。

·也就是说,靶(记数)刺激引起的注意负波最大,邻近它的非靶刺激引起的注意负波次之,远离它的非靶刺激引起的注意负波最小。



该图显示靶刺激和非靶刺激的注意负波与被分辨声音间差异大小的关系。(表中标注 2 的项目)·图中绘出者系对低音记数时, 低音(靶)、高音(非靶) ERP 随刺激间差异大小的变化情况。

·只有高音(非靶) ERP 随刺激间差异大小变化, 而低音(靶) ERP(在 150-300ms)不变, 即只有非靶刺激的注意负波才随被分辨声音间差异的减小而波幅增大, 而靶刺激的注意负波不变。

·这一实验结果支持 Naatanen 上图第 3 行显示的关于非注意产生 PN, 非注意 PN 随着被分辨声音间差异的减小而波幅增大, 注意 PN 不变等观点, 虽然这里的非靶刺激并非非注意刺激, 还不是对这些观点的证实。

六、推荐阅读

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, 2009, 华东师范大学出版。

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

ERPs 实验教程/赵仑著. —2 版(修订本). —南京: 东南大学出版社, 2010.7