

# 人脑二级 CNV 和解脱波\*

魏景汉 尔朱光

(中国科学院心理研究所, 北京)

## 摘 要

本工作改变了 CNV 的常规模式: 增加一次警告信号, 将按键反应改为分辨以排除 CNV 中的运动因素, 结果发现了二级 CNV 增大现象和解脱波。据此对现有诸 CNV 心理因素假说进行了讨论, 认为 CNV 中的心理因素不是单一性的, 而是多种心理因素综合构成的心理负荷加重。

1964 年 Walter 氏首先在人类脑电波的诱发电位中发现了 CNV (Contingent Negative Variation)<sup>[1]</sup>。这一发现在心理现象与脑电波间建立了某种联系, 遂使研究 CNV 中的心理因素成为捕捉脑的心理活动加工信息的重要手段。关于 CNV 中究竟含有何种心理因素的问题, 学者们根据各自的实验结果提出了多种假说, 主要有: 期待假说<sup>[2]</sup>, 意动假说<sup>[3]</sup>, 动机假说<sup>[4]</sup>, 注意与觉醒假说<sup>[5]</sup> 和朝向反应假说<sup>[6]</sup> 等。20 年来, 学者们针对这些假说进行了大量实验验证工作, 但这些实验往往局限于单个心理因素的研究, 结论各异, 至今未能统一。这启示我们考虑有可能是多种心理因素综合参与着 CNV 的形成。为此, 本工作改变了 CNV 的常规模式: 增加一次警告信号, 将运动反应改为分辨, 以期得到二级 CNV, 并排除运动因素, 观察在心理负荷逐级加重时 CNV 的变化, 从而探讨 CNV 中所含心理因素的性质。

## 一、实验方法

被试者为 16 名大学生, 年龄 19—23 岁, 男女各半, 身体健康, 皆右力手, 系首次进行事件相关电位实验。

实验在半隔音的安静实验室内进行。被试者静坐在沙发上, 双耳插入耳塞机, 面前放置操作板, 其上固定一只电键, 供被试者用右手按动。脑电电极 Ag/AgCl 凹盘电极, 直径 10mm。电极安放位置: 有效电极在顶顶 (Vertex), 参考电极在双侧乳突 (Mastoid), 接地电极在前额正中发际下 5mm 处。用 OMNI 专用清洁剂涂擦电极点头皮, 去污脂后, 以火棉胶将电极粘于头皮上以记录 EEG。左眼眉上 5mm 和眼角外侧 10mm 处各安放一枚 NT-61U 型熔结 Ag/AgCl 电极以记录 EOG。电极间电阻  $\leq 5k\Omega$ 。

实验装置为 NIHON KOHDEN RM-6000 型多导生理记录系统。所使用的主要部件是: AD-610G 型高增益直流放大器, 经改装, 时间常数达 13s, 高频滤波 30Hz; SEN-7301 型

本文 1985 年 3 月 18 日收到, 1985 年 9 月 11 日收到修改稿。

\* 魏英俊同志参加了技术设计和实验工作, 郑连兴同志参加了数据处理工作。

数字式电子刺激器, 通过耳塞机发出声音, 作为诱发电位的刺激物, 并发出触发同步脉冲; RM-5302 型磁带机; ATAC-350 型叠加仪, DC 输入, 分析时间 5120ms, 地址数 1024; ID-620G 型积分器; RIJ-2108 型喷水式记录器。

**CNV 记录程序** 实验时将 EEG, EOG 经放大器放大后, 连同触发同步脉冲一起输入磁带机, 录在磁带上。实验后重放磁带所记之信号于记录纸上, 排除眨眼及其他伪迹, 然后将无伪迹的 EEG 由磁带机输至叠加仪叠加 16 次以得到 CNV。将该模拟量输至积分器以取得积分值, 并将 CNV 与积分值同时记录在记录纸上供分析。CNV 波幅为由积分值求得的平均幅度。将全部被试者的同种 CNV 由叠加仪叠加, 则得到总平均图 (Grand Average Records)。

实验时要求被试者注意力集中。首先进行一项操作练习: 耳机中每隔 2—6s 随机呈现 1000Hz, 55dB(SPL, 下同)连续纯音, 令被试者在听到该声音后尽快按动电键, 按键即将声音切断。练习至正确、熟练为止, 一般约需 15 次左右。此项练习尚有使被试者适应实验环境之目的。

正式实验有三项:

(1) 普通的 CNV 实验 警告信号(以下简称  $S_1$ ) 为 800Hz, 55dB 纯音, 持续 24ms。命令信号(以下简称  $S_2$ ) 为 1000Hz, 55dB 连续纯音。皆通过耳塞机双耳同时给出。实验时先呈现  $S_1$ , 经过 1500ms 后再呈现  $S_2$ , 要求被试者听到  $S_1$  时作好按键准备, 听到  $S_2$  后尽快按动电键。按键即将  $S_2$  自动切断, 一次实验即告完成。每两次实验的间隔(即从前一次  $S_2$  结束到下一次  $S_1$  呈现)为 2—6s 随机呈现, 以免被试者形成习惯性而削弱注意力的集中程度。如上所述先练习 15 次左右, 正式开始实验记录 30 次。

(2) 无运动二级 CNV 实验  $S_1$  和  $S_2$  及其间隔同上, 仅  $S_2$  持续时间固定为 200ms, 并在  $S_2$  后 1700ms 随机呈现  $S_3$ 。  $S_3$  为波宽 100 $\mu$ s, 强度 18dB 之短声 (Click)。要求被试者不按电键, 以排除 CNV 中的运动因素, 但要求被试者注意判断  $S_3$  是否出现, 并于实验结束时向主试者报告所听到的  $S_3$  总次数。由于  $S_3$  声音很轻, 被试者需十分注意才可能听到。正式实验前先练习 15 次左右, 并指导被试者善于运用  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  间的固定时间关系, 将  $S_1$ ,  $S_2$  作为  $S_3$  可能出现的警告信号, 以提高判别的准确性。然后正式实验记录 50 次, 其中  $S_3$  呈现者与  $S_3$  不呈现者各 25 次, 顺序随机排列, 以使被试者不可猜知  $S_3$  是否将会出现而保持其注意力的高度集中。待叠加时, 将  $S_3$  呈现时与不呈现时的诱发电位分别叠加。

以上两项实验结束后令被试者休息 10min 并进行问卷, 询问其实验中注意力是否集中、是否紧张等主观体验。

(3)  $S_3$  能否引起听觉诱发电位晚成份之实验 由于  $S_3$  声强很小, 为了便于分析 CNV 中的听觉诱发电位晚成份, 特进行了该项实验。以上述  $S_3$  单独作为听觉刺激物, 令被试者注意听, 于实验后报告所听到的次数。  $S_3$  间隔 2—6s 随机排列, 共给出 30 次, 记录如上。

## 二、实验结果

### 1. CNV 的出现

在普通的 CNV 实验中, 16 名被试者全部于  $S_1$  与  $S_2$  之间出现了脑电波的负相电位偏移, 此即通常所指的 CNV。其波形见图 1 中 (a)。CNV 的波幅基线取  $S_1$  前 500ms 内脑电波的平均值。16 名被试者 CNV 的平均波幅为  $10.5 \pm 1.8 \mu$ V。

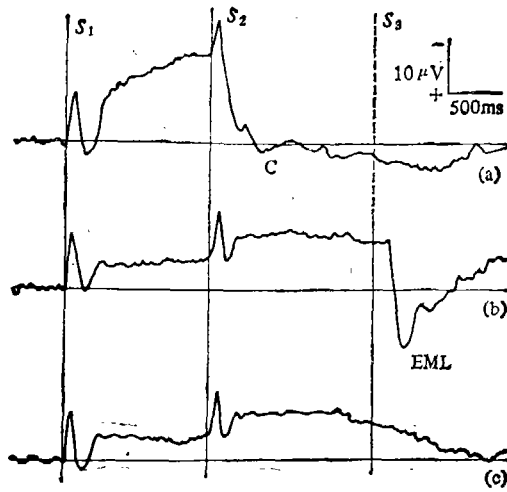


图 1 CNV, 一级 CNV 和二级 CNV 总平均图

((a)——CNV 实验, (b)——无运动二级 CNV 实验,  $S_3$  呈现, (c)——无运动二级 CNV 实验,  $S_3$  不呈现。纵线表示刺激呈现时刻, 横线为基线。16 名被试者总平均)

## 2. 二级 CNV 的出现

在无运动二级 CNV 实验中, 脑电波于  $S_1$  与  $S_2$  之间出现的负相电位偏移, 现称为一级 CNV, 在  $S_2$  与  $S_3$  之间出现的负相电位偏移, 现称为二级 CNV。由于  $S_3$  呈现时与  $S_3$  不呈现时的脑电波是分别叠加的, 故每名被试者在本次实验中产生两条 CNV 曲线, 本实验也就得到了两组数据。结果观察到, 在 16 名被试者中, 15 名出现了一级 CNV, 16 名出现了二级 CNV。在  $S_3$  呈现时 14 名被试者的二级 CNV 波幅大于其一级 CNV, 2 名被试者的二级 CNV 波幅略小于其一级 CNV。在  $S_3$  不呈现时 14 名被试者的二级 CNV 波幅大于其一级 CNV, 2 名被试者的二级 CNV 波幅略小于其一级 CNV。波形见图 1 中 (b) 和 (c)。将二级 CNV 与一级 CNV 的波幅差异显著性进行统计学  $t$  检验, 结果在  $S_3$  呈现时差异达非常显著之水平 ( $P < 0.001$ ), 在  $S_3$  不呈现的情况下差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。以上数据列于表 1。

表 1 二级 CNV 与一级 CNV 波幅的比较\*

	$S_3$ 呈现	$S_3$ 不呈现
一级 CNV	$4.4 \pm 0.9$	$3.8 \pm 0.7$
二级 CNV	$9.5 \pm 1.5$	$7.2 \pm 1.7$
差异 %	115.9	89.5
$P$ 值	$< 0.001$	$< 0.05$

\* 表内波幅值为均数士标准误, 单位为  $\mu V$ 。

将普通 CNV 与一级 CNV 的波幅差异显著性进行统计学  $t$  检验, 结果前者波幅显著大于后者。该结果列于表 2。

表-2 CNV 与一级 CNV 波幅的比较\*

一级 CNV	$S_3$ 呈现	$S_3$ 不呈现
		$4.4 \pm 0.9$
CNV	$10.5 \pm 1.8$	
差异 %	138.6	176.3
P 值	$<0.005$	$<0.025$

\* 表内波幅值为均数±标准误,单位为  $\mu V$ 。

### 3. EML 波的出现和特征

我们在观察二级 CNV 波形时发现,在  $S_3$  呈现后 150ms 左右脑电波陡然翻转为正波,波幅和陡度都很大,现简称为 EML 波。在  $S_3$  不呈现时则无此翻转与 EML 波。这一现象在 16 名被试者中无一例外。可参见图 1 中 (b) 与 (c)。在普通的 CNV 实验中,脑电波于命令信号后也会向正向翻转而形成正波(参见图 1 中(a)),该正波现简称为 C 波。EML 波与 C 波虽然表面上相似,但经分析发现实有很大差别。为了便于对两者进行比较,特采用下列参数:

- (1) 始降时: 从命令信号开始至翻转开始之间的时间间隔,单位为 ms。
- (2) 始正时: 从命令信号开始至与基线交叉点之间的时间间隔,单位为 ms。
- (3) 潜伏期: 从命令信号开始至正波波峰之间的时间间隔,单位为 ms。
- (4) 波幅绝对值: 以基线为起点的正向幅度,单位为  $\mu V$ 。
- (5) 波幅峰-峰值: 翻转始点至波峰之间的幅度,单位为  $\mu V$ 。
- (6) 陡度: 波幅峰-峰值与下降时间的比值。下降时间是从翻转开始至波峰之间的时间间隔。这样便有下列关系式:

$$\therefore \text{陡度} = \frac{\text{波幅峰-峰值}}{\text{下降时间}}, \text{下降时间} = \text{潜伏期} - \text{始降时},$$

$$\therefore \text{陡度} = \frac{\text{波幅峰-峰值}}{\text{潜伏期} - \text{始降时}}, \text{单位为 } \mu V/ms.$$

上述参数已标于图 2。

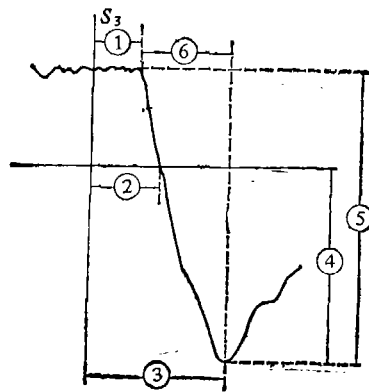


图 2 EML 波分析参数示意图

(纵线为  $S_3$  呈现时刻, 横线为基线, ① 始降时, ② 始正时, ③ 潜伏期, ④ 波幅绝对值, ⑤ 波幅峰-峰值, ⑥ 下降时)

16 名被试者上列各参数的平均值和统计学  $t$  检验显著性见表 3。

表 3 EML 波与 C 波的比较\*

	始降时 ms	始正时 ms	潜伏期 ms	波幅绝对值 $\mu V$	陡度 $\mu V/ms$
EML 波	132.0 $\pm$ 5.8	164.6 $\pm$ 11.3	272.7 $\pm$ 8.4	11.7 $\pm$ 1.9	0.28 $\pm$ 0.05
C 波	85.7 $\pm$ 3.2	506.3 $\pm$ 77.7	537.1 $\pm$ 69.9	1.7 $\pm$ 0.4	0.08 $\pm$ 0.01
差异 %	54.4	207.6	264.4	588.2	250.0
P 值	<0.001	<0.005	<0.005	<0.001	<0.005

\* 表内值为均数 $\pm$ 标准误。

#### 4. 叠加结果

叠加结果表明,在 16 名被试者中,  $S_3$  均未能引起明显的诱发电位晚成份。

### 三、讨 论

#### 1. CNV 中含有运动因素

在本工作的第一项实验中被试者有按键运动反应,在第二项实验中被试者没有按键运动反应,因此第一项实验中的普通 CNV 与第二项实验中的一级 CNV 的区别主要在于是否有运动反应。从表 2 可知, CNV 比一级 CNV 的波幅显著地大,这表明按键运动反应在 CNV 形成中起着明显的作用。但是, CNV 出现于  $S_2$  之前,运动反应发生在  $S_2$  之后, CNV 中怎么会含有运动反应成份呢? Kornhuber 和 Deek 于 1965 年发现,运动前脑电出现一种预备电位 (Readiness Potential) 并为后人所证实,这就为 CNV 中存在预备电位提供了理论上的可能性。Rohrbaugh 等<sup>[7,8]</sup>相继采用延长  $S_1$ — $S_2$  间隔并在头皮皮层运动区代表点记录 CNV 的方法和人工合成 CNV 的方法,论证了 CNV 中运动预备电位成份的存在。本实验采用排除运动因素的方法所得到的上述结果,支持关于 CNV 中含有运动因素的观点。

#### 2. 关于 CNV 心理因素的假说

在我们的无运动二级 CNV 实验中不要求被试者作出运动反应,也出现了一级 CNV 与二级 CNV,说明 CNV 中确实含有心理因素成份。

关于 CNV 中的心理因素究竟是什么,意动假说认为意动(即进行一种动作的意向)是决定 CNV 出现的主要因素。他们所依据的实验是当要求被试者增加反应力量时, CNV 波幅随之升高。我们的无运动二级 CNV 实验结果虽然不支持意动假说,因为没有运动也出现了 CNV,但也不能排除在普通 CNV 中因有运动反应而存在意动成份,上述关于普通 CNV 大于一级 CNV 的实验结果的讨论就说明了这一点。动机假说得到一些实验的支持,例如,实验时若减小  $S_2$  刺激强度以增加被觉察的难度时, CNV 波幅将会升高。本实验的  $S_2$  为 55dB,  $S_3$  为 18dB,因此对  $S_3$  的觉察难度远大于对  $S_2$  的觉察,此时二级 CNV 也大于一级 CNV。从这个角度考虑,我们的实验结果是与支持动机假说的实验结果一致的。赞成朝向反应假说的实验证实,用不同的  $S_1$  标志  $S_2$  是否呈现,以使被试者知道  $S_2$  是否将会呈现,结果不呈现  $S_2$  的  $S_1$  也会引起 CNV。在我们的实验中,  $S_2$  总是出现的,而  $S_3$  的出现几率仅为 50%,因此  $S_3$  具有更大的新颖性,结果二级 CNV 大于一级 CNV,因此本实验与支持朝向反应假说的实验结果也

是一致的。至于期待假说以及注意与觉醒假说,它们也各有其实验依据。此外我们看到,上述诸种假说所依据的主要实验结果,彼此间不存在排他性。这些事实都提示,是否这些单个的心理因素都与 CNV 相关。根据我们的实验方法和对被试者的问卷得知,被试者判断  $S_3$  是否呈现的任务是困难的,这不仅由于  $S_3$  声音很轻,难以觉察,还由于被判断物到来之前的延迟时间(从  $S_1$  呈现至  $S_3$  呈现为 3200 ms)较长,增加了被试者的负担。随着  $S_1, S_2$  的相继呈现即  $S_3$  自逐级迫近,被试者的紧迫感逐级增强,即心理负荷逐级加重,直至听到  $S_3$  其心理负荷始得解除。被试者若在  $S_3$  应出现的时刻未听到  $S_3$ ,他们并不能立即断定究竟是  $S_3$  不呈现还是自己没听见,还是尚未到达呈现时刻,总是疑虑地听下去,心理高负荷状态得不到解脱。正是在被试者的这种心理活动背景上,其 CNV 相应发生了上述波幅逐级增大现象以及  $S_3$  呈现后 CNV 陡然翻转形成 EML 波的现象和  $S_3$  不呈现则 CNV 不翻转为 EML 波的现象。据此我们认为 CNV 中的心理因素不是单一性的,而很可能是多种心理因素综合构成的心理负荷加重。EM 波代表着被试者心理高负荷状态的解脱,可称为“解脱波”。

那么,解脱波 EML 是否就是普通 CNV 中命令信号后翻转而成的正波 C 呢?从表 3 又 EML 波与 C 波的对比中可知,它们的各项参数都有非常显著的差异。始降时、始正时和潜伏期的差异表明它们出现的时程不同,陡度和幅度的差异表明它们在波形上是不同的。实际上根据 CNV 中含有心理因素、运动因素的概念和诱发电位晚成份的基本概念<sup>[9]</sup>可知,C 波是心理因素、运动因素和诱发电位晚成份共同作用形成的混合波。EML 波是在  $S_3$  后出现的,根据本实验结果 4 可知  $S_3$  不能引起明显的诱发电位晚成份; $S_3$  后被试者不进行运动反应,因此 EML 波中不存在诱发电位晚成份和运动因素,纯属心理因素引起的明显脑电变化。因此我们认为,C 波中是含有 EML 波成份的,故而也具有解脱之含意,但前者是混合波,后者是心理波,两者是不能混淆的。

### 参 考 文 献

- [1] Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. I., McCallum, W. C. and Winter, A. L., *Nature*, **203**(1964) 380—384.
- [2] Walter, W. G., *British Journal of Physiological Optics*, **22** (1965), 1—9.
- [3] Low, M. D., Borda, R. P., Frost, J. D., Jr, and Kellaway, P., *Neurology*, **16**(1966), 771—782.
- [4] Irwin, D. A., Knott, J. R., McAdam, D. W. and Rebert, C. S., *EEG and Clin. Neurophysiol.*, **21**(1966) 538—543.
- [5] Tecce, J. J., *Psychological Bulletin*, **77**(1972), 73—108.
- [6] Weerts, T. C. et al, *Biol. Psychol.*, **1**(1973), 1—19 (Abstract).
- [7] Rohrbaugh, J. W., Sydulko, K. and Lindsley, D. B., *Science*, **191**(1976), 1055—1057.
- [8] Rohrbaugh, J. W., Sydulko, K., Sanquist, T. F. and Lindsley, D. B., *ibid.*, **208**(1980), 1165—1168.
- [9] 魏景汉、汤慈美, *心理学报*, **14**(1982), 246—251.