

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)^[1]。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^[2], 意动假说^[3], 动机假说^[4], 注意与觉醒假说^[5] 和朝向反应假说^[6] 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。脑电电极为 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化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 μ 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。

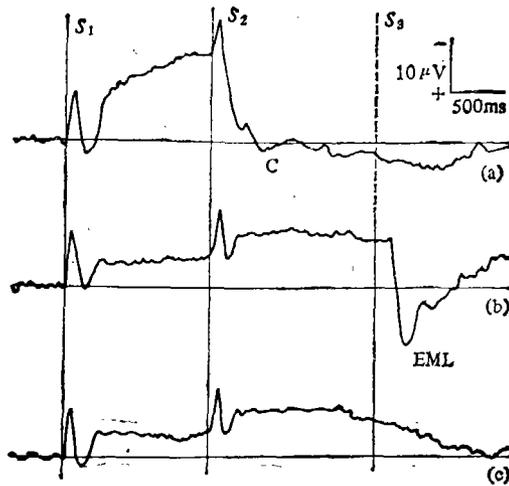


图 1 CNV, 一级 CNV 和二级 CNV 总平均图

((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 ± 0.9	3.8 ± 0.7
二级 CNV	9.5 ± 1.5	7.2 ± 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 μV 。

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 ± 0.9
CNV	10.5 ± 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 μV 。

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 μV 。
- (5) 波幅峰-峰值: 翻转始点至波峰之间的幅度,单位为 μV 。
- (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:

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

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

上述参数已标于图 2。

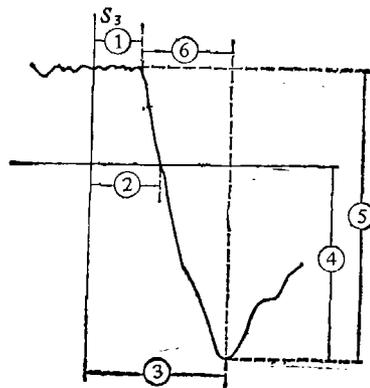


图 2 EML 波分析参数示意图

(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 μV	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^[7,8]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^[9]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.