

一种与心理活动相关的脑电波¹⁾

魏景汉 郑连兴

中国科学院心理研究所

摘 要

对14名青年进行了普通的CNV实验和无运动CNV实验。发现了一种与心理负荷解脱伴随出现的脑电波——解脱波EML。EML波不同于普通CNV后形成的V波,不含诱发电位外源性成分和运动成分,代表心理负荷的解脱,纯属一种只与心理活动相关的脑电波。目前尚无理由将EML波视为LPC(Late Positive Complex)的一页。提出CNV心理因素的性质,可能是在完成同种任务时由期待、意动、动机、朝向和觉醒等多种心理因素综合构成的心理负荷加重。本工作采取了离线式排除伪迹程序,在数据处理上做出了总平均图(Grand Average Records)。

自从电子计算机应用于生理心理学以来,已逐渐形成了事件相关电位(Event-Related Potentials, ERPs)这一专门研究领域。目前,探讨心理现象与脑电波的关系是该研究领域的重要组成部分。沿此方向,人类正在朝着捕捉心理活动的脑内信息加工密码的目标前进。显然,获取只由心理因素引起的脑电波是必要的。可是目前所研究的脑电波多为既含心理因素又含其它因素成分的混合波。公认为主要由心理因素引起的CNV(Contingent Negative Variation)也含有外源性诱发电位成分^(1,2)。本实验室曾采用二级CNV模式和随机呈现的自变量的分别叠加法,观察了解脱波EML,从而提出了对CNV心理因素的解释⁽³⁾。由于该工作采用的是二级CNV模式,它在时程上将普通CNV的1500ms改为3200ms,它在等级上将普通CNV的一级改为二级,所以以二级CNV模式上所得到的解脱波等现象去解释普通CNV现象是比较间接的,还存在着因模式不同而造成差异的可能性。为此,本工作拟采用时程上、等级上皆与普通CNV相同的模式,从中继续提取这种只与心理活动相关的解脱波,并对其性质作进一步的探讨,从而验证我们对CNV心理因素的解释。

实 验 方 法

被试者为14名大学生,年龄18—23岁,男女各半,身体健康,皆右力手,皆首次接触事件相关电位实验。

实验在半隔音的安静实验室内进行。被试者舒服地坐在沙发上,双耳插入耳塞机,而

1) 本文于1985年9月21日收到。

前放置操作板,其上固定一只电键,供被试者用右手按动。脑电电极为凹盘 Ag/AgCl 电极,直径10mm。电极安放部位:有效电极为颅顶(Vertex),参考电极为双侧乳突(Mastoid),接地电极为前额正中发际下5mm处。用omnl专用清洁剂涂擦电极点头皮去污脂后,以火棉胶将电极粘牢固定于头皮上以记录EEG。左眼眉上5mm和左眼角外侧10mm处各安放一枚NT-61U型熔结Ag/AgCl电极以记录EOG。电极间电阻用交流电阻表测量, $\leq 5k\Omega$ 。

实验装置为NIHON KOHDEN(日本)RM-6000型多导生理记录仪系统。所使用的主要部件及其参数是:AD-610G型高增益直流放大器,频率响应为0-30Hz(-3db),用于记录EEG;AB-620G型生物电放大器,时间常数2秒,用于记录EOG;SEN-7301型数字式电子刺激器,通过耳塞机发出声音,作为诱发电位刺激物,并发出触发同步脉冲;RM-5302型磁带机(FM);ATAC-350型叠加仪,DC输入,地址数1024,地址间隔5ms用于叠加CNV,地址间隔500 μ s用于分析叠加听觉诱发电位晚成分;ID-621G型积分器;RIJ-2108型喷水式记录器,用于记录EEG和诱发电位图形。

CNV记录程序:实验时将EEG、EOG经放大器放大,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信号于记录纸上,排除眨眼伪迹及其他伪迹,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。将各被试者的CNV信号连同触发脉冲录在磁带上并再次叠加,则获得由各名被试者的CNV共同合成的总平均图。

实验分为三项:

(1) 普通CNV实验:警告信号(S_1)为800Hz,45db(HL)纯音,持续24ms,命令信号(S_2)为1000Hz,45db(HL)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 时要尽快按动电键,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—6秒随机呈现,以免被试者形成习惯而削弱其注意力的集中程度。实验前向被试者说明该项实验欲测验其反应时,作为判断其智力的依据,并与其他同学进行比较,以使被试者在完成上述操作时更为紧张、努力。先练习15次左右,待被试者可正确、熟练操作时,正式开始实验,记录30次。

(2) 无运动CNV实验:警告信号(S_1)同上。命令信号(S_{02})改为波宽100 μ s,强度18db(SPL)之短声(Click),于 S_1 后1500ms时随机呈现。要求被试者不按动电键,以排除CNV中的运动因素,但要求被试者注意辨别 S_{02} 是否出现,并记数,于实验结束时向主试者报告所听到的 S_{02} 总次数。由于 S_{02} 很轻,被试者需十分注意才能听到。实验前向被试者说明该项实验欲测验其辨别能力作为判断其智力的又一依据,并与其他同学进行比较,以使被试者在完成任务时更为紧张、努力。正式实验前先练习15次左右,并指导被试者善于利用 S_1 、 S_{02} 间的固定时间关系,将 S_1 作为 S_{02} 可能出现的警告信号,以提高辨别的准确性。然后正式实验记录50次。其中 S_{02} 呈现者与不呈现者各25次,顺序也随机排列,以使被试者不可猜知 S_{02} 是否将会呈现而保持注意力的高度集中。待叠加时,将 S_{02} 呈现与不呈现者分别叠加。

以上两项实验结束后令被试者休息10分钟,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_{02} 是否引起听觉诱发电位晚成份之实验:为了增加辨别难度,我们采用了接近听觉阈限的微弱短声作为辨别物 S_{02} 。它是否可引起感觉诱发电位决定着在它呈现后出现的脑电EML波(见下文)中是否含有非心理成份,为此特进行了该项实验。以上述 S_{02} 单独作为听觉刺激物呈现,记录60次,刺激间隔为2秒。分析方法同上述CNV记录程序。

实 验 结 果

一、普通的CNV的出现

在普通CNV实验中,14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,即普通的CNV。14名被试者的CNV总平均图参见图1之1。CNV波幅的基线取 S_1 前500ms内脑电波的平均值。14名被试者普通CNV的平均波幅为 $11.5 \pm 5.6 \mu V$ (均数 \pm 标准差,下同)。

二、无运动CNV的出现

在无运动CNV实验中,由于 S_{02} 呈现时与不呈现时的脑电波是分别叠加的,因此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 S_{02} 呈现时14名被试者全部出现了CNV;在 S_{02} 不呈现时13名出现了CNV,1名未出现CNV,即其 S_1 与 S_{02} 之间的平均脑电波幅略低于基线(为 $-0.6 \mu V$)。14名被试者的无

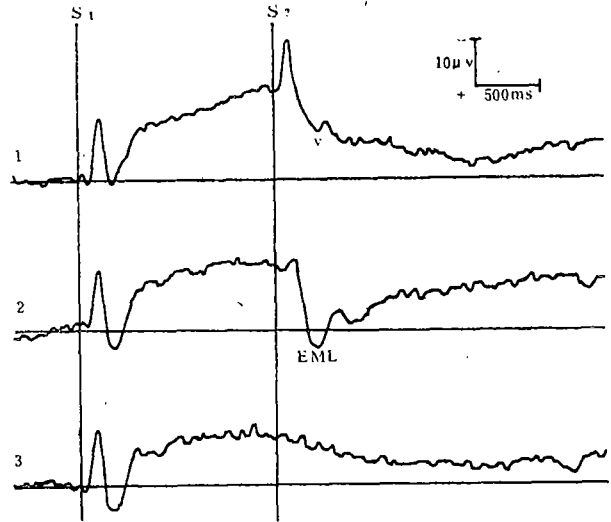


图1 普通CNV和无运动CNV总平均图

1. 普通CNV; 2. 无运动CNV, S_{02} 呈现; 3. 无运动CNV, S_2 不呈现。纵线表示刺激呈现时刻,横线为基线。由14名被试者总平均。每名被试者脑电波叠加16次。

表1 无运动CNV与普通CNV波幅的比较

无 运 动 CNV	S_{02} 呈 现	S_{02} 不 呈 现
		9.0 ± 5.8
普 通 CNV	11.5 ± 5.6	
差 异 %	55.8	65.4
P 值	<0.05	<0.05

注: 表内波幅值为均数 \pm 标准差,单位为 μV 。

运动 CNV 总平均图见图 1 之 2 和 3。

以无运动 CNV 与普通 CNV 进行比较, 将其波幅差异显著性进行统计学 t 考验, 结果发现普通 CNV 的波幅显著大于无运动 CNV 的波幅。此结果之数据列于表 1。

三、EML 波的出现和特征

比较图 1 中的曲线 2 和曲线 3, 可以十分明显地发现, 曲线 2 在 S_{O_2} 出现后约 160ms 处, 脑电波向正向陡然翻转, 然后转面向负向渐渐偏移, 从而形成了一个正波。为了叙述方便, 现称之为 EML 波。在 S_{O_2} 不呈现时所产生的曲线 3 则无此翻转与 EML 波。实验结果表明, 这种现象在全部 (14 名) 被试者中无一例外。

在普通 CNV 实验中所产生的曲线 1, 于命令信号 S_2 后脑电波也向正向翻转, 继而逐渐向负向偏移而构成了一个波。为叙述方便, 现称之为 V 波。EML 波和 V 波在表面上有些相似, 但经分析发现有很大差别。为了便于对两者进行分析比较, 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) 潜伏期: 从命令信号开始至波峰之间的时间间隔, 单位为 ms。
- (3) 波幅绝对值: 以基线为起点的波幅值, 亦即波峰与基线之距离, 单位为 μV 。
- (4) 陡度: 波幅峰一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, 其间之幅度即为波幅峰一峰值。这样便有下列关系式:

$$\text{因为陡度} = \frac{\text{波幅峰一峰值}}{\text{下降时间}}, \text{下降时间} = \text{潜伏期} - \text{始降时},$$

$$\text{所以陡度} = \frac{\text{波幅峰一峰值}}{\text{潜伏期} - \text{始降时}}, \text{单位为 } \mu V/ms。$$

上列参数已标于图 2。现将 14 名被试者上列各参数的平均值和统计学 t 考验显著性列于表 2。

除表 2 所列数据外, 实验结果尚表明, 在 14 名被试者中 EML 波波幅绝对值为正值者 (即越过基线致波峰在基线以下者) 有 11 名, 其余 3 名 EML 波未达正值。相反, V 波波幅绝对值为正值者仅 3 名, 其余 11 名 V 波皆未达正值, 可见 EML 波与 V 波在极性上存在着明显差异。图 1 之 1 和 2 明显地显示了这种极性上的不同, 曲线 1 中的 V 波在基线之上, 为负值, 曲线 2 中的 EML 波波峰已越过基线, 为正值。

再者, EML 波波形较简单, 被试者间差异不大, 而 V 波波形较复杂, 被试者间差异较大。图 3 是 5 名被试者的 EML 波与 V 波实例, 从中可清楚地看出这一点。

四、叠加结果表明在 14 名被试者中, S_{O_2} 均未见引起诱发电位晚成分。参见图 4。

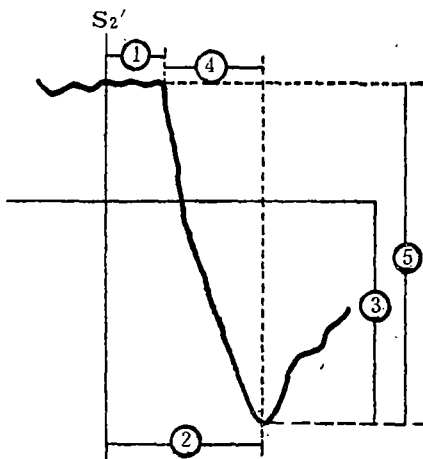


图 2 EML 波分析参数示意图

纵线为 $S_{O_2}(S_{2'})$ 呈现时刻, 横线为基线。①始降时; ②潜伏期; ③波幅绝对值; ④下降时; ⑤波幅峰一峰值。

表 2 EML 波与 V 波 的 比 较

	始 降 时 ms	潜 伏 期 ms	波 幅 绝 对 值 μV	陡 度 $\mu\text{V}/\text{ms}$
EML 波	163.6 ± 36.1	302.5 ± 49.3	7.2 ± 8.2	0.135 ± 0.085
V 波	106.4 ± 25.3	276.4 ± 74.7	-7.7 ± 7.6	0.157 ± 0.074
差 异 %	53.7	16.7	121.4	19.0
P 值	<0.001	<0.1	<0.01	<0.1

注：表内值为均数±标准差。

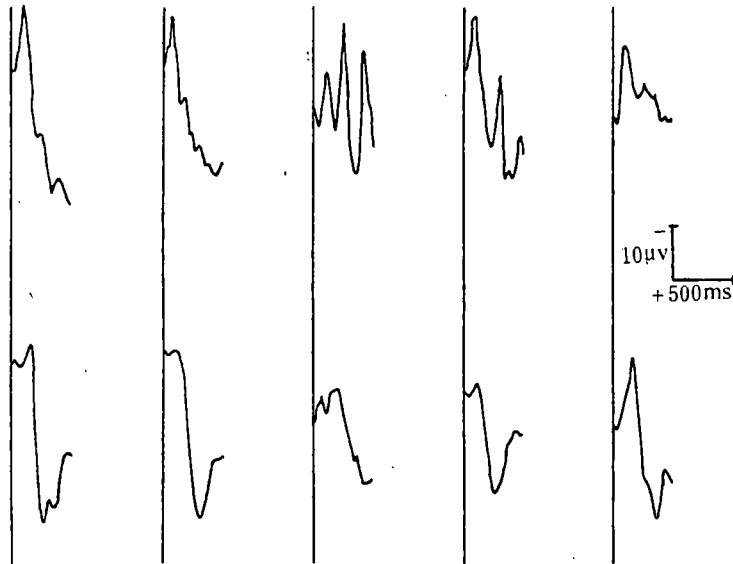
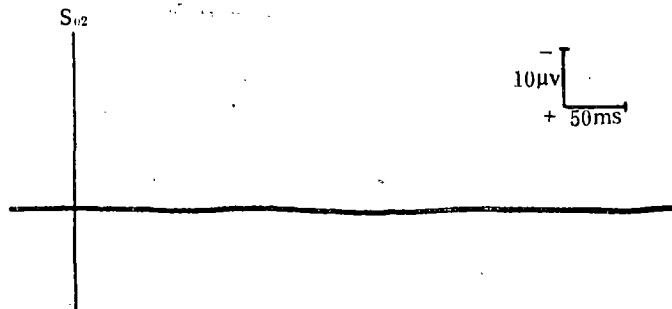


图 3 V波和EML波波形实例

上排：5名被试者在普通CNV后出现的V波。下排：他们各自在无运动CNV, S_{12} 呈现时出现的EML波。纵线为 S_2/S_{02} 呈现时刻。叠加16次。

图 4 S_{02} 呈现后的脑电波总平均图

纵线为 $S_{02}(S_{20})$ 呈现时刻。由14名被试者总平均, 每名被试者脑电波叠加16次。

讨 论

一、普通CNV中含有运动成分

在本工作的普通CNV实验中被试者有按键运动反应,在无运动CNV实验中被试者不作按键反应,因此这两项实验的主要区别在于是否有运动反应。从表1可知,普通CNV比无运动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分呢?原来,H. H. Kornhuber和L. 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。J. W. Rohrbaugh, et al (1976, 1980)^[6,7]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中运动预备电位成分的存在。本工作采用排除运动因素的方法所得到的上述结果,支持关于CNV中含有运动成分的观点。

二、EML波的性质

1. EML与CNV心理因素的性质。关于CNV心理因素成分的性质,自1964年Walter氏等^[6]首次报道发现CNV以来的20多年间,已提出了多种假说,主要有:期待说^[6],意动说^[7],动机说^[8],注意与觉醒说^[9],朝向反应说^[10]等,至今未得统一。这些假说各以其实验事实为依据,认为个别心理因素是构成CNV心理因素的主要成分。然而考查支持各假说的主要实验结果,可以看出,客观存在的各种实验结果一般并不具有排他性,各位学者在证实CNV中存在着某种心理因素的同时也并不能排除其他心理因素存在的可能性,于是目前已普遍认为CNV中的心理因素不是单一性的,但在同一项实验中设计多种心理因素同时存在的报道尚属罕见。我们曾在同一实验中同时观察到了三种心理因素与CNV相关的现象,并提出了关于CNV的心理因素应视为由多种心理因素综合构成的心理负荷加重的观点^[9]。在本实验情境中,如上所述,被试者接受了关于要测验其智力并与其他同学进行比较的指导语,力争达到高水平,于是操作十分努力认真,对由“ S_1-S_2 (或 S_{02})—反应(或辨别)”所构成的节奏保持着高度的警觉。例如在普通CNV实验中,几乎每名被试者都发生过按键反应提前的现象,即命令信号尚未呈现时被试者就已迫不及待地按了电键,可见他们为了缩短自己的反应时是处于多么紧张的状态之中。在辨别 S_{02} 的实验中,18db的 S_{02} 是这样的微弱,只有当被试者十分注意时才能听到。被试者的紧迫感随着“ S_1-S_{02} —辨别”的节奏而起伏:当听到 S_{02} 时,他们计到一次数,完成了一次任务,休息一下;若 S_{02} 未呈现,他们并不能立即断定是 S_{02} 未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。对被试者的问卷清楚地表明了这些心理过程。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 S_{02} 呈现后CNV陡然翻转为EML波的现象和 S_{02} 不呈现则CNV不翻转为EML波的现象。由此可见,EML波是随着被试者心理负荷的解脱而产生的,可称为“解脱波”。据此我们认为,CNV的心理因素成分可能是在完成同种任务时由期待、意动、动机、朝向、注意和觉醒等心理因素综合构成的心理负荷加重。

2. EML波中不存在外源性诱发电位成份。由实验结果三可知,EML波是伴随着 S_{02} 的出现而出现的,若不呈现 S_{02} ,则不出现EML,那么EML是由心理因素引起的(即诱发电位的内源性成份)呢,还是 S_{02} 的物理属性引起的(即诱发电位的外源性成份)呢,还是由两者同时引起的呢?实验结果四(见图4)表明,在本实验中 S_{02} 的物理属性未能引起诱发电位,于是证实了EML中不存在外源性诱发电位成份。

3. EML波中不存在运动成份。EML波是在无运动CNV实验中出现的,这时被试者并不作运动反应,因此有理由认为EML与运动无关,不含运动成份。可是,EML是在 S_1-S_{02} 两个信号相继呈现后出现的,而 S_1 在前一项实验(普通CNV实验)中曾作为运动反应的预备信号,那么这种运动信号作用会不会迁移到该项无运动CNV实验中并成为出现EML的一种因素呢? S_{02} 与 S_2 同是在 S_1 后1500ms出现的,而 S_2 乃是前一项实验(普通CNV实验)引起运动反应的命令信号。这种时间性条件反射关系会不会迁移到 S_{02} ,使其具有运动信号作用从而成为EML出现的一种因素呢?这些推测也都是需要考虑的问题。根据本实验之方法可知,在无运动CNV实验中,倘若 S_1 存在着从普通CNV实验迁移来的运动性条件作用,则对 S_{02} 呈现与 S_{02} 不呈现的情况具有同样的影响,若可导致EML波的发生,则在有无 S_{02} 时皆可引起EML波。但事实并非如此,EML波只出现于 S_{02} 呈现时,并不出现于 S_{02} 不呈现时,可见EML中不存在 S_1 迁移来的运动成份。本实验之方法指出:(1)前项实验中的运动反应与后项实验中的辨别反应是分别由截然不同的两种信号引起的,而不是由同一种信号引起的,而且这两种信号(S_2 与 S_{02})在音质与音量上的差别极为悬殊(S_{02} 为100 μ s,18db,SPL之短声, S_2 为1000Hz,55db H. L.之纯音),被试者无需强化,无需练习即可分辨清楚。(2) S_2 与 S_{02} 所代表的不同信号意义是得到了强化的:不仅一般地向被试交待实验任务,而且告诉他们完成任务的质量是对其智力水平的测验,因此在无运动CNV实验中被试者只有辨别的努力而毫无运动的动机。(3) S_{02} 的辨别信号作用是得到了巩固的:无运动CNV正式实验前先练习了15次左右。这些情况表明,前项实验中 S_2 的信号意义向后项实验中 S_{02} 迁移的可能性是不大的。实际上,在我们进行的另一项关于CNV的研究(待发表)中,有一项关于实验顺序的影响的观察,即一组被试者先作无运动CNV实验,后作普通CNV实验,另一组被试者先作普通CNV实验,后作无运动CNV实验。将两组所产生的EML的各项参数进行比较,并经过统计学差异显著性之考验,结果其间差异皆未达到显著性水平。在先作无运动CNV实验中所产生的EML不存在其 S_{02} 受运动性条件迁移的可能性。因此这个实验结果排除了关于 S_{02} 存在着前项实验迁移来的运动信号意义而使EML具有运动成份的可能性。

4. EML与V波的关系。从实验结果三及表2可知,EML与V波的始降时、幅度绝对值的差异达到了非常显著的水平,其间潜伏期和陡度的差异虽未达到统计学上的显著性水平,但差异的趋势是清楚的。始降时的非常显著的差异表明EML和V波出现的时程不同,从而反映出其脑内机制是不同的。波幅绝对值的非常显著的差异以及其极性和波形形状的不同,反映出两者在结构上是不同的,V波是在CNV的命令信号 S_2 后进行按键运动反应时产生的,根据诱发电位晚成分波幅高度的概念^[10]和运动电位的概念^[11]可知,V波是由心理因素成份、诱发电位晚成份和运动电位的成份共同作用而形成的混合波。根据上述关于EML波的分析可知,EML波是一种不含诱发电位晚成份,不含运动成份,因心理

负荷的解脱而产生的纯心理波,两者是有原则区别的。当然,从上述关于CNV心理因素的性质的讨论已可看出,V波也具有心理负荷解脱之含意,但V波是混合波,EML波是纯心理波,两者是不可混淆的。

5. EML与后正复合体(LPC)。EML是在 S_{02} 后约300ms形成的正波,其潜伏期与波形均与P300颇为相似。随着对P300的研究的不断发展,新发现的P300成员逐渐增多,故近年将P300易名为后正复合体(Late Positive Complex,简称LPC)^(12,13),因此要考虑EML波是否也属于LPC成员的问题。根据目前的研究结果,LPC与CNV的脑机制是不同的^(14,15),EML既系CNV发展而来,则目前尚无理由认为EML波是LPC之一员。

参 考 文 献

- (1) Tecce J. J., *Psychological Bulletin*, 77:79—108, 1972.
- (2) Rohrbaugh, J. W. et al., *Science*, 191:1055—1057, 1976.
- (3) 魏景汉,尔朱光,中国科学, B辑, 第4期, 387—392, 1986年.
- (4) Rohrbaugh J. W. et al., *Science*, 208:1165—1168, 1980.
- (5) Walter W. G. et al., *Nature*, 203:380—384, 1964.
- (6) Walter W. G., *British Journal of Physiological Optics*, 22:1—9, 1965.
- (7) Low M. D. et al., *Neurology*, 16:771—782, 1966.
- (8) Irwin D. A. et al., *EEG Clin. Neurophysiol.*, 21:538—549, 1966.
- (9) Weerts T. C. et al., *Biol. Psychol.*, 1:1—9, 1973(Abstract).
- (10) 魏景汉, 汤慈美, 心理学报, 14:246—252, 1982.
- (11) Vaughan H. G. Jr., et al., *EEG Clin. Neurophysiol.*, 25:1—10, 1968.
- (12) Pritchard W. S., *Psychological Bulletin*, 89: 506—540, 1981.
- (13) Sutton S. et al., *Annals of the New York Academy of Science*, 425: 1—23, 1984.
- (14) Donchin E., et al., *EEG Clin. Neurophysiol.*, 38:449—461, 1975.
- (15) Woods D. L., et al., *EEG Clin. Neurophysiol.*, 50: 335—347, 1980.

A WAVE RELATED TO PSYCHOLOGICAL ACTIVITY

Wei Jinghan Zheng Lianxing

(*Institute of Psychology, Academia Sinica*)

The Usual CNV and Non-motor CNV were investigated on fourteen young men. A wave (EML) which followed the extrication of mental load was discovered. The EML which is different from wave V formed after Usual CNV, does not contain any exogenous components of EP or motor components and is just a pure mental brain wave elicited by psychological factors. At the present stage, it is too early to consider EML as a component of LPC. The Psychological factors in CNV have been inferred because of the increase of mental load which is synthetically composed of expectancy, conation, motivation, orientation, attention, arousal, etc., while engaging in an identical task. In this experiment the off-line artifact rejection procedure and grand average records were used.