

刺激前后脑电 α 波相位重排现象研究

李 凌, 尧德中, 刘铁军, 赵丽娜

(电子科技大学生命科学与技术学院 成都 610054)

【摘要】对8个被试在视听觉同步刺激模式下采集的脑电数据,选择 O_1 电极探讨刺激前后,从自发脑电到诱发脑电过程中 α 波(8~13 Hz)相位重排现象。计算每次刺激前的幅度(P_r)、相位(ϕ),和刺激后的第一个正(P)波和第一个负(N)波的潜伏期与幅度共6个参数。提出了 P_r 和 P 、 N 波幅度之间的3次多项式模型;采用线性回归中异常值检验法量化相位重排的程度,结果表明:从自发脑电到诱发脑电的过程中, α 波的相位存在明显的重排现象。

关键词 自发脑电; 诱发脑电; 相位重排; α 波; 统计检验
中图分类号 R318.04; R853 文献标识码 A

A Study of the Phase Resetting from Ongoing EEG to Single Trial EPs of Alpha Wave

LI Ling, YAO De-zhong, LIU Tie-jun, ZHAO Li-na

(School of Life Science and Technology, UEST of china Chengdu 610054)

Abstract The phase resetting from pre-stimulus to post-stimulus alpha wave (8~13 Hz) in eight healthy subjects is studied. The six parameters of single trail alpha wave are computed and analyzed: pre-stimulus amplitude and phase angle, post-stimulus amplitude and latency of first positive and negative peak. The amplitude relationship between pre- and two post-stimuli can be described by a cubic polynomial model. By using the method of outlying cases test in linear regression, we can quantitatively analyze the degree of phase resetting. The results demonstrate that there is partial phase resetting from pre- to post-stimuli in the band of alpha wave.

Key words electroencephalogram; evoked potentials; phase resetting; alpha wave; statistical test

在人的头皮表面,可以记录到自发脑电(ElectroEncephaloGram, EEG)和与一定刺激相关的诱发脑电(Evoked Potentials, EPs),诱发脑电的产生机制引起了人们广泛的研究兴趣^[1]。从有脑电图记录开始,就有人提出假设,认为大脑对感官刺激的反应可能依赖于皮层自发振荡活动。文献[2]提出在皮层兴奋区有自发的节律变化,定时的刺激决定了皮层的响应;随后文献[3]提出皮层响应随着内在 α 波节律的变化而波动;文献[4-7]先后用实验证实视觉和听觉刺激-响应信号的潜伏期依赖于 α 波节律的相位,证实了诱发脑电的幅度也有类似的依赖性。这些研究都表明自发脑电的相位对诱发脑电的性质有着重要的意义。

本文在视听觉同步刺激模式下,分析了每一次刺激(single trail)前后脑电 α 波(8~13 Hz)信号的关系,并对刺激前的幅度和相位与刺激后的 P 、 N 波峰值和潜伏期的关系进行了研究。

1 脑电数据采集和预处理

被试为8名健康在校男性青年,同时受到视觉和听觉刺激,共有4种组合:(1)图形“圆”和语音“圆”;(2)图形“圆”和语音“线”;(3)图形“线”和语音“圆”;(4)图形“线”和语音“线”。实验模式为Oddball模式,图形与语音刺激一致为靶刺激20%,图形与语音刺激不一致为标准刺激80%。刺激呈现持续时间为1 000 ms,要求被试受到刺激后,尽可能快地做出判断。

用128导EGI脑电采集系统进行数据记录,参考电极取头顶 C_z ,采样频率为:250 Hz,头皮电阻小于5 k Ω ,

收稿日期:2005-01-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(90208003);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目

作者简介:李 凌(1975-),女,在职博士生,主要从事神经信息学、EEG/ERP的模型与方法方面的研究。

同时记录水平眼电和垂直眼电。记录数据后进行离线(off-line)处理: 45 Hz低通滤波; 分段(epoch), 刺激前-100 ms到刺激后1 100 ms; 去眨眼、头动等伪迹; 基线校准(-100 ms ~ 0), 并换算成平均参考。对标准刺激的O₁电极进行分析, 用布莱克曼窗函数设计一个线性相位的FIR滤波器, 通带8 ~ 13 Hz, 最大阻带起伏可以达到-74 dB, 对该电极信号进行零相移滤波即得到脑电 α 波。

分析每次刺激前后 α 波的6个参数: (1) 分别为刺激前相位(ϕ); (2) 刺激前平均幅度(Pr); (3) 刺激后第一个正峰P的归一化潜伏期(P_1L); (4) 幅度(P_1A); (5) 刺激后第一个负峰N的归一化潜伏期(N_1L); (6) 幅度(N_1A)^[8], 归一化潜伏期简称为潜伏期。估计出多次刺激的这6个参数后需要剔除一些不符合的trails, 剔除的原则有下列: 刺激前后的周期在76 ~ 125 ms以内有效, 以保证周期在 α 波范围内; P_1A 必须大于零, N_1A 必须小于零; 剔除没有找到刺激前的最大值、最小值的trails。

由于有些trails通过刺激点时幅度是增加趋势, 另外一些则是降低趋势, 因此把每个被试的多次trails分成两类, (1) PZC(增加); (2) NZC(降低)。把所有被试的这些参数制成sav数据利用SPSS软件进行统计分析, 共有PZC类型2 972次刺激和NZC类型2 366次刺激。

2 统计分析结果

用单因子方差法分析8个被试对6个参数的显著影响水平, PZC和NZC两种类型的数据结果一致: 不同被试对 Pr 、 P_1A 、 N_1A 有显著性影响($sig < 0.05$), 而对 ϕ 、 P_1L 、 N_1L 没有显著性影响($sig > 0.05$)。下面分别讨论刺激前幅度 Pr 和刺激前相位 ϕ 对刺激后4个参数的影响水平。

2.1 刺激前幅度 Pr 的影响

把每个被试的参数以 Pr 为自变量, P_1L 、 P_1A 、 N_1L 、 N_1A 为因变量画散点图, 如图1所示, 表示被试 Lxz 刺激后的4个参数随刺激前幅度的变化情况(NZC情况), 其中 m 为线性拟合的斜率。其他被试的散点图都与图1类似, 直观结果表示刺激前幅度 Pr 越大, 刺激后的P、N波的幅度值越大; 而 Pr 对刺激后P、N波的潜伏期几乎没有影响。为了证实该结论, 进行皮尔逊卡方检验和线性关系检验, 检验结果表明: 所有被试的 Pr 与 P_1L 、 N_1L 的皮尔逊卡方检验显著性概率均大于0.05, 因此 Pr 与 P_1L 、 N_1L 相互独立; 所有被试的 Pr 与 P_1A 、 N_1A 的线性关系检验的显著性概率都为零, 因此 Pr 与 P_1A 、 N_1A 存在线性关系。为了量化有关关系, 采用多种曲线拟合方法(线性、对数、二次项等十几种)来探讨 Pr 与刺激后幅度的关系模型。发现用三次多项式拟合效果最好:

$$Am = b_0 + b_1Pr + b_2Pr^2 + b_3Pr^3 \tag{1}$$

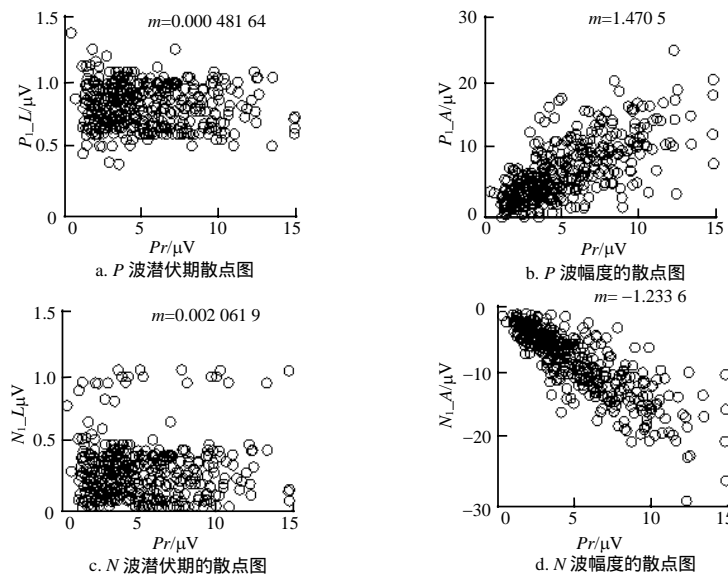


图1 被试 Lxz 377 次刺激的刺激前幅度和刺激后4个参数之间的散点图(NZC)

表1所示是拟合后的各项参数: Rsq 表示相关系数的平方; $b_0 \sim b_3$ 为多项式系数; $sigf$ 为显著性概率, 均

小于0.05,表示该拟合是有效的。表1显示随着 Pr 的增加, P 、 N 波幅度的绝对值增大;离刺激点较近的 P 或 N 波的 Rsq 大于离刺激点较远的 P 或 N 波的 Rsq ,表示刺激前幅度 Pr 对刺激后近的峰或谷值的影响更大,而对刺激后远的峰或谷值的影响要小一些。对式(1)求导并代入表1中的数据,其结果表示在 Pr 较低时,随着 Pr 的增加, P 、 N 波幅度增加速度逐渐升高,当 Pr 达到一定大小时,随着 Pr 的增加, P 、 N 波幅度增加速度逐渐降低。

表1 曲线拟合参数

		自变量: Pr					
	因变量	Rsq	$Sigf$	b_0	b_1	b_2	b_3
PZC	P_{1_A}	0.704	0.000	1.367 2	0.937 2	0.075 6	-0.002 6
	N_{1_A}	0.552	0.000	-2.641 6	-0.593 2	-0.092 9	0.003 2
NZC	P_{1_A}	0.557	0.000	1.874 2	0.650 1	0.060 7	-0.002 1
	N_{1_A}	0.765	0.000	-1.210 0	-1.063 4	-0.047 5	0.001 5

2.2 刺激前相位 ϕ 的影响

把每个被试的参数以 ϕ 为自变量,刺激后的 P_{1_L} 、 P_{1_A} 、 N_{1_L} 、 N_{1_A} 为因变量画散点图,发现 ϕ 和 P_{1_L} 、 N_{1_L} 呈反比关系,与图1d类似;而 ϕ 对 P_{1_A} 、 N_{1_A} 几乎没有影响,与图1a、c类似。统计检验结果表明:所有被试的 ϕ 与 P_{1_A} 、 N_{1_A} 之间相互独立; ϕ 与 P_{1_L} 、 N_{1_L} 之间存在线性关系。

如果刺激前的相位角与刺激后第一个波的潜伏期满足关系: $\phi+L_1=0.5$,与第二个波的潜伏期满足关系: $\phi+L_2=1$,则表示刺激前后没有发生相位重排。因此文献通过计算 ϕ 与 P_{1_L} 、 N_{1_L} 的线性拟合斜率来衡量是否重排^[8],当斜率等于0时,认为相位完全重排了,若位于-1和0之间则表示部分重排。为了量化相位重排的程度,本文采用线性回归中异常值检验法,方法描述如下^[9]:设第 i 个案例可能是个异常值,假设对所有其他案例的模型为:

$$y_j = x_j^T \beta + e_j \quad j \neq i \quad (2)$$

但对第 i 个案例模型为:

$$y_i = x_i^T \beta + \delta + e_i \quad (3)$$

可以通过检验 $\delta = 0$ 来检验第 i 个案例是否为异常值。步骤如下:(1)从数据中删除第 i 个案例,余下的 $n-1$ 个案例用来拟合线性模型,估计 $\hat{\beta}_{(i)}$ 和方差 $\hat{\sigma}_{(i)}^2$;(2)对第 i 个案例计算拟合值 $\tilde{y}_i = x_i^T \hat{\beta}_{(i)}$,由于第 i 个案例没有用于估计, y_i 和 \tilde{y}_i 相互独立,它们差的方差为:

$$\text{Var}(y_i - \tilde{y}_i) = \hat{\sigma}_{(i)}^2 + \hat{\sigma}_{(i)}^2 x_i^T (X_{(i)}^T X_{(i)})^{-1} x_i \quad (4)$$

(3)如果 y_i 不是一个异常值,则 $E(y_i - \tilde{y}_i) = 0$,假定误差符合正态分布,则学生 t -检验:

$$t_i = \frac{y_i - \tilde{y}_i}{[\text{Var}(y_i - \tilde{y}_i)]^{1/2}} \quad (5)$$

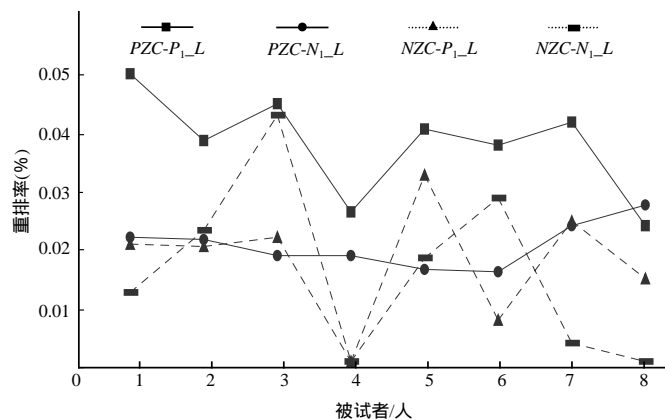


图2 4个模型的相位重排比率

本文假设PZC类型的回归模型为： $\phi+P_1L=0.5$ ， $\phi+N_1L=1$ ；NZC类型中的回归模型为： $\phi+P_1L=1$ ， $\phi+N_1L=0.5$ 。即先假设相位没有发生任何重排，计算在该模型下有影响力的异常值，这些trials就代表相位重排的部分。按照上面步骤进行异常值检验，检验水平为0.05，查表得到临界值，计算每个被试相位重排所占的比率，结果如图2所示，相位重排所占的比率都在5%以下。但是，两大类型对相位重排的影响具有显著性差异($sig=0.022$)，PZC类型中相位重排程度显著大于NZC类型；P、N波对相位重排的影响具有显著性差异($sig=0.018$)，尤其PZC类型中P波相位重排的比率显著大于N波。两大类型和P、N波的交互作用对相位重排没有显著影响($sig=0.123$)。

3 结束语

本文探讨了在视听觉同步刺激模式下每一次刺激前后脑电 α 波段(8~13 Hz)的关系。提出了Pr和P、N波幅度之间的3次多项式模型；采用线性回归中异常值检验法量化相位重排的程度，结果显示PZC类型中相位重排程度显著大于NZC类型，原因可能是PZC对应于神经元群正处于兴奋状态，外加刺激可以比较及时的起到作用，而NZC类型，对应的神经元群正处于兴奋后状态，神经元的不应期将部分削减外加刺激的作用；PZC类型中P波相位重排的比率显著大于N波，原因可能是P波距离刺激时刻较近，相位重排的作用更加一致。

相位重排的比率均小于5%，即大部分的记录结果显示刺激后潜伏期依赖于刺激前的相位，其原因可能是由于头皮记录到的是细胞群尺度上的功能体现，与刺激相关的少数细胞的相位重排只有较小的概率能在头皮记录上表现出来，宏观表现就是自发脑电幅度远远大于诱发脑电幅度。

本文研究工作得到了电子科技大学校青年基金(No.JX05041)的资助，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 尧德中. 脑功能探测的电学理论与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 15-22.
- [2] Bishop G. Cyclic changes in excitability of the optic pathway of the rabbit [J]. Am J Physiol, 1933, 103:213-224.
- [3] Lindsley D B. Psychological phenomena and the electroencephalogram [J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1952, (4): 443-456.
- [4] Callaway E, Yeager C L. Relationship between reaction time and electroencephalographic alpha phase [J]. Science, 1960, 132: 1 765-1 766.
- [5] Dustman R E, Beck E C. Phase of alpha brain waves, reaction time and visually evoked potentials [J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1965, 18: 433-440.
- [6] Rice D M, Hagstrom E C. Some evidence in support of a relationship between human auditory signal-detection performance and the phase of the alpha cycle [J]. Percept Mot Skills, 1989, 69: 451-457.
- [7] Jansen B H, Brandt M E. The effect of the phase of prestimulus alpha activity on the averaged visual evoked response [J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1991, 80: 241-250.
- [8] Brandt M E. Visual and auditory evoked phase resetting of the alpha EEG [J]. International Journal of Psychophysiology, 1997, 26: 285-298.
- [9] Weisberg S. 应用线性回归(第2版)[M]// 王静龙, 北京: 中国统计出版社, 1998: 118-130.

编 辑 孙晓丹