

固定位置区域提示下视觉注意范围等级的 ERP 研究*

高文斌 罗跃嘉** 魏景汉 彭小虎 卫 星

(中国科学院心理研究所, 北京 100101)

摘 要 研究视觉空间注意中注意范围的脑内时程的动态变化。被试为 14 名青年人, 使用固定位置的、3 种不同直径的线圈作为注意范围的区域性提示, 祛除空间定位因素的影响, 记录反应时和事件相关电位 (ERP) 数据。结果显示: 提示范围由小到中等时, 反应时延长, 而由中等到大范围时, 反应时缩短; 提示物和靶刺激诱发 ERP 的早成分 (N1、P1) 不受提示范围大小的调节, 而其 P2、N2 的波幅与潜伏期均明显受到提示范围大小的影响。这些结果说明: 视觉注意诱发的 P1、N1 成分, 主要与空间定位信息的加工相关; 提示物诱发的 P2、N2 成分与注意范围相关; 在视觉信息加工过程中, 空间位置的信息要早于其它信息被加工, 支持视觉信息串行加工观点。

关键词 视觉空间注意, 区域提示, 范围等级, 事件相关电位。

分类号 B842.3

1 前 言

视觉信息加工是知觉研究中的重要方面, 选择性注意在视觉加工中具有十分关键的作用, 其中不同范围注意的神经机制至今还不明确。除了通过测量反应时、眼动等外显指标外, ERP 是一种很有效的研究手段。ERP 不同成分中包含着丰富的脑加工时程与功能区分布的有关信息^[1], 分析这些信息将有助于深入了解视觉中不同范围注意的独特机制。

20 世纪中期已经看到, 识别提示下靶刺激的反应时快于无提示靶刺激的反应时, 前者的准确率也大于后者^[2,3]。视觉空间注意的 ERP 研究提供了更多有力证据, 以往实验结果认为与视觉注意密切相关的成分包括 C1 (50 ~ 90ms)、P1 (80 ~ 130ms)、N1 (140 ~ 200ms) 等^[4]。在传统实验中, 较经典的两种提示范式是符号性提示 (symbolic cue) 和区域性提示 (location cue)。符号性提示是通过箭头等符号提示靶刺激将要出现的位置, 区域性提示是通过闪烁等方式, 直接标示出靶刺激将要出现的区域。这两种提示均得到了两方面的结果: 有提示靶刺激引起的 P1、N1 波幅大于无提示靶刺激引起的波幅^[5]; 有效提示 (提示信息为真) 时的 P1、N1 波幅大于无

效提示 (提示信息为假或中性) 的 P1、N1 波幅^[6,7]。这两类实验范式研究了提示下视觉加工的机制, 但都没有关注到注意范围大小的影响。在这两种范式中也存在注意范围的作用, 但主要是空间方位的作用, 即靶刺激出现在什么方位。

至今关于视觉注意范围等级的 ERP 及其脑机制的研究还很少。在我们最近的研究中, 涉及了视觉注意空间等级的脑机制研究, 对空间注意的范围进行了分级^[8,9]。三种不同大小的方框在屏幕的不同位置随机出现, 令被试据此寻找并辨别靶刺激。结果发现靶刺激诱发的 P1 波幅随提示范围增大而增大, 头颅后部 N1 成分的波幅随提示范围增大而减小, 而提示物诱发的头颅后部 N1 成分的波幅随提示范围增大而增大。这项实验研究了注意范围因素对视觉加工的作用, 但由于提示物出现的位置是随机的, 所以混入了空间方位因素的影响。

本实验对于罗跃嘉等提出的空间注意分级方法进行了改进, 祛除了由于位置随机呈现提示物而混杂的空间方位因素, 首次使用固定位置提示研究空间注意范围, 纯化了视觉注意范围因素的效应, 以便更深入的探讨视觉注意空间等级的脑机制。实验同时记录提示物与靶刺激诱发的 ERP, 讨论提示范围大小和 ISI (提示与靶刺激的间隔时间) 对 ERP 的影

收稿日期: 2002 - 01 - 05

* 中国科学院“百人计划”、中国科学院重大交叉学科前沿项目 (KJ CX1 - 07)、国家自然科学基金资助项目 (39970257)。

** 通讯作者。

响,进而探讨潜在的脑活动机制。

2 实验方法

2.1 被试

为 14 名健康青年人(男性 7 名,女性 7 名),作为有偿被试,皆首次参加 ERP 实验。年龄范围 18~20 岁(平均 18.7 岁),均为右利手,视力正常或矫正后正常。

2.2 刺激材料

刺激在 14 彩色显示器上呈现,刺激序列为“背景—提示—靶刺激”。背景为视角 13° 的白色圆,圆心位置有黑色小十字作为注视点。提示物为 3 种大小不同的黑色线条圆圈,圆心均在屏幕中点,直径视角分别是 11.4°、7.6°、3.8°。提示后同时呈现月牙形符号(视角为 0.92°×0.76°)共 11 个,其中

靶刺激为 1 个纵向月牙,凹面向左或向右;另外有 10 个横向月牙为分心刺激,凹面上或向下。所有月牙出现的位置是随机的,且彼此间不重叠。除了 10% 的刺激序列未进入叠加,靶刺激总是出现在提示范围内,即提示的有效性为 100%。提示与靶刺激之间的间隔(ISI)分为短(400~600ms)、长(600~800ms)两组。

2.3 ERP 记录

实验仪器为 NeuroScan ERP 工作站,采用电极帽记录 128 导脑电。参考电极置于双侧乳突连线,前额接地,同时记录水平眼电和垂直眼电。滤波带通为 0.10~40Hz,采样频率为 500Hz/导,头皮电阻小于 5 千欧。分析时程(epoch)为 1200ms,含基线 200ms,自动矫正眨眼等伪迹,波幅大于 ±100(V 者在叠加中被自动剔除)。

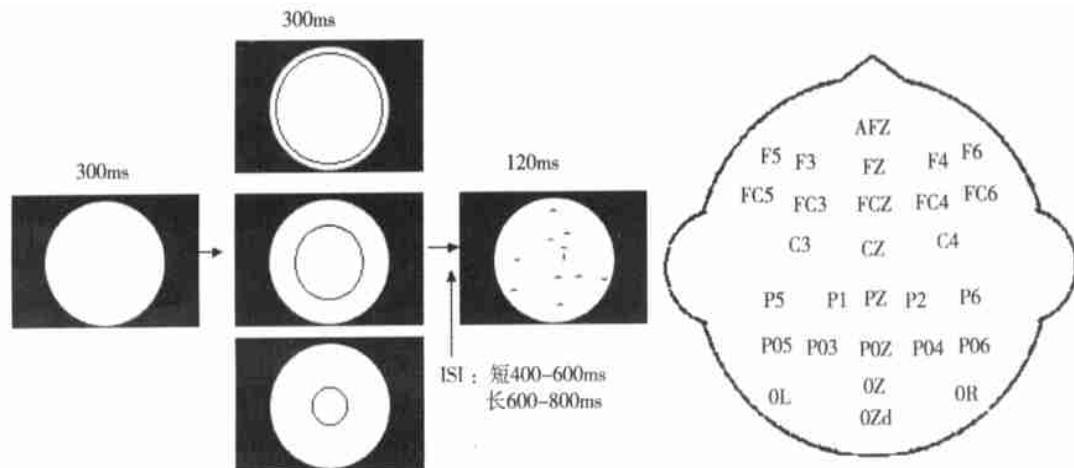


图 1 实验流程图(左)及记录电极位置示意图(右)

2.4 程序与任务

如图 1(左)所示,首先呈现背景 300ms,接着随机呈现一个黑色线圈(共 3 种大小)作为不同注意范围的提示物,时间为 300ms。提示消失后,同时呈现 11 个月牙形的刺激物,其中只有 1 个竖向的月牙为靶刺激,另外 10 个为分心物;呈现时间为 1200ms,以保证被试有足够的识别时间。提示物与靶刺激之间的时间间隔(ISI)分为:短间隔 400~600ms,长间隔 600~800ms;两种时间间隔等比例随机出现。三种提示物出现的几率相同,除了 10% 的靶刺激出现在提示范围之外,其余都出现在提示范围以内。被试的任务是根据纵向月牙凹面向左或向右,分别用左、右手拇指按键,但对于出现在提示范围之外的靶刺激不做反应。对被试反应的正确性和反应速度做

同等强调。不同被试的左右手按键进行组内平衡。

2.5 ERP 数据分析与统计

对 EEG 分类叠加,可得到 3 种不同提示物诱发的 ERP,以及不同 ISI 和不同提示范围内反应正确的 6 类靶刺激诱发的 ERP。根据前人工作与本实验目的,选取 28 个电极点进行数据分析(见图 1 右),CZ、C3、和 C4 及其以前的 14 个电极点视为头颅前部,以后 14 个电极点视为头颅后部。地形图由 128 枚电极记录得出。根据 ERP 总平均图和前人经验,对前后部头颅分别进行方差分析(ANOVA)。提示物诱发的 ERP 在头皮前部的测量窗口为 105~140ms(N1)、140~260ms(P2)、260~360ms(N2);后部为 50~130ms(P1)、130~200ms(N1)、200~280ms(P2)、280~360ms(N2)。靶刺激诱发

的 ERP 在头皮前部的测量窗口为 30 ~ 120ms(N1)、120 ~ 260ms(P2)、260 ~ 360ms(N2);后部为 60 ~ 130ms(P1)、130 ~ 200ms(N1)、200 ~ 240ms(P2)、240 ~ 320ms(N2)。用 SPSS 统计软件对上述各段波幅(峰-峰值)、潜伏期分别进行 3 因素的方差分析,因素为刺激间隔(ISI)(2 水平:短和长)、注意范围(3 水平:小、中和大)和记录部位(头颅前部:14 水平;头颅后部:14 水平)。多因素方差分析的 p 值皆用 Greenhouse-Geisser 法校正,并对数据进行正常化处理。

3 实验结果

3.1 行为数据

靶刺激识别的正确率,在短间隔时随提示范围的扩大而降低,小、中、大范围分别为:99.0%、94.7%、91.9%。 $F(2, 14) = 73.56, p < 0.001$ 。在长间隔时,小、中、大范围分别为:99.1%、92.1%、93.9%。 $F(2, 14) = 80.32, p < 0.001$ 。反应时(RT)在短间隔时,不同范围提示的反应时存在显著差异, $F(2, 14) = 9.34, p < 0.001$;经 LSD 方法两两比较,小范围提示(520ms)快于中范围提示(543ms), $p < 0.05$;大范围提示(505ms)快于中范围提示(543ms), $p < 0.001$ 。在长间隔时,不同范围提示的反应时也存在显著差异, $F(2, 14) = 13.08, p < 0.001$;经 LSD 方法两两比较,小范围提示(524ms)快于中范围提示(561ms), $p < 0.05$;大范围提示(518ms)快于中范围提示(561ms), $p < 0.001$ 。值得注意的是,无论短间隔还是长间隔,小

范围与大范围之间的反应时都没有显著性差异。

在小和大范围提示下,不同 ISI 对于反应时无明显影响,而在中等提示范围时,短间隔的反应时(543ms)比长间隔的反应时(561)快, $F(2, 14) = 4.43, p < 0.05$ 。

3.2 ERP 数据

3.2.1 提示物诱发的 ERP 成分

提示物产生的 ERP 总平均图见图 2 所示。P1 成分在后部头颅波形较明显,但其波幅与潜伏期均没有表现出注意范围因素的主效应。

前部 N1 的潜伏期有显著的注意范围与记录部位两个因素的交互主效应, $F(26, 338) = 5.79, p < 0.001$,在三种注意范围提示下,均在右侧额叶和中央部潜伏期最短(C4、CZ、FC4)。后部 N1 的波幅也有显著的注意范围与记录部位两个因素的交互主效应, $F(26, 338) = 2.75, p < 0.05$;在三种注意范围时,后部 N1 均在右侧颞后部(PO6)波幅最大,小、中、大范围分别为 $3.3 \pm 1.3\mu\text{V}$ 、 $4.0 \pm 1.4\mu\text{V}$ 、 $3.8 \pm 1.2\mu\text{V}$ 。

提示范围显著影响前部 P2 潜伏期, $F(2, 26) = 8.31, p < 0.01$,小、中、大范围的潜伏期逐渐延长,分别为 $214 \pm 7.0\text{ms}$ 、 $222 \pm 8.2\text{ms}$ 、 $230 \pm 5.5\text{ms}$ 。另外对前部和后部 N2 的波幅都有显著主效应, $F(2, 26) = 20.15, p < 0.001$; $F(2, 26) = 4.78, p < 0.05$ 。小、中、大提示范围诱发的波幅依次减小,在前部分别为 $4.9 \pm 0.49\mu\text{V}$ 、 $4.73 \pm 0.50\mu\text{V}$ 、 $3.2 \pm 0.30\mu\text{V}$;在后部分别为 $2.3 \pm 0.32\mu\text{V}$ 、 $2.4 \pm 0.30\mu\text{V}$ 、 $1.52 \pm 0.26\mu\text{V}$ 。

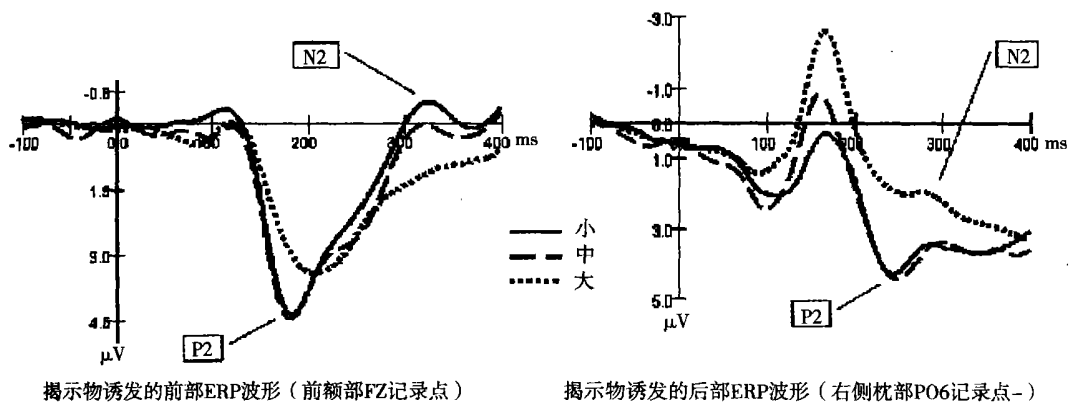


图2 三种提示物诱发的 ERP 总平均图

3.2.2 靶刺激诱发的 P1、N1 成分

后部 P1 成分在长刺激间隔时比短刺激间隔条件下波幅显著增大, $F(1, 13) = 7.09, p < 0.05$ (短间隔, $2.6 \pm 0.42 \mu\text{V}$; 长间隔, $3.4 \pm 0.36 \mu\text{V}$)。各因素对于 P1 潜伏期均无显著性主效应。

前部 N1 波幅受到刺激间隔的显著影响, $F(1, 13) = 33.55, p < 0.001$ (短间隔, $2.4 \pm 0.55 \mu\text{V}$; 长间隔, $0.53 \pm 0.31 \mu\text{V}$)。N1 波幅与潜伏期均无注意范围的主效应。

后部 P2 波幅在右侧颞后部最大 (PO6, $8.9 \pm 1.7 \mu\text{V}$), $F(13, 169) = 4.60, p < 0.01$ 。短间隔时比长间隔时的 P2 波幅较大, $F(1, 13) = 8.82, p < 0.05$ (短间隔, $8.2 \pm 1.0 \mu\text{V}$; 长间隔, $7.9 \pm 1.0 \mu\text{V}$)。另外还表现出了注意范围与记录位置的交互效应, $F(26, 338) = 2.79, p < 0.05$ 。注意范围显著影响后部 P2 潜伏期, $F(13, 169) = 3.99, p < 0.05$, 小、

中、大范围分别为: $223 \pm 2.5 \text{ms}$, $222 \pm 2.4 \text{ms}$, $220 \pm 2.8 \text{ms}$ 。而前部 P2 波幅在小、中、大注意范围时分别为 $9.4 \pm 0.90 \mu\text{V}$, $8.5 \pm 0.85 \mu\text{V}$, $8.59 \pm 0.72 \mu\text{V}$, 有显著差异, $F(13, 169) = 3.42, p < 0.05$ 。

后部脑区 N2 波幅在短间隔时小于长间隔 (短间隔, $2.6 \pm 0.42 \mu\text{V}$; 长间隔, $3.0 \pm 0.42 \mu\text{V}$), $F(1, 13) = 7.54, p < 0.05$; 但 N2 波幅与潜伏期都没有注意范围的主效应。前部脑区 N2 的波幅和潜伏期在不同注意范围时有显著差异, $F(2, 26) = 10.13, p < 0.01$, 小、中、大范围的波幅分别为: $6.3 \pm 0.49 \mu\text{V}$, $7.6 \pm 0.52 \mu\text{V}$, $7.5 \pm 0.53 \mu\text{V}$ 。最大波幅位于额叶前部 (FZ, $8.2 \pm 0.56 \mu\text{V}$; FCZ, $8.2 \pm 0.67 \mu\text{V}$), $F(13, 169) = 4.30, p < 0.01$ 。小、中、大范围的潜伏期分别为: $288 \pm 4.0 \text{ms}$, $294 \pm 3.8 \text{ms}$, $296 \pm 3.6 \text{ms}$, $F(2, 26) = 6.22, p < 0.01$ 。(ERP 波形见图 3)

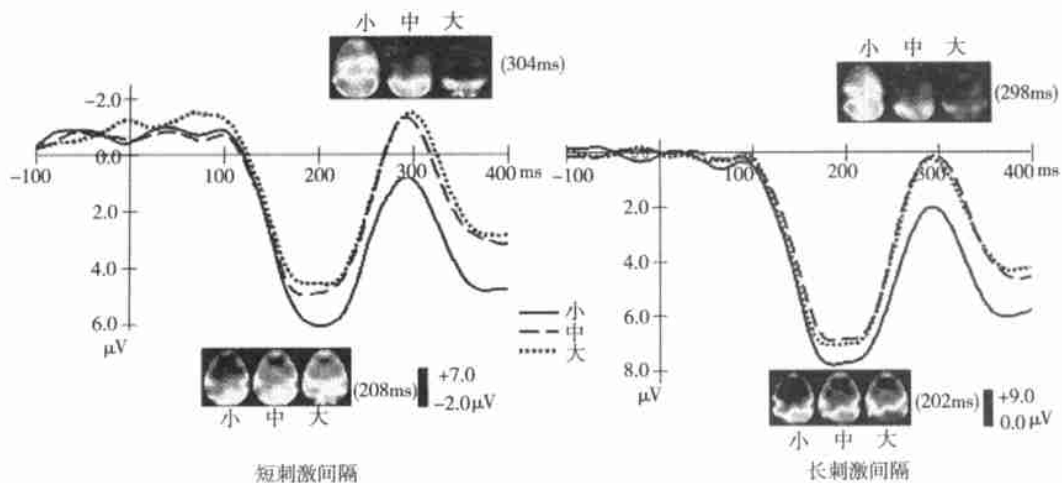


图3 靶刺激诱发的 ERP 总平均图和脑地形图,前部 P2、N2 成分(FZ 记录点)。

4 讨 论

本实验为进一步研究视觉选择性注意中有关注意范围加工的脑机制,在以前实验的基础上提出了一种新的实验范式,给视觉空间注意的注意范围等级效应提供了新的电生理学证据。实验得到了有关注意范围加工时程和脑功能分布的初步结果,发现改变有效提示注意范围的大小,会诱发出大脑皮层神经活动的多种变化。

早期视皮层活动受注意范围大小的调节不明显。以往的视觉空间注意研究一致认为,有提示靶刺激引起的 P1、N1 波幅大于无提示靶刺激引起的波幅^[4,5,10]。如 Hopfinger 和 Mangun 的实验报

告^[6]表明在有效提示下, P1 波幅增大。在罗跃嘉进行的注意等级的研究中,靶刺激诱发的脑后部 P1 波幅随提示范围增大而增加,而后部 N1 的波幅随提示范围的增大而减小,出现了 P1、N1 调节效应的分离^[8,9]。而在本实验提示物和靶刺激诱发的 P1 和 N1 都没有表现出与注意范围相关的调节效应,这种结果应该与本实验模式的改变有关。在以往的实验中,被试认知注意范围大小的同时,还需要确定注意的方位,或是不同视野、或是不同的空间方位,这就混入了定位因素。由于本实验的提示物为一黑线圈,且三种范围提示物的圆心皆在屏幕中心,这样就祛除了注意范围的方位因素。因此,ERP 的早期成分(P1、N1)并没有受到显著影响的实验结果提

示:早期视觉皮层的调节活动可能与注意方位有更大的关系,还可能会受到刺激物理差异的影响,注意范围的大小并不是引起早期调节的主要原因。

无论是反应时(RT)还是靶刺激诱发的 ERP 波幅,它们都不与注意范围大小的变化呈简单线性相关,即不随注意范围增大而单调增大或减小。在罗跃嘉等^[8]的实验中,注意范围被分为三个等级,RT 和 N1、P1 波幅都与注意等级大致呈线性相关。本实验小和中等注意范围,符合罗跃嘉实验的结果,但大范围注意时,结果不一致。比较这两个实验的条件,如果从提示注意范围与最大注意范围(刺激物呈现的最大范围)之间的比例来看,可以发现本实验中中等注意范围条件与罗跃嘉实验的大范围条件下的“注意范围比例”非常接近,而本实验中的大范围已经接近刺激物呈现的最大范围。这一点,在以往的实验中并没有特别分析,因而本实验结果可能提示:在一定的“注意范围比例”内,反应时和脑皮层活动的强度与注意范围大小成正相关,而一旦超过一定的范围,就可能不再成正相关。换言之,很可能存在与最大注意强度相对应的“最适注意范围比例”。

提示物与靶刺激之间的时间间隔(ISI),几乎影响 ERP 的全部时程。本实验与以往的实验相比,ISI 对 ERP 早期成分的影响基本一致。在罗跃嘉的实验中,短间隔(230~350ms)比中间隔(500~650ms)条件下靶刺激诱发的 P1 波幅大,但长间隔(800~950ms)时的 P1 波幅介于这两者之间^[8]。据 Greenwood 的行为学实验报告^[11,12],在 SOA 为 500ms 时,注意范围的变化对反应时的影响最为明显。而本实验短间隔(400~600ms)的波幅小于长间隔(600~800ms)的波幅。由此可见,很可能在间隔时间(ISI)为 300~400ms 时,诱发的皮层活动最强烈,但是否是引起最强注意度的最适合刺激间隔,还有待进一步研究。

另外,ISI 因素在后部 N2 和 P2 的波幅变化中有主效应。这种效应可以理解为早期注意调节完成的信号。由于 ISI 对脑皮层神经电活动的调节作用主要表现在头颅后部,可能提示对于刺激间隔这一信息的加工主要在初级视皮层及其附近脑区。对于这个现象的理解,可以借鉴一下近期一项研究中对注意效应提出的观点——“消耗-增益”(cost-benefit)连带关系^[13]。总之,提示与靶刺激时间间隔对于目标信息加工的影响,尤其本实验中表现出的 ISI 对 ERP 中晚期成分的影响值得重视。

在完成分辨靶刺激的任务中,N2 受到了注意范围因素的明显调节。根据以往的研究结果,N2 主要反应的是靶刺激物自身特征信息的加工过程^[4]。在本实验中前部 N2 的波幅与潜伏期都明显受到提示范围大小的影响,而后部 N2 并未出现此效应,说明对靶刺激的分辨任务是由顶叶和额叶的脑功能区完成的,这符合其它研究的结果^[4]。另外本实验还发现,无论提示物还是靶刺激诱发的 ERP,在 P2(120~260ms)阶段就开始受到提示范围大小的影响,这可能提示在这个时间段对目标本身属性信息的加工就已经开始了。

在视觉信息加工的机制上存在一个重要问题——客体各种信息的加工是并行的,还是串行的?支持后者观点的一些研究^[4]表明:空间位置的信息是先于其它信息被加工的,空间定位是加工其它客体信息的前提。通过与罗跃嘉实验比较,实验设计上的主要区别在于本实验减少了空间定位的因素,从而突出了注意范围的作用。本实验结果与之最大的不同正是 ERP 早成分(P1、N1)的不同,这就提示与空间定位有关的信息很可能是在 ERP 早成分中加工的。这一点支持视觉信息串行加工的观点,它至少提示空间定位是早于客体自身属性信息被加工的。

5 小 结

本实验结果提示:视觉注意诱发的 P1、N1 成分主要与空间定位信息的加工相关,与提示范围大小无关;在视觉信息加工过程中,空间位置的信息要早于其它信息被加工,支持视觉信息串行加工观点;刺激物信息的加工速度及相关神经活动强度与“注意范围比例”关系密切,而不是与注意范围呈简单的线性关系;提示物诱发的 P2、N2 成分与注意范围相关;刺激间隔不仅影响视觉早期信息加工,而且会对目标自身特征信息的加工产生影响。

参 考 文 献

- 1 Picton T W, Lins O G, Scherg M. The recording and analysis of event-related potentials. *Handbook of Neuropsychology*, Vol 10. Amsterdam: Elsevier, 1995. 3~73
- 2 Posner, M I. Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1980, 32: 3~25
- 3 Hawkins H. L., Hillyard S A., Luck S J, Mouloua M, et al. Visual attention modulates signal detectability. *Journal of Experimental Psychology. : Human Perception Performance*, 1990, 16: 802~811

- 4 Hillyard S A , Anllo-Vento L , Event-related brain potentials in the study of visual selective attention , Proc. Natl. Acad. Sci. USA , 1998 , 95 : 781 ~ 787
- 5 Mangun G R . Neural mechanism of visual selective attention. Psychophysiology , 1995 , 32 : 4 ~ 18
- 6 Hopfinger J B , Mangun G R . Reflexive attention modulates processing of visual stimuli in human extrastriate cortex. Psychological Science , 1998 , 9 : 441 ~ 447
- 7 Luck S J , Hillyard S A , Mouloua M , et al . Effects of spatial cuing on luminance detectability : psychophysical and electrophysiological evidence for early selection. Journal of experimental psychology : human perception and performance , 1994 , 20 : 887 ~ 904
- 8 Luo YJ , Greenwood P M , Parasuraman R . Dynamics of the spatial scale of visual attention revealed by brain event-related potentials. Cognitive Brain Research , 2001 , 12 : 371 ~ 381
- 9 Luo YJ , Parasuraman R . The early ERP effects reflect neural activity in spatial scale of visual attention. Acta Psychologica Sinica , 2001 , 33 : 385 ~ 389
(罗跃嘉 , Parasuraman . 早期 ERP 效应揭示视觉注意空间等级的脑调节机制. 心理学报 , 2001 , 33 : 385 ~ 389)
- 10 Vogel E K , Luck S J . The visual N1 component as an index of a discrimination process , Psychophysiology , 2000 , 37 : 190 ~ 203
- 11 Greenwood P M , Parasuraman R . Scale of attentional focus in visual search. Perception Psychophysiology , 1999 , 61 : 837 ~ 859
- 12 Greenwood P M , Parasuraman R , Alexander G E . Controlling the focus of spatial attention during visual search : Effects of advanced aging and Alzheimer disease. Neuropsychologia , 1997 , 11 : 3 ~ 12
- 13 Mangun G R . Sustained visual-spatial attention produces costs and benefits in response time and evoked neural activity. Neuropsychologia , 1998 , 36 : 189 ~ 200

ERP STUDY ON SCALE OF VISUAL SPATIAL ATTENTION WITH FIXED CUES

Gao Wenbin , Luo Yuejia , Wei Jinghan , Peng Xiaohu , Wei Xing

(Institute of Psychology , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100101)

Abstract

This study investigated into the simple reaction time (RT) and event-related potentials (ERPs) correlates of the scale of visual spatial attention. Fourteen participants performed a search task in which the search array was preceded by fixed cues of different sizes. The cue was a black circle varied in three different sizes randomly. The focuses of the circles were always at the center of the screen , avoiding the influence of spatial location. The RT with medium cue was longer than with small cue , and was shorter than with large cue. There were no amplitude modulations of both cue-evoked and search array-evoked P1 and N1 components with cue size. However , both amplitude and latency of P2 and N2 were significantly affected by cue size. The results showed : The P1 and N1 components under visual attention were related to the spatial location processes mainly. Cue-evoked P2 , N2 components were related to the size of attention range. The processes of spatial location information were earlier than other information in visual attention , which supported the theory that spatial selection is a prerequisite for correct processes of visual objects information.

Key words visual attention , cues , attentive region size , visual search , event-related potentials (ERPs) .