

视觉注意的早期等级效应与晚期半球偏侧化效应^{*}

——来自 ERP 的电生理学证据

宋为群¹ 高原¹ 罗跃嘉^{1,2**}

1. 中国科学院心理研究所心理健康重点实验室, 北京 100101; 2. 西南师范大学心理学院, 重庆 400715

摘要 采用“提示-目标”的视觉实验范式, 以文字提示不同等级的搜索范围, 通过事件相关电位(ERP)技术研究 16 名青年被试的视觉注意脑机制。结果观察到随着提示等级的减小, 反应时加快, 早期 ERP 成分 P1 与 N1 波幅增大。这一结果不但提供了支持聚光灯理论的电生理学证据, 而且阐明了聚光灯效应发生在信息加工早期; 发现了 P2 效应的两个分离, 一是 P1 效应与 P2 效应的分离, 表示注意的提示范围扩大, 需要额外的运算资源; 二是 P2 效应的左右半球分离, 提示左半球是与提示范围直接有关的注意加工的优势所在。

关键词 视觉注意 提示等级 聚光灯效应 半球优势效应 事件相关电位

当视野中的视觉刺激较多时, 视觉空间注意(visual spatial attention)可以使个体将注意集中在其中的局部区域, 对该区域内的刺激进行有选择的精细加工。即使个体不移动眼睛或头部, 视觉空间注意通过被试的主动选择(voluntary orientation)来有效选择视野内的信息。这种主动选择的视觉空间注意模式被美国心理学家 Posner 比喻成“聚光灯”^[1]效应。被选择的刺激物会落在聚光灯的范围内, 从而得到更为快速、有效的加工; 而没有进入聚光灯范围内的视觉刺激物将被忽略。

Ungerleider 等^[2]提出人类大脑中很可能有两条主要的视觉加工通路: 一条经大脑腹侧最终到达颞下回(TE), 又称 what 通道, 其功能主要是识别客观物体, 与客体的知觉形成有关; 另一条经背侧到达顶叶后部(PG), 又称 where 通道, 主要与客体的空间位置、运动知觉有关。

在空间注意的认知神经科学研究中, 选择性注意引起事件相关电位(ERP)的 P1 和 N1 等早期成分

的波幅增大, 两侧枕部 P1 代表视觉加工被空间注意提示所调节的最早阶段^[3]。对 P1 的脑成像研究发现, 该成分头皮分布主要在外纹状视觉皮质。罗跃嘉等^[4,5]使用不同等级“提示-靶刺激”的实验模式, 即在目标刺激出现之前, 呈现与之位置相关的提示, 将目标可能出现的空间范围分成“大、中、小”3 个等级, 诱导被试将注意主动指向到某个特定区域进行视觉搜索。他们分别记录由提示和目标诱发的 ERP 成分。结果显示, 空间等级越大, 诱发的 P1 成分的波幅越大, 认为这种等级性增加反映了与视觉搜索范围相关的自上而下的控制加工机制。但是当时所采用的提示线索, 其空间位置是随机的, 因而提示线索的等级效应会受到空间方位的影响。本课题组使用了固定位置提示^[6]与汉字提示^[7], 对实验模式进行了改进, 以降低随机方位呈现提示带来的空间位置因素的干扰。结果注意效应不是反映在早期 P1 和 N1 成分, 而是在稍后的 P2 与 N2 成分。该实验虽然解决了提示方位移动的干

2003-10-30 收稿, 2003-12-23 收修改稿

^{*} 国家杰出青年科学基金(批准号: 30325026)、中国科学院重要方向项目(KSCX2-SW-221)、国家科技部基础研究重大项目前期研究专项(2002CCA01000)和全国优秀博士学位论文作者专项基金资助

^{**} 通讯作者, E-mail: luoyj@psych.ac.cn

扰,但又出现了因为分布于大、中、小范围的目标也可看作在大范围内,目标等级的区分不够显著,使被试在忽视提示的条件下也可能做出判断,从而削弱了线索的提示性.因此,本研究在前面研究的基础上,采用英语字母构成 3 个大小不同的圆圈,靶刺激可能出现在任一范围,这样,提示强度和靶刺激的分级更加明显,其目的试图阐明与空间注意等级效应相关的时空整合机制.

1 实验方法

1.1 被试

16 名在校大学生作为有偿被试,男女各半,年龄范围在 19~24 岁,平均为 21 岁.所有被试身心健康,右利手,视力正常或矫正后正常,均为首次参加电生理学实验.

1.2 刺激材料

刺激在电脑显示屏上呈现,刺激序列为背景-提示-靶刺激.背景由 3 个同心黑色圆形线条组成.刺激材料是随机选取的大写英文字母,组成 3 个同心圆圈.每个圆圈上有 8 个字母,指定 T 为靶刺激,任意两个字母之间的距离都相同.每个圈上的 8 个字母被屏幕的垂直平分线分成左右两个视野.大、中、小 3 个圆圈的视角分别为 8.6°, 5.7°, 2.9°.所有的字母都是黑色,背景是白色.屏幕的正中有一个黑色点在整个实验中作为注视点.提示由 3 个汉字“大”、“中”、“小”组成.当大提示时,靶刺激 T 出现在大圈内;中提示时, T 可能会出现在中圈内;当小提示时, T 只出现在小圈内(图 1).

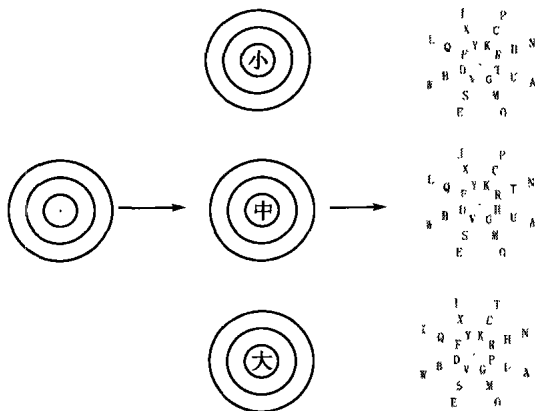


图 1 实验范式示意图

1.3 ERP 记录

实验仪器为 Neuro Scan 脑电记录系统,参考电极置于双侧乳突连线,前额接地,采用 64 导电极帽记录脑电,同时记录水平眼电和垂直眼电,滤波带通为 0.1~40 Hz,采样频率为 500 Hz/导,头皮电阻小于 5 k Ω .分析时程(epoch)为 1200 ms,含基线 200 ms,自动矫正眨眼等伪迹,波幅大于 $\pm 100\mu V$ 者在叠加中被自动剔除.

1.4 程序和任务

首先出现背景 300 ms,然后呈现提示线索 300 ms.最后出现由 24 个字母排成 3 个圆圈的靶刺激,呈现时间 1500 ms.提示与靶刺激之间的间隔(ISI)是随机的 400~600 ms.被试的任务是根据提示寻找效应范围的字母 T 出现在左视野还是右视野.如果 T 出现在左视野按左键,出现在右视野按右键.要求被试尽快准确地反应. T 在两个视野以等概率出现.另有 10% 的刺激材料没有靶刺激(T).

1.5 数据分析和统计

采用 Woldorff 的相邻成分滤波(Adjar)方法^[8]消除短间隔条件下提示范围与目标刺激的 ERP 早期成分的重叠.3 种提示范围产生各自的 ERP 成分.按提示范围对靶刺激的 EEG 进行分类叠加,实际叠加次数范围为 45~68 次,平均 55 次,根据本实验目的和总平均图的波形特征,选取后部(POZ, PO3, PO4, PO5, PO6, PO7 和 PO8)和前部(Fz, F1, F2, F3, F4, F5, F6)各 7 个电极点作为分析对象.时间分析窗口,头皮后部 P1 为 50~160 ms, N1 为 161~220 ms, P2 为 221~290 ms, N2 为 291~390 ms;前部 N1, P2, N2 分别为 90~180, 181~270, 271~370 ms.描述性数据以平均值 \pm 标准误(SE)表示.对行为数据进行等级(3 个水平:大、中、小)与刺激呈现视野(2 个水平)的 2 因素方差分析(ANOVA);对 ERP 成分的潜伏期和波幅采用 2 因素 ANOVA,因素分析分别为提示等级和记录部位(前后部各 7 个电极点);分析半球偏侧化的等级效应时,分别对左右半球的 ERP 波幅进行等级与刺激呈现的 ANOVA 分析.均用 Greenhouse-Geisser 法校正 P 值.

2 实验结果

2.1 行为数据

对不同等级提示线索反应时的主效应显著 ($F_{2,30} = 7.26, P < 0.005$): 提示范围越大, 被试反应时越长, 小、中、大提示范围的反应时分别为 590.8, 634.7, 635.8 ms. 对左右视野反应时也有显著差异 ($F_{1,15} = 17.95, P < 0.001$), 左侧视野反应时为 646.9 ms, 右侧为 594.0 ms. 在各个条件下的正确率均高于 90%.

2.2 不同等级的提示效应

不同提示时, 头皮后部 P1 波幅的主效应显著 ($F_{2,30} = 14.33, P < 0.001$), 小提示的 P1 波幅 ($4.0 \pm 0.56 \mu\text{V}$) 大于中提示 ($2.1 \pm 0.53 \mu\text{V}$) 和大提示 ($2.2 \pm 0.58 \mu\text{V}$). 后部 7 个记录点之间的 P1 波幅也有显著性差别 ($F_{6,90} = 4.38, P < 0.017$) (图 2). 但 P1 潜伏期的提示主效应不显著. 各个条件下均没有发现显著性交互作用.

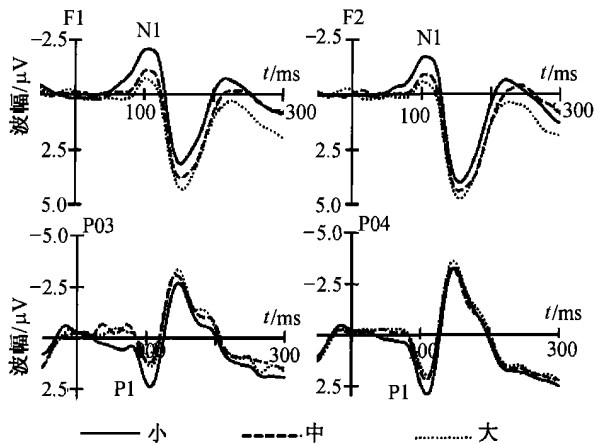


图 2 前部 N1 和后部 P1 波形总平均图

前部 N1 成分的波峰在不同提示下的主效应显著 ($F_{2,30} = 11.50, P < 0.01$). 小提示诱发了较大的 N1 波峰 ($-2.0 \pm 0.5 \mu\text{V}$), 中提示 ($0.9 \pm 0.4 \mu\text{V}$) 与大提示 ($0.9 \pm 0.3 \mu\text{V}$) 诱发了较小的波峰. 前部 N1 潜伏期的提示效应不显著, 后部 N1 成分没有发现提示效应.

前部 P2 波幅的等级效应明显 ($F_{2,30} = 8.22, P < 0.01$), 小中大提示产生的 P2 波幅分别为 $2.99 \pm 0.91, 3.8 \pm 0.44, 4.5 \pm 0.39 \mu\text{V}$. 记录点的主效

应也是显著的 ($F_{6,90} = 14.68, P < 0.0001$), ($F_{12,180} = 4.34, P < 0.003$).

2.3 半球偏侧化的等级效应

左侧半球后部 P1 成分较右侧半球有更明显的等级效应, PO3 $F_{2,30} = 14.26, P < 0.001$, PO5 $F_{2,30} = 11.73, P < 0.001$; 而右半球 PO4 $F_{2,30} = 4.18, P < 0.05$, PO6 $F_{2,30} = 4.84, P > 0.05$, 均值见表 1.

表 1 P1, P2 半球偏侧化等级效应比较^{a)}

	左半球			右半球		
	小	中	大	小	中	大
P1	(PO3)	3.42 ± 1.76	1.76 ± 1.85	(PO4)	3.92 ± 2.92	2.91 ± 0.61
		0.55	0.60 ^{b)}		0.74	0.73 ^{c)}
	(PO5)	4.24 ± 1.75	1.92 ± 0.50	(PO6)	4.15 ± 2.51	2.58 ± 0.68
P2	(F1)	3.32 ± 4.62	4.64 ± 0.46	(F2)	3.81 ± 4.79	4.91 ± 0.33
		0.41	0.55 ^{b)}		0.32	0.44
	(F3)	2.43 ± 2.88	3.74 ± 0.46	(F4)	3.90 ± 4.61	4.88 ± 0.51
	0.44	0.39 ^{b)}		0.29	0.30	

a) 表中数值为均值 \pm 标准差;

b) $P < 0.001$; c) $P < 0.05$

从图 3 可见左半球的前部 P2 也具有等级效应, 方差分析结果发现等级主效应 $F_{2,30} = 16.74, P <$

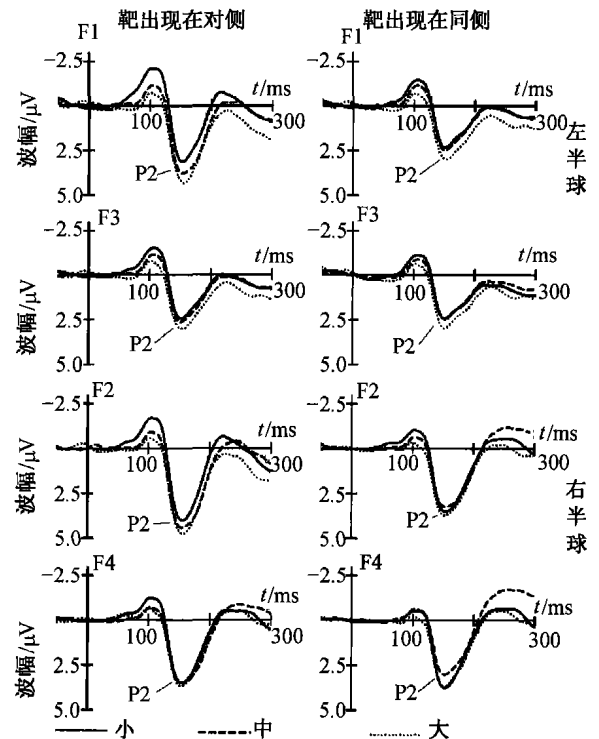


图 3 在左半球(上)、右半球(下)记录的 ERP 总平均图

0.001; 左半球-同侧: $F_{2,30} = 13.17$, $P < 0.001$. 而在右半球的差别则没有显著性.

2.4 偶极子溯源分析

为了判断半球优势的大脑定位, 运用 Curry 软件 (Neurosoft Inc. V4.6) 从 60 ~ 280 ms 范围的时间点进行基于三壳球模型的偶极子分析 (如图 4). 结果所示: 采用固定偶极子重建在 80 ~ 160 ms 获得 P1 的两个偶极子, 残差为 8.06 % 和 7.01 %, 这个范围的偶极子被定位在大脑枕叶区 (具体坐标为左 $x = -29.5$, $y = -86.4$, $z = -15.2$; 右 $x = 12.4$, $y = -87.3$, $z = -14.1$), 在 184 ~ 210 ms 获得 P2 的两个偶极子, 残差为 8.83 % 和 9.01 %, 在这个范围的偶极子被定位在大脑顶叶区 (具体坐标为左 $x = -37.5$, $y = 25.5$, $z = -65.9$; 右 $x = -30.2$, $y = -61.4$, $z = 43.7$). 结果支持 P1 波位于枕区, P2 波位于顶区, 空间注意主要由 where 通道完成.

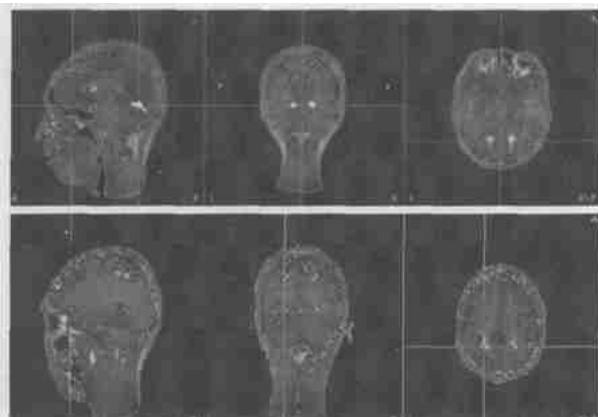


图 4 在刺激后 80 ~ 160 ms (上) 和 184 ~ 210 ms (下) 的偶极子定位图

3 讨论

本实验的主要结果是随着提示等级的减小 (大 中 小), 反应时逐渐加快; 而小提示产生的 P1 与 N1 波幅比中、大提示时明显增大. 根据聚光灯理论^[1,8], 视觉注意的能量是有限的, 给定的视野范围越小, 单一刺激物得到的注意能量分配就越多. 换句话说, 小提示诱导人们的注意力到更加有限的范围, 因此表现为反应过程加快, 早期 ERP 成分增大. 一般认为, 波幅反映信息加工时心理负荷的强度, 波幅的高低与神经元激活的数量成正

比^[9,10], 波幅越高, 参与感觉信息的脑区越广泛, 即波幅随注意能量分配的增加而增高. 本实验的行为结果和电生理学结果均有力地支持了注意的聚光灯理论, 而且明确了注意的聚光灯效应是发生在信息加工的早期阶段, 这也符合注意选择性的早期加工理论.

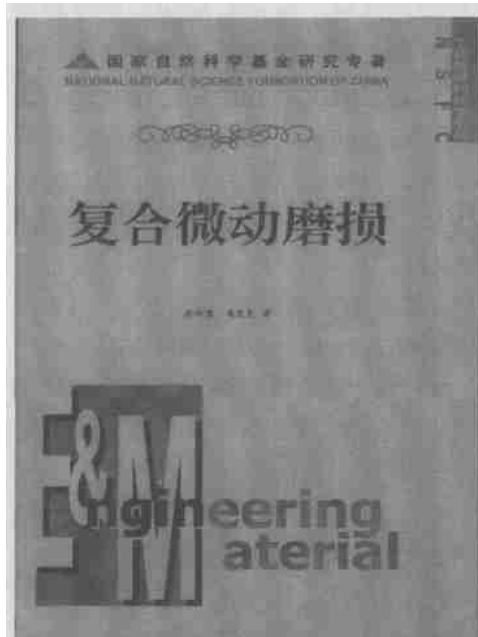
在经典的提示线索空间注意研究中, 有效提示引起 P1 和 N1 等早期 ERP 波幅增大^[3,11~13], 本实验提示等级的减小, 可认为是提示有效性的提高, 因此本研究结果与前人是一致的, 并且肯定了提示等级诱导空间注意的有效性. 对 P1 的脑成像研究发现, 该成分头皮分布主要在外纹状皮质, 表明注意的调节可能发生在视觉信息加工的早期阶段, P1 代表空间注意提示所调节的最早阶段^[14]. 本实验结果表明, 后部 P1 成分随着提示物的空间等级发生了明显的变化. 靶刺激诱发的 P1 效应表明注意的空间提示的神经调节早在刺激后的 80 ~ 160 ms 左右发生, 很可能就位于外侧纹状皮层^[5,12,14]. P1 的偶极子源位于枕叶外侧, 也符合外侧纹状皮层的定位.

另外, 本实验观察到, 无论视觉刺激呈现在左右视野, 都可以看到右半球的前部 P2 成分的波幅明显高于左半球对应区域, 说明右半球在完成视觉空间注意搜索任务时表现更加活跃, 并且这种半球偏侧化效应表现在信息加工的较晚期. 在神经心理学研究中, 右侧脑损伤的病人被发现空间注意障碍, 而左侧损伤时不出现这种现象^[15], 一般认为右半球在空间注意上占据优势^[16]. 但是本研究更为重要的发现是左半球的 P1 及 P2 有着明显的提示等级效应, P1 波幅随着提示等级的增加而减小, P2 波幅随着提示等级的增加而增大. P2 效应出现了两个分离: 一是 P2 效应与 P1 效应的分离, 在加工早期表现为聚光灯效应, 而在加工的后续阶段, 注意的提示范围扩大, 需要额外的运算资源; 另外一个是在左右半球的 P2 效应分离, 在右半球为 P2 波幅的普遍增大, 在左半球为明显的等级效应, 提示与提示范围直接有关的注意加工的优势半球在左侧, 对于传统的空间注意右侧优势半球的观点提出了挑战.

致谢 感谢魏景汉研究员对本文提出的修改建议.

参 考 文 献

- 1 Posner M I. Orienting of attention. *Exp Psychol*, 1980, 32: 3
- 2 Ungerleider L G, et al. 'What' and 'where' in the human brain. *Curr Opin Neurobiol*, 1994, 4 (2): 157
- 3 Mangun G R, et al. Modulations of sensory evoked brain potentials indicate changes in perceptual processing during visual-spatial priming. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 1991, 17: 1057
- 4 Luo YJ, et al. Dynamics of the spatial scale of visual attention revealed by brain event-related potentials. *Cogn Brain Res*, 2001, 12 (3): 371
- 5 罗跃嘉, 等. 早期 ERP 效应与视觉注意空间等级的脑调节机制. *心理学报*, 2001, 33 (5): 385
- 6 高文斌, 等. 固定位置区域提示下视觉注意范围等级的 ERP 研究. *心理学报*, 2002, 34 (5): 443
- 7 Gao WB, et al. Brain dynamic mechanisms on the visual attention scale with Chinese characters cues. *Chin Sci Bull*, 2002, 47 (19): 1644
- 8 Woldorff M G, et al. Visual attention with in and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Percept Psychophy*, 1986, 40: 225
- 9 Hillyard S A, et al. Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998, 95 (3): 781
- 10 Hillyard S A, et al. Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: Electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philos Trans R Soc Lond*, 1998, 353: 1257
- 11 Heinze H J, et al. Combined spatial and temporal imaging of spatial selective attention in humans. *Nature*, 1994, 392: 543
- 12 Hillyard S A, et al. The cuing of attention to the visual field location: Analysis with ERP recording. In: Heinze H J, et al. eds. *Cognitive Electrophysiology: Event-Related Brain Potentials in Basic and Clinical Research*. Boston: Cambridge Birkhausen, 1994. 1
- 13 Mangun G R. Neural mechanism of visual selective attention. *Psychophysiology*, 1995, 32: 4
- 14 Martinez A, et al. Putting spatial attention on the map: Timing and localization of stimulus selection processes in striate and extrastriate visual areas. *Vision Res*, 2001, 41: 1437
- 15 Bassetti C, et al. Sensory syndrome in parietal stroke. *Neurology*, 1993, 43 (10): 1942
- 16 Barthelemy S, et al. Orienting visuospatial attention generates manual reaction time asymmetries in target detection and pointing. *Behav Brain Res*, 133 (1): 109



国家自然科学基金研究专著
《复合微动磨损》周仲荣 朱 昊 著
上海科学出版社 定价: 32.00 元

本书介绍国内外微动摩擦学的前沿研究成果,一方面丰富了微动摩擦学的基础理论,对促进摩擦学学科的发展具有重要意义;另一方面,本书的研究成果对指导减缓工业实际中的微动损伤具有重要参考价值。

全书分 6 章:第 1 章简要回顾国内外微动摩擦学的发展历史,介绍了相关基本概念,并分析归纳常见的微动损伤现象;第 2 章综述了现有微动磨损理论,重点介绍了二类微动图理论;第 3 章和第 4 章分别介绍了径向微动和复合微的实验装置和基础实验研究;第 5 章综述了表面工程技术抗微动损伤的研究现状;第 6 章综合实例介绍表面工程抗微动损伤的方法。

本书适合从事摩擦学、表面工程、机械设计等专业的科研人员和工程人员使用,也适合作为摩擦学表面工程专业的研究生教材。