

* 学术论文 *

不同提示条件下的视空间注意脑机制研究*

宋为群¹ 赵 仑² 陈 真¹ 凌 锋¹ 王茂斌¹ 施建农³ 罗跃嘉^{3, 4**}

1. 北京宣武医院康复医学科, 北京 100053; 2. 徐州师范大学语言研究所, 徐州 221116;

3. 中国科学院心理健康重点实验室, 北京 100101; 4. 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875

摘要 采用干扰“提示-目标”的视觉实验范式, 分别以汉字和范围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 名青年被试的视觉空间注意脑机制. 结果发现, 汉字提示的反应时明显长于范围提示, 且在外部干扰条件下, 范围提示的靶刺激识别速度优势更为突出; 同时, 范围提示和汉字提示下靶刺激识别的早期调控分别受干扰类型的影响. 与范围提示相比, 汉字提示下的靶刺激引起后部 P1 增强和 N1 抑制以及 P2 增强, 外部干扰时, 汉字提示与范围提示的差异不明显, 而在内部干扰时, 范围提示和汉字提示的差异增大, 表明在靶识别难度增加(内部干扰)时, 范围提示和汉字提示下的靶刺激消耗的前额叶资源有显著差异, 本研究有力地证明了汉字提示与范围提示具有不同的加工机制.

关键词 视觉注意 提示等级 事件相关电位 汉字提示 范围提示

在视觉空间提示实验中, 提示物主要包括中央提示(指向靶子位置, 但自身位于靶子可能出现的所有位置的几何中心)和范围提示(出现在靶子位置附近). 行为研究表明, 中央提示和范围提示具有不同的机制. 中央提示被认为激活了内源性注意系统, 诱发缓慢的、受控制的和随意的注意分配, 而范围提示则激活了外源性注意系统, 以快速的、自动的、非随意的方式吸引注意^[1, 2]. 但是, 也有研究表明中央提示和范围提示的效应可能不是完全独立的. Nougier 等^[3]发现范围提示引发的自动定向效应受到中央提示引起的随意注意加工的调控. Warner 等^[4]则指出尽管神经回路不同, 但中央提示和范围提示空间注意的脑机制可能在某种意义上一致. 在识别旋转靶子方向的任务中还发现, 与同时出现的位于靶子位置的提示相比, 100%有效的中央性提示改善了高水平外部干扰

下的阈限, 却没有改善低水平内部干扰下的阈限, 而周围性提示对高水平和低水平外部干扰下的阈限都进行了改善^[5]. 这一结果表明内源性和外源性注意系统引起了不同的脑机制: 对内源性注意系统是外部干扰的去除, 对外源性注意系统则包括外部干扰的去除和刺激的增强.

很多对视觉空间注意的事件相关电位(ERP)的研究发现, 在中央提示下, 注意以及提示的有效性引起更大的后部 P1 和 N1 成分, 这反映了注意的感觉增益机制^[6, 7]. 但范围提示的结果与此有所不同, 且不一致. Hillyard 等^[8]利用较长的“提示-靶刺激”间隔, 发现在范围提示下, 早期的注意调控表现为 N1 的增强, 并未发现 P1 的增强. Fu 等^[9]的研究发现, 有效的范围提示引起 P1 增强和 N2 增强, 同时, 有效性提示引起对侧 P1 和 N1 潜伏期的延迟, 对侧 N1

2005-07-01 收稿, 2005-08-30 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 30325026, 30370489)、国家“十五”科技攻关项目(批准号: 2004BA703B08-02)、中国科学院重要方向项目(批准号: KSCX2-SW-221)、北京市自然科学基金(批准号: 7052030)和北京市委组织部优秀人才基金资助项目

** 通讯作者, E-mail: luoyj@bnu.edu.cn

表现为无效提示时增强,而P2潜伏期和波幅亦受到提示有效性的调控。但值得注意,以往的ERP研究均未考虑干扰刺激对视觉空间注意的影响。在我们的前期研究中,已经发现干扰刺激对以汉字提示为代表的中央提示下视觉空间注意早期ERP效应有显著影响^[10-12]。但是,干扰刺激条件下,范围提示和中央提示对靶刺激识别会产生何种影响?这种影响发生在信息加工的早期还是晚期阶段?其特征如何?本研究拟通过ERP实验解答这些问题。

1 实验方法

1.1 被试

16名在校大学生作为有偿被试者,男女各半,年龄在19—24岁,平均为21岁。所有被试者身心健康,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

刺激在计算机显示屏上呈现,刺激序列为背景-提示-靶刺激(图1)。

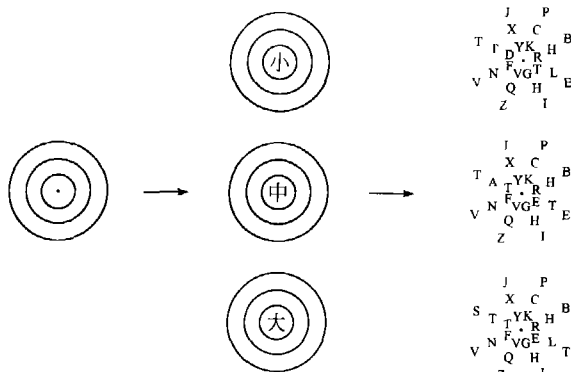


图1 实验范式示意图

汉字提示:提示分别由3个汉字“大”、“中”、“小”组成。

范围提示:提示为大、中、小3个圆圈,视角分别为 8.6° 、 5.7° 、 2.9° 。

当大范围提示时,靶刺激“T”出现在大圈(视角 8.6°),两个干扰刺激“T”分别呈现在对侧视野的中圈和小圈;中范围提示时,靶刺激“T”出现在中圈(5.7°),两个干扰刺激“T”分别呈现在对侧视野的大圈和小圈。当小范围提示时,靶刺激“T”

出现在小圈(2.9°),两个干扰刺激“T”分别呈现在对侧视野的中圈和大圈。

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 $\pm 100 \mu\text{V}$ 者在叠加中被自动剔除。

1.4 程序和任务

实验中的刺激序列均包括汉字提示和范围提示。每个Trial首先呈现提示线索(呈现时间300 ms),然后出现由24个字母排成3个圆圈的靶刺激,呈现时间1500 ms,提示线索与靶刺激之间的间隔(ISI)在400—600 ms内。相邻两个trial的间隔(ITI)为300 ms。被试的任务是根据提示寻找效应圈的字母“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。例如:提示为“大”或大圈时,被试对大圈左视野或右视野的“T”分别尽快准确地按左键或右键。所有的靶子均随机等概率呈现在视野。10%的刺激没有靶刺激和干扰。

1.5 数据分析和统计

对于行为数据,进行提示类型(2水平:汉字提示和范围提示)与提示范围等级(3水平:大、中和小)的ANOVA分析。

对所得脑电数据进行0—16 Hz无相移数字滤波。采用Woldorff的相邻成分滤波(Adjar)方法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。

按不同的汉字和范围提示范围的靶刺激EEG分别进行分类叠加。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. 对 ERP 进行 3 因素方差分析(ANOVA), 因素为类型(2 个水平: 汉字提示和范围提示)、提示等级(3 水平)和记录部位(前后部各 7 个电极点). 均用 Greenhouse-Geisser 法校正 p 值.

2 实验结果

2.1 行为数据

随提示范围的增大, 汉字注意范围提示和范围提示下的靶刺激识别的反应时显著延长 ($F_{1,15} = 15.17, p < 0.001$). 范围提示下的靶刺激识别正确率随提示范围的增加而增加, 而汉字注意范围提示下的正确率在“大”提示时却有所降低; 反应时具有显著的提示等级主效应(汉字提示: $F_{2,30} = 13.03, p < 0.001$; 范围提示: $F_{2,30} = 12.15, p < 0.001$).

如表 1 所示, 在本研究的刺激间隔条件, 3 种范围等级提示下, 汉字提示的反应时均明显长于范围提示, 尤其是在小范围提示下差异更为明显(相差 > 100 ms, $p < 0.01$), 而正确率仅在大范围提示下差异显著, 即汉字注意范围提示的正确率低于范围提示($p < 0.05$).

表 1 行为数据表

	正确率 / %		反应时间 / ms	
	汉字	圆圈	汉字	圆圈
小范围	80.61 ± 10.67	81.32 ± 11.38	777.98 ± 17.25**	671.09 ± 18.32
	89.45 ± 8.11	90.54 ± 10.73	829.67 ± 22.64**	787.56 ± 31.14
中范围	83.72 ± 9.99*	93.89 ± 7.42	982.34 ± 25.12*	922.33 ± 26.78

汉字与圆圈两两比较: *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$

2.2 汉字提示下的 ERP 等级效应

前部 N1 波幅有显著的提示范围主效应 ($F_{2,30} = 14.35, p < 0.001$), 表现出明显的等级效应, “小”、“中”、“大”提示下靶刺激诱发的 N1 波幅 (Fz) 分别为 (-3.91 ± 0.68), (-2.98 ± 0.47), (-2.06 ± 0.54) μV ; 前部 P2 的等级主效应显著 ($F_{2,30} = 10.28, p < 0.01$), “小”提示与“中”提示条件下的波幅相近, 均明显高于“大”提示条件; 后部 P1 有提示范围主效应 ($F_{2,30} = 11.67, p < 0.001$), 小提示的 P1 波幅 (POZ (4.63 ± 0.6) μV)

大于中提示 (POZ (3.75 ± 0.54) μV) 和大提示 (POZ (3.81 ± 0.48) μV), 潜伏期则表现为“大”提示下的潜伏期 (PO4: (96 ± 5.71) ms) 明显短于“小”提示 (108 ± 6.86) ms) ($F_{2,30} = 5.97, p < 0.01$), 结果见图 2.

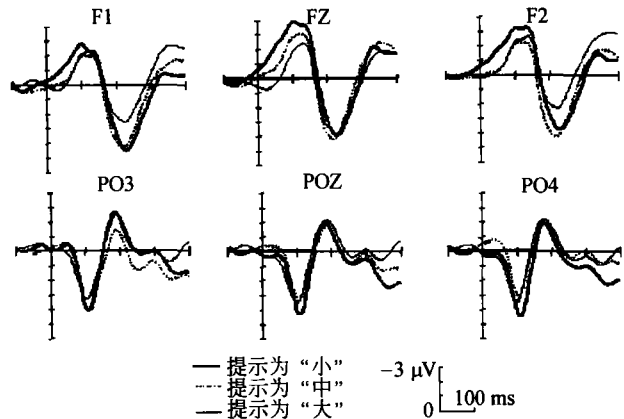


图 2 汉字提示下靶刺激的 ERP 总平均图

2.3 范围提示下的 ERP 等级效应

范围提示下的靶刺激 ERP 成分 P1 和 N1 波幅亦表现出显著的等级效应 (P1: $F_{2,30} = 8.76, p < 0.01$; N1: $F_{2,30} = 11.16, p < 0.001$), 但与汉字提示有明显不同的表现形式, 即前部 N1 波幅表现为大和小范围无区别, 均显著高于中范围, 而 P2 则表现为中和小范围相近, 均显著高于大范围; 后部 P1 的表现形式与前部 P2 相似, 即中和小范围相近, 均显著高于大范围, 而后部 N1 与前部 N1 相似, 即中范围引起的 N1 波幅最小(图 3).

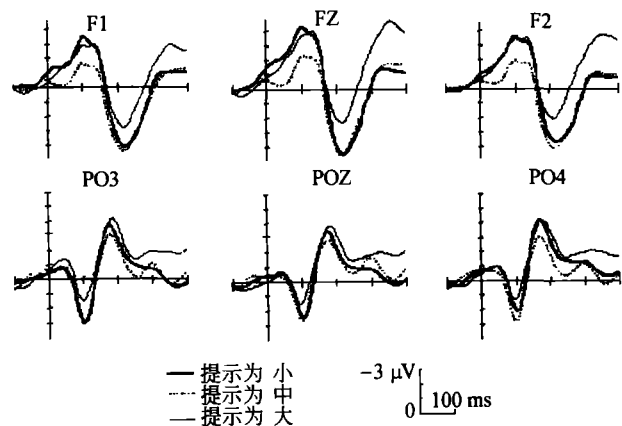


图 3 不同范围提示下靶刺激的 ERP 总平均图

2.4 汉字提示和范围提示条件下靶 ERP 的比较

汉字提示和范围提示的靶刺激诱发的前部 N1 和 P2 成分, 均表现出显著的提示类型主效应(N1: $F_{1,15} = 15.23, p < 0.001$; P2: $F_{1,15} = 9.83, p < 0.01$), 提示类型和提示等级的交互作用显著(N1: $F_{2,30} = 8.16, p < 0.01$; P2: $F_{2,30} = 8.11, p < 0.01$). 分析提示类型和不同等级之间 ERP 的变化特点, 大范围提示条件下, 即范围提示下的靶刺激引起更大的 N1 成分, 尤其是在 Fz 部位, 而汉字提示则引起更大的 P2 成分.

后部 P1 和 N1 成分具有显著的提示类型主效应($F_{1,15} = 11.43, p < 0.01$; $F_{1,15} = 10.79, p < 0.01$), 提示类型和提示等级的交互作用显著(P1: $F_{2,30} = 9.33, p < 0.01$; N1: $F_{2,30} = 10.03, p < 0.01$); 汉字提示引起更大的后部 P1, 范围提示则

诱发了更大的后部 N1 成分(图 4). 范围提示和汉字提示下靶刺激 ERP 成分的电压地形图见图 5.

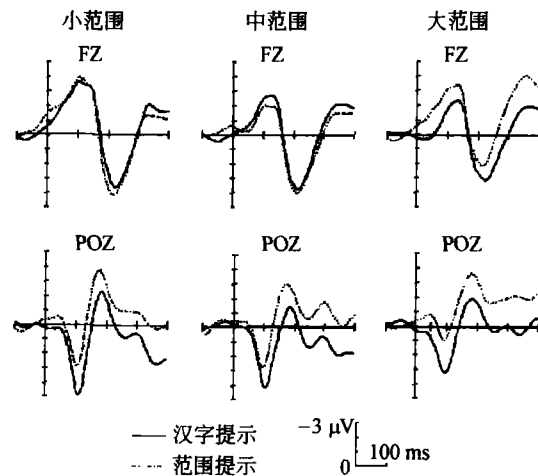


图 4 比较汉字提示和范围提示的靶刺激 ERP

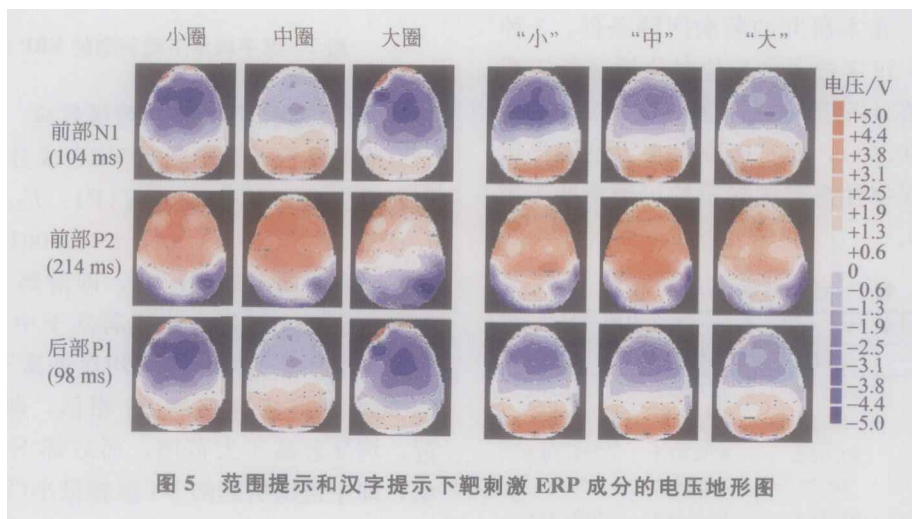


图 5 范围提示和汉字提示下靶刺激 ERP 成分的电压地形图

3 讨论

本实验中, 在两种提示类型条件下, 注意范围等级严格对应, 这有利于比较内源性提示和范围提示的早期注意效应及其脑机制. 同时, 本研究增加了干扰刺激. 对小范围提示, 其干扰刺激均位于提示范围之外(位于中圈和大圈)可以视为“外部干扰”, 对大范围提示, 其干扰刺激总是在提示范围之内(位于中圈和小圈), 可以视为“内部干扰”, 而中范围提示, 两种干扰均存在.

汉字提示和范围提示下识别靶刺激的反应时均表现出明显的提示范围等级效应, 即随着提示范围的增大, 反应时延长, 表明内部干扰比外部干扰更

易减慢靶刺激识别速度. 在以往的范围提示和内源性提示的研究中, 发现短间隔条件表现出范围提示的加工优势, 而在长间隔下, 优势减弱或消失^[13]. 汉字提示的反应时明显长于范围提示, 表明范围提示能够加快靶刺激识别或视觉搜索的速度. 而在小范围提示下这种优势更为明显, 表明范围提示的优势效应受干扰特征(内部干扰或外部干扰)的影响, 即在外围干扰条件下, 范围提示比汉字提示会产生更突出的靶刺激识别速度优势.

本实验的 ERP 结果表明, 在汉字提示和范围提示下, 均表现出显著的等级效应, 但表现形式有一定差异. 对后部 P1, 差异主要表现在中范围提示, 即与汉字提示相比, 范围提示削弱了中范围与小范围的

区别,增大了中范围与大范围的差异;对前部 N1,则表现为范围提示削弱了大范围和小范围的差异,增大了大范围与中范围的差异。这清楚地表明,范围提示与汉字提示存在不同的早期加工机制。同时,基于范围提示的大范围和小范围引起的靶刺激前部 N1 无差异的结果,表明在范围提示下,前额叶在早期感知加工阶段对外部干扰和内部干扰所动员的资源相似,而在汉字提示下,则表现为资源消耗的差异。

除了上述等级效应表现形式的区别,本研究对范围提示和汉字提示下靶刺激 ERP 特征进行了直接比较,进一步说明了范围提示和汉字提示机制的不同。首先,与范围提示相比,汉字提示下的靶刺激引起后部 P1 增强和 N1 抑制。在各种提示下,当被试看到靶刺激时,需要将靶刺激的范围特征与提示范围进行匹配,由于本实验的“提示-靶刺激”的间隔较短,对汉字提示的加工可能不如范围提示加工完善,而这种加工的不足将引起靶刺激感知阶段对语义进一步的加工,即需要比范围提示更多的运算资源,反映为 P1 的增强。后部 N1 可能反映了注意的分配机制^[6,14],汉字提示时,由于语义加工的需要,对靶刺激识别的资源分配减少,N1 减小。其次,前部 N1 和 P2 成分亦表现出明显的差异,即汉字提示下的靶刺激产生的 N1 小于范围提示,而 P2 则相反。前部 N1 在某种程度上反映了前额叶对感知觉阶段的加工^[15,16],可以认为,作为一种内源性提示,汉字提示时启动的是内源性注意系统,在早期感知阶段,前额叶资源的利用不够完善。以往研究表明,范围提示比符号性提示引导的行为反应更快,引起的注意力更强,更不易受干扰刺激影响,本研究结果支持这一结论。

此外,我们还发现,范围提示和汉字提示的区别受注意范围的影响,即受干扰类型的影响,这种区别主要反映在前部的 N1 和 P2 成分。小范围提示(外部干扰)时,汉字提示与范围提示的差异不明显,而在大范围提示(内部干扰)时,范围提示和汉字提示的差异增大,表明在靶识别难度增加(内部干扰)时,范围提示和汉字提示下的靶刺激消耗的前额叶资源有显著差异,这进一步证明两者具有不同的加工机制。

参 考 文 献

1 Riggio L, Kirsner K. The relationship between central and pe-

ripheral cues in covert visual orientation. *Perception and Psychophysics*, 1997, 59: 885—99

2 Eimer M. The time course of spatial orienting elicited by central and peripheral cues: Evidence from event-related brain potentials. *Biological Psychology*, 2000, 53: 253—258

3 Nougier V, Rossi B, Alain C, et al. Evidence of strategic effects in the modulation of orienting of attention. *Ergonomics*, 1996, 39: 1119—1133

4 Warner C B, Juola J F, Koshino H. Voluntary allocation versus automatic capture of visual attention. *Percept Psychophys*, 1990, 22: 54—62

5 Lu Z L, Doshier B A. Spatial attention: Different mechanisms for central and peripheral temporal precues? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 2000, 26(5): 1534—48

6 Luo Y J, Greenwood P M, Parasuraman R. Dynamics of the spatial scale of visual attention revealed by brain event-related potentials. *Cogn Brain Res*, 2001, 12: 371—381

7 Luo Y J, Wei J H. Cross-modal selective attention to visual and auditory stimuli modulates endogenous ERP components. *Brain Res*, 1999, 842: 30—38

8 Hillyard S A, Anillo-Vento L. Event-related brain potentials in the study of visual selective attention. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1998, 95: 781—787

9 Fu S M, Fan S I, Chen L, et al. The attentional effects of peripheral cueing as revealed by two event-related potential studies. *Clinical Neurophysiology*, 2001, 172—185

10 Song W Q, Gao Y, Luo Y J. Early scale effect and hemisphere superiority on the visual spatial attention: From the electrophysiological evidence of ERP. *Progress in Natural Science*, 2004, 14(10): 875—879

11 Song W Q, Luo Y J. Effects of early ERP components by of the scaling of the focus of visuospatial attention. *NeuroImage*, 2003, 19 (2): 530—531

12 宋为群, 罗跃嘉. 视觉空间注意的早期 ERP 等级效应. *航天医学与医学工程*, 2003, 16 (6): 452—454

13 Doshier B A, Liu S H, Blair N, et al. The spatial window of the perceptual template and endogenous attention. *Vision Res*, 2004, 44(12): 1257—71

14 Mulder G, Wijers A A, Lange J J, et al. The role of neuroimaging in the discovery of processing stages. *Acta Psychologica*, 1995, 90, 63—79

15 Mitchell J F, Stoner G R, Fallah M, et al. Reynolds attentional selection of superimposed surfaces cannot be explained by modulation of the gain of color channels. *Vision Research*, 2003, 43: 1323—1328

16 Potts G F, Tucker D M. Frontal evaluation and posterior representation in target detection. *Cognitive Brain Research*, 2001, 11: 147—156