

老化视觉空间注意脑机制的研究*

宋为群¹ 赵 仑² 凌 锋¹ 刘 霖¹ 朱 琳¹
张艳明¹ 王茂斌¹ 罗跃嘉^{3,4**}

1. 首都医科大学宣武医院神经康复科, 北京 100053; 2. 徐州师范大学语言研究所, 徐州 221116;
3. 西南大学心理学院, 重庆 400715; 4. 中国科学院心理健康重点实验室, 北京 100101

摘要 采用“提示-目标”的视觉实验范式, 通过事件相关电位(ERP)技术研究了视觉注意老化脑机制. 青年和老年被试各 16 名; 背景由 3 个同心黑色圆形线条组成, 提示为大、中、小不等的 3 个圆圈组成, 刺激材料是随机选取的大写英文字母, 组成 3 个同心圆圈. 不同范围圆圈提示时, 靶刺激“T”出现在相对应的圆圈, 而两个干扰刺激“T”分别呈现在对侧视野的另外两个圆圈. 要求被试人根据提示寻找效应圈的靶字母“T”, 并尽快准确地按键判断出现在左视野还是右视野. 结果显示干扰刺激的存在导致靶刺激识别难度增加, 引起 P1 的增强和 N1 的降低; 随着提示等级的增大, 两组反应时均逐渐延长, 早期 ERP 成分 P1 与 N1 波幅均减小; 与青年组相比, 老年组反应时更长, 后部 P1 增强、N1 抑制, 且额区 P2 成分亦受到显著抑制. 研究结果与老化的“复杂度效应”一致; 所发现老年组 P2 成分的显著抑制, 提示老化可能导致视觉空间注意(非随意注意)的前脑区功能缺陷.

关键词 老化 视觉注意 提示等级 P2 成分 事件相关电位

范围提示(如区域闪光)引起的外源性注意系统可以自动地引导注意, 即使转移注意的提前动机线索不存在. 行为研究表明, 范围提示条件下, 当被试人的注意资源被应用到别处, 提示效应仍然存在, 注意的外源性转移是快速的. 一些研究利用 Posner^[1]的空间提示范式去评估注意功能的老化问题. 普遍认为, 基于外源性提示的注意转换没有受到老化的影响. Baxter^[2]和 Voytko^[3]研究发现恒河猴的老化对外源性提示的注意转换没有产生影响, 他们认为这种注意功能的保持与在动物身上表现出来的学习和记忆缺陷是相反的. Andrea 等^[4]用提示-靶范式的研究也表明, 随年龄的老化, 注意功能的变化不大或没有变化. 然而, 应用其他的实验范式(如视觉搜索)却报告老年人的注意功能发生障

碍. West^[5]利用 Stroop 任务发现老化引起冲突加工的变化, 其事件相关电位(ERP)指标为 ERN 和冲突 SP.

迄今为止, 尚未见有关于视觉空间注意范围的老化特征的研究, 也未见有干扰刺激对视觉空间注意影响的老年化问题的研究. 本研究利用固定位置提示的实验范式, 进行了干扰刺激条件下老年人和青年人视觉空间注意范围特征的比较研究.

1 实验方法

1.1 被试人

青年组: 20 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. 有 4

2005-08-04 收稿, 2005-09-27 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 30540058, 30370489)、国家“十五”科技攻关项目(2004BA703B08-02)、中国科学院重要方向项目(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

名被试人由于实验中不能按照实验要求进行操作以及 EEG 中的干扰太大而剔除, 所以用于结果分析的为 16 名被试人(男 9, 女 7)。

老年组: 16 名老年人作为有偿被试人, 男女各半。年龄范围在 65—73 岁, 平均为 68 岁。所有被试人身体基本健康, 右利手, 视力正常或矫正后正常。

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”。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, 任意相邻的两个字母之间的距离都相同, 指定“T”为靶刺激。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。提示为大、中、小不等的 3 个圆圈组成, 当大圈提示时, 靶刺激“T”出现在大圈, 两个干扰刺激“T”分别呈现在对侧视野的中圈和小圈; 中圈提示时, 靶刺激“T”出现在中圈, 两个干扰刺激“T”分别呈现在对侧视野的大圈和小圈; 当小圈提示时, 靶刺激“T”出现在小圈, 两个干扰刺激“T”分别呈现在对侧视野的中圈和大圈(图 1)。

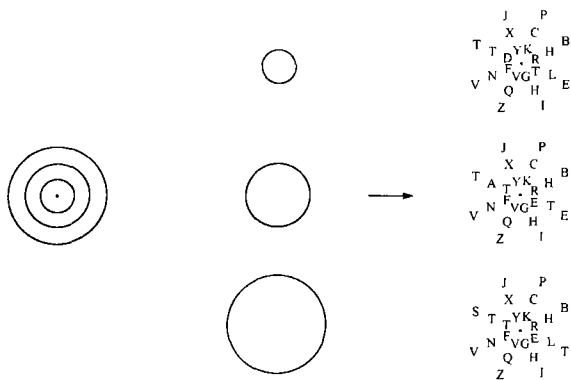


图 1 实验范式示意图

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, 记录 64 导脑电, 同时记录水平眼电(HEOG)和垂直眼电(VEOG), 滤波带通为 0.05—70 Hz, 采样频率为 500 Hz/导,

头皮电阻小于 $5\text{ k}\Omega$ 。分析时程为 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

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) 是在 400—600 ms 范围随机选取。被试人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。要求被试人尽快准确地反应。例如: 提示为大圈时, 被试人对大圈左视野或右视野的“T”分别按左键或右键。靶刺激“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和干扰刺激。

1.5 数据分析和统计

对所得脑电数据采用 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^[6]。

按提示范围对每组被试人的靶刺激 EEG 分别进行分类叠加, 实际叠加次数范围为 45—68 次, 平均 55 次。选取后部 (POZ, PO3, PO4, PO5, PO6, PO7 和 PO8) 和前部 (Fz, F1, F2, F3, F4, F5, F6) 共 14 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; 前部 N1, P2 分别为 90—180 ms, 181—270 ms。

对行为数据进行一个组间因素 (年龄: 青年组和老年组 2 个水平) 与一个组内因素 (提示范围: 大、中、小 3 个水平) 的方差分析; 对靶刺激 ERP 成分的潜伏期和波幅采用一个组间因素 (年龄: 2 个水平) 和两个组内因素 (提示范围: 3 个水平; 记录部位: 前后部位各 7 个水平) 的 ANOVA 分析。均用 Greenhouse-Geisser 法校正 p 值^[7]。

2 实验结果

2.1 行为数据

反应时有显著的年龄差异, 老年组靶刺激识别的反应时显著长于年轻组 ($F_{1,30} = 28.97, p < 0.001$)。两组的反应时差异主要反应在小、中范围提示 (其差

异值分别为(231±22.21)与(182±19.67)ms, 参见表1)。正确率亦有显著的年龄差异, 老年组靶刺激识别的正确率显著低于年轻组($F_{1,30} = 13.04, p < 0.001$)。老年组在不同提示下反应时表现出提示主效应($F_{2,30} = 5.06, p < 0.05$), 中圈和大圈提示的反应时相近, 均显著长于小圈提示; 青年组的反应时随提示范围的增加呈显著递增趋势($F_{2,30} = 8.18, p < 0.01$); 另外, 青年组大、小范围提示下的反应时差异值((251.5±12.30)ms)明显长于老年组((68.71±14.17)ms)。

表1 青年组和老年组的反应时和正确率比较

提示刺激	反应时/ms		正确率/%	
	青年组	老年组	青年组	老年组
小圈	671.46±13.09	902.31±31.66 ^{a)}	93.13±11.12	85.82±7.26 ^{b)}
中圈	787.65±21.03	969.58±21.26 ^{a)}	90.67±8.09	83.98±9.05 ^{b)}
大圈	922.43±19.85	970.24±33.76 ^{b)}	81.18±10.23	76.31±8.21 ^{b)}

两组统计比较: a) $p < 0.001$; b) $p < 0.01$

2.2 靶刺激 ERP

老年组和青年组均产生了明显的前部 N1 以及后部 P1 和 N1 成分, 老年组的 P2 成分缺如。

2.2.1 老年组 前部 N1 成分的波幅有显著的提

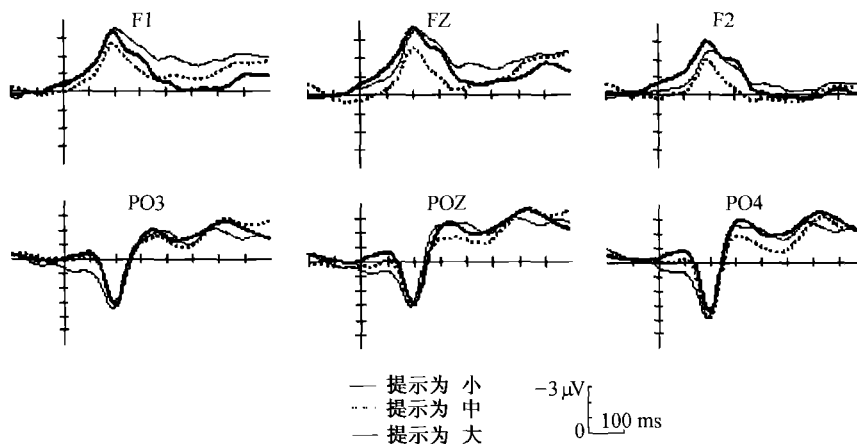


图2 范围提示下老年组靶刺激 ERP 的比较

2.2.2 青年组 前部 N1: 波幅有显著的提示范围主效应($F_{2,60} = 21.4, p < 0.001$), “小”提示下的靶刺激诱发的 N1 波幅最高($F_z: (-4.22 \pm 0.38) \mu V$), “大”提示次之($(-3.61 \pm 0.53) \mu V$), “中”提示最低($(-2.21 \pm 0.91) \mu V$)。

前部 P2: 该成分的等级主效应显著($F_{2,60} =$

示范围主效应($F_{2,60} = 14.63, p < 0.001$), 表现为“小”提示($F_z: (-3.98 \pm 0.41) \mu V$)时的波幅显著高于“大”($F_z: (-3.85 \pm 0.32) \mu V$)和“中”提示($F_z: (-2.2 \pm 0.61) \mu V$), 而“中”提示和“大”提示下靶刺激诱发的前部 N1 成分无明显区别。潜伏期没有等级主效应。

不同提示时, 头皮后部 P1 波幅的主效应显著($F_{2,60} = 8.39, p < 0.05$), 大提示的 P1 波幅($POZ: (3.28 \pm 0.35) \mu V$)大于中提示($POZ: (3.12 \pm 0.54) \mu V$)和小提示($POZ: (3.07 \pm 0.36) \mu V$)。P1 潜伏期的提示主效应不显著。

后部 N1 的波幅和潜伏期均有提示范围主效应(波幅: $F_{2,60} = 10.07, p < 0.01$; 潜伏期: $F_{2,30} = 9.17, p < 0.01$), 表现为“小”提示($F_z: (-2.62 \pm 0.32) \mu V$)时的波幅显著高于“大”($F_z: (-2.30 \pm 0.82) \mu V$)和“中”提示($F_z: (-1.79 \pm 0.76) \mu V$), 3种提示下后部 N1 的潜伏期均有主效应($F_{2,60} = 10.1, p < 0.01$), 即大提示引起的 N1 潜伏期更长(F_z : 大、中、小提示分别是(190±8.34), (181±6.79), (180±4.53)ms)图 2。

17.3, $p < 0.001$), 即“小”提示与“中”提示条件下的前部 P2 波幅相近, 均明显高于“大”提示条件。潜伏期无等级效应。

后部 P1: P1 波幅有提示范围主效应($F_{2,30} = 19.42, p < 0.001$), 潜伏期无明显等级效应。

后部 N1: 后部 N1 波幅有提示范围主效应(波

幅: $F_{2,60}=16.11$, $p<0.001$), 表现为“小”提示($F_z: (-3.03\pm 0.49)\mu V$)时的波幅显著高于“大”($F_z: (-2.88\pm 0.64)\mu V$)和“中”提示($F_z: (-2.73\pm 0.69)\mu V$)(图3)。

2.2.3 老年组和青年组比较 前部 N1 和 P2:

统计结果显示, 前部 N1 峰值的年龄差异未达显著性, 但表现出一定的变化趋势, 即随提示范围的增加, N1 的年龄组间差异增大: 老年组左脑区的 N1 比青年组略高; 右脑区的 N1 则表现为老年组 N1 幅值降低(图4)。

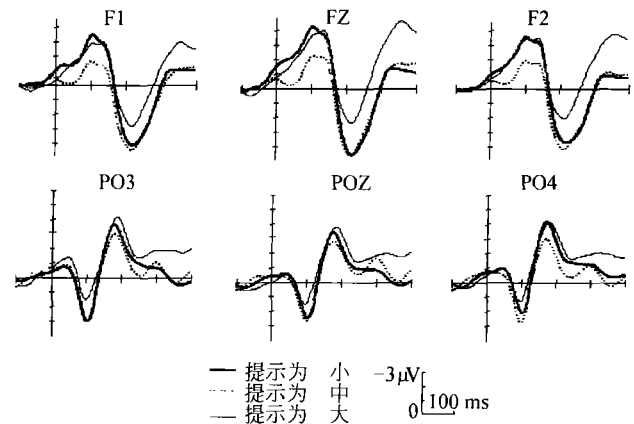


图3 范围提示下青年组靶刺激 ERP 的比较

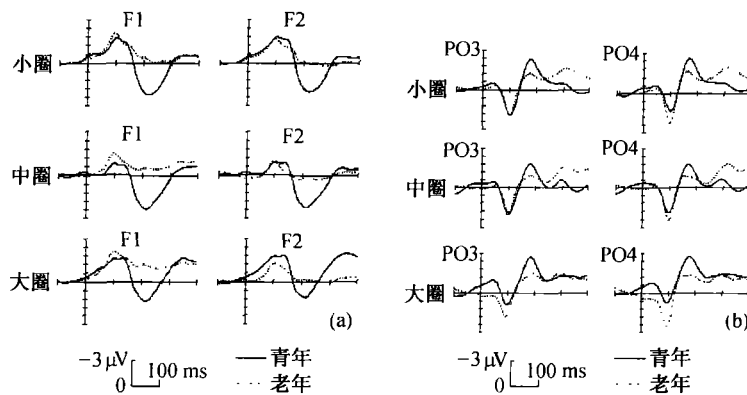


图4 范围提示下老年组与青年组靶刺激 ERP 的比较

(a) 为前脑区, (b) 为后脑区

前部 P2 成分幅值的年龄差异非常明显. 与青年组相比, 老年组前部 P2 的波形平坦或峰值不明显, 受到严重抑制, P2 幅值的年龄差异在左脑区表现的更为突出。

后部 P1 和 N1:

后部 P1, N1 的波幅有显著的年龄主效应($P1: F_{1,30} = 11.74$, $p<0.001$; $N1: F_{1,30} = 13.36$, $p<0.001$), 潜伏期无年龄主效应. 年龄与提示等级之间 P1, N1 的交互作用显著($F_{2,60} = 15.44$, $p<0.001$, $F_{2,60} = 18.44$, $p<0.001$).

3 种提示范围条件下, 靶刺激诱发的 ERP 成分中, 老年组的后部 P1 显著高于青年组, 但以大范围提示最为明显($(3.28\pm 0.35)\mu V$).

后部 N1 的表现形式与后部 P1 相反, 年轻组的后部 N1 比老年组明显增强, 而老年组则表现为幅

值的明显降低以及波形的不规则, 且在大圈提示下更为突出; 后部早期 ERP 各成分幅值的年龄区别均以右脑区差异更大。

老年组和青年组后部 P1 和前部 N1 的电流密度图及脑地形图分别见图 5 和 6。

3 讨论

本实验采用固定位置提示实验模式, 探讨了范围提示下视觉空间注意范围的老化研究. 由于干扰刺激的存在, 对小范围提示, 其干扰刺激(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(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. 与青年组相比, 小、中和大范围提示下, 老年组的反应时均显著延长, 表明老化引起视觉空间注意功能的降

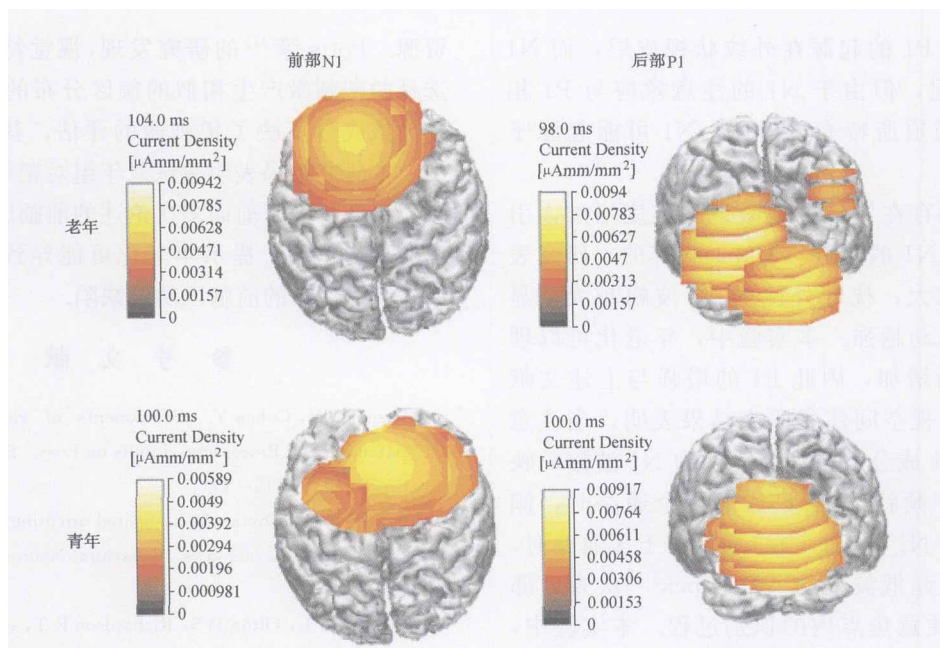


图 5 范围提示下老年组与青年组靶刺激前部 N1 和后部 P1 的电流密度比较

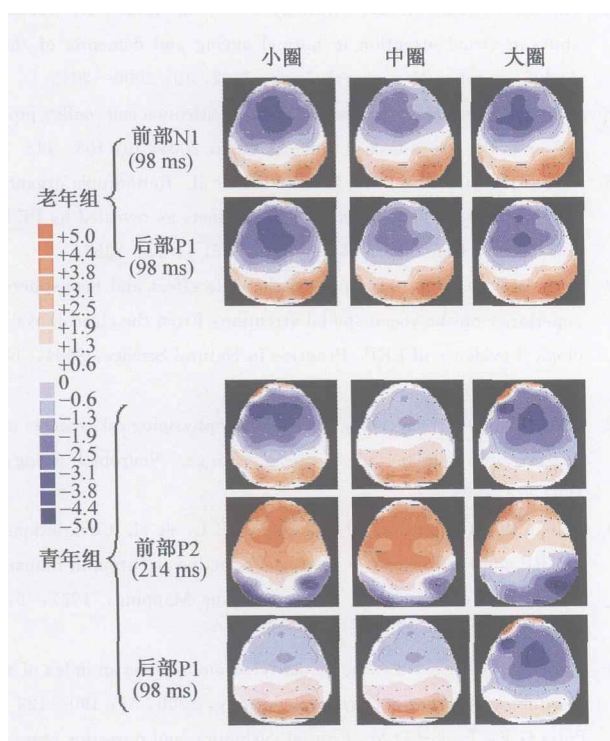


图 6 范围提示下老年组与青年组靶刺激 ERP 各成分的地形图分布

低，且在大范围提示(内部干扰)时年龄效应最大，在外部干扰时年龄效应最小。

提示范围不同，老年组和青年组 ERP 早期成

分的差异亦有所不同，总体来看，表现为大范围提示(内部干扰)时的差异比小范围(外部干扰)的差异要大。以往的研究已明确指出，内部干扰对靶刺激识别的影响大于外部干扰，本结果进一步表明内部干扰与外部干扰具有不同的影响机制。同时，该结果与老龄化的“复杂度效应”^[8]是一致的，即与青年被试相比，老年被试的反应潜伏期随任务的复杂度增加成比例延长。

本研究的结果表明，范围提示引导的非随意注意能力随年龄的老化而有所下降，也就是说，神经系统从背景刺激中觉察偏差刺激的有效性降低。引起这些变化的一个可能原因是皮层下和皮层区域的神经联系和髓鞘磷脂的广泛缺失，这些变化在功能水平上影响早期信息加工。尽管 ERP 的年龄效应受提示注意范围等级(干扰类型)的影响，但 ERP 各成分的基本变化趋势是一致的：

(1) 老化引起后部 P1 的显著增强和 N1 的明显抑制：后部 P1 和 N1 通常被认为反映了早期知觉加工的活动。研究发现，P1 的有效提示效应在简单反应(速度觉察)和双选择反应(区分反应)任务中均有所体现，但 N1 的有效提示效应仅在区分反应任务中表现出来，因此，P1 反映了比 N1 更早的视觉信息分析早期阶段的加工，而 N1 反映了视觉信息

鉴别区分加工。P1的起源在外纹状视皮层,而N1的起源尚不确定,但由于N1的注意效应与P1相似,均为视觉通道所特有,因此,N1可能起源于视皮层。

干扰刺激的存在导致靶刺激识别难度增加,引起P1的增强和N1的降低。Mangun等的^[9]研究表明,任务难度越大,枕叶外侧的P1波幅越大,显示外纹状皮质活动越强。本实验中,老化可以理解为任务难度的增加,因此P1的增强与上述文献结果是一致的。视空间注意研究表明,当注意通路增加时,N1成分波幅下降,认为N1波幅反映了注意分配的“倾斜”。当只注意一个通路时,倾斜度高,引起高N1波幅;当注意分散于多通路时,倾斜度平缓,引起低波幅的N1。Luck^[10]认为后部N1成分反映了注意焦点内的识别过程。本实验中,被试老年为了完成任务,在早期知觉加工阶段即付出比被试青年更多的注意资源,对刺激保持更多的集中注意,P1发生源内的神经元群的活动将增强,P1成分波幅也随之增大;而由于干扰刺激的存在,在视觉信息鉴别区分加工阶段(注意焦点内的识别过程),被试老年对靶刺激识别所分配的资源比被试青年减少,对靶刺激识别的加工强度和有效度降低,反映在N1即为该成分的严重抑制。

本实验中青年组与老年组的刺激完全一致,基于ERP的正成分主要来自抑制性突触后电位、负成分来自兴奋性突触后电位的理论,上述论述表明,视觉空间注意中,老化对早期视皮层活动产生了显著影响,表现为抑制性突触活动增强,兴奋性突触活动减弱。仔细分析ERP波形,可以看出,P1之前的ERP波形亦表现出一定的差异,因此,被试老年与被试青年是否存在传导通路上的差异,而这种可能的差异对信息加工的影响如何,都有待于进一步研究确定。

(2)老化引起前部N1和P2的显著变化,尤为突出的是老年组P2成分的显著抑制,这种抑制不仅表现在波幅上,还表现在波形的不规则和不稳定。以往的研究中发现,内部干扰引起P2的明显抑制,认为干扰刺激条件下被试对靶刺激识别需要耗费更多的

资源。Potts等^[11]的研究发现,视觉特征选择和空间选择的靶刺激产生相似的额区分布的P2a(P2)成分,认为该成分反映了靶刺激的评估,其功能区为前脑区。本研究结果表明被试老年组对靶刺激的评估识别能力降低,基于前面多次论述的前脑区在视觉空间注意的重要作用,提示老化可能导致视觉空间注意(非随意注意)的前脑区功能缺陷。

参 考 文 献

- 1 Posner M I, Cohen Y. Components of visual orienting. In: Attention and Processing: Limits on Loss. San Diego: Academic Press, 1984, 115—141
- 2 Baxter M G, Voytko M L. Spatial orienting of attention in adult and aged rhesus monkeys. Behavioral Neuroscience, 1996, 110: 898—904
- 3 Voytko M L, Olton D S, Richardson R T, et al. Basal forebrain lesions in monkeys disrupt attention but not learning and memory. Journal of Neuroscience, 1994, 14: 167—186
- 4 Andrea T, Janice L M, Anthony B, et al. Snowden, Spatial shifts in visual attention in normal ageing and dementia of the Alzheimer type. Neuropsychologia, 2002, 40: 2000—2012
- 5 West R. The effects of aging on controlled attention and conflict processing in the stroop task. J Cogn Neurosci, 2004, 16: 103—113
- 6 Woldorff M G, Fox P T, Matzke M, et al. Retinotopic organization of early visual spatial attention effects as revealed by PET and ERPs. Human Brain Mapping, 1997, 5: 280—286
- 7 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
- 8 Albert M. Neuropsychological and neurophysiological changes in healthy adult humans across the age range. Neurobiol Aging, 1993, 14: 623
- 9 Mangun G R, Hopfinger J, Kussmaul C L, et al. Covariations in ERP and PET measures of spatial selective attention in human extrastriate visual cortex. Human Brain Mapping, 1997, 5: 273—279
- 10 Vogel E K, Luck S J. The visual N1 component as an index of a discrimination process. Psychophysiology, 2000, 37: 190—123
- 11 Potts G F, Tucker D M. Frontal evaluation and posterior representation in target detection. Cognitive Brain Research, 2001, 11: 147—156