

跨通路注意的失匹配负波研究*

罗跃嘉 魏景汉

(中国科学院心理研究所,北京 100012)

摘要 采用“跨通路延迟反应”实验模式,提高了非注意纯度,排除了偏差刺激中的目标任务因素,以 12 名青年正常人为被试者,研究注意与非注意条件下的 ERPs。实验分为 2 项:(1)注意视觉通路,忽视听觉通路;(2)注意听觉通路,忽视视觉通路。主要分析偏差刺激 ERP 减去标准刺激 ERP 所得之偏差成分。结果发现视听通路在注意条件下均能产生 MMN, N2b 和 P3,在非注意时主要产生 MMN。听觉 MMN 与视觉 MMN 具有如下共同特征:注意时视听最大 MMN 波幅分布于它们的初级感觉投射区,而在非注意条件下视听最大 MMN 波幅均分布于额中央部。视觉 MMN 与听觉 MMN 波幅无显著性差异。MMN 波幅及其头皮分布不受注意影响,提示 MMN 波幅是反映自动加工的重要 ERP 指标;但视听觉 MMN 潜伏期皆受注意影响,表明 MMN 不仅仅反映自动加工,尚与控制加工有关。

关键词 事件相关电位(ERP) MMN 选择性注意 跨通路延迟反应模式

失匹配负波(Mismatch negativity, MMN)是一种内源性事件相关电位(Event-related potential, ERP)成分,出现在刺激后 100 ~ 200ms,因为它涉及无意识的脑内信息自动加工及注意理论的早、晚期选择之争,引起了心理学家极大的兴趣,并展开了深入的研究和广泛的讨论。MMN 是否仅反映自动加工,即是否受注意的影响,以及是否存在视觉 MMN,是近年来争论的 2 个焦点问题。MMN 是首先由 Naatanen 等观察到的,他认为在听觉通路,注意与非注意 MMN 波幅一致,因而 MMN 不受注意的影响,并据此提出 MMN 只反映自动加工的观点^[1]。Woldorff 等^[2]指出 Naatanen 等实验中刺激速度过慢,被试者有可能利用刺激间隔将注意力转移到非注意通道,从而导致非注意条件不纯。他们提高刺激呈现速度的实验结果表明,高度集中注意时的 MMN 大于非注意时的 MMN,因此对 MMN 只反映自动加工的观点提出了质疑。Naatanen 则反驳道,Woldorff 等的偏差相关成分中含有 N2b,受注意影响的是 N2b 而不是 MMN。他将参考电极置于鼻尖,根据乳突处极性是否倒转,区分出了 MMN 与 N2b,并证明极性倒转的 MMN 不受注意的影响,受注意影响的只是极性不倒转的 N2b^[3]。关于是否存在视觉 MMN 的问题,有些实验室宣称在视觉通路观察到了类似 MMN 的成分^[4,5]。但是 Naatanen^[1]指出,“一个类似于听觉 MMN 的视觉与躯体感觉现象还没有被满意地证明”。因此该问题也是悬而未决、尚待解决的基本问题。本实验采用我们新近研究成功的“跨通路延迟反应”实验模式^[6],可以同时记录注意与非注意条件下的视听觉 ERP,既可减慢刺激呈现速度,又可

1996-10-18 收稿

*国家自然科学基金资助项目(批准号:39670258)

提高非注意纯度,以期对上述争论提供有力证据。

1 实验方法

1.1 被试者

12名健康大学生,包括8男4女,年龄19~22岁,听力正常,视力正常或校正后正常。采用Reitan利手测验^[7]判定均为右利手。

1.2 脑电记录

实验仪器为美国NeuroScan公司生产的32导ERP工作站。EEG记录用其电极帽,包括头皮记录点28处和左右乳突。皮肤表面电极采用盘状熔结式无极化电极。参考电极置于鼻尖,接地点为前额发际下。在双眼外眦和眶上缘分别记录垂直眼电与水平眼电(VEOG, HEOG)。滤波带通0.1~40Hz,电极阻抗<5k Ω ,分析时间652ms(含基线52ms)。连续记录EEG,离线式(Off-line)叠加处理。

1.3 刺激

采用本实验室最近研制的“跨通路延迟反应”实验模式^[6],多次视觉刺激与多次听觉刺激混合、分时呈现,通路间刺激顺序按伪随机排列,组成刺激序列。视觉刺激与听觉刺激各包括3种:偏差刺激、标准刺激和反应命令信号。视觉偏差刺激为一幅彩色风景图片(视角4.3 \times 2.8 $^\circ$),标准刺激为对比度减小的同一幅图片,反应命令信号为小红十字,图片呈现时间皆为28ms;听觉偏差刺激为1000Hz的柔滑短纯音,标准刺激为800Hz的柔滑短纯音,声音呈现时程皆为20ms,强度为70dB SPL,反应命令信号则为2ms,24dB SPL的咔声(Click)。两通路偏差刺激均呈现65次,呈现概率为17.5%;标准刺激均呈现306次,呈现概率为82.5%。每一受注意的标准刺激与偏差刺激之后皆跟随1次反应命令信号。在刺激信号与命令信号之间随机插入0~2个非注意通路的刺激信号。刺激间隔为250~700ms,伪随机。进入叠加的刺激间隔为600~700ms,以防止前后2次ERP重叠。排除伪迹后实际进入叠加的各类刺激为55次以上。

1.4 任务与实验项目

每名被试皆进行2项实验,被试者对注意通道的偏差刺激与标准刺激分别用左右手按键反应,因此被注意的刺激没有目标刺激与非目标刺激之分。

第1项实验:注意视觉通路。刺激序列由视觉标准刺激、偏差刺激、反应命令信号及听觉标准刺激与偏差刺激组成。被试者双耳插入耳塞,以下颌架固定头部,眼睛与屏幕距离1.3m。令被试者注意屏幕图片,不注意耳机声音。当标准图片出现时,准备用右手拇指按键;当偏差图片出现时,准备用左手拇指按键。待反应命令信号出现后,尽快按键。

第2项实验:注意听觉通路。除将视觉反应命令信号改为听觉命令信号外,余同第1项实验的刺激序列。令被试者眼盯屏幕中央点,但注意听觉信号,不注意屏幕图片。当标准声音出现时,准备用右手拇指按键;当偏差声音出现时,准备用左手拇指按键,待反应命令信号出现后,尽快按键。以HEOG监视被试者眼睛是否注视屏幕。按键的左右手与2项实验的顺序在被试者间进行了平衡。被试者正式记录前训练若干次,以学会操作。

1.5 结果处理与统计分析

(1)叠加:采用NeuroScan软件自动校正EOG伪迹并充分排除其他各种伪迹。对注意与

非注意两种条件下的各 4 种视听刺激诱发的 EEG 分别进行叠加,共得到 8 类 ERP. 注意视觉掉,可记录到视觉通路的注意 ERP 和听觉通路的非注意 ERP;同理,注意听觉刺激时可记录到听觉通路的注意 ERP 和视觉通路的非注意 ERP. (2)相减:如图 1 所示,用偏差刺激 ERP 波

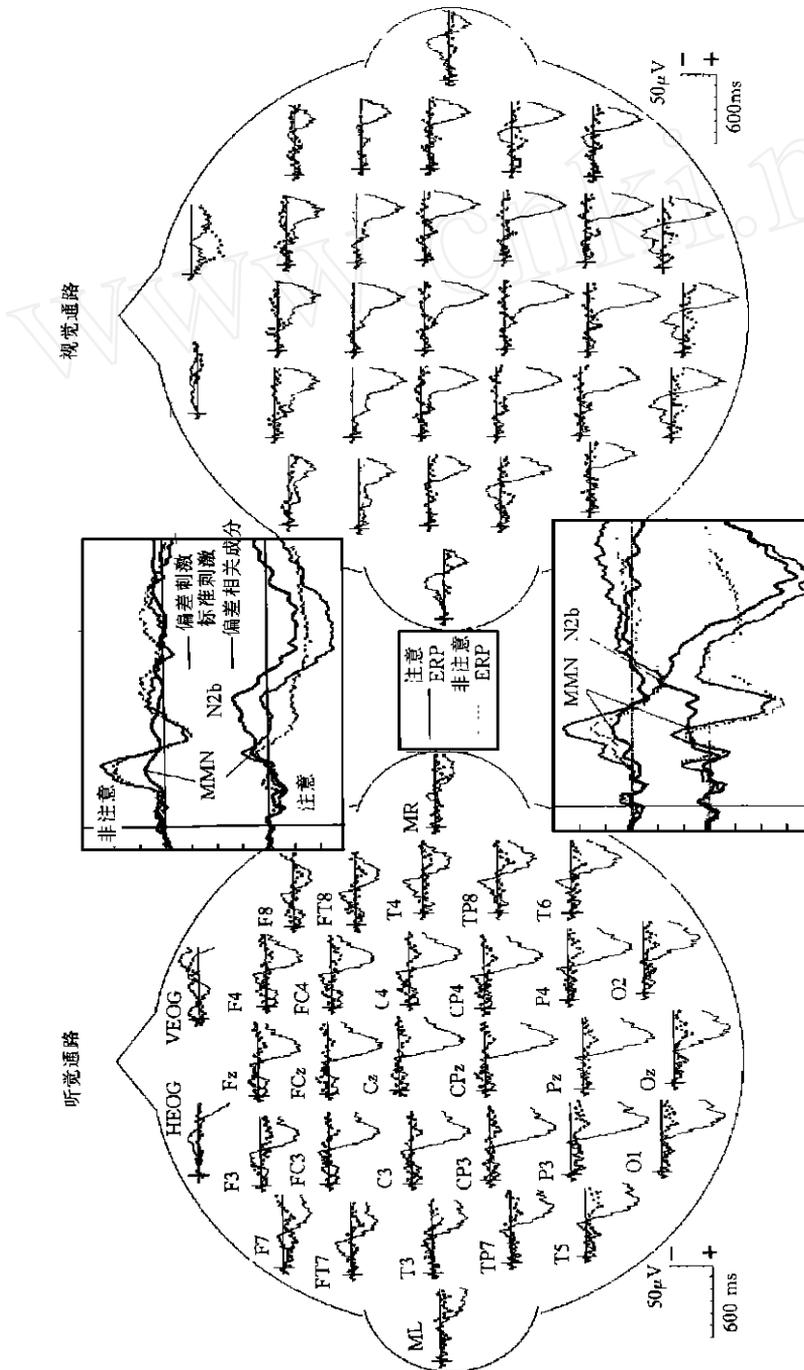


图 1 听觉(左)与视觉(右)通路注意与非注意 ERP 偏差相关成分总平均图
 插入上:听觉通路 FCz 点、T4 点;下:视觉通路 F4 点、Oz 点. 偏差相关成分 = 偏差刺激 ERP - 标准刺激 ERP

形减去标准刺激 ERP 波形,以得到注意与非注意条件下视觉与听觉共 4 种偏差相关成分。(3)测量:根据文献[1,2,8]和总平均图确定 ERP 各成分潜伏期范围,MMN 为 90~220ms,N2b 为 180~320ms,P300 为 200~550ms。上述范围内的波峰顶点为该成分的潜伏期测量点,波幅测基线-波峰值。(4)统计学处理:用 SPSS 统计软件包进行 3 因素方差分析,因素为注意(2 个水平:注意与非注意)、通路(2 个水平:听觉通路与视觉通路)和有代表性的记录部位(9 个水平:选取中线 Fz, Cz, Pz,周围 F3, F4, T3, T4, O1 和 O2)。多因素方差分析结果(*p* 值)经 Greenhouse-Geisser 法校正。

2 实验结果

2.1 行为指标

在注意条件下,听觉通路的标准刺激与偏差刺激的反应时(Reaction time, RT)分别为(398.9 ±69.7)与(386.8 ±68.2)ms,正确率(%)分别为 92.8 ±7.1 与 86.2 ±11.2;在视觉通路 RT 分别为(418.1 ±50.1)与(402.8 ±49.7)ms,正确率(%)分别为 90.6 ±4.9 与 86.4 ±16.4。对听觉与视觉通路之间、标准刺激与偏差刺激之间进行 *t* 检验,均无显著性差异。表明任务难度在感觉通路之间、刺激种类之间均一致。

2.2 ERP 基本成分

在听觉和视觉通路 28 个头皮记录点中,注意与非注意、偏差与标准刺激时诱发的 ERP 基本成分的最大峰所在头皮位置、波幅及潜伏期数值皆列于表 1。无论在听觉与视觉通路,注意偏差刺激皆产生典型的 N1, P2, N2 和 P3 成分;而注意标准刺激或非注意时则主要诱发出 N1 和 P2 成分。N1 主要分布于额部及额中央部, P2 分布于顶枕部,皆不受通路与注意与否的影响;N2 的分布同 N1; P3 则广泛分布于顶枕部和中央部。

表 1 注意与非注意条件下的 ERP 基本成分与偏差相关成分

| 通路 | 任务 | ERP 标准成分 | | | | | | | ERP 偏差相关成分 | | | |
|------|-----|----------|-------|-------------|--------|-------|-------------|--------|------------|-------|-------------|--------|
| | | 偏差刺激 | | | | 标准刺激 | | | 成分 | 最大峰位置 | 波幅/ μ V | 潜伏期/ms |
| | | 成分 | 最大峰位置 | 波幅/ μ V | 潜伏期/ms | 最大峰位置 | 波幅/ μ V | 潜伏期/ms | | | | |
| 听觉通路 | 注意 | N1 | FCz | - 3.0 | 111 | Cz | - 3.4 | 112 | MMN | FT8 | - 1.49 | 200 |
| | | P2 | Pz | 2.6 | 212 | CPz | 3.5 | 200 | N2b | T4 | - 2.70 | 268 |
| | | N2 | F4 | - 2.2 | 263 | | | | P3 | Pz | 7.68 | 416 |
| | | P3 | Pz | 9.8 | 420 | | | | | | | |
| | 非注意 | N1 | Fz | - 4.5 | 127 | FCz | - 3.8 | 115 | MMN | FCz | - 1.52 | 128 |
| | | P2 | P3 | 3.3 | 190 | CPz | 2.1 | 191 | P3 | Oz | 1.69 | 400 |
| 视觉通路 | 注意 | N1a | F4 | - 3.7 | 95 | F4 | - 4.3 | 97 | | | | |
| | | N1b | F4 | - 6.6 | 144 | F4 | - 6.5 | 145 | MMN | Oz | - 1.75 | 168 |
| | | P2 | Pz | 4.8 | 224 | Pz | 3.7 | 222 | N2b | Oz | - 3.85 | 264 |
| | | N2 | F4 | - 1.4 | 314 | | | | P3 | Pz | 8.57 | 480 |
| | 非注意 | P3 | Pz | 12.8 | 460 | | | | | | | |
| | | N1 | Fz | - 4.9 | 149 | FCz | - 3.2 | 149 | MMN | F4 | - 1.49 | 164 |
| P2 | Pz | 5.7 | 224 | O1 | 4.2 | 223 | P3 | FCz | 0.83 | 464 | | |

2.3 偏差 ERP

用偏差刺激产生的 ERP 减去标准刺激 ERP,即得到偏差相关成分. 图 1 为听觉通路与视觉通路注意与非注意的偏差相关成分总平均图. 最大波峰的位置、波幅与潜伏期值列于表 1. 在注意条件下,无论听觉还是视觉通路,其早期偏差相关负成分都分化为 MMN 与紧随其后的 N2b,而非注意时只有单一的 MMN 波峰. 在听觉通路,MMN 在乳突处极性翻转,N2b 极性不翻转;在视觉通路,未观察到 MMN 的极性翻转现象. 对 MMN,N2b,P3 波幅与潜伏期进行注意状态、感觉通路和某些电极部位的多因素方差分析,其自由度和 F 值见表 2. 对 MMN,注意仅对潜伏期有显著的主效应;N2b 只在注意条件下才产生,故只能对其进行通路与电极部位的多因素方差分析,结果表明通路仅对 N2b 潜伏期有显著的主效应;注意、电极部位对 P3 波幅,注意、通路对其潜伏期有显著的主效应.

表 2 偏差相关成分波幅与潜伏期的多因素方差分析 (F 值)^{a)}

| 因素 | MMN | | | N2b | | | P300 | | |
|----------------------------|-------|------|----------|-------|------|----------|-------|-----------|------------|
| | d_f | 波幅 | 潜伏期 | d_f | 波幅 | 潜伏期 | d_f | 波幅 | 潜伏期 |
| 注意状态 | 1,11 | 0.01 | 13.86 ** | | | | 1,11 | 32.01 *** | 242.30 *** |
| 通路 | 1,11 | 4.62 | 1.09 | 1,11 | 0.21 | 21.91 ** | 1,11 | 1.45 | 24.49 *** |
| 部位 | 8,88 | 1.49 | 0.95 | 8,88 | 2.71 | 1.35 | 8,88 | 14.13 *** | 0.80 |
| 注意 \times 通路 | 1,11 | 0.00 | 0.25 | | | | 1,11 | 2.95 | 44.03 *** |
| 注意 \times 部位 | 8,88 | 2.16 | 1.10 | | | | 8,88 | 7.57 ** | 3.63 * |
| 通路 \times 部位 | 8,88 | 1.71 | 1.23 | 8,88 | 1.68 | 1.99 | 8,88 | 1.35 | 0.91 |
| 注意 \times 通路 \times 部位 | 8,88 | 1.50 | 1.47 | | | | 8,88 | 0.46 | 0.88 |

a) 表中 * $p < 0.05$, ** $p < 0.005$, *** $p < 0.001$

3 讨论

3.1 实验模式特点

本实验采用“跨通路延迟反应”模式,其特点为:(1)被试者的任务分为:注意-分辨-准备-反应. 在被试者为了尽快按键而集中注意于注意通道中搜索命令信号的间隙,呈现非注意通路的刺激. 这就是说,在非注意通道呈现刺激时,被试者的任务尚未完成,其注意力一般不至于转移. 因此与目前其他实验室工作相比较,非注意通路的非注意纯度容易得到保障,即使刺激间隔较长,也不影响非注意的纯度,在解决 MMN 是否受注意影响的争论问题中,将提供更为有力的证据. (2)被试者对标准刺激与偏差刺激均需反应,没有目标刺激与非目标刺激的区别,使刺激概率差异引起的 ERP 偏差相关成分不受目标任务的影响,更为可靠. (3)在同一项实验中将视听觉刺激的呈现顺序随机排列,经过叠加,视觉与听觉 ERP 在逻辑上为同时产生,可使视听 2 个通路的刺激具有相同的时间背景,在比较视觉与听觉的偏差负成分,从而论证视觉通路是否存在 MMN 时,更有说服力.

3.2 听觉 MMN 与注意的关系

如引言所述,MMN 是否受注意影响,听觉通路的 ERP 实验结果尚不一致,为了解决 MMN 是否受注意影响的问题,关键是对非注意条件的控制是否严格. 针对这一点,本实验以新的模式提高了非注意纯度. 此外,值得一提的是 1992 年 Naatanen 实验室的跨感觉通路 ERP 实验结果曾一度表明听觉注意刺激比非注意刺激产生的 MMN 波幅大,头皮分布后移并

对称化,并且 MMN 波幅随注意负荷的增加而增大^[9]。但 1994 年他们的实验^[10]又否认了 MMN 的这种注意效应。他们的解释是:在前一个实验中将偏差刺激作为目标刺激,而后一个实验则未将偏差刺激作为目标刺激,因此 MMN 的注意效应可能是由于在 MMN 潜伏期范围内夹杂了目标任务特异性负波(如 N2b 和运动相关电位)所致。在本实验模式中,偏差刺激与标准刺激皆为目标任务,在它们相减所得之偏差相关负成分中不含目标任务成分,较为准确。由表 1 和图 1 可知,听觉 MMN 波幅无论注意与否均基本一致,最大峰约 1.5 μ V。表 2 的多因素方差分析也证明了这一点。据此,本结果支持 Naatanen 等^[1]的观点,听觉 MMN 波幅不受注意的影响,其小波幅可作为自动加工的重要指标。

听觉 MMN 的潜伏期是否受注意影响,迄今甚少论及。本实验结果表明,听觉 MMN 波峰出现在 100~200ms 范围,注意 MMN 比非注意 MMN 出现较晚。多因素方差分析证实了潜伏期分布有明显的注意效应。听觉 MMN 在注意时出现较晚可能反映了控制加工比自动加工花费更多的时间。听觉 MMN 波幅不受注意影响,但潜伏期受注意影响,提示听觉 MMN 不仅反映自动加工,与控制加工也是有关的。

3.3 视觉 MMN 问题

从图 1 可见,在本实验条件下的视觉通路出现了一个早期偏差相关成分,其潜伏期范围在 160ms 左右,与听觉 MMN 相似。其最大波峰分布于枕部皮层视觉初级投射区附近,与听觉 MMN 最大波峰分布于颞部皮层听觉初级投射区附近具有某些相似之处。其波幅在注意与非注意条件下无显著性差异,也与听觉 MMN 相似。这些共同特征提示它应该是视觉 MMN。Naatanen^[1]和其他一些实验室^[11]未观察到视觉 MMN。Cammann^[5]认为颜色偏差可以诱发视觉 MMN,Ciesielski 也认为“初步证据表明 MMN 可以发生在视觉通路”^[4]。Banquet 等更是指出 Simson 等、Renault 等也早就得到了视觉 MMN。Naatanen 认为他们的“视觉 MMN”只是在主动辨认时产生的,不能排除 N2b 成分的重叠。本实验在较为严格的非注意条件下证实了视觉 MMN 的存在,其特征与听觉 MMN 基本一致,是证明视觉 MMN 存在的更有说服力的证据。

3.4 多个痕迹的匹配与失匹配

本实验属跨感觉通路选择性注意的 ERP 研究。这类研究可以同时分别记录视听通路的注意与非注意条件下的 ERP,使视听两通路的被试者、时间等背景条件更为一致,便于比较视听 2 个通路的注意与非注意 ERP 特征,在近年有所发展。例如 Hackley 等^[12]、Hohnsbein 等^[13]、Woods 等^[9]、Alho 等^[10]、Ciesielski 等^[4]皆进行了此种研究。本实验在视听注意与非注意条件下皆得到了刺激偏差引起的偏差相关负成分。按照脑内痕迹匹配与失匹配原理,可以理解为听觉刺激与视觉刺激都将在脑内留下刺激痕迹,并自动地进行匹配与失匹配加工。此外,本实验还增加了视听反应命令信号,它们也会在脑内留下刺激痕迹。Winkler 等^[14]的实验表明可以同时存在 2 个听觉刺激痕迹,并进行匹配与失匹配加工。本实验结果则进一步提示,在同时存在多通路的多种刺激痕迹的条件下可以进行匹配与失匹配加工。多种痕迹的存在,使匹配与失匹配复杂化了,不过并不足以否定视觉 MMN 的存在,因为本实验结果还表明,视觉早期偏差相关负成分的最大波幅出现在枕叶,接近视觉初级投射区,如同听觉 MMN 的最大波幅出现在颞叶,接近听觉初级投射区一样。因此,有理由认为,视觉早期偏差相关负波应该是视觉通路而不是其他通路痕迹的产物,应该是视觉 MMN。当然,凡跨通路 MMN 实验皆存

在通路间的痕迹是否相互影响,多个痕迹是否相互影响及其机理问题,进一步研究这些问题将有助于丰富痕迹匹配与失匹配理论,是有价值的。

致谢 王春茂、刘旭峰参加了实验工作,表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Naatanen R. Attention and Brain Function. New Jersey: Hillsdale, 1992
- 2 Woldorff M G, Hackley S A, Hillyard S A. The effects of channel-selective attention on the mismatch negativity wave elicited by deviant tones. *Psychophysiology*, 1991, 28: 30 ~ 42
- 3 Naatanen R, Paavilainen P, Tiitinen H, et al. Attention and mismatch negativity. *Psychophysiology*, 1993, 23: 436 ~ 450
- 4 Ciesielski K T, Knight J E, Prince R J et al. Event-related potentials in cross-modal divided attention in autism. *Neuropsychologia*, 1995, 33: 225 ~ 246
- 5 Cammann R. Is there a mismatch negativity in the visual modality? *Behavioral and Brain Sciences*, 1990, 13: 234 ~ 235
- 6 魏景汉. 仿同时刺激延迟反应模式及其在 ERP 研究中的作用. *心理学动态*, 1995, 42: 28 ~ 30
- 7 Cheng C M, Fu G L. The recognition of Chinese characters and words under divided visual-field presentation. In: Language Kao H S R, Hoosain R, eds. *Linguistics, Psychology and the Chinese*, Hong Kong: University of Hong Kong, 1986
- 8 Polich J. Meta-analysis of P300 normative aging studies. *Psychophysiology*, 1996, 33: 334 ~ 353
- 9 Woods D L, Alho K, Algazi A. Intermodal selective attention. I. effects on event-related potentials to lateralized auditory and visual stimuli. *Electroenceph clin Neurophysiol*, 1992, 82: 341 ~ 355
- 10 Alho K, Woods D L, Algazi A. Processing of auditory stimuli during auditory and visual attention as revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 1994, 31: 469 ~ 479
- 11 Czigner I, Csibra G. Event-related potentials in a visual discrimination task. *Psychophysiology*, 1990, 27: 669 ~ 676
- 12 Hackley S A, Woldorff M G, Hillyard S A. Cross-modal selective attention effects on retinal, myogenic, brainstem, and cerebral evoked potentials. *Psychophysiology*, 1990, 27: 195 ~ 208
- 13 Hohsbein J, Falkenstein M, Hoormann J, et al. Effects of crossmodal divided attention on late ERP components. *Electroenceph Clin Neurophysiol*, 1991, 78: 438 ~ 446
- 14 Winkler I, Paavilainen P, Naatanen R. Can echoic memory store two traces simultaneously? a study of event-related brain potentials. *Psychophysiology*, 1992, 29: 337 ~ 349