

听觉失匹配负波反映自动加工

——感觉道间选择性注意时的新证据¹⁾*

傅世敏** 魏景汉

(中国科学院心理研究所, 北京, 100012)

摘 要

为考察听觉失匹配负波是否反映自动加工, 实验改进了视觉和听觉刺激同时呈现的感觉道间选择性注意实验模式, 更好地控制了非注意听觉条件。结果发现, 在注意与非注意听觉条件下, 听觉偏离刺激均诱发出失匹配负波; 注意听觉刺激时 140—180ms 的偏离相关负波与非注意时该时程负波的平均波幅之间无显著差异, 而注意时 180—220ms 的偏离相关负波的平均波幅大于非注意时同一时程之负波; 非注意听觉时失匹配负波的平均波幅和峰潜伏期不受视觉道任务难度的影响。该结果为听觉失匹配负波反映自动加工的观点提供了进一步证据。

关键词 失匹配负波, 自动加工, 事件相关电位。

1 前 言

失匹配负波 (Mismatch Negativity, MMN) 由 Naatanen 等人在听觉 ERP 研究中最早提出^[1], 他们认为标准听觉刺激的多次重复, 在脑内留下感觉记忆痕迹, 偶然出现偏离刺激, 就与之失匹配, 诱发出 MMN。MMN 可由偏离刺激与标准刺激的 ERP 相减而得到, 一般在额区波幅最大, 持续期约在刺激后 100—200ms, 峰潜伏期约 150ms。研究表明, 听觉刺激的频率、强度、持续时间等因素的偶而改变, 都可以诱发 MMN^[2]。

MMN 与自动加工的关系是当今事件相关电位 (Event-Related Potentials, ERPs) 研究中争论的焦点之一。一种观点认为, MMN 反映了听觉信息的完全自动的加工, 它不受注意的影响^[3]; 另一种观点认为 MMN 反映部分自动的加工, 但是受注意的影响^[4]。要回答“听觉 MMN 是否反映完全自动加工”这一争论, 首先必须回答的一个问题是: 听觉 MMN 是否反映自动加工。虽然在感觉道内的研究中, 已得到支持“MMN 反映自动加工”的证据^[2], 但是在感觉道间实验模式中^[5], 尤其是在视觉和听觉刺激完全同时呈现的感觉道间研究^[6]中, 其证据尚不充分。因此, 有必要对此进行进一步研究。

MMN 能否反映听觉信息加工的自动性, 取决于它是否在非注意听觉时出现。因此, 必须严格控制诸如刺激物属性、刺激持续时间、刺激间隔、被试任务等实验条件, 以更好地达到非注意听觉的要求。Nyman 等^[6]曾采用视、听刺激同时呈现的感觉道间选择性注意实验模式验证 MMN 的通道特异性, 但其对非注意条件之控制尚有不足之处; 而 ERP 对实验条件的变化非常敏感^[7], 因此 Nyman 实验结果之精确性可能受到影响。为此, 本实

1) 本文修改稿于 1995 年 7 月 10 日收到。

* 国家自然科学基金资助项目

** 现工作单位: 中国科学院北京认知科学开放研究实验室

验改进 Nyman 之实验模式,更加严格地控制非注意听觉条件,观察 MMN 是否仍然出现,并研究视觉通道不同任务难度是否影响听觉 MMN,以进一步考察听觉 MMN 与自动加工的关系。

2 实验方法

2.1 被试 14 名大学生或研究生(5 男 9 女),年龄 17—25 岁,视力正常或矫正后正常。

2.2 刺激和实验过程

刺激为视、听同时呈现并同时消失之复合刺激,持续 20ms。刺激间隔在 700—1300ms 之间随机选取 50ms 的整数倍差。听觉刺激为 55dB(SPL)之短纯音,标准刺激频率 800Hz,出现概率 85%;偏离刺激频率 1000Hz,出现概率 15%。通过耳机双耳同时呈现。视觉刺激是红色或蓝色的圆或方形。每项实验有三种图形:小概率方、小概率圆、大概率圆,出现概率分别为 10%、10%和 80%。在一半实验中,红色为小概率,蓝色为大概率;另一半实验颜色相反。图形在背景为黑色的计算机屏幕中央呈现,视角约为 0.86 度 × 0.86 度,被试眼睛距屏幕中央两米。

由于视、听刺激同时呈现,且听觉刺激有两种,视觉刺激有三种,故在每项实验中实际呈现的混合刺激共分 $2 \times 3 = 6$ 种,如表 1 所示。

表 1 实验所用的刺激组合及其出现的概率

	方形偏离	圆形偏离	圆形标准
800Hz(标准)	A. $85 \times .10 = 8.5\%$	B. $85 \times .10 = 8.5\%$	C. $85 \times .80 = 68\%$
1000Hz(偏离)	D. $15 \times .10 = 1.5\%$	E. $15 \times .10 = 1.5\%$	F. $15 \times .80 = 12\%$

实验依被试任务分为三项:一、注意听觉道实验:令被试对 800Hz 与 1000Hz 的声音分别用左右手反应,并把视线集中在屏幕中央,但不注意图形;二、注意视觉单因素实验:令被试对颜色大、小概率图形分别用左右手按键反应;三、注意视觉双因素实验:令被试对形状和颜色均为小概率的圆形用一只手反应,其余两种图形(即方形偏离与圆形标准)用另一只手反应。实验三既要区分颜色,又要区分形状,比实验二的任务难度更大,其余条件相同。要求被试又快又准确地做出反应。对反应手作了平衡。实验共有 3(实验任务) × 2(左右手) × 2(颜色) = 12 组,实验顺序在被试间平衡。每组 270 次刺激,被试练习 20 次。

2.3 诱发电位(Evoked Potentials, EP)的记录

记录 Fz、Cz、Pz、Oz、P3 和 P4 六点(10—20 系统)之 EP。前额正中发际下 1cm 处接地,连接的左右乳突为参考电极,右眉上 0.5cm 和眼外 1cm 处安放 EOG 电极。活动电极与参考电极间阻抗 $\leq 5k\Omega$ 。放大器时间常数为两秒,采样频率 500Hz。实验后以 486 型微机自动地进行 47—53Hz 频率段窄带数字滤波,排除超出放大范围的伪迹,校正 EOG 及身体运动等带来的伪迹,并对 EP 的分类分导叠加。

2.4 数据分析

偏离刺激和的标准刺激 EP 叠加次数为 60—70 次,ERP 分析时间为 700ms,刺激前 100ms 之平均波幅为基线。考虑到 MMN 有可能是一种复合波,故将每项实验中 F 类和 C

类刺激的 ERP 之差(即偏离相关成分)分段, 取各段波幅平均值进行方差分析及 t 检验。每组实验前 20 次及错误反应的 EP 舍弃不用。

3 结 果

3.1 注意听觉道时的 ERP

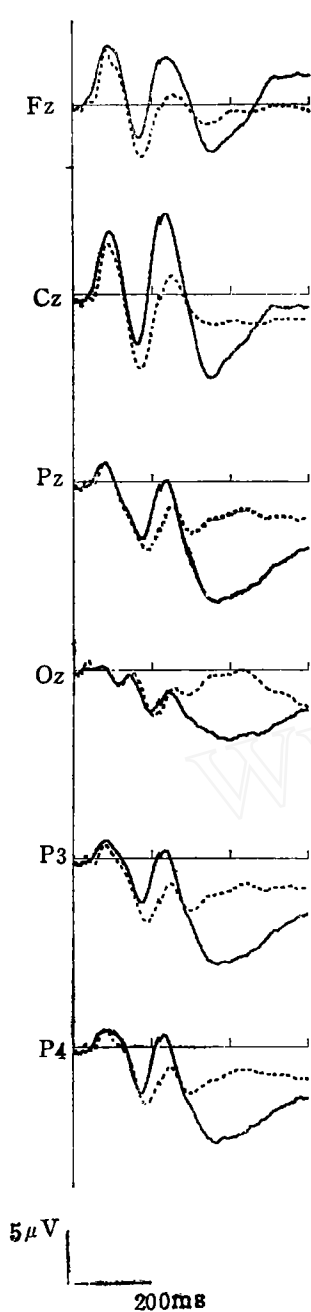


图 1 注意听觉道时各记录点上 F(实线)和 C(虚线)刺激的 ERP 总平均图



图 2 三种实验任务下各记录点上 F 和 C 刺激的 ERP 差异波。细实线、粗实线和虚线分别为注意听觉、注意视觉单因素和注意视觉双因素时的偏离相关成分

实验一中 F 刺激与 C 刺激的 ERP 总平均图如图 1 所示。双因素方差分析 [电极位置(1,6) × 刺激类型(1,2)] 表明,这两种刺激之间的 ERP 在 160—200ms、200—240ms、240—280ms 时程上波幅平均值之间存在显著差异 [$F(1,13) = 18.25, 31.44, 5.62$; 分别 $p < 0.001, p < 0.001$ 和 $p < 0.05$]。两者相减所得的差异波,即偏离相关成分,如图 2 中细实线所示,在 160—280ms 时程上的头皮分布特点为: Cz 最大, Fz 次之(峰值分别为 $-8.5\mu V$ 和 $-6.45\mu V$, 平均波幅分别为 $-5.2\mu V$ 和 $-3.44\mu V$),该两点之间差异不显著。实验一中偏离相关成分的平均波幅(单位 μV)及每个头皮点上偏离刺激和标准刺激的 ERP 之间成对 t 检验结果见表 2。

表 2 注意听觉道时的听觉偏离相关成分波幅平均值及 t 检验结果

	80—120	120—160	160—200	200—240	240—280ms
Fz	-1.11	-0.94	-2.18**	-4.91**	-3.24**
Cz	-1.36	-1.12	-4.37**	-7.86**	-3.97**
Pz	-0.06	-0.38	-1.34**	-4.07**	-0.65
Oz	-0.04	0.13	0.54	-0.78	0.75
P3	-0.72	-0.73	-2.14**	-4.58**	-1.61
P4	-0.49	-0.23	-1.35**	-4.23**	-1.14

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ (df = 13)

3.2 注意视觉道单因素时的 ERP

被试注意视觉道时,听觉道便是非注意通道。图 3 是实验二中 F 类和 C 类刺激的 ERP 总平均图。被试注意视觉道单因素时,在 140—180ms 时程,刺激之间的 ERP 平均波幅在 Fz、Cz 点上差异显著 [$t(13) = -3.32$ 和 $-2.30, p < 0.01$ 和 $p < 0.05$]; 在 180—220ms 时程,刺激的 ERP 平均波幅间差异显著 [$F(1,13) = 5.98, p < 0.05$]。实验二中 F 刺激与 C 刺激的差异波如图 2 虚线示,其平均波幅及每个头皮点上偏离刺激和标准刺激的 ERP 之间成对 t 检验结果见表 3 (单位 μV)。

表 3 注意视觉单因素时的听觉偏离相关成分波幅平均值及 t 检验结果

	100—140	140—180	180—220	220—260	260—300ms
Fz	-0.64	-1.87**	-1.77**	-0.96	-0.98
Cz	-0.10	-1.59*	-2.40**	-1.28	-0.56
Pz	-0.14	-0.45	-1.07	0.46	-0.71
Oz	-0.41	0.58	0.30	0.72	-0.05
P3	-0.38	-0.33	-1.25*	-0.14	-0.99
P4	-0.38	-0.11	-1.19	0.37	-0.72

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ (df = 13)

3.3 注意视觉道双因素条件下的 ERP

当被试对视觉道双因素作反应(即实验三)时,F 刺激和 C 刺激的 ERP 总平均图如图 4 所示。在 140—180ms 时程,Fz 和 Cz 点上两种刺激的 ERP 平均波幅差异显著 [$t(13) = -3.26$ 和 $-2.21, p < 0.01$ 和 $p < 0.05$]; 在 180—220ms 和 220—260ms 时程,刺激间 ERP 平均波幅差异显著 [$F(1,13) = 20.21$ 和 24.54 , 两者 $p < 0.001$]; 在 260—300ms 时程, Fz、Cz 点上偏离刺激诱发了更大的负波 [$t(13) = -3.34$ 和 $-2.74, p < 0.01$ 和 $p < 0.02$]。实验

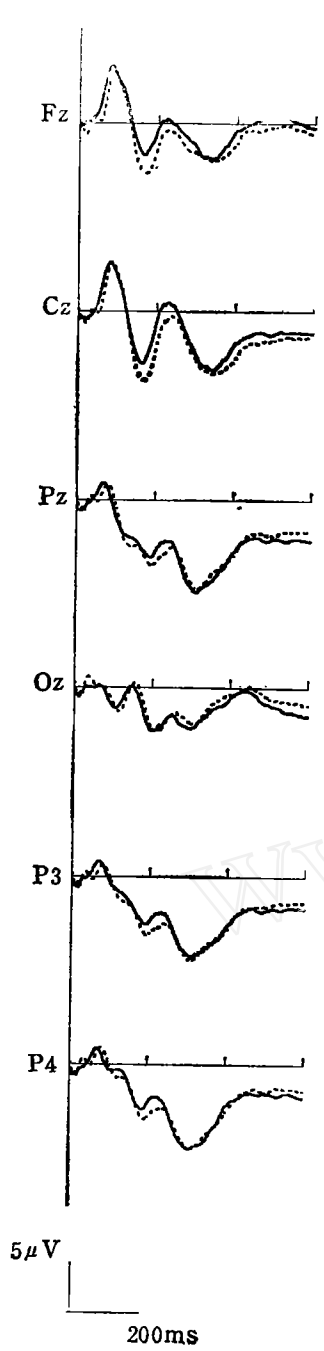


图3 注意视觉道单因素时各记录点上 F(实线) 和 C(虚线) 刺激的 ERP 总平均图

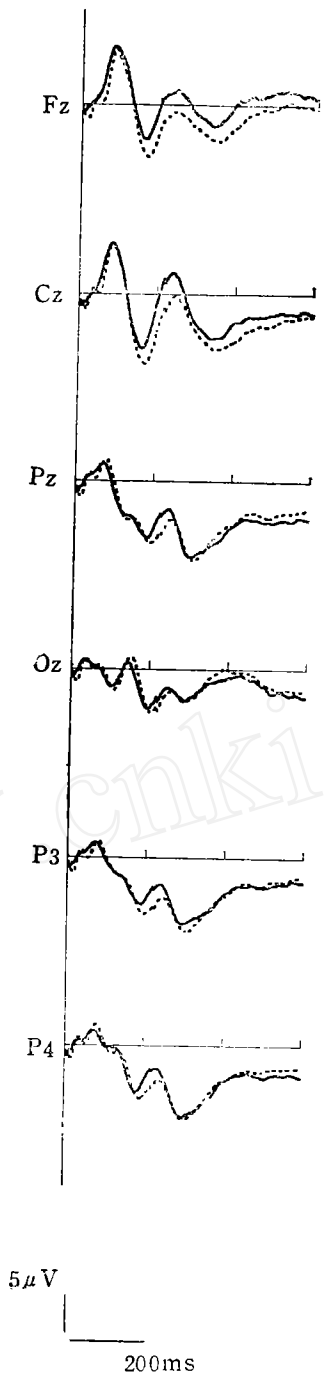


图4 注意视觉道双因素时各记录点上 F(实线) 和 C(虚线) 刺激的 ERP 总平均图

三中偏离相关成分如图 2 粗实线所示，其平均波幅及每个头皮点上偏离刺激和标准刺激的 ERP 之间成对 t 检验结果见表 4 (单位 μV)。

表 4 注意视觉双因素时的听觉偏离相关成分波幅平均值及 t 检验结果

	100—140	140—180	180—220	220—260	260—300ms
Fz	-0.72	-1.64**	-2.50**	-2.19**	-1.72**
Cz	-0.16	-1.38*	-3.05**	-2.55**	-1.08*
Pz	0.19	0.14	1.13**	-1.28*	0.10
Oz	-0.39	0.92	-0.15	-0.66	0.03
P3	0.05	0.14	-1.37**	-1.39**	-0.42
P4	-0.28	0.47	-1.24**	-1.14*	-0.06

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$ ($df = 13$)

3.4 注意和非注意听觉道条件下的听觉偏离相关负波

因本实验研究听觉失匹配负波与自动加工的关系,因此对偏离相关成分中100—300ms之负波,即偏离相关负波,进一步作不同任务之间的比较。结果发现,两种非注意听觉条件(即实验二和实验三)所得差异波(如图2粗实线和虚线示)的波幅,在140—220ms时程上无显著差异。注意与非注意下听觉偏离相关负波的波幅在140—180ms时程上无显著差异,而在180—220ms时程,注意听觉条件比两种非注意条件下的听觉偏离相关负波波幅更大[$F(1,13) = 25.61, 22.08$, 两者 $p < 0.001$]。两种非注意条件下所得偏离相关负波的波幅,均是 Cz 稍大, Fz 次之,但是两点的差异均不显著。注意听觉条件下偏离相关负波中 Fz 的峰潜伏期约为 216ms;两种非注意听觉条件下则分别为 184ms 和 186ms。注意听觉比两种非注意听觉时所得负波的峰潜伏期更长[$F(1,13) = 19.28, 24.32$, 两者 $p < 0.001$],而两种非注意听觉条件下所得偏离相关负波的峰潜伏期之间则无显著差异。

4 讨 论

4.1 听觉失匹配负波反映自动加工

Nyman^[6]曾采用感觉道间选择性注意模式,研究 MMN 是否为听觉道所特有。结果发现非注意时听觉 MMN 仍然出现,支持 MMN 反映自动加工的观点。本实验与 Nyman 实验所用刺激的物理属性不同: Nyman 实验中听觉刺激选用强度差异,视觉刺激选用光栅;本实验听觉刺激选用频率差异,视觉刺激选用形状和颜色差异。本实验对 Nyman 实验作了如下改进:(1)被试任务不同。Nyman 实验中只要求被试注意屏幕中央,无反应任务;本实验要求被试又快又准地作辨别反应。(2)刺激持续时间不同。Nyman 实验中刺激持续时间为 100ms;本实验为 20ms。缩短呈现时间加之增加反应任务,使本实验较 Nyman 之实验更好地控制了被试非注意听觉道。(3)刺激间隔(ISI)不同。Nyman 实验中 ISI 固定为 490ms;本实验为 0.7 到 1.3 秒随机。随机的 ISI 使被试不能预料刺激何时出现,因此不能分心于与任务无关的通道,可更好地达到非注意状态。(4) Nyman 实验中,在考察非注意的听觉 MMN 时,或者是视觉道总是出现标准刺激(实验条件3),或者是听觉偏离刺激与视觉偏离刺激一起出现,听觉标准刺激与视觉标准刺激一起出现(实验条件5),这种较少的刺激搭配方式也不利于让被试不注意听觉道。本实验中两种听觉刺激和三种视觉刺激是随机混合出现的,可防止这一弊端。(5)本实验设计了两种不同难度的视觉辨别任务,考察听觉 MMN 是否受视觉任务难度的影响,以进一步验证被试是否真的不注意听觉通道。由于 ERP 对实验条件非常敏感,因而这些特点与改进都使得本实验

结果更为可靠。

本实验结果表明,听觉道在两种非注意条件下都出现了 140—220ms 间的偏离相关负波。该负波由听觉偏离刺激和视觉标准刺激混合诱发的 ERP 减去听觉标准刺激与视觉标准刺激混合诱发的 ERP 而得到。通过这两者相减,相同的视觉标准刺激所诱发的 ERP 被减去,剩下听觉偏离刺激与标准刺激所诱发的 ERP 之差,亦即通常所说的 MMN。该负波与感觉道内研究所得的 MMN 波形相似,而且在非注意时出现,这与 Nyman 的结果相似,支持“听觉 MMN 反映听觉信息被自动加工”的观点;另外,本实验中两种非注意时的 MMN,在 140—220ms 时程上波幅和峰潜伏期之间均没有差异,即其波幅和峰潜伏期均不受视觉任务难度的影响。这个结果表明,本实验对非注意听觉的控制是有效的。本实验非注意时 MMN 的时程与 Nyman 实验相似,但头皮分布稍有不同:本实验为 Cz 稍大于 Fz (两者差异不显著),而 Nyman 实验的结果是 Fz 大于 Cz。这可能由实验条件不同引起。总之,上述实验结果是在更严格地控制非注意听觉条件时得到的,因而为“听觉 MMN 反映自动加工”的观点提供了新的证据。

4.2 听觉失匹配负波是否反映完全的自动加工

更进一步的问题是:听觉 MMN 所反映的自动性的强度如何,即 MMN 是否受注意的影响?如果 MMN 不受注意的影响,那么它反映了完全自动的加工;而如果 MMN 在非注意时出现,但是受注意的影响,那么它反映部分自动的加工^[8]。本实验对偏离相关负波进行分段分析,发现 140—180ms 时程之偏离相关负波,注意和非注意时并无显著差异,而 180—220ms 时程之负波,注意比非注意时更大。这个结果可以有两种解释。一、听觉 MMN 不受注意影响,注意比非注意时 180—220ms 的偏离相关负波更大是由于 N2b 的重叠^[9]。N2b 通常是 Cz 大于 Fz 而且在 MMN 之后出现,因此如果出现 N2b 重叠,那么所得偏离相关负波的头皮分布可能是 Cz 大于 Fz,而且,注意比非注意时偏离相关负波的峰潜伏期更长。本实验结果与此相符。这提示本实验中注意时 180—220ms 的偏离相关负波中有 N2b 重叠。二、对传统的听觉 MMN 可以进一步细分,早期听觉 MMN 不受注意影响,晚期听觉 MMN 受注意影响。即认为对听觉信息的早期加工是完全自动的,而晚期加工是部分自动的,注意机制在此过程起作用。这提示注意时的听觉 MMN 是复合波——既反映早期的自动加工过程,又反映晚期受控制的加工,而且可能存在由自动加工向受控制的加工转化的机制。由于目前对注意与 N2b 的关系尚无定论,因此,对“MMN 是否反映完全自动加工”的问题,有待进一步研究。

致谢 黄伟、焦敏同志参加了实验过程;中国科学院北京认知科学开放研究实验室对本研究最后阶段的工作提供了大力支持。

参 考 文 献

- 1 Naatanen R, et al. Early selective attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 1978, 42, 313—29.
- 2 Naatanen R. The role of attention in auditory information processing as revealed by event-related potentials. *Behavioral and Brain Sciences*, 1990, 13, 199—290.
- 3 Naatanen R. Mismatch negativity outside strong attentional focus: A commentary on Woldorff et al. (1991). *Psychophysiology*, 1991, 28, 478—84.
- 4 Woldorff M et al. The effects of channel-selective attention on the mismatch negativity wave elicited by deviant tones. *Psychophysiology*, 1991, 28, 30—42.
- 5 Woods D L et al. Intermodal selective attention: effect on event-related potentials to lateralized auditory and visual stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1992, 82, 341—55.
- 6 Nyman G, Alho K, et al. Mismatch negativity (MMN) for sequences of auditory and visual stimuli: evidence for a mechanism specific to the auditory modality. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1990, 77, 436—44.
- 7 魏景汉, 汤慈美. 注意对人体大脑听觉诱发电位晚成分的影响. *心理学报*, 1982, 14(2): 246—251.
- 8 Kahneman D, Treisman A M. Changing views of attention and automaticity. In: *Varieties of attention*, ed. Kubovy M, Pomerantz J R, Erlbaum, 1984.
- 9 Novak G, et al. Differentiation of negative event-related potentials in an auditory discrimination task. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1990, 75, 255—75.

AUDITORY MISMATCH NEGATIVITY REFLECTS AUTOMATIC PROCESS: EVIDENCE FROM INTERMODAL SELECTIVE ATTENTION PARADIGM

Fu Shimin Wei Jinghan

(*Institute of Psychology, Academia Sinica, Beijing, 100012*)

Abstract

In order to testify the automaticity of auditory mismatch negativity, a renewed intermodal paradigm of selective attention in which visual and auditory stimuli were presented simultaneously was used in the present study so as to control the unattended condition better. The results showed that auditory MMN was elicited whether the auditory stimuli were attended or not and when attended, the mean amplitude during 140—180ms was equal to that of the unattended, the mean amplitude during 180—220ms was larger than that of the unattended. It was also found that the mean amplitude and peak latency of auditory MMN was not modulated by the degree of task difficulty of visual modality. Therefore, further evidence of the automaticity of auditory MMN was found in this experiment.

Key words Mismatch negativity (MMN), Automatic process, Event-related potentials (ERPs).