

认知信息自动加工的证据—失匹配负波^{①②}

傅世敏 魏景汉

(中国科学院心理研究所)

0 引言

认知心理学的兴起,使得信息的自动加工问题受到心理学家的重视。自动加工是指不需要或者仅仅需要很少的注意资源,就可以对信息作出加工。根据自动加工的不同水平,Kahneman 等把自动性分为强自动性、部分自动性和偶尔自动性三种。

传统心理学反应时加错误率的方法,未能给信息加工自动化的观点提供进一步的证据。而本世纪七十年代发展起来的、被誉为“大脑的窗口”的事件相关电位(event-related potentials, ERP)方法,不仅为科学家揭开人脑这个“黑盒子”的奥秘提供了独特的和重要的研究方法,而且直接为信息加工自动性的观点提供了实验证据。自近年 Naatanen 等提出失匹配负波(mismatch negativity, MMN)以来^[1],听觉道失匹配负波的存在已被广泛证明。Naatanen 等提出听觉信息加工自动化的观点^[2]之后,作为其实验证据的失匹配负波引起了更多学者的注意,近年在 ERP 领域引发了一场广泛的争论。

1 失匹配负波是刺激失匹配的标志

1.1 MMN 的产生条件及特点

MMN 通常在 oddball 模式下出现。oddball 模式中,刺激分标准刺激和偏差两类,标准刺激在刺激序列中经常出现,而偏差刺激则偶尔出现。如果被试的任务是对某种指定的偏差刺激作反应,则对该刺激所在通道构成主动注意的 oddball 模式;如果被试对其无反应任务,就是被动注意的 oddball 模式。两种 oddball 模式下都可以得到 MMN。不过,只要刺激序列中存在着偶然出现的不一致,即使不是 oddball 模式,也可以产生 MMN。

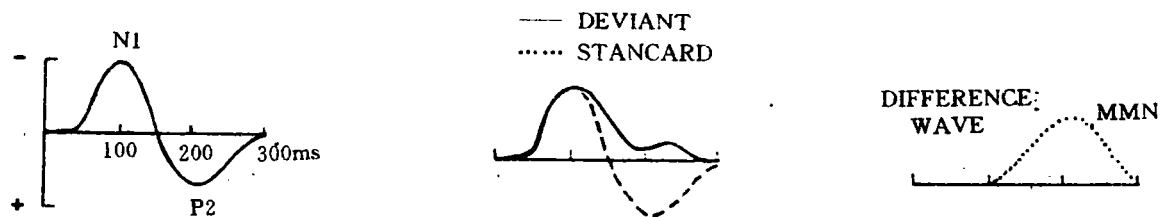


图1 图左为听觉刺激诱发的N1、P2示意图,图中部为听觉标准刺激和偏差刺激诱发的ERP示意图,图右为偏差刺激的ERP减去标准刺激的ERP所得的差异波,即MMN。^[2]

① 国家自然科学基金资助项目

② 与此文有关的交流请与傅世敏(100039 北京玉泉路(甲)19号中国科学院北京认知科学开放研究实验室)联系。

Naatanen 等^[1]把 N2 波分成 MMN 和 N2b 成分。N2b 产生在 MMN 之后,通常在主动注意条件下出现,而被动注意条件下一般不出现;N2b 之后通常是 P3a,N2b-P3a 复合可能反映注意的转换。而 MMN 常常跟 N1 的下降支及 P2 重叠在一起,出现在前额-中央区,并且前额区的波幅最大。其持续时间一般为 100-200ms,峰潜伏期为 150ms 左右。在被动注意条件下,如果刺激的偏差程度不大时,标准刺激和偏差刺激诱发的 N1 和 P2 成分非常相似,因此,偏差刺激的 ERP 减去标准刺激的 ERP 所得差异波的负波,可较好地估计 MMN 成分(图 1)。而主动注意条件下的差异波中由于有与 MMN 时程相近的 N2b 成分的重叠,因此比被动条件下的差异波更明显。MMN 与 N1 不同,对诱发刺激的强度不敏感,而反映刺激之间的前后关系:刺激间的差异越大,MMN 越早,波幅也越大。

1.2 MMN 反映刺激失匹配的理论依据

偏差刺激诱发出 MMN,可能是由于神经元疲劳,即 MMN 由对偏差刺激敏感的神经元产生。由于偏差刺激的出现概率很小(一般小于 20%),使得其出现的时间间隔较长,所以对它进行反应的神经元仍然很敏感;而对标准刺激敏感的神经元,则需要对标准刺激作出多次反应而导致疲劳。但是,疲劳解释没有得到实验支持,因为偏差刺激单独呈现(没有标准刺激的干预但两个偏差刺激之间的时间间隔保持与有标准刺激时一样长)时并没有诱发 MMN。Winkler 等的刺激省略实验,提供了更有力的证据。其标准刺激为同时发生的 600Hz 和 700Hz 的复合音,偏差刺激是单独的 600Hz 和 700Hz 的声音,被试做一项阅读任务。结果两种偏差刺激都得到了明显的 MMN。而根据神经元疲劳解释,两种频率出现的时间概率相同,因此对它们敏感的神经元的疲劳程度也相同,所以任何一种偏差刺激都不应该引起 MMN。实验结果否定了疲劳理论。

由于神经元疲劳解释是不合理的,Naatanen 提出 MMN 的记忆痕迹解释,即标准刺激的多次重复,就在脑中形成一个感觉记忆痕迹,它贮存着有关标准刺激的物理特征,如声音的频率、强度、持续时间等;偶而出现偏差刺激时,它所具有的特征与感觉记忆痕迹中所贮存的特征不符合,就产生失匹配,MMN 则是失匹配过程的产生。标准刺激越是经常重复出现,感觉记忆痕迹就越强。感觉记忆痕迹的生理学基础是听觉声像记忆(echoic memory)。它可以编码和贮存非常复杂的声音结构,并且其准确性足以觉察刺激的细微偏差。

1.3 MMN 反映刺激失匹配的实验依据

MMN 可以在许多条件下被诱发出来。频率改变、强度改变、持续时间改变、声源位置的改变、语音的改变以及出现时间的改变(固定时间间隔下偶尔较早出现的刺激)、交替出现刺激中的刺激重复等都诱发了 MMN。在猫和猴子的研究中,也发现了 MMN 现象。

关于 MMN 反映刺激失匹配的研究有一些有趣的发现。一个现象是,它只与刺激失匹配程度相关,而与刺激强度本身无关。刺激强度小的偏差刺激,如果与标准刺激的差异最大,可以诱发出最大的 MMN;而如果它与标准刺激的差异较小,那么所诱发的 MMN 也较小。另外,频率偏差刺激诱发的 MMN 存在“高原现象”^[3]和“全或无”现象^[4]。“高原现象”是指:偏差刺激与标准刺激的频率差异达到一定程度后,即使再增大两者的差异,MMN 的波幅也不再增大;“全或无”现象是指:频率偏差刺激诱发明显的 MMN 大约需要 20-30ms 的持续时间,但是一旦产生,即使再延长持续时间,MMN 的波幅也不再增大。不过强度偏差刺激并不如此,因为它所产生的 MMN 随持续时间的增加而增大。

2 MMN 反映自动加工

MMN 的自动性得到了很多证据。Naatanen 发现即使当刺激间隔(ISI)从刺激起始到下一个刺

激起始只有 51ms(刺激持续 25ms)并且偏差刺激的概率为 1%(即每秒 2 次)时,频率偏差的刺激仍然诱发了 MMN。每秒钟做 20 次辨别,对于控制加工来说是太多了,因此只能用自动加工来解释。

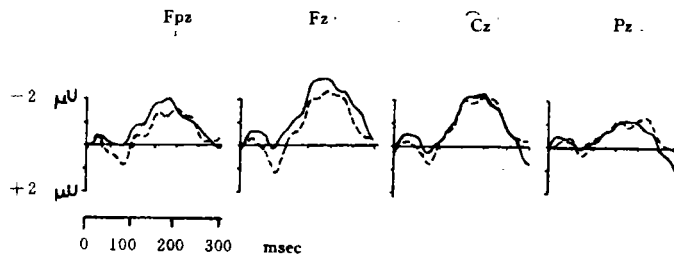


图 2 实线表示任务相关刺激所引起的 MMN,虚线表示任务无关刺激所引起的 MMN。标准刺激(概率为 80%)强度为 75dB,偏差刺激(概率为 20%)强度为 60dB。记录 Fpz、Fz、Cz、Pz 四点的 ERP。结果任务相关刺激和任务无关刺激引起了相似的 MMN。^[5]

在双耳分听条件下,相关输入和无关输入中的偏差刺激引起了相似 MMN^[5](图 2)。被试从事阅读任务时,听觉道是非注意通道,但是听觉 MMN 仍然出现。被试从事比阅读更加需要集中注意力的任务时,听觉偏差刺激也诱发了 MMN。即使那些接近辨别阈限的无关输入中的刺激变化,也诱发了 MMN。^[3]

以上证据表明,即使在非注意条件下也可以明显地诱发出 MMN,而且相关输入和无关输入中偏差刺激诱发的 MMN 相似。这就是说,对于刺激的变化,即使在非注意时也可以被大脑觉察,而且觉察的程度不受注意的影响。另外,在猫慢波睡眠中以及人类新生儿上也得到了 MMN。这些事实支持“听觉信息被完全自动加工”的观点。

3 关于失匹配负波的一些争论及研究进展

3.1 听觉失匹配负波是否受注意影响

Naatanen 认为听觉 MMN 不受注意调节的特点,反映了听觉信息加工的强自动性;即使不注意听觉信息,也能觉察出其中的刺激改变。^[2]然而最近有学者提出了不同看法。

Woldorff 等认为^[6],Nattanen 的一些研究中,刺激呈现速率太慢,并没有产生强的注意集中,因此被试有可能注意了非注意通道,所以得出 MMN 不受注意调节的结论。因此他们加快了刺激呈现速率。结果发现,在注意高度集中时被注意刺激的 MMN 波幅显著大于非注意刺激,即 MMN 随注意而变化。但是 Naatanen 反驳说,Woldorff 等的实验中,可能 N2b 和加工负波(processing negativity, PN)加入到了差异波中。^[7]他同样采用很快的刺激呈现速率,但解决了可能的 PN 和 N2b 重叠问题。结果发现乳突及枕区电极所记录的极性倒转的 MMN,在注意和非注意通道之间没有表现出差异。并且,非注意通道中的两种偏差刺激所诱发的 MMN,与阅读条件下的 MMN 大小几乎相等。所以,即使完全不注意,MMN 也没有消失。这样,Naatanen 用更加严格的实验回答了 Woldorff 的批评。但是,Naatanen 承认,音强 MMN 可以被注意所影响。Naatanen 等最近的结果与此相似^[8]。然而,反对的证据仍然继续出现。Woods 等在交叉感觉道的研究中发现^[9],对听觉道中较难区分的偏差刺激,MMN 波幅随注意而增大;Trejo 等也支持频率偏差刺激引起的 MMN 受注意调节的观点。另外,虽然在慢波睡眠的猫中发现了极好的支持自动加工的 MMN 证据,然而在慢波睡眠的成年人中却没有发现 MMN,这也对 MMN 的自动性提出了疑问。

所以,在这一争论上,似乎反对的证据在逐渐增多。MMN 注意效应的证据的存在,虽然不能推翻 Naatanen“听觉信息加工自动性”的观点,但是使 Naatanen 不得不从最初那种“MMN 不受注意

影响”的强自动性观点转向部分自动性观点,即非注意下偏差刺激能引起 MMN,但是在某些条件下注意可以影响 MMN 的波幅。

3.2 视觉道是否存在 MMN

听觉道 MMN 的存在,为听觉道信息自动加工提供了可能的证据。这引发出另外一个问题:占人脑接收外界信息总量 70% 以上的视觉道的信息加工是否也是自动加工呢?也就是说,视觉道是否也有 MMN 呢?

Naatanen 认为 MMN 是听觉通道特有的,视觉道没有 MMN。^[2]他认为,这可能是由视、听通道不同的加工机制引起的:听觉道以串行加工为主,视觉道以并行加工为主。另外,听觉道有感觉记忆痕迹的生理机制是听觉声像记忆,而视觉道的图像记忆(iconic memory)持续时间非常短,甚至对其是否存在尚有争论。“MMN 听觉通道特异”的观点也得到了实验支持。^[10]

但是,完全排除视觉道 MMN 存在的理论是不成熟的,因为视觉道至少存在部分的串行加工;Cowan 认为,每一感觉道中都有两个感觉记忆时相的存在,其中第二个时相与 Naatanen 所谓的“感觉记忆”相对应。这意味着视觉道也可能存在失匹配的生理机制。这就在理论上论证了视觉道可能有 MMN。

视觉道有 MMN 或类 MMN 成分的实验证据已经出现。Cammann 发现,在非注意状态下,视觉道出现了类似 MMN 的成分。Kenemans 等发现,偶然的任务相关的视觉偏差刺激引起了 P2-N2 增大。它与听觉 MMN 相似,都不受任务相关性的影响。Kenemans 等进一步认为^[11], P2-N2 反映了自动的比较过程,即 P2-N2 是视觉道类 MMN 成分;Woods 等^[9]发现视觉道偏差刺激诱发了 MMN/N2b 成分;Alho 等^[12]发现,视觉道偏差刺激引起的负波,其早成分与听觉 MMN 相似,都不受注意影响;Czigler 等^[13]发现,视觉偏差刺激所引起的 140-180ms 之间的负波,可能与自动加工相关;Ciesielski 也获得了初步的视觉道有 MMN 的证据。

以上证据提示视觉道可能有类似 MMN 的成分。这对 Naatanen“MMN 听觉道特异”的观点提出了有力挑战。但是这些实验结果的不一致性本身表明:“视觉道有 MMN?”这个问题没有完全解决。

4 小结

Naatanen 所提出的失匹配负波,为认知心理学中信息自动加工的观点提供了有力的证据,具有重大的理论意义。许多学者对他的理论观点提出了自己的看法,其中关于失匹配负波的评论主要集中在“失匹配负波是否受注意的调节”及“视觉道有没有失匹配负波”这两个问题上。到目前为止,对于这两个问题还不能作出非常肯定的回答。

Naatanen 提出的失匹配负波,只涉及刺激的简单物理特征,如声音频率、强度、持续时间等等,没有涉及刺激的语义。而对于较高层次语义水平的加工,失匹配负波并非很有效。这限制了失匹配负波可以推论的范围。而且,目前对 Naatanen 的理论观点也有不少的反对证据,这削弱了失匹配负波作为反映完全自动加工的证据的可靠程度,而只能反映信息加工的部分自动性。另外,听觉道有失匹配负波,而视觉道没有失匹配负波的理由并不充分,视觉道也有产生 MMN 的理论基础和实验证据。即使在听觉道内部,频率偏差刺激引起的失匹配负波不受注意的影响,而强度偏差刺激引起的 MMN 却受到了注意的调节,这个奇怪的现象也很难解释。

总之,失匹配负波作为自动加工的一个证据,为传统心理学关于自动加工的研究提供了重要补充,引起了学者们的广泛注意;关于它反映的是加工的强自动性不是部分自动性,尚存在争论,有待于进一步深入研究。

5 参考文献

- 1 Naatanen R, Gaillard AWK, Mantysalo S. Early selective attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychologica*, 1978; 42: 313—329
- 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 Sams M, Paavilainen P, Alho K. Auditory frequency discrimination and event—related potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1985; 61: 254—266
- 4 Paavilainen P et al. Stimulus duration and the sensory memory trace: an event—related potential study. *Biological Psychology*, 1993; 35: 139—152
- 5 Alho K, Sams M, Paavilainen P et al. Event—related brain potentials reflecting processing of relevant and irrelevant stimuli during selective listening. *Psychophysiology*, 1989; 26: 514—528
- 6 Woldorff M, Hackley S, Hillyard SA. The effects of channel—selective attention on the mismatch negativity wave elicited by deviant tones. *Psychophysiology*, 1991; 28: 30—42
- 7 Naatanen R. Mismatch negativity outside strong attentional focus: a commentary on Woldorff et al (1991). *Psychophysiology*, 1991; 28: 478—484
- 8 Naatanen R, Paavilainen, Tiitinen L et al. Attention and mismatch negativity. *Psychophysiology*, 1993; 30: 436—450
- 9 Woods D, Alho K, Algazi L. Intermodal selective attention: effects on event—related potentials to lateralized auditory and visual stimuli. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1992; 82: 341—355
- 10 Nyman G, Alho K, Naatanen R 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—444
- 11 Kenemans JL, Verbaten MM, Slagter JL. Visual stimulus change and the orienting reaction: event—related potentials evidence for a two—stage process. *Biological Psychology*, 1992; 33: 97—114
- 12 Alho K, Woods D, Algazi L. Intermodal selective attention. effects of attentional load on processing of auditory and visual stimuli in central space. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1992; 82: 356—368
- 13 Czigler I, Csibra G. Event—related potentials and the identification of deviant visual stimuli. *Psychophysiology*, 1992; 29: 471—485

沉痛悼念戴忠恒教授

《心理科学》副主编、华东师范大学心理学系教授、著名心理测量专家戴忠恒因病于1995年11月29日逝世,享年58岁。

戴忠恒教授多年来受业于我国著名心理学家左任侠先生,专攻心理统计与测量。戴忠恒教授治学严谨,作为我国大陆改革开放新时期率先突破测验禁区的先行者之一,与他人合作或独立主持修订和编制了一般能力倾向、智力、人格等多种测验,出版和发表了心理统计和测量方面的论著多部(篇),其杰出学术成就深为心理学同行所瞩目。多年来受聘为国家教委考试中心兼职研究员,为提高我国教育科研水平,为中国教育考试改革以及科学考试理论的引进、推广和应用作出了巨大贡献。自1989年起,历任中国心理学会测量专业委员会委员,《心理科学》编委、副主编等职。戴忠恒教授热爱教育事业、工作上勤勤恳恳、兢兢业业,授业解惑,言传身教,从教几十年来桃李满天下,生活上安贫乐道,待人接物真诚坦荡,宽宏大量,深为广大师生尊敬和爱戴。

戴忠恒教授的逝世,是我国心理学界、心理测量界的一大损失。沉痛悼念戴忠恒教授!