

汉字模糊度、字频和语义启动在 N400 上的交互作用：N400 的 IA 模型的证据*

孙海静 王权红

(西南大学心理学院, 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘要 通过两个实验, 采用事件相关电位技术, 记录大学生被试在同一字判断任务中的脑电波形。两个实验涉及三个因素, 包括模糊度、字频和语义, 语义和字频为被试内设计, 以启动字-靶字(模糊)-探测字的呈现序列为一个测试(trial), 要求被试判断靶字和探测字是否是同一个字。两个实验除了靶字的模糊度不同外, 其他材料完全相同。结果发现, 实验 1 字频和语义启动间存在交互作用, 其中低频条件下无语义启动比语义启动的 N400 波幅更偏负, 高频条件则无这种差异; 实验 2 中只存在语义启动效应, 字频与语义启动间不存在交互作用; 综合两个实验的 ERP 结果, 模糊度、字频和语义启动三者间存在交互作用, 且高频而非低频条件下模糊度与语义间也有交互作用, 无启动条件下字频和模糊度间也存在交互作用。本研究因此支持 N400 的 IA 模型(交互激活模型), 不支持核证模型和词汇后加工理论。

关键词 核证模型; IA 模型; N400; 模糊度; 语义启动; 字频

分类号 B841.4

1 前言

Kutas 和 Hillyard (1980)首次发现, 当句子结尾单词与句意不一致(即语义违反)时, 被试的中顶部头皮就会出现一个较大的事件相关电位负成分, 并在 400 ms 左右达到峰值, 因此被命名为 N400。作者随后的研究发现, 与上下文句意一致但不符合预期的句尾词, 也会诱发较大的 N400 波幅; 与和标准预期词无关的句尾词相比, 不符合预期但与标准预期词相关的词也会使 N400 波幅降低, 这表明 N400 可能和语义启动有关(Kutas & Hillyard, 1984)。随后的研究果然发现, 除句子上下文外, 成对词启动也会产生 N400 效应(Bentin, McCarthy, & Wood, 1985; Luo, Hu, Weng, & Wei, 1999)。启动效应也成为研究 N400 的经典范式。

N400 认知机制争论的主要焦点是词汇后整合理论和词汇前加工理论。前者认为, N400 反映了刺激与语境(上下文或启动词)语义整合的难度, 词频

等感知觉、词义特征不会影响 N400 波幅, 并且整合过程受到意识的控制(Kutas & Hillyard, 1984; Holcomb, 1993; Holcomb & Grainger, 2009)。但是, 很多研究发现, 词频、词义具体性等也会影响 N400 的波幅(van Petten & Luka, 2006)。后者认为, N400 反映词汇(语词)的无意识、自动化加工, 最典型的是自动扩散激活模型。例如, 在启动词被掩蔽不能被有意的识别时, 其激活仍然会自动扩散影响靶字, 引发 N400 启动效应(Kiefer, 2002; Deacon, Hewitt, Yang, & Nagata, 2000)。然而, Brown 和 Hagoort (1993)的研究发现, 在启动词被掩蔽(或者被分心)但自动扩散激活不受显著影响的条件下, 语义启动的 N400 效应消失, 而 Holcomb 和 Grainger (2009)发现, 就算没有消失也是由启动词加工时发生的“意识遗漏”引起, 说明 N400 的产生并不一定和自动激活有关。尽管如此, Deacon, Dynowska, Ritter 和 Grose-Fifer (2004)发现非衍生假词(如 LANBIR)也能引起重复启动效应, 认为 N400 和语义、语义

收稿日期: 2011-09-08

* 国家自然科学基金项目(30870756)和西南大学 211 工程国家重点学科建设项目(NSKD08009)。

通讯作者: 王权红, E-mail: quanhong177@yahoo.com

整合无关,因此否定词汇后整合理论,并提出词汇分析理论作为对词汇前加工理论的支持和改进。但 Deacon 等的非衍生假词是否真的不能激活语义,同样受到质疑(Guerrera, 2004)。

掩蔽启动范式的最大问题是“意识遗漏”。有研究者从语义(启动)和各种变量在 N400 上的交互作用来探讨 N400 机制是否属于词汇加工(二者是否作用于同一过程),值得借鉴。Meyer, Schvaneveldt 和 Ruddy (1975)发现模糊的(点阵覆盖造成的)靶词反应时启动效应更大,即模糊度与语义启动在反应时有交互作用,表明模糊度与语义启动作用于同一词汇加工过程。但 Holcomb (1993)采用同样的范式和类似的中低频单词,并未发现模糊度和语义启动在 N400 上的交互作用, Holcomb 因此否定 N400 的词汇加工机制。Holcomb 的问题是: (1) 模糊度的操控范围太小; (2) 没有操控词频; (3) 英文材料的局限性。van Petten 和 Kutas (1991)则采用句子材料,发现靶词在句子中出现的位置靠前时,高低频间的 N400 有差异,靶词出现位置越靠后(语境越强),差异越趋于消失,即词频和语境间出现了交互作用。单词的模糊度或频率与语境的交互作用无法用词汇后整合理论解释, Deacon 等(2004)的词汇分析理论以及 N400 的许多理论(如语义抑制理论, Debruille, 2007; 语义提取理论, Kutas, van Petten, & Kluender, 2007)也没有对此作出明确的预期。但这些交互作用的性质却是 Paap, Johansen, Chun 和 Vonnahme (2000)的词汇核证模型以及 IA (interactive activation) 模型(交互激活模型, McClelland & Rumelhart, 1981)能够预测的。

核证模型假设,词频不影响激活过程,而是影响随后的核证过程。在核证之前,首先是感觉特征被提取,接着激活许多与此相关的候选单词,组成“感觉”集;最后将刺激与候选词逐一进行匹配,直至达到满意的吻合识别刺激为止。感觉集的高频候选词优先进行匹配,因此,与低频靶词相比,识别高频靶词所需要的(所经历的失败)匹配次数、所需时间会更少。然而,语境也激活了语义相关的词,组成“语义”集,与语境越是有关系的词,越是优先进行匹配,需要匹配的次数越少,而且,有语境时,词频不起作用(语义集优先核证),无语境时,才会产生词频效应,因此,低频上的启动效应更大(低频字有无语境的核证时间差更大),即语境和词频间发生交互作用。核证模型能解释词汇判断反应时(以及正确率)上的各种词频、语境(语义启动)效应,

及二者间的交互作用,我们认为它也可以解释 N400 上的词频与语境的交互作用,只要假定 N400 波幅和反应时一样,与匹配次数(核证时间)成正比。实际上,该假定得到许多研究支持(Barber, Vergara, & Carreiras, 2004; Holcomb, 1993; van Petten & Kutas, 1991)。例如,研究表明,和低频词相比,低频词的词汇判断反应时长, N400 波幅正好也大。此外,和词频同样的道理,有语境时,刺激模糊度不起作用,换句话说,高模糊度的启动效应更大,模糊度和语境间也存在交互作用。模糊度的高低与刺激被随机点(在本文研究中其亮度和背景亮度相同)覆盖的多少成正比,模糊度高的刺激反应速度或正确率低。总体来说,该模型认为词频、模糊度分别与语义在反应时和 N400 上存在交互作用,但词频与模糊度不存在交互作用。

IA 模型认为,每个单词都有相应的单词探测器,这些探测器在单词识别过程中被激活,每个单词探测器都有一定的静息激活水平,后者对词频和语境敏感。高频词或有语境的靶词,其探测器的静息激活水平高,相应地表现为反应时快, N400 波幅低。由于词频和语境作用于同一个加工阶段,因此与语境有交互作用的因素(如,模糊度)也会与词频在 N400 波幅上有交互作用。也就是说该模型认为,模糊度、词频不仅分别与语境发生交互作用,而且词频和模糊度间也存在交互作用,这三个因素间存在三重交互作用。

本文的目的就是,借鉴类似于 Holcomb 等人的语义启动及交互作用实验范式,检验 IA 模型和词汇核证模型,看哪一个模型能更好地解释 N400 词汇加工机制。我们选取模糊度、字频、语义相关性三个因素进行操控,其中字频和语义相关性为被试内设计,组成四种条件,分别为高频(语义)启动、高频无启动、低频启动、低频无启动。模糊度通过两个实验来操控,实验 1、2 的靶字分别为轻度(模糊 6)和较高度(模糊 5)两种模糊水平,以考查靶字模糊度与语义启动、靶字字频的关系。在预实验中,分别有 4 个额外被试对两种模糊度的靶字进行识别,并写出所看到的字。轻度模糊的高频启动、高频无启动、低频启动、低频无启动的识别率分别为 0.95、0.92、0.91、0.85; 重度模糊四种条件的识别率分别为 0.79、0.65、0.72、0.58。如果实验结果只有词频、模糊度分别与语义启动在 N400 上存在交互作用,则支持词汇核证模型;若词频和模糊度间也存在交互作用,三因素间存在三重交互作用,则支持 IA 模型。

2 实验 1

2.1 方法

2.1.1 被试 本科生 16 人, 其中男生 8 人, 年龄 18~22 周岁, 均为右利手, 视力或矫正视力正常, 非语言文字或心理学专业, 未参加过类似实验, 无精神病史或大脑创伤。所有被试均为自愿参加实验, 实验后有少许报酬。

2.1.2 实验材料 从《现代汉语频率词典》(1986) 中选取 720 个汉语单字词作为刺激材料, 启动字、靶字、探测字各 240 个, 组合成以启动字-靶字-探测字为顺序的 240 个延迟反应的刺激系列。每个汉字的笔画数控制在 6~13 画之间。靶字中有一半为高频字(120 个, 字频范围为 0.29340%~0.01150%), 一半为低频字(120 个, 字频范围为 0.00199%~0.00006%)。启动字与靶字在语义上相关较强。为了平衡实验材料, 将启动字与靶字的配对打乱, 将原来与靶字语义相关的启动字与另一个靶字匹配, 探测字不变, 构成 240 个无语义启动测试材料。这样就得到 480 个测试材料, 分为四种测试条件, 即高频语义启动、高频无语义启动、低频语义启动、低频无语义启动, 每种条件 120 个测试材料, 每个靶字、启动字出现在启动条件和无启动条件的机会均等。四种条件靶字的平均笔画数见表 1, 任何两种条件的 t 检验均无显著差异: 高频启动与高频无启动 $t=3.79, p=0.209$; 低频启动与低频无启动 $t=-1.22, p=0.203$; 高频启动与低频启动 $t=-0.63, p=0.296$; 高频无启动与低频无启动 $t=-6.67, p=0.066$ 。将材料分成互补的两个小组, 即每个小组从每种条件无重复地各取 60 个, 使得每个靶字在每组中只出现一次。因此, 两个小组之间靶字字频和语义相关强度都没有差异。每个被试只参加其中一组实验。

表 1 各种条件靶字平均笔画数

	高频		低频	
	启动	无启动	启动	无启动
笔画数	9.47	8.08	9.68	10.20
标准差	1.909	1.797	2.127	2.167

另有 15 个被试用七点量表(1—相关很弱, 7—相关很强)对启动字和靶字的语义相关度进行评定。高频条件下的语义启动测试(trial)得分($M=5.85, SD=0.428$)高于无语义启动测试的得分($M=1.21, SD=0.211$), $t=77.84, p<0.001$; 低频条件下语义启动测试得分($M=5.74, SD=0.396$)高于无语义启动

的得分($M=1.25, SD=0.200$), $t=81.14, p<0.001$; 高低频语义启动测试间差异采用独立样本进行 t 检验, $t=1.51, p=0.132$, 二者不显著; 高低频无语义启动测试间差异也不显著($t=0.86, p=0.391$)。

所有汉字都以 39 号宋体输入 Flash MX 2004 文档中, 制成 46×46 像素大小的 BMP 格式的图片。然后采用 picfrag 程序, 将每幅清晰的靶字图片制作成残缺度为模糊 6 (Level 6)的材料。该程序是用大小为 16×16 像素的随机点(blocks)覆盖图像, 未被覆盖的即为可见的剩余残缺材料, 而这未被覆盖的部分由公式 $P(\text{block}, \text{level}) = r^{(8-\text{level})}$ 来决定, 其中 r 值为 0.7; 未被覆盖的部分取决于材料的残缺水平, Level 6 图片未被覆盖的部分大约是 49% (实验 2 的为 34%)。最后将图片在 Photoshop 软件中反相处理成黑底白字的图片。图片由编写的 Eprime 实验程序, 呈现在 17 英寸的主机黑色屏幕中央, 测试距离为 80 cm, 水平视角为 1.6°, 垂直视角 1.4°。

2.1.3 刺激程序 刺激呈现流程如图 1 所示。首先在屏幕中央呈现一个白色的“+”作为注视点, 300 ms 后消失, 接着是 200 ms 空屏, 然后是 300 ms 的清晰启动字(例如, 寻), 500 ms 的空屏后出现模糊靶字(如, 寻), 呈现 800 ms 后消失, 之后是 250 ms 的空屏, 接着是呈现时间随机在 300~500 ms 的“?”, 之后又是一个 250 ms 的空屏, 最后呈现探测字 250 ms (如, 寻)。让被试进行同一字判断任务(同一字判断比词汇判断可以更好的排除 P300 对 N400 的影响, 得到较真实的 N400 成分, 参见 Deacon 等, 2004), 即判断靶字和探测字是否是同一个字, 是按“1”键, 不是按“2”键, 要求尽可能又快又准地反应。用 Eprime 计算机程序记录被试的反应时和正确率。在按键后或者 1750 ms 后开始呈现另一个测试(trial)。各种条件的测试随机呈现。每组中有一半的测试安排靶字与探测字为同一个字, 另一半不是同一个字。48 个测试为一个组块(block), 被试每完成一个组块就进行充分的休息。实验由 Eprime 程序控制。

2.1.4 EEG 记录和数据分析 采用德国 Brain Products 公司的 ERPs 记录与分析系统, 64 导电极帽记录靶字诱发的脑电, 双眼外侧记录水平眼电(HEOG), 左眼眶额上、下记录垂直眼点(VEOG), 以双耳乳突连线为参考电极, 接地点在 FPz 与 Fz 连线的中点。每个电极处的头皮电阻保持在 5 k Ω 以下, 滤波带通为 0.01~100 Hz, 采样频率为 500

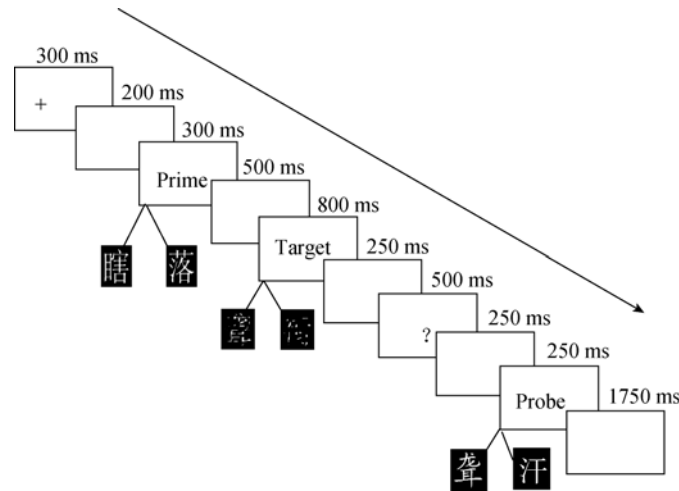


图1 刺激呈现流程图

Hz/d。完成连续记录 EEG 后离线(off-line)处理数据,记录时程为 1100 ms,用-200~0 ms 作为基线进行校正,选择靶字呈现后 900 ms 作为分析时程。自动校正 VEOG 和 HEOG,并充分排除其他伪迹。离线滤波低通为 35Hz,因眼电伪迹和其他伪迹产生的振幅在 $\pm 80 \mu\text{V}$ 之外的波在叠加中被自动剔除。只叠加正确判断反应,叠加后得到四种条件(高频启动、高频无启动、低频启动、低频无启动)ERP 波幅总平均图 and 差异波的地形图。本文实验材料较模糊,因此,正如各电极点的波形图和差异波地形图所示, N400 成分出现较晚, 400~650 ms 的差异波最大,因此选取了 400~650 ms 时间窗口的平均波幅进行分析。从差异波的地形图可以看出中顶部脑激活最大,前额部也有部分激活,所以选取了 Fz、FC1、FCz、FC2、C1、Cz、C2、CP1、CPz、CP2

十个有代表性的电极点,用 SPSS 15.0 版本对脑电数据进行三因素的重复测量方差分析,三因素分别为字频(两水平:高频、低频)、启动字与靶字的语义相关性(两个水平:语义启动、无语义启动)和电极记录点(十个),方差分析结果都采用 Greenhouse-Geisser 的校正 p 值。

2.2 实验结果

2.2.1 行为结果 正确反应的平均反应时和正确率如表 2。对反应时的分析表明,语义启动主效应显著, $F(1,15) = 4.51, p < 0.05$,启动条件要快于无启动条件;频率主效应、频率与语义启动的交互作用均不显著。对正确率的分析发现,频率主效应显著, $F(1,15) = 5.56, p < 0.05$,高频正确率要显著高于低频正确率;语义启动主效应及频率和语义启动间的交互作用均不显著。

表2 各种条件下平均反应时(毫秒)和正确率(%)

	高频		低频	
	启动	无启动	启动	无启动
反应时	532.9(66.76)	542.4(67.91)	546.5(68.07)	548.5(71.75)
正确率	0.92(0.049)	0.91(0.062)	0.92(0.049)	0.89(0.061)

注:小括号内为标准差(同表 3)

2.2.2 EEG 结果 图 2 显示各种条件的 ERP 波幅。由图 2 可以看出,出现了明显的 N400 成分,并且低频条件下无语义启动比语义启动的 N400 (波幅)偏负;高频条件下的语义启动与无启动的波幅虽然也有差异,但这种差异比低频条件下的小。对各条件的波幅进行多因素重复测量方差分析,电极点主效应显著, $F(9, 135) = 5.16, p < 0.01$,大体上前部电极点(包括 Fz、FC1、FCz、FC2)波幅偏负,中顶部电极点(包括 C1、C2、CPz、CP1、CP2)平均波幅偏

正;频率与语义的交互作用显著, $F(1, 15) = 5.13, p < 0.05$;其他效应不显著, $p > 0.05$ 。对频率与语义启动间的交互作用进行简单效应分析,高频条件下,语义启动效应不显著, $p > 0.05$;低频条件下,语义启动效应显著, $F(1, 636) = 14.91, p < 0.001$,无语义启动的波幅比语义启动的波幅显著偏负。

2.2.3 差异波的地形图分析 对四种条件差异波的地形图进行分析,可以看出低频条件下启动与无启动的头皮负电位差异最大,最大差异的激活

由额叶逐渐移向中顶部, 脑中央顶部的激活程度达到最强(见图 2), 该条件下的 N400 差异波也是最大的; 高频条件下的语义启动与无启动的脑激活差异主要出现在前部额叶(见图 3), 但这种差异与

低频条件下的脑激活差异相比要小很多。也就是说, 低频条件下启动诱发的脑激活量比高频条件下的大, 也间接表明频率和语义启动间可能存在交互作用。

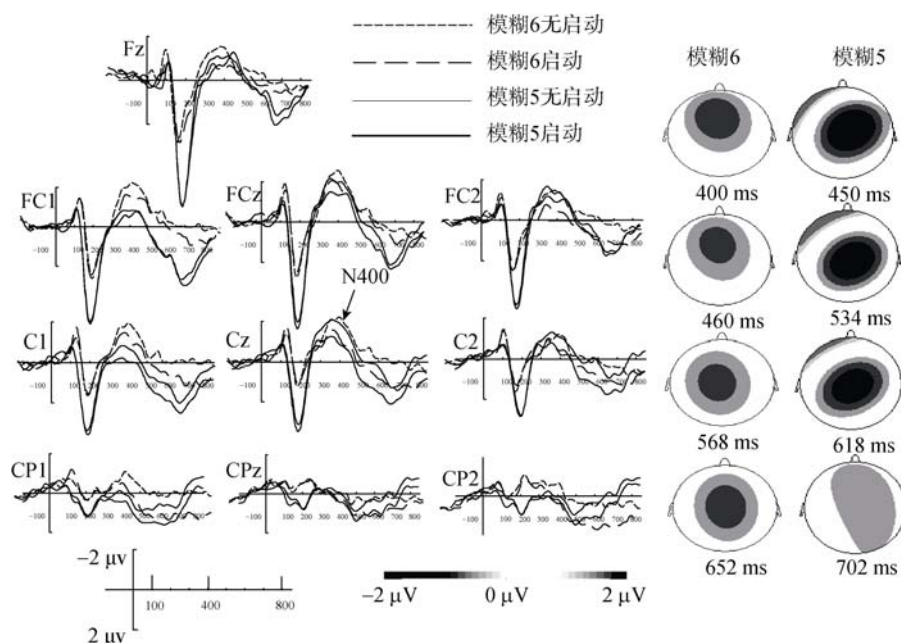


图 2 低频无启动和启动条件下的 ERP 总平均图(实验 1 的靶字为模糊 6, 实验 2 为模糊 5, 图 3 同此)

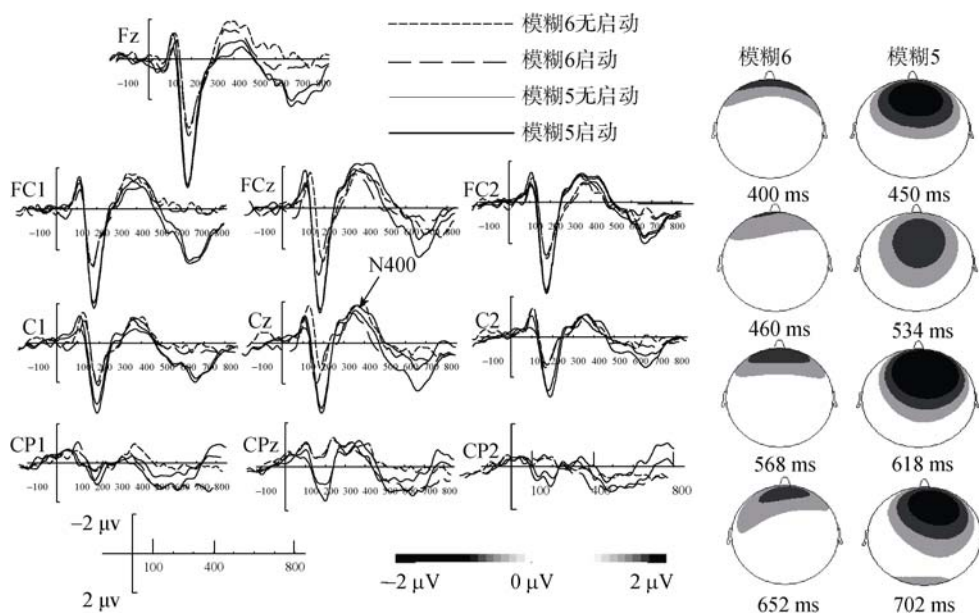


图 3 高频无启动和启动条件下的 ERP 总平均图

3 实验 2

3.1 实验材料

实验 2 的材料、呈现序列、EEG 记录与实验 1 完全相同。为了平衡实验材料, 控制材料差异带来

的误差, 将出现在实验一种的靶字的清晰完整字进行了较高度的模糊, 即模糊 5, 构成实验 2 的靶字, 未被覆盖的部分为整个字的 34%。为了避免重复效应, 同一个字只能向同一个被试呈现一次, 因此, 参与模糊 6 水平的被试不能再参与模糊 5 水平的实

验。这也是模糊度因素进行被试间设计的原因。

3.2 行为结果

正确反应的平均反应时和正确率如表 3。对反应时进行分析, 语义启动主效应显著, $F(1, 15)=11.69, p < 0.001$, 启动条件比无启动条件反应时平

均快 21 ms; 频率主效应显著, $F(1, 15)=11.45, p < 0.001$, 高频字比低频字的反应时平均快 10 ms; 二者交互作用不显著。对正确率进行分析, 频率主效应显著, 高频字比低频字的正确率低, $F(1, 15)=38.08, p < 0.01$; 其他效应不显著。

表 3 各种条件下平均反应时(毫秒)和正确率(%)

	高频		低频	
	启动	无启动	启动	无启动
反应时	523. 1(20. 13)	533. 7(22. 56)	528. 7(21. 72)	548. 4(21. 63)
正确率	0. 86(0. 011)	0. 83(0. 011)	0. 91(0. 019)	0. 88(0. 016)

3.3 EEG 结果

由图 2 可以看出, 低频条件下的语义启动与无启动的波幅在 400 ms 后出现了明显差异, 无语义启动比启动的波形偏负; 图 3 显示高频条件下的语义启动和无启动的波幅也出现这种差异, 但要比低频条件下的小。多因素重复测量方差分析结果显示, 语义启动主效应显著, $F(1,15)=9.91, p < 0.01$; 其他效应均不显著, $p > 0.05$ 。

3.4 差异波的地形图分析

对差异波的地形图进行分析(见图 2 和图 3), 低频条件下, 无语义启动和语义启动的脑激活出现较大差异, 主要分布在中顶部偏右; 高频条件下的差异则更靠前。总体来看, 无论高频还是低频条件, 实验 2 比实验 1 的脑激活差异都要大, 即靶字越模糊, 加工难度越大, 脑激活差异也越大; 但同时从图中可以看出, 靶字越模糊, 高低频间语义启动效应引起的脑激活差异量也越小, 这也与实验 2 的波形分析结果一致: 频率对 N400 语义启动效应的影响不明显, 即二者间不存在交互作用。

4 两实验结果综合分析

4.1 行为结果比较

两种模糊水平的行为结果进行比较, 二者的反应时差异不显著。但在正确率上, 模糊度主效应显著, $F(1, 120)=18.37, p < 0.001$, 轻度模糊的正确率高于较高度模糊。

4.2 脑电结果比较

模糊度、字频与语义三者的交互作用显著, $F(1, 15)=4.31, p < 0.05$ 。进一步的简单效应分析发现, 高频条件下, 模糊度和语义启动间存在交互作用, $F(1, 1)=5.53, p < 0.05$, 且在模糊 5(较高度模糊)条件下有语义启动效应, $F(1, 636)=9.26, p < 0.01$, 无启动的 N400 波幅更偏负, 模糊 6(轻度模糊)语义启动效

应不显著; 在低频条件下, 两种模糊度均有语义启动效应, 模糊 5 条件, $F(1, 636)=6.92, p < 0.01$, 模糊 6 条件, $F(1, 636)=12.69, p < 0.001$, 无启动比启动的波幅偏负; 在语义启动条件下, 模糊度与字频的主效应不显著, 二者间也不存在交互作用; 在无启动条件下, 字频和模糊度间存在交互作用, $F(1, 636) = 6.43, p < 0.01$, 进一步的简单效应分析, 在高频条件下, $F(1, 636) = 0.50, p > 0.01$, 两种模糊度的 N400 无差异, 在低频条件下, $F(1, 636) = 18.31, p < 0.001$, 模糊 6 比模糊 5 的 N400 更偏负。

5 讨论

实验 1(轻度模糊)同一字判断的行为结果显示, 启动条件的反应快于无启动条件, 高频字(条件)的正确率要显著高于低频; 正确率的语义(启动)主效应、反应时的字频主效应以及字频和语义间的交互作用均不显著。实验 2(较高度模糊)结果显示, 启动条件的反应同样快于无启动条件, 高频字的反应时也比低频字短; 二者交互作用不显著; 但是, 高频字的正确率却低于低频字。靶字模糊度不同的两个实验的结果不一致, 但字频与语义的交互作用都不显著。这与 Peng 和 Tan (1987)的双字词词汇判断实验的结果不一致, 后者发现词频和语义间存在交互作用, 本文的 ERP 数据(特别是轻度模糊的实验 1)也存在这种交互作用。除了模糊度、单双字、字(词)频不同等因素外, 我们认为之所以出现上述不一致, 在很大程度上与本研究中被试的同一字判断任务有关, 而前人的研究大都采用词汇判断任务。行为结果很容易受到任务的影响, 而 ERP 结果更直接的反映了脑认知过程, 不易受到任务影响(Holcomb, Grainger, & O'Rourke, 2002)。

实验 1 的 ERP 结果发现, 字频和语义间存在交互作用, 低频条件下无语义启动比语义启动的

N400 更为偏负, 出现了明显的语义启动的 N400 效应, 而高频条件下未出现语义启动效应。实验 1 的结果与 van Petten 和 Kutas (1991) 的 N400 结果及 Peng 和 Tan (1987) 的行为结果在交互作用的性质上是一致的, 既符合词汇核证模型的预期, 又与 IA 模型的预期一致。相反, 根据 N400 词汇后整合理论, 字频不应影响语义启动的 N400 效应, 即高、低频条件下的语义启动效应不存在差异, 因此, 该理论无法解释实验 1 的结果。

实验 2 字频与语义启动在 N400 上的交互作用不显著, 只有语义启动主效应显著, 结合实验 1 的结果, 字频与语义交互作用性质的不同可能与靶字的模糊度不同有关。两个实验的 ERP 结果合并分析发现, 模糊度、字频、语义启动在 N400 上存在三重交互作用。进一步的分析发现, 在高频条件下模糊度与语义启动在 N400 上也存在交互作用, 在无启动条件下模糊度与字频在 N400 上也存在交互作用, 这些交互作用与词汇核证模型的预期有点出入, 但与 IA 模型的预期完全一致。词汇核证模型认为, 语义优先于字频影响核证顺序, 只在无语境时, 字频才起作用, 因此, 低频上的启动效应更大(低频字有无语境的核证时间差更大), 即字频与语义启动在 N400 上存在交互作用。同理, 只有无语境时, 才有模糊度效应, 高模糊的启动效应更大, 即字模糊度与语义也在 N400 上存在交互作用。然而, 词汇核证模型认为, 模糊度与字频作用于不同的认知操作, 因此它们之间不存在交互作用。而 IA 模型认为, 字频与语义作用于同一加工过程, 若模糊度和语义间有交互作用, 则必定与字频间也有交互作用, 三因素间也存在三重交互作用。IA 模型曾被用于解释 N400 家族效应等 N400 效应(例如, Barber et al., 2004; Wang & Zhang, 2011)。

此外, 按照词汇后整合理论, 只有语义整合过程影响 N400 的波幅, 模糊度对 N400 波幅是没有影响的, 模糊度和语义间也不存在交互作用, 这一推测与本文的结果不一致, 本文结果再一次质疑 N400 的词汇后整合理论。然而 Holcomb (1993) 采用与 Meyer 等相似的材料, 却没有发现模糊度和语义启动间的交互作用。一种可能是由于 Holcomb 选择的单词模糊程度不够, Holcomb 的刺激被随机点覆盖的部分只占整个刺激的 33%, 这种模糊度相对低的操控只会影响刺激的反应速度, 但却不会影响正确率, 不足以对词汇加工过程产生明显的影响, 不足以与语义发生交互作用。然而, 本研究发现,

仅在高频条件下模糊度和语义间在 N400 上存在交互作用, 因此, 我们认为, Holcomb 的结果还可能与他选用的单词材料的词频较低有关, 其词频远远低于本研究的字材料的字频(前者约 30/百万字, 后者绝大多数在 300/百万以上, 尽管中英文间的这种比较是粗略的)。高低频字词的加工机制本身可能不同。许多汉字识别的实验都发现高频汉字是以整字为识别单元, 而低频汉字则以部件甚至更小的结构为识别单元(彭聃龄, 王春茂, 1997), 其具体原因有待于进一步研究。我们还认为, Holcomb 的结果不排除是由中英文差异造成的。例如, 英文单词是拼音文字, 虽然有正字法、语音双语义通达的可能, 但主要是靠语音完成语义通达(Newman & Comnolly, 2004), 而汉字的语义提取更直接靠汉字的正字法等知觉加工去完成(Zhou & Marslen-Wilson, 2009)。

6 结论

本文从刺激的语义特征和感觉特征角度对 N400 的认知意义进行了探究, 首次发现模糊度与字频、模糊度与字义以及语义、字频和模糊度关于 N400 的二重或三重交互作用。首先, 研究结果在部分程度上与词汇核证模型的预期一致, 但 IA 模型更能全面的解释本研究的结果, 因此本研究更倾向于支持 N400 的 IA 模型, 对 N400 的词汇后整合理论提出质疑。其次, 对 N400 的机制有了较具体较清楚的认识, 澄清了一些研究结果上的冲突。N400 三重交互作用本身表明, 某一研究是否能揭示某二因素(如模糊度与语境)的交互作用, 还取决于其它因素。再其次, 本研究部分弥补了 N400 自动加工理论研究方法(如掩蔽启动)的缺陷。本文为语言认知与 N400 成分的关系做出了新的发现, 并为其研究提供了一种新的途径。

从另一角度来说, 本研究有以下几个方面的发现: (1) 汉字识别过程中, 字频与语义启动在 N400 上存在交互作用, 高频条件的语义启动效应不显著, 低频条件的语义启动效应显著; (2) 模糊度影响 N400 波幅, 汉字越模糊, N400 的波幅越大; (3) 模糊度与语义启动在 N400 上也有交互作用, 即低模糊度比高模糊度语义启动的 N400 效应大; (4) 在无启动条件下, 字频和模糊度间也在 N400 上存在交互作用; (5) 字频、模糊度与语义启动均会影响 N400 的波幅, 并且三者存在三重交互作用。以上结果完全符合 IA 模型的预期。

本文是基于经典的 N400 研究范式(启动效应)进行研究的,产生的 N400 效应也可能与经典 N400 反映的心理活动类似。近年来,研究者通过不同的实验材料和方法都发现了 N400,这些不同条件下产生的 N400 很可能反映了不同的心理过程,本文的结论是否适合其他的 N400 效应,尚有待于进一步研究。

参 考 文 献

- Barber, H., Vergara, M., & Carreiras, M. (2004). Syllable-frequency effects in visual word recognition: Evidence from ERPs. *Electroencephalography*, 15, 545–548.
- Bentin, S., McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 60, 353–355.
- Brown, C. M., & Hagoort, P. (1993). The processing nature of the N400: Evidence from masked priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 34–44.
- Deacon, D., Dynowska, A., Ritter, W., & Grose-Fifer, J. (2004). Repetition and semantic priming of nonwords: Implications for theories of N400 and word recognition. *Psychophysiology*, 41(1), 60–74.
- Deacon, D., Hewitt, S., Yang, C. M., & Nagata, M. (2000). Event-related potential indices of semantic priming using masked and unmasked words: Evidence that the N400 does not reflect a post-lexical process. *Brain Research and Cognitive Brain Research*, 9, 137–146.
- Debrulle, J. B. (2007). The N400 potential could index a semantic inhibition. *Brain Research Reviews*, 56(2), 472–477.
- Guerrera, C. (2004). *Flexibility and constraint in lexical access: Explorations in transposed-letter priming*. Unpublished doctoral dissertation, University of Arizona.
- Holcomb, P. J. (1993). Semantic priming and stimulus degradation: Implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, 30, 47–61.
- Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2009). ERP effects of short interval masked associative and repetition priming. *Journal of Neurolinguistics*, 22, 301–312.
- Holcomb, P. J., Grainger, J., & O'Rourke, T. (2002). An electrophysiological study of the effects of orthographic neighborhood size on printed word perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 938–950.
- Kiefer, M. (2002). The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: Further evidence for an automatic spreading activation account of N400 priming effects. *Cognitive Brain Research*, 13, 27–39.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1980). Event-related brain potentials to semantically inappropriate and surprisingly large words. *Biological Psychology*, 11, 99–116.
- Kutas, M., & Hillyard, S. A. (1984). Brain potentials during reading reflect word expectancy and semantic association. *Nature*, 307, 161–163.
- Kutas, M., van Petten, C. K., & Kluender, R. (2007). Psycholinguistics electrified II (1994–2005). In M. A. Gernsbacher & M. Traxler (Eds.), *Handbook of Psycholinguistics* (2nd ed., pp. 659–724). San Diego, CA: Academic Press.
- Language teaching institute of Beijing language school (1986). *Modern Chinese frequency dictionary*. Beijing, China: Beijing Language Institute Press.
- [北京语言学院语言教学研究所. (1986). *现代汉语频率词典*. 北京: 北京语言学院出版社.]
- Luo, Y. J., Hu, S., Weng X. C., & Wei, J. H. (1999). The effects of semantic discrimination of Chinese words on N400 component of event-related potentials. *Perceptual and Motor Skills*, 89, 185–193.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375–407.
- Meyer, D., Schvaneveldt, R., & Ruddy, M. (1975). Loci of contextual effects on word recognition. In P. M. A. Rabbit & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance* (Vol. 5, pp. 98–117). New York: Academic Press.
- Newman, R. L., & Connolly, J. F. (2004). Determining the role of phonology in silent reading using event-related brain potentials. *Cognitive Brain Research*, 21, 94–105.
- Paap, K. R., Johansen, L. S., Chun, E., & Vonnahme, P. (2000). Neighborhood frequency does affect performance in the Reicher task: Encoding or decision? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1691–1720.
- Peng, D. L., & Tan, L. H. (1987). The mechanism of word frequency and semantic context in the recognition processing of two Chinese characters. *Acta Psychologica Sinica*, (2), 18–25.
- Peng, D. L., & Wang, C. M. (1997). Basic processing unit of Chinese character recognition: Evidence from stroke number effect and radical number effect. *Acta Psychologica Sinica*, 29, 8–16.
- [彭聃龄, 王春茂 (1997). 汉字加工的基本单元: 来自笔画数效应和部件数效应的证据. *心理学报*, 29(1), 8–16.]
- van Petten, C., & Kutas, M. (1991). Influences of semantic and syntactic context on open- and closed-class words. *Memory & Cognition*, 19, 95–112.
- van Petten, C., & Luka, B. J. (2006). Neural localization of semantic context effects in electromagnetic and hemodynamic studies. *Brain Language*, 97, 279–293.
- Wang, Q. H., & Zhang, J. W. (2011). N400 solution effect of Chinese character fragments: An orthographic neighborhood size effect. *Brain Research Bulletin*, 86, 179–188.
- Zhou, X. L., & Marslen-Wilson, W. D. (2009). Pseudohomophone effects in processing Chinese compound words. *Language and Cognitive Processes*, 24, 1009–1038.

Interactions of Blurredness, Frequency, and Semantic Priming on N400 in Chinese Characters: Evidence for the IA Model of N400

SUN Hai-Jing; WANG Quan-Hong

(School of Psychology, Southwest University, Key Laboratory of Cognition And Personality, Ministry of Education, Chongqing 400715)

Abstract

Several theories, such as the post-lexical processing theory and prelexical processing theory, have been proposed to explain the mechanisms of N400. However, there were certain deficits in these theories and in the current paradigm of priming study. Therefore, a new approach and new theories to investigate N400 effects are required. Verification model and interactive activation models were employed in this study to address these problems. The objective was to ascertain which of these theories provides a much better explanation for the mechanisms of N400. The interaction study approach was adopted.

This study adopted a delayed character-matching task to investigate how semantic priming, frequency, and blurredness interact on the N400 components of the Event-Related Potentials (ERPs), which were recorded while participants performed the task. Three Chinese characters were presented in succession in each trial, representing the prime, the target, and the probe stimuli. The prime and the probe were intact characters, whereas the target was blurred one. The materials and procedures in the two experiments were the same, except for the blurredness level of the targets: The targets were slightly blurred in Experiment 1 and were more blurred in Experiment 2. The priming and frequency were manipulated in each experiment with four treatment conditions, namely, primed high frequency, primed low frequency, unprimed high frequency, and unprimed low frequency conditions. Blurredness was manipulated across experiments. The subjects' task was to press one keyboard if the target and the probe were the same character, and to press another otherwise.

The results of Experiment 1 showed larger N400 amplitudes in unprimed condition than in primed condition for low-frequency target characters, but not for high-frequency target characters. By contrast, Experiment 2 showed N400 priming effects, but no N400 frequency effects. Combining the data from the two experiments, both a three-way interaction among the blurredness, frequency, and priming, and an interaction between blurredness and frequency in unprimed condition were found. An interaction between blurredness and priming under high frequency was observed, whereas interaction between blurredness and priming under low-frequency condition did not occur. These interactions are interpreted to indicate that frequency, blurredness, and priming are involved in the same stage of lexical processing.

In conclusion, the results of the present study are partly expected from the lexical verification explanation constructed based on the verification model, completely expected from the interactive activation model, but completely unexpected from the postlexical theory.

Key words the verification model; the interactive activation model; N400; blurredness; semantic priming; frequency