

# 汉英双语者英文单词字母位置编码灵活性的 ERP 研究\*

杨惠兰<sup>1,3</sup>, 陈广耀<sup>2</sup>, 李丹弟<sup>1</sup>

(1. 浙江工商大学外国语学院, 杭州 310018; 2. 暨南大学新闻与传播学院, 广州 510632; 3. 西安大略大学心理学院, 伦敦 N6A 3K7)

**摘要:**结合掩蔽启动真假词范式和事件相关电位技术(ERP),探讨汉英双语者阅读英语单词时字母位置编码的灵活性。22名中高英语水平汉英双语者参与了本实验。结果发现,汉英双语者在阅读英文单词时能产生显著的反向启动效应(backward priming effect),这种启动效应在高英语水平组和中等英语水平组汉英双语者中均存在。更重要的是,在ERP结果中,反向启动条件比无关启动条件诱发了更负的N400波幅。由此可见,汉英双语者在阅读英文单词时具有高度灵活的位置编码系统,且该效应是基于语义加工而产生的。研究结果支持了第一语言特性会影响第二语言加工,且一语词汇加工模式可迁移到二语词汇加工中。

**关键词:**汉英双语者;反向启动效应;字母位置编码;掩蔽启动范式

**中图分类号:**B842.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-5184(2024)05-0424-07

## 1 引言

正字法加工(orthographic coding process)一直是词汇加工领域的热点问题,在这个加工阶段,读者需要确定单词包含的字母/字符位置信息(character/letter position)。读者需要正确地对字母/字符位置进行编码,以区分拥有相同字符/字母组合的不同单词,如“蜜蜂”和“蜂蜜”,“abroad”和“aboard”。尽管字母/字符位置信息编码是十分重要的,正字法加工系统仍存在一定的字母位置编码灵活性。在多种语言研究(英语、西班牙语、日语、汉语、韩语等)中,都发现字母换位的假词比字符替换的假词更形似原词,这被称为换位启动效应(transposed letter effect)(Yang et al., 2019)。换位启动效应的发现引起了研究者对字母位置编码灵活性的关注。因此,拟进一步探索汉英双语者如何成功处理二语词汇阅读时字母位置信息,特别是仅存在于汉英双语者中的反向启动效应的时间进程(Yang et al., 2021),例如用“ecalp”来启动“FACE”所得到启动效应(启动效应是指一个短暂呈现的启动词对目标词所产生的反应时缩短效应),以寻找汉英双语者在二语加工中字母位置编码灵活性的神经电证据。

掩蔽启动范式是国内外最通用的正字法加工经典范式和研究方法(Forster & Davis, 1984; 王云, 刘新芳, 2018)。该范式中典型的研究结果是,使用字形相似的启动词(例如,重复启动词“table”或换位启动词“talbe”)来启动目标词(例如, TABLE)时,被

试的反应时要显著快于用无关启动词(例如,无关启动词“brick”或替换启动词“tarpe”)来启动目标词时。目前的正字法加工模型面临的主要挑战之一是解释此范式中发现的换位启动效应。尽管换位启动刺激(talbe)和替换启动刺激(tarpe)都只有三个字母与目标词(TABLE)中的字母位置相同,但相对于字母替换启动词,字母换位启动词可以显著缩短目标词反应时间,说明换位启动词在字形上要更形似于目标词。

近年来,正字法加工模型关注的核心问题之一是字母/字符位置编码和身份编码是如何以及何时进表征的。现有的正字加工模型一般分为两类:“噪声位置”模型和“开放式二元”模型。这些模型面临的主要挑战是解释汉语读者中存在的反向启动效应。尽管反向启动词(gnola)和无关启动词(ecalp)都无字母与目标词(ALONG)的字母位置相同,但是在目标词前呈现一个反向启动词要比在目标词前呈现一个无关启动词,目标词的反应时间更短,反向启动效应的存在说明汉语读者阅读汉语或英语单词时位置编码灵活性较高(Yang et al., 2019; Yang et al., 2021)。“噪声位置”模型指出正字法加工涉及到抽象字母单元的激活,这些抽象字母单元的激活发生在字母位置确定之前,并达到一个相当高的水平。该理论认为反向启动词的字母位置与目标词字母位置无重叠(Davis, 2010; Gómez et al., 2008; Norris & Kinoshita, 2012; Norris et al.,

\* 基金项目:浙江省哲学社科基金项目(22NDQN238YB),国家社科基金项目(18BYY010),中央高校基本科研业务费专项资金(23NJYH09),浙江工商大学“数字+”学科建设管理项目(SZJ2022A004)。

通信作者:李丹弟, E-mail: lidandi@zjhu.edu.cn。

2010),反向启动效应应该是非常小的一个数值,因此该理论不能解释汉语读者阅读一语和二语词汇时产生的反向启动效应(Yang et al., 2019, 2020, 2021)。另一种模型,“开放式二元”模型(Grainger & Whitney, 2004; Schoonbaert & Grainger, 2004; Whitney, 2001),提出在抽象字母加工层面和词汇加工层面之间存在双字母单元,双字母单元会对给定字母串中的双字母位置进行表征。但“开放式二元”模型也无法解释反向启动效应,因为该模型并不支持反向双字母单元的激活,比如 *ecaf* 只能激活 *ec*、*ea* 与 *ef* 等双字母单元,与目标词 *FACE* 激活的 *fa*、*fc*、*fe* 双字母单元并不存在重合,因此反向启动效应会接近于 0 ms。Taft 等(1999)和 Li 等(2009)分别提出不同关于汉语词汇加工过程的交互激活模型,但它们并未涉及汉英双语者在阅读一语或二语词汇时的字母/字符位置编码过程。综上所述,“噪声位置”模型和“开放式二元”模型能成功解释英语母语者的字母位置编码过程,但无法有效解释汉英双语者在阅读一语/二语词汇时出现的反向启动效应。因此汉英双语者反向启动效应给现有正字法加工模型带来新的理论挑战。

先前研究发现,汉语母语者一语加工时的字符位置编码系统具有较高灵活性。例如,使用汉语四字词作为目标词,在反向启动条件下(例如用“同不所有”启动“有所不同”)能产生较大的反向启动效应(50 + ms)(Yang et al., 2019)。Yang 等人(2020)进一步证明,反向启动效应并不是声音启动和语义启动效应,汉语母语者所激活的反向启动效应是纯粹的字形启动效应。然而,英语母语者的字母位置编码系统则不能接受较大程度的字母换位。Guerrera 和 Forster(2008)对英语母语者在极端条件下的换位启动效应进行研究,研究通过把目标词中八个字母成对换位(*iseawkl* - *SIDEWALK*)或调换目标词中的前四个字母和最后四个字母的位置来创建换位启动词时(*edisklaw* - *SIDEWALK*),无法获得换位启动效应。以上结果表明,汉语母语者的位置编码系统比英语母语者更具灵活性(即字母/字符换位程度较大时,汉语母语者能迅速辨别其原词,而英语母语者则不能)。

然而,汉语母语者的高灵活性位置编码系统是否存在于二语加工中? Yang 等人(2021)探讨了汉英双语者在阅读英语单词时的字母位置编码灵活性。即汉英双语者在阅读英文单词时会不会受到一语加工的影响,从而导致在阅读英文单词时也能激活反向启动效应? Yang 等人(2021)研究结果表明,汉英双语者在阅读英语单词时也能产生反向启动效应,而英语母语者则无法产生反向启动效应。由此

可见,汉英双语者的字母位置编码系统非常类似于他们在一语中所使用的高灵活性位置编码系统。但以上研究只使用了行为实验来测量被试对目标词的反应时数据,然而事件诱发电位(ERP)具有更高的时间分辨率,可更深入分析汉语双语者反向启动效应的时间进程,以监测大脑在认知过程中的神经电生理变化。

最近研究将掩蔽启动范式与 ERP 技术相结合,以剖析启动效应的时间进程。如 Holcomb 和 Grainger(2006)、Grainger 和 Holcomb(2009)比较了重复启动条件(*table* - *TABLE*)、替换启动条件(*teble* - *TABLE*),发现对启动效应比较敏感的脑电成分主要有 N/P150、N250 和 N400(在目标词呈现后约 150、250 和 400 ms 出现的峰值)。先前研究表明,N/P150 主要受到启动刺激和目标刺激之间的特征重叠程度所影响,反映了视觉特征加工到正字法加工的映射。N250 成分主要反映了前正字法加工到正字法加工的映射。在交互式激活模型基础上,此映射过程涉及从字母表征(包括向上传播和向下反馈)向词汇表征的转移。N400 成分主要反映了词汇表征到语义表征的映射以及语义表征的整合,反映了从正字法加工到语义加工的激活转移(Grainger & Holcomb, 2009)。因此,结合 ERP 技术与掩蔽启动范式,可有效探究汉英双语者反向启动效应的时间进程。

总而言之,有必要结合掩蔽启动范式与 ERP 技术,进一步探讨汉英双语者二语加工中的反向启动效应的时间进程。使用两种启动条件:反向启动词(比如 *gnola* - *ALONG*)和无关启动词(比如 *ecalp* - *ALONG*),研究条件的设置主要参考了 Yang 等人(2021)的研究。在行为结果上,预期会得到与 Yang 等人(2021)一致的结果,相比于无关启动词,反向启动词会显著缩短目标词的反应时间。根据先前研究对掩蔽启动范式中发现的 ERP 成分的解释(Grainger & Holcomb, 2009),研究预期目标词呈现后,反向启动条件和无关条件在 N400 成分上存在差异,这是鉴于先前研究发现英语单词的字母换位灵活度有限(Guerrera & Forster, 2008),因此无法在早期的 N/P150 成分和 N250 成分中发现两种启动条件的差异。

## 2 实验

### 2.1 被试

来自西安大略大学的 22 名汉英双语者参加了本实验。所有被试均以汉语为母语和优势语言,英语为第二语言。在实验结束后,被试获得了 50 元人民币的被试费。所有被试能够流畅阅读简体中文和大写英文单词。被试都出生于中国,参加实验前平

均移居加拿大 2.5 年(中位数 1.75 年,范围 1~7 年)。被试的裸眼视力或矫正后视力正常,没有阅读障碍和脑部疾病。

根据语言经历问卷,汉语是被试的优势语言和第一语言(每天使用汉语的平均时间占 67%,每天使用英语的平均时间占 32%)。汉语是被试在家庭、朋友和室友中最常用的语言。汉语的自评能力(理解,写作,听力和阅读),在十点量表上平均分为 8.3,学习汉语的平均起始年龄(包括理解,写作,听力和阅读技能)为 3 岁。英语的自评能力在十点量表上的平均分为 6.5,学习英语的平均起始年龄(包括理解,写作,听力和阅读技能)为 7 岁。73% 的被试曾在国际英语高中就读,其余被试(27%)则在汉语高中学习过英语课程。

## 2.2 材料

实验材料中使用了 120 个单音节英语四字词、五字词为目标真词。根据英语词典项目数据库(Balota et al., 2007),目标词的平均 SUBTLWF 频率为 388.7(范围:100.73~5721.18),平均正字法邻近词数(Coltheart et al., 1977)为 2.6 个(范围:0~5),平均字长为 4.7(范围:4~5)。

每个目标词匹配两种不同类型的启动词,(1)反向启动词,包含目标词中的所有字母,但字母顺序为从右往左呈现(例如,启动词:gnola - 目标词:ALONG,反向启动条件);(2)无关启动词,通过选择一个不相关的目标词,并把该目标词中的所有字母从右往左呈现,来创造无关启动词(例如,启动词:ecalp - 目标词:ALONG,无关启动条件)。无关启动词与反向启动词是同一组词汇,只是在无关启动词中目标词和启动词的配对关系被打乱,每个目标词匹配的都是来自其他目标词的反向启动词。为了实现启动词与目标词配对在不同条件下的平衡,将真词中的目标词和启动词分为 2 个平衡列表。

此外,还从英语词典项目数据库(Balota et al., 2007)中选择了 120 个单音节英语四字词、五字词作为目标假词。目标假词的启动条件与真词类似(即 60 个目标词被分配到反向启动条件,另外 60 个目标词被分配到无关启动条件)。但是实验中仅使用了一组启动词与目标词的匹配列表(即每位被试都看到相同的假词列表,并且在不同被试之间没有对假词的启动词与目标词匹配进行拉丁方平衡),因为作为填充材料的假词在数据分析中不具关键作用。

## 2.3 流程

实验使用 E-prime 2.0 软件收集数据(Schneider et al., 2002)。实验流程在 Yang 等人(2021)的基础上增加眨眼屏和空白屏,以给予被试充分的时

间进行眨眼活动,有利于在脑电实验中减少眨眼活动对诱发事件电位的干扰。实验使用了单因素被试内设计(包括:反向启动条件和无关启动条件)。

每个试次的呈现顺序是:以一串掩蔽符号(###)开始,掩蔽符号会呈现在屏幕中央 500 毫秒,之后会呈现一个 50 毫秒的小写英文启动词,随后大写的英文目标词呈现在屏幕中央,最多呈现 3000 毫秒,或者在被试按键反应后消失。被试的任务是判断每个呈现的目标词是否是一个英语真词,如果目标词是一个英文真词,请按“J”按钮;如果目标词是一个英文假词,则按“F”按钮。被试被要求又快又准地做出按键判断。按键完成后,一个眨眼符号“- \_ -”将呈现在屏幕中央,提示被试可以进行眨眼,呈现时间随机为 1100~1250 ms 之间。在正式实验开始之前,被试被告知尽可能不要在眨眼符号未出现时眨眼。最后,被试将看到 500 ms 的空白屏幕。呈现给每一位被试的刺激顺序都是随机打乱的。

实验包括 240 个试次,其中 120 个“真词”试次和 120 个“假词”试次。实验材料被分为 4 个组块,每个组块耗时约 5 分钟。被试可以在一个组块完成后进行短暂休息,并在休息期间检查脑电信号的阻抗水平。在正式实验开始之前,被试会完成 16 个练习试次。研究得到西安大略大学伦理审核的批准。图 1 为单个实验试次的流程图。

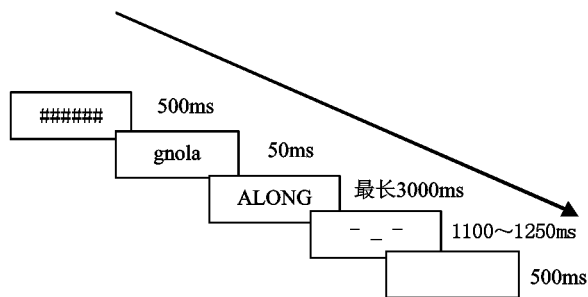


图 1 单个试次流程图

## 2.4 脑电信号记录和预处理

本实验使用了 Active - Two Biosemi system(Biosemi, Amsterdam, Netherlands) 的 32 导脑电帽,电极点依据国际通用的 10~20 方式固定于电极帽上。以 512 Hz 采样率和 0.1~100 Hz 的带通滤波收集 EEG 数据(所有电极分布如图 2 所示)。图 2 显示了 32 导脑电帽上的电极分布。在被试左眼上方,左眼下方,左右眼角 1 cm 处放置了 4 个眼部电极来记录水平眼电(HEOG)和垂直眼电(VEOG)。接地电极由 CMS(Common Mode Sense Active)和 DRL(Driven Right Leg Passive)电极组成。此外,还在左右乳突放置了两个电极,以用作离线参考电极。所有的

EEG 通道阻抗均保持在 20 K $\Omega$  以下。

使用 EEGLAB 和 ERPLAB 软件进行离线脑电信号分析。所有数据均选择双侧乳突平均值作为参考电极,使用了 0.1 ~ 30 Hz 的带通滤波器和 60 Hz 陷波滤波器。通过采用独立成分分析方法(ICA)识别并消除了眼动伪迹。按照目标词呈现前的 200 毫秒和呈现后 800 毫秒的时间段对脑电信号进行分段。目标词呈现前 200 ms 作为基线进行基线矫正。

研究选取了 3 个兴趣区(Regions of Interest, ROI),比如前、中、后三个脑区,如图 2 所示。以单个时间窗的平均波幅为因变量,进行重复测量方差分析。当球形假设不成立时,方差分析所报告的  $p$  值均为 Greenhouse - Geisser 矫正值,多重比较采用 Bonferroni 矫正。

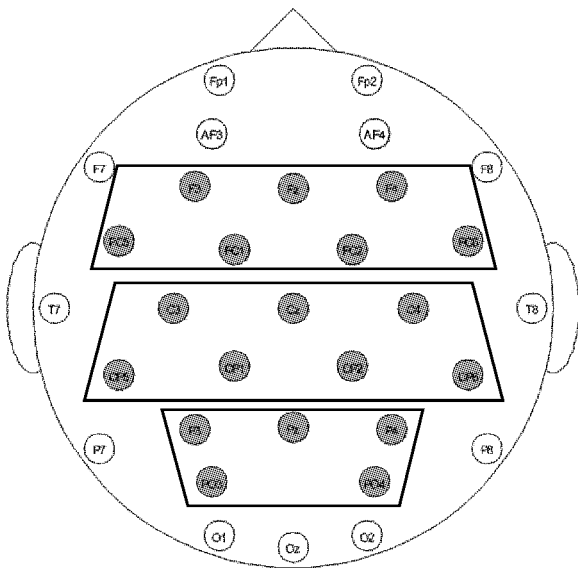


图 2 脑区示意图(仅分析灰色电极)

3 结果

3.1 行为结果

在反应时分析中,删除了反应时短于 300 ms 的试次和不正确的按键试次(平均删除了 10.23% 的试次),以及反应时超过每位被试  $\pm 3$  个标准差之外的试次(平均删除了 8.53% 的试次)。结果分析中没有对假词的数据进行统计分析。使用 R 语言的 lme4 程序包中的广义线性混合模型(Generalized Linear mixed-effects models)来分析反应时数据和正确率数据(Bates et al., 2015; Lo & Andrews, 2015)。广义线性混合模型相比于线性混合模型(Linear mixed-effects models)有着一定的优势,广义线性模型并不假设反应时和正确率为正态分布,因此可以更好地适应反应时数据的正偏态分布。被试和目标词被定义为广义线性混合模型的随机因子(random effects),启动条件(反向启动 vs. 无关启

动)被定义为广义线性混合模型的固定因子(fixed effects)(Baayen et al., 2008)。在运行模型之前,将 R 默认处理对比改为零和对比(Singmann & Kellen, 2019)。表 1 展示了真词的平均反应时和错误率。

表 1 真词试次的平均反应时(毫秒)和错误率(百分比)

	RT	% E	RT 的 95% 置信区间
反向启动条件	759	5.4	696 - 822
无关条件	789	6.4	717 - 861
启动效应	30	1	21 - 39

注:RT = 反应时;% E = 错误率百分比。

在反应时分析中,启动条件的主效应显著, $\beta = -12.991, SE = 3.052, t = -4.26, p < 0.001$ ,反向启动词呈现后(759 ms)目标词反应时要显著短于无关启动词呈现后(789 ms)。在正确率分析中,启动条件的主效应不显著, $\beta = -0.105, SE = 0.09, t = 1.17, p = 0.244$ 。

此外,进一步把被试的英语水平也作为固定因子加入广义线性模型中,以探讨其对启动效应的影响。数据分析中使用了被试的自我评定英语熟练度得分作为英语水平的测量指标,把被试对英语熟练度在理解、聆听、阅读和写作上的打分计算出平均值,并使用中位数把被试分为高水平组( $M = 7.6$ )和中等水平组( $M = 5.1$ )。

在反应时分析中,启动条件的主效应显著, $\beta = -13.063, SE = 3.111, t = -4.2, p < 0.001$ 。但英语熟练度的主效应不显著,及启动条件和英语熟练度之间的交互作用不显著, $ps > 0.1$ ,这表明,高水平组(26 ms)和中等水平组(36 ms)反向启动效应大小无显著差异,两组被试均能产生显著的反向启动效应。在正确率分析中,各主效应和交互效应均不显著, $ps > 0.1$ 。

3.2 ERP 结果

分析了来自 19 个中心电极点的数据(见图 2)。研究把 19 个电极点分为三个感兴趣的区域,这些区域中报告的数据是该区域中所有电极点的平均值,感兴趣区域与电极点包括:(1)前脑区(F3, Fz, F4, FC5, FC1, FC2, FC6), (2)后脑区(P3, Pz, P4, PO3, PO4)和 (3)中脑区(C3, Cz, C4, CP5, CP1, CP2, CP6)。

在脑电数据分析中首先删除了反应不正确的试验,随后在伪迹矫正中删除了波幅大于  $\pm 75 \mu V$  的试次(平均删除了 6.1% 的试次)。根据已有研究,统计分析中选出了 3 个时间窗进行平均波幅分析(100 ~ 200 ms, 200 ~ 350 ms, 350 ~ 550 ms),时间窗的划分参考了 Hoshino 等人(2010)的研究。统计分析软件采用 SPSS Statistics 18.0。描述性统计量表

示为“均值  $\pm$  标准差”。对每个时间窗内的平均波幅进行 2(启动条件:反向启动和无关启动)  $\times$  3(脑区:前、中、后)重复测量方差分析。图 3 显示了三个兴趣区内启动效应的平均波形图,图 4 显示了不同时间窗内启动效应的地形图。

在 100 ~ 200 ms 时间窗内,启动条件的主效应不显著,  $F(1, 21) = 0.094, p = 0.762, \eta_p^2 = 0.004$ 。然而脑区的主效应显著,  $F(2, 42) = 107.697, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.837$ ,说明不同脑区的平均波幅存在显著性差异,前脑区( $6.03 \pm 0.58 \mu\text{V}$ )的平均波幅要显著大于中脑区( $3.90 \pm 0.62 \mu\text{V}, p < 0.001$ )和后

脑区( $1.44 \pm 0.73 \mu\text{V}, p < 0.001$ ),中脑区的平均波幅也要显著大于后脑区,  $p < 0.001$ 。更为重要的是,启动条件和脑区的交互作用显著,  $F(2, 42) = 5.596, p = 0.013, \eta_p^2 = 0.210$ 。简单效应检验发现,被试在前脑区的平均波幅显著大于中脑区( $p < 0.001$ )和后脑区( $p < 0.001$ ),同时在中脑区的平均波幅也要显著大于后脑区( $p < 0.001$ )。然而,反向启动和无关启动的平均波幅在前脑区( $0.12 \pm 0.55 \mu\text{V}, p = 0.611$ )、中脑区( $0.02 \pm 0.42 \mu\text{V}, p = 0.940$ )和后脑区( $0.33 \pm 0.49 \mu\text{V}, p = 0.235$ )略有不同,但均未达到统计显著性水平。

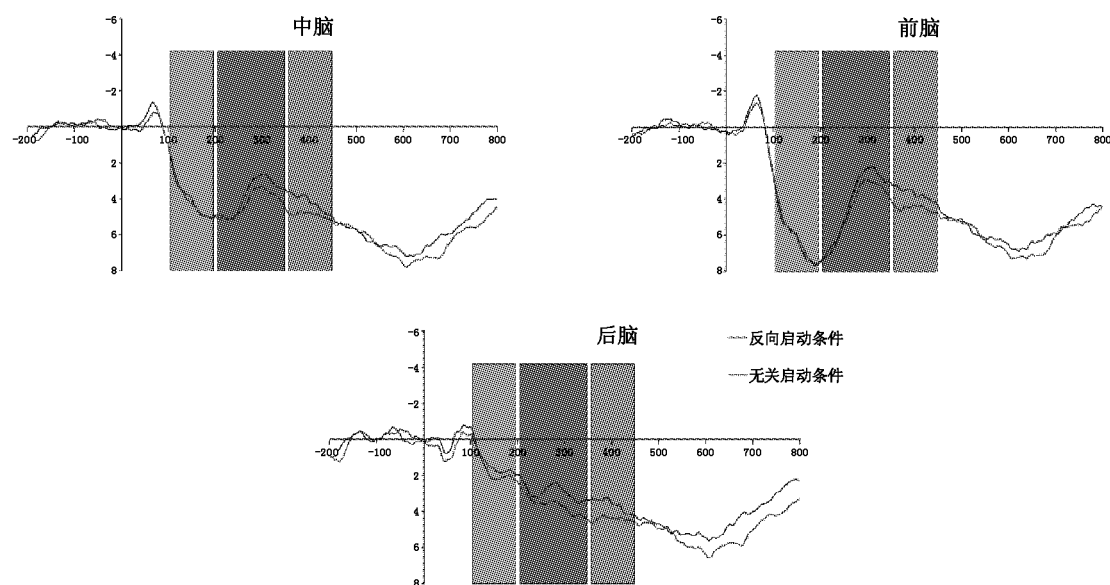


图 3 三个兴趣区内启动效应的平均波形图

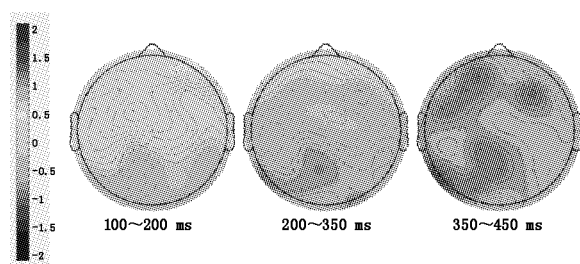


图 4 不同时间窗口下的启动效应的地形图,显示了反向启动条件减去无关启动条件的地形图

在 200 ~ 350 ms 时间窗内,启动条件的主效应不显著,  $F(1, 21) = 2.683, p = 0.116, \eta_p^2 = 0.113$ 。脑区的主效应也不显著,  $F(2, 42) = 3.362, p = 0.044, \eta_p^2 = 0.138$ 。更为重要的是,启动条件和脑区的交互作用也无显著性差异,  $F(2, 42) = 1.593, p = 0.215, \eta_p^2 = 0.071$ 。

在 350 ~ 450 ms 时间窗内,启动条件的主效应显著,  $F(1, 21) = 6.323, p = 0.020, \eta_p^2 = 0.231$ ,表明反向启动条件( $3.83 \pm 0.68 \mu\text{V}$ )的平均波幅要负于

无关启动条件( $4.60 \pm 0.71 \mu\text{V}$ )。但是脑区的主效应( $F(2, 42) = 0.800, p = 0.403, \eta_p^2 = 0.037$ )和两因素的交互效应均不显著( $F(2, 42) = 0.101, p = 0.814, \eta_p^2 = 0.005$ ),说明反向启动效应在全脑的激活模式保持一致。

#### 4 讨论

研究采用 ERP 技术结合掩蔽启动范式,考察了汉英双语者反向启动效应的时间进程。结果发现,汉英双语者在阅读英文单词时,能够激发较大的反向启动效应(backward priming effect),该结果与 Yang 等(2021)的研究结果一致,重复了他们的行为实验结果。其次,研究首次发现反向启动效应大小不受被试英语熟练度的影响。更为重要的是,研究进一步发现,反向启动条件在 N400 成分上比无关启动条件产生了更负的波幅,这表明汉语双语者阅读英语单词时能激活反向启动效应,且该效应是基于语义加工而产生的,研究首次为反向启动效应提供了神经电证据。

近年来,研究发现不同语言在字母位置编码上存在差异。先前研究显示,汉语母语者词汇阅读时的位置编码与英语母语者有所不同(Gu et al., 2015; Yang et al., 2020),英语母语者(以及大多数拼音文字的母语者)的位置编码灵活性低于汉语母语者。类似地,在希伯来语和韩语中的研究也发现,希伯来母语者(Velan & Frost, 2009)和韩语母语者的字符位置编码灵活性比英语母语者更严谨(Lee & Taft, 2011; Rastle et al., 2019)。那么位置编码灵活性是受什么语言特性影响呢?一个解释是不同语言的邻近词密度差异所致。汉语有超过5000个常用字符,但是英语中只有26个字母,任意的一串字符在汉语中,大多只能联想到一个单词(比如看到“羊亡牢补”就能立马联想到“亡羊补牢”);但是在英文中,看到s、p、o、t四个字母,可以创造出四五个单词,比如spot、pots、stop等。因此,邻近词较多的语言相比于邻近词较少的语言,需要更精确的位置编码以区分词汇。

本文关注的重点问题是,较为灵活的汉语字符编码系统是否会影响汉英双语者阅读英语单词时的字母位置编码系统?答案是肯定的,汉英双语者在二语单词阅读时的字母位置编码系统确实比英语母语者所采用的系统更灵活。其次,汉英双语者在阅读英语单词时的反向启动效应(30 ms)要小于Yang等(2019)和Yang等(2020)发现的汉语母语者阅读汉语时的反向启动效应(50 + ms)。这是由于汉英双语者对第一语言汉语更为熟练,且汉语语言本身对字符位置编码要求不严格;然而在阅读英语时,尽管汉英双语者在阅读英语单词时仍然表现出灵活的字母位置编码,但受英语语言特性的影响,其对字母位置编码的精确度要求更高,导致反向启动效应在二语阅读时变小。这为不同语言使用者在词汇阅读时的位置编码差异及其可塑性提供了证据支持。

另外,研究并未发现反向启动效应对N250成分的影响,但首次发现反向启动效应对N400成分的调节作用,说明反向启动效应源自语义加工。N400是最受欢迎的ERP成分之一,与语言处理最相关,它反映了语义整合的过程(Holcomb, 1993; Kutas & Hillyard, 1980)。虽然在正字法加工阶段被试没有激活反向启动效应,但是通过对反向启动词长时间的处理与整合,最终在语义加工阶段产生了反向启动效应。

## 5 结论

(1)汉英双语者在阅读英语单词时可产生反向启动效应,汉英双语者的字母位置编码灵活性不受英语熟练度影响。

(2)汉英双语者在二语中产生的反向启动效应是基于语义加工的,表现为反向启动条件比无关启动条件诱发了更负的N400波幅。

## 参考文献

- 王云,刘新芳.(2018).汉英心理动词双字/词语符逆序表征对比研究:来自掩蔽启动范式的证据.现代外语,41(3),400-412.
- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390-412.
- Balota, D. A., Yap, M. J., Cortese, M. J., Hutchison, K. A., Kessler, B., Loftis, B., Neely, J. H., Nelson, D. L., Simpson, G. B., & Treiman, R. (2007). The English Lexicon Project. *Behavior Research Methods*, 39(3), 445-459.
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1-48.
- Coltheart, M., Davelaar, E., Jonasson, T., & Besner, D. (1977). Access to the internal lexicon. In S. Domic (Ed.), *Attention and Performance VI* (pp. 535-555). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Davis, C. J. (2010). The spatial coding model of visual word identification. *Psychological Review*, 117(3), 713-758.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10(4), 680-698.
- Gómez, P., Ratcliff, R., & Perea, M. (2008). The overlap model: A model of letter position coding. *Psychological Review*, 115(3), 577-600.
- Grainger, J., & Holcomb, P. J. (2009). Watching the word go by: On the time-course of component processes in visual word recognition. *Language and Linguistics Compass*, 3(1), 128-156.
- Grainger, J., & Whitney, C. (2004). Does the human mind read words as a whole? *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2), 58-59.
- Gu, J., Li, X., & Liversedge, S. P. (2015). Character order processing in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41(1), 127-137.
- Guerrera, C., & Forster, K. (2008). Masked form priming with extreme transposition. *Language and Cognitive Processes*, 23(1), 117-142.
- Hoshino, N., Midgley, K. J., Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2010). An ERP investigation of masked cross-script translation priming. *Brain Research*, 1344, 159-172.
- Holcomb, P. J. (1993). Semantic priming and stimulus degradation: Implications for the role of the N400 in language pro-

- cessing. *Psychophysiology*, 30, 47 – 61.
- Holcomb, P. J. , & Grainger, J. (2006). On the time course of visual word recognition: An event – related potential investigation using masked repetition priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(10), 1631 – 1643.
- Kutas, M. , & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences: Brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207(4427), 203 – 205.
- Lee, C. H. , & Taft, M. (2011). Subsyllabic structure reflected in letter confusability effects in Korean word recognition. *Psychonomic Bulletin and Review*, 18, 129 – 134.
- Li, X. , Rayner, K. , & Cave, K. R. (2009). On the segmentation of Chinese words during reading. *Cognitive Psychology*, 58(4), 525 – 552.
- Lo, S. , & Andrews, S. (2015). To transform or not to transform: Using generalized linear mixed models to analyse reaction time data. *Frontiers in Psychology*, 6, 1171.
- Norris, D. , & Kinoshita, S. (2012). Reading through a noisy channel: Why there's nothing special about the perception of orthography. *Psychological Review*, 119(3), 517 – 545.
- Norris, D. , Kinoshita, S. , & van Casteren, M. (2010). A stimulus sampling theory of letter identity and order. *Journal of Memory and Language*, 62(3), 254 – 271.
- Rastle, K. , Lally, C. , & Lee, C. H. (2019). No flexibility in letter position coding in Korean. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 45(4), 458 – 473.
- Schneider, W. , Eschman, A. , & Zuccolotto, A. (2002). *E – Prime: User's guide*. Psychology Software Tools.
- Schoonbaert, S. , & Grainger, J. (2004). Letter position coding in printed word perception: Effects of repeated and transposed letters. *Language and Cognitive Processes*, 19(3), 333 – 367.
- Singmann, H. , & Kellen, D. (2019). An Introduction to mixed models for experimental psychology. In D. H. Spieler & E. Schumacher (Eds. ), *New methods in neuroscience and cognitive psychology* (pp. 1 – 39). Psychology Press Hove.
- Taft, M. , Zhu, X. , & Peng, D. (1999). Positional Specificity of Radicals in Chinese Character Recognition. *Journal of Memory and Language*, 40(4), 498 – 519.
- Velan, H. , & Frost, R. (2009). Letter – transposition effects are not universal: The impact of transposing letters in Hebrew. *Journal of Memory and Language*, 61(3), 285 – 302.
- Whitney, C. (2001). How the brain encodes the order of letters in a printed word: The SERIOL model and selective literature review. *Psychonomic Bulletin and Review*, 8(2), 221 – 243.
- Yang, H. , Chen, J. , Spinelli, G. , & Lupker, S. J. (2019). The impact of text orientation on form priming effects in four – character Chinese words. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 45(8), 1511 – 1526.
- Yang, H. , Hino, Y. , Chen, J. , Yoshihara, M. , Nakayama, M. , Xue, J. , & Lupker, S. J. (2020). The origins of backward priming effects in logographic scripts for four – character words. *Journal of Memory and Language*, 113, 104107.
- Yang, H. , Jared, D. , Perea, M. , & Lupker, S. J. (2021). Is letter position coding when reading in L2 affected by the nature of position coding used when bilinguals read in their L1? *Memory & Cognition*, 49(4), 771 – 786.

## ERP Study on Flexible Orthographic Coding of English Words in Chinese – English Bilinguals

Yang Huilan<sup>1,3</sup>, Chen Guangyao<sup>2</sup>, Li Dandi<sup>1</sup>

(1. Department of Foreign Languages, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018;

2. School of Journalism and Communication, Jinan University, Guangzhou 510632;

3. Department of Psychology, Western University, London N6A 3K7)

**Abstract:** Combining the masked priming lexical decision task and event – related potentials (ERPs) technology, this study explored the flexibility of orthographic coding during English word reading in Chinese – English bilinguals. Twenty – two intermediate – high proficiency Chinese – English bilinguals participated in this experiment. Results showed that Chinese – English bilinguals exhibited a significant backward priming effect when reading English words, and this effect was found for both high and intermediate English proficiency groups. More importantly, in the ERP results, the backward priming condition elicited more negative N400 amplitude than the unrelated priming condition. This indicates that Chinese – English bilinguals also have a highly flexible position coding system during English word reading, and this effect is generated from semantic processing. The results support that L1 characteristics influence L2 processing, and L1 lexical processing patterns transfer to L2 lexical processing.

**Key words:** Chinese – English bilingual; backward priming effects; letter position coding; masked priming paradigm