

视觉词汇识别中的字符位置编码*

滑慧敏^{1,2} 顾俊娟³ 林楠¹ 李兴珊¹

¹中国科学院行为科学重点实验室(中国科学院心理研究所), 北京 100101)

²中国科学院大学, 北京 100049) ³华北理工大学, 河北唐山 063210)

摘要 在阅读中, 为了进行视觉词汇的识别, 需要对字符(字母或汉字)的顺序进行编码(位置信息编码)。本文介绍了拼音文字中的字母位置编码模型, 包括开放双字母组模型、空间编码模型和重叠模型, 综述了拼音文字和中文词汇识别中字符位置信息编码的研究成果, 并对汉字位置信息编码研究提出了展望。

关键词 阅读; 词汇识别; 字符位置编码; 转置效应

分类号 B842

阅读是人类重要的认知行为, 而视觉词汇识别是阅读的基础。视觉词汇识别包含两个重要的编码: 身份编码和位置编码。身份编码是指词汇由哪些字符组成, 位置编码是指字符在词汇中的相对顺序。例如, 在英文中, 词汇“hat”由“h”、“a”和“t”三个字母组成, 三个字母在词汇中的相对顺序分别位于词汇的开头、中间和末尾; 而对于中文词汇“领带”, 组成词汇的两个字符分别是“领”和“带”, 两个字符的位置表征为“领”位于“带”的前面。在过去几十年, 拼音文字中字母位置信息编码的认知机制问题已引起了广泛的关注, 并取得了很多成果。中文相较于拼音文字, 其词汇具有一些独特的特点, 比如中文词汇由相等方块大小的汉字组成, 汉字根据其组成笔画、部件数量的多少具有不同的视觉复杂性, 而且中文词汇词长普遍较短, 词汇之间又没有空格等明显的词汇边界线索, 这使得中文词汇中的字符位置信息编码可能存在与拼音文字不同的加工机制。而对中文词汇中汉字位置信息编码的问题, 目前研究尚浅。本文将依次介绍拼音文字和中文中字符位置编码问题的主要研究进展, 并为这一问题的后续研究方向提出展望。

1 拼音文字词汇识别中字母位置信息的编码

字母位置编码在词汇识别中具有很重要的作用。在拼音文字中, 词汇由一系列字母组成, 字母位置信息对于词汇的构成起到了十分重要的作用。比如, 在拼音文字中存在一定数量的变位词, 即由相同字母组成但字母位置不同的词汇, 如 *trial* 和 *trail*。虽然, 这两个词汇仅存在字母位置差异, 但读者依然需要且能够准确地对其进行区分, 这提示了字母位置信息编码在拼音文字词汇识别中的重要性。

另一方面, 字母位置编码也存在一定的灵活性(Blythe, Johnson, Liversedge, & Rayner, 2014; Duñabeitia, Orihuela, & Carreiras, 2014; Velan, Deutsch, & Frost, 2013; Winkler, Perea, & Ratitamkul, 2012)。一个典型的例子是“剑桥邮件”。剑桥邮件是2003年在英国的阅读研究网站上出现的一段文字: “Aoccdrnig to a rseearch at Cmabrigde Uinervtisy, it deosn't mtttaer in waht oredr the ltteers in a wrod are, the olny iprmoentn tihng is taht the frist and lsat ltteer be at the rghit pclae.”在这段文字中, 尽管词汇内部字母的顺序被打乱, 但阅读者依然可以理解这段文字, 这说明了字母位置编码的灵活性。值得说明的是, 虽然阅读者依然能够理解文本, 但阅读单词中含有转置字母非词的句子, 会使阅读速度显著下降(Rayner, White, Johnson, & Liversedge, 2006)。

收稿日期: 2016-09-12

* 国家自然科学基金项目(Y4JJ022004)和教育部人文社会科学青年基金项目(16YJC190005)。

通讯作者: 林楠, E-mail: linn@psych.ac.cn

字母位置编码上述两方面的特点促使研究者开展了大量研究,对字母位置编码的严格程度及其影响因素进行了考察,并发现了三类主要的实验现象。

1.1 转置字母效应

在字母位置编码研究中,一个重要的实验发现是转置字母效应(Transposed-Letter effect)。所谓转置字母效应是指转置字母非词(单词中两字母位置调换)比替换字母非词(单词中两字母被替换为其他字母)更能促进其基词的激活。转置字母效应存在于若干实验任务中,既包括孤立词汇识别任务,又包括句子阅读任务(Duñabeitia, Dimitropoulou, Grainger, Hernández, & Carreiras, 2012; Johnson, 2007; Johnson & Dunne, 2012; Johnson, Perea, & Rayner, 2007; Massol, Duñabeitia, Carreiras, & Grainger, 2013; Perea, Duñabeitia, & Carreiras, 2008; Perea & Fraga, 2006; Perea, Marcet, & Gómez, 2016; Perea & Pérez, 2009; Perea, Winkler, & Ratitamkul, 2011; Winkler & Perea, 2013)。下面我们以考察字母位置编码早期加工的两个实验范式为例,说明转置字母效应的主要发现。在孤立词识别研究中,考察字母位置编码早期加工的主要范式是掩蔽启动范式。实验者首先给被试呈现非常短暂的(通常是40-60ms)掩蔽启动刺激,然后呈现目标刺激。被试的任务是判断目标刺激是否是词。在考察转置字母效应时,启动条件有相同启动条件(启动刺激与目标刺激完全相同,例如 judge-JUDGE)、转置字母非词条件(目标刺激中的两个字母位置互换构成启动刺激,例如, jugde-JUDGE)和替换字母非词条件(目标刺激中的两个字母由其他字母代替构成启动刺激,例如, jupte-JUDGE)。这类实验的结果一致表明,在相同启动条件下,被试的反应最快,其次是转置字母非词启动条件,而替换字母非词启动条件的反应最慢(Christianson, Johnson, & Rayner, 2005; Duñabeitia, Perea, & Carreiras, 2007; Kinoshita & Norris, 2009; Perea & Carreiras, 2006; Perea & Lupker, 2003; Schoonbaert & Grainger, 2004)。上述实验发现表明字母位置编码的重要性和灵活性:一方面,相同启动条件与转置字母非词启动条件仅存在字母位置差异,两者的反应时差异体现了字母位置编码的重要性;另一方面,转置与替换字母非词条件之间的反应时差异体现了字母位置编码的灵活

性——这是因为如果字母位置编码不具备灵活性,那么转置和替换非词都有两个字母不正确,不应存在反应时差异。

在句子阅读研究中,考察字母位置编码早期加工的主要范式是边界范式(Rayner, 1975)。实验者在句子中设置一个隐形的边界,该边界位于目标词的左侧,读者按正常的阅读情况从前往后阅读整个句子,当眼睛注视位置在边界左侧时,呈现给读者的是预视刺激。当读者眼睛的注视位置跨过这条边界时,预视刺激会变成目标刺激。在考察转置字母效应时,与掩蔽启动范式类似,副中央凹预视条件也分为相同条件、转置字母非词条件和替换字母非词条件。研究发现,阅读者在相同预视条件下对目标词的注视时间最短,而转置字母预视条件下对目标词的注视时间要显著短于替换字母预视条件(Johnson et al., 2007; Winkler & Perea, 2013)。所以,字母位置信息在副中央凹中得到了加工,而且也是灵活的。

1.2 首尾字母的重要性

字母位置编码还与字母在词汇中所处的位置有关。研究发现,词汇的首字母和尾字母对词汇的识别比其他位置的字母更重要。Bruner 和 O'Dowd (1958)操纵快速词汇呈现中(呈现时间为50ms)的字母转置位置:位于词首、词中或词尾,发现词首转置对词汇识别的干扰要显著大于词中或词尾转置,并且词尾转置对词汇识别的干扰也比内部转置更大。该发现在后续的研究中也得到了证实(Guerrera & Forster, 2008; Johnson et al., 2007; Jordan, Thomas, Patching, & Scott-Brown, 2003; Lee & Taft, 2009; Perea & Lupker, 2003; Rayner et al., 2006; White, Johnson, Liversedge, & Rayner, 2008)。Johnson 和 Eisler (2012)进一步考察了词首和词尾字母位置效应背后的认知机制。该研究操纵两个因素:一是转置位置,共包括无转置、词首字母转置、中间字母转置和词尾字母转置四个水平;二是空格类型,包括正常空格和相等空格两个水平。在正常空格条件下,只有词间存在空格;在相等空格条件下,所有字母间都存在相等宽度的空格。空格类型的操纵是为了考察来自两侧字母的干扰对字母位置编码的影响。该研究发现,在正常空格条件下,尾字母转置对阅读的干扰要显著大于内部字母转置,但在相等空格条件下,该效应消失;而首字母转置,无论是在正常

空格还是相等空格条件下,对阅读的干扰都要显著大于内部字母转置。这提示词首字母具有内在的重要性,更多的与高级认知功能(例如,词汇通达)有关;而尾字母的重要性与低水平的视知觉有关,即在有空格的拼音文字中,尾字母相对于内部字母要更少地受到来自两侧字母的干扰。

1.3 字母位置编码的词典边界效应

一些研究提示,对于多词素词,词典边界是一个有可能影响字母位置编码的因素。Christianson等(2005)通过操纵转置字母的位置是否跨越词典边界来检验词典边界对字母位置编码的影响,结果发现跨词典边界的转置比词典内转置对词汇命名干扰更大。据此,Christianson等人认为,词典边界会影响字母位置编码,并且词典分解可能发生在字母位置编码之前,即发生在早期词汇加工阶段。一些后续研究重复了上述实验发现(Duñabeitia et al., 2007; Luke & Christianson, 2013; Taft & Nilsen, 2013)。但也有研究得到了与上述结果不一致的发现(Beyersmann, Coltheart, & Castles, 2012; Beyersmann, McCormick, & Rastle, 2013; Masserang & Pollatsek, 2012; Rueckl & Rimzhim, 2011; Sánchez-Gutiérrez & Rastle, 2013)。例如, Beyersmann等人(2012)考察了英语后缀词典边界对掩蔽启动范式中转置效应的影响,发现是否跨越后缀词典边界对转置字母效应的大小没有影响。上述矛盾的研究发现表明,虽然词典边界可能对字母位置编码有所影响,但这种影响很可能还受到词典的类型、频率等因素影响,因而有待进一步的考察和澄清。

2 字母位置编码模型

早期的视觉词汇识别模型认为字母位置的编码是非常严格的,每个字母在其特有的位置通道上得到完全独立的加工而与字母串中的其他字母无关(McClelland & Rumelhart, 1981),因而不能解释转置字母效应。为了克服特定通道编码模型的局限,研究者提出了一些新的字母位置编码模型。

2.1 开放双字母组模型

开放双字母组模型(Open-Bigram Model, Grainger & van Heuven, 2003)认为,字母串是根据其所包含的所有有序的双字母组来编码的。有序的双字母组是指在一个字母串中相隔距离不超过两个字母的两个有序字母。例如,词汇 JUDGE 会被编码

为 JU、JD、JG、UD、UG、UE、DG、DE 和 GE。词汇 JUDGE 有 9 个双字母组,其转置非词 jugde 与基词有 8 个相同的双字母组,而替换非词 jupte 与基词只有 2 个相同的双字母组。所以,转置非词更能促进基词的激活,从而解释了转置字母效应。

值得注意的是,一项后续研究对双字母组模型提出了挑战(Kinoshita & Norris, 2013)。在该研究中,实验者首先呈现参照刺激(如 of),然后短暂呈现掩蔽启动刺激(如 fo),最后呈现目标刺激(如 OF)。被试的任务是判断参照刺激与目标刺激是否匹配。研究发现了两字母转置非词(如 fo)作为掩蔽启动刺激,对作为目标刺激的基词(如 OF)的判断具有启动作用。由于两者并不共享任何双字母组,所以并不能被开放双字母组模型所解释。然而,Whitney (2013)认为该研究所采用的任务中的启动效应反映的是亚词汇加工,而非词汇识别,所以并不适用于反驳双字母组模型。因此,开放双字母组模型还有待后续研究的进一步检验。

2.2 空间编码模型

空间编码模型(Spatial Coding Model, Davis, 2010)认为,字母位置编码是动态的,字母串中字母的相对顺序由动态赋予这些字母节点的临时数值模式来编码,不同的字母顺序产生不同的空间模式,称为空间编码机制。该模型赋予字母节点的值与其在字符串中的系列位置相对应。例如,对于四字母词汇 stop,第一个字母 s 用数值 1 编码,第二个字母 t 用数值 2 编码,以此类推。有一点需要注意的是,正字法空间编码的梯度值是纯粹的位置梯度,而不是权重梯度。即赋予更大值的字母节点在匹配加工中并不比赋予更小值的节点有更大的权重。因此,在某一四字母刺激中赋予首字母的节点数值为 1,尾字母的节点数值为 4,并不意味着尾字母的重要性是首字母的 4 倍,空间编码的值只表达位置。

该模型可解释转置效应。例如,词汇 judge 的转置非词 jugde 与基词由相同的字母节点 j、u、d、g 和 e 组成,二者的内部字母 d 和 g 位置调换,因此二者的空间激活梯度模式有较大的相似性。然而,替换非词 jupte 与基词虽然有三个相同的字母节点,但是由于基词的空间编码模式没有 p、t 字母节点的激活,因此二者的空间编码模式有很大差异。所以,转置非词要比替换非词更能促进基词的激活。

2.3 重叠模型

重叠模型(The Overlap Model, Gomez, Ratcliff, & Perea, 2008)认为字母位置信息的表征是正态分布式的,在加工早期分布较广,具有较大的不确定性,随着时间延长,分布逐渐变得狭窄,字母位置信息的准确性逐渐增加。两个字符串的相似性依赖于它们所包含字母的身份及其位置分布的重叠程度,当字符串短暂呈现时,由于字母位置信息分布较广,所以转置非词容易与基词发生混淆,从而可以解释转置字母效应。例如,词汇 judge 中字母 d 的位置不仅分布在第三个字母位置,也分布在第二和第四个字母位置,甚至在更低程度上分布在第一和第五个字母位置。因此转置非词比替换非词在所包含字母的身份及其位置分布上与基词有更大重叠,更能促进基词的激活。

上述的字母位置编码模型都对字母位置灵活性背后的认知机制提出了各自的假设,都可以解释转置字母效应。其中一些模型也尝试解释了首尾字母位置编码的重要性。例如,空间编码模型假设存在一个动态首尾字母标记(dynamic ending-letter marking)机制,该机制可以通过给词汇的首尾字母加上标签的方式赋予其更大的权重;重叠模型也可解释字母位置效应(词首字母的重要性),因为该模型假设首字母位置的标准差比内部字母位置要小,但是不能解释词尾字母的重要性。尚没有模型考虑过词素边界对位置编码的影响。

3 中文词汇识别中汉字位置信息的编码

中文书写系统包含笔画、部件、字、词等多个水平(Taft & Zhu, 1997)。研究发现,在汉字内部,部件的位置编码是十分严格的;但组成中文词的汉字位置编码是较为灵活的(Taft, Zhu, & Peng, 1999)。该研究通过操纵两部件可转置汉字,即汉字的两部件转置后可形成另外一个汉字,发现转置项目与控制项目在汉字决定和命名反应上没有显著差异(实验一和二),并且在非字上也没有发现转置效应(实验三)。这些结果提示在汉字识别中,位置信息在部件信息激活上有关键性的作用;但是,当操纵两字词或两字非词时,都显示了较强的转置效应,这说明位置信息在汉字水平上是相对灵活的。虽然中文中的汉字与拼音文字中的字母并不存在严格对应关系,但在位置编码问题上,字母和汉字发现了类似的实验效应,因而推测二

者背后可能有着类似的一般性认知机制。需要注意的是,拼音文字和中文中虽然有类似效应,但英文字母和中文汉字并不能完全类比。汉字在中文多字词中的位置编码问题上具有许多独特性:第一,中文书写系统由汉字组成,汉字较之字母书写更复杂,数量也更多,不同的汉字在视觉复杂性和频率上存在很大差异,并且汉字大多数对应词素,这使得字水平和词素水平的位置编码效应较难区分;第二,在词汇水平,中文词普遍较短,其中单字词和双字词的比例达到 90%以上,而在拼音文字中大部分词汇都较长,这可能使得拼音文字的位置编码有别于汉语书写系统;第三,中文文本中词之间缺乏物理线索(空格),使得词边界成为一个可能影响汉字位置编码的因素。上述这些特性可能会使得汉字位置信息的编码具有不同于拼音文字的特点,需要专门进行研究。

3.1 汉字位置编码的重要性和灵活性

与拼音文字类似,在中文词的识别中,汉字的位置信息编码既重要又具有一定的灵活性。一方面,与拼音文字相似,中文多字词中也存在一定数量的变位词,如“带领”和“领带”等。阅读者可以识别变位词,说明了汉字位置信息在认知加工中起了关键作用。卞迁、崔磊和闫国利(2010)考察双字词中汉字位置颠倒对汉语句子阅读的影响,发现当句子中含有汉字位置颠倒的双字词时,读者阅读时间显著延长,也提示了汉字位置信息在阅读中的重要性。另一方面,中文多字词识别也发现了汉字转置效应。Taft 等(1999)采用词汇判断任务对可转置词(例如,积蓄)、不可转置词(例如,车胎)、可转置非词(例如,书秘)和不可转置非词(例如,都扩)的加工进行研究,发现可转置词比不可转置词条件的反应时更长,可转置非词也比不可转置非词条件的反应时更长,说明可转置词可以同时激活两个变位词,可转置非词也可以激活其基词。Gu, Li 和 Liversedge (2015)采用掩蔽启动词汇判断任务和句子阅读任务(边界范式)对中文双字词早期加工的汉字位置编码机制进行了考察。结果发现,与拼音文字相似,转置非词条件的反应时和注视时间显著长于相同条件,且显著短于替换非词条件。上述两项研究的结果表明,中文词汇加工中的汉字位置编码是既重要又灵活的。

3.2 词素信息在汉字位置编码中的作用

汉字与字母一个重要的区别是,汉字大多对

应了包含独立语义信息的词素,所以中文的转置效应既可对应到英文中的字母转置效应,又可以从词素角度解释为词素对整词的激活。因此,对汉字转置效应的研究应需要同时考虑这两方面可能的机制。为了区分上述两种机制,Gu等人(2015)通过操纵中文双字词所包含的词素数量,试图澄清中文双字词早期识别中的汉字转置效应背后的认知机制。研究采用两种类型的双字词:单纯词和合成词。从构成方式看双字单纯词是由一个词素构成的,两个字在意义上是一个不可分割的整体;而双字合成词是由两个词素构成的,每个词素都有具体意义。研究结果发现,词素数量并不影响双字词早期识别中汉字位置编码,即单纯词和合成词有相似的转置效应,这说明在中文词汇的早期加工中,汉字转置效应在较大程度上可被解释为是由于汉字位置编码的模糊性而导致整词的激活,并非词素对整词的激活。

3.3 词边界对汉字位置编码的影响

在拼音文字中,词之间的边界通过空格等视觉物理线索加以标示,这使得词边界之间的字母位置信息很难发生混淆。但在中文文本中,词汇之间没有空格,这种视觉物理词边界的缺失使得跨词边界的汉字位置信息混淆成为可能,也使得中文词边界对汉字位置信息编码的影响成为一个新问题。Gu和Li(2015)对词边界是否影响汉字位置编码进行了研究。该研究采用句子阅读研究中的边界范式,操纵了两个因素:因素一是预视条件(相同、转置和替换);因素二是转置和替换是否跨越词边界,在不跨词边界条件下,目标刺激是一个内部不含词边界的四字词(如剑拔弩张),在跨词边界条件下,目标刺激是内部包括词边界的两个两字词组成的短语(如庄严肃穆)。研究发现在凝视时间上,对于不跨词边界条件,相同和转置条件没有显著差异,但替换条件显著长于转置条件;而对于跨词边界条件,转置条件显著长于相同条件,但是替换条件和转置条件差异不显著。这个结果说明跨词边界的汉字转置会比词内部汉字转置更加严重地干扰词汇识别。该研究支持在中文阅读中,词边界会影响词汇识别中的汉字位置编码,而且也说明词切分与汉字位置编码同时发生或更早。

4 小结和展望

位置信息编码是视觉词汇识别中非常重要的

一环。拼音文字和中文都发现位置信息编码的重要性和灵活性。近年来,人们对拼音文字中字母位置编码的认知机制已取得了较为深刻的认识,并提出了开放双字母组模型、空间编码模型、重叠模型等模型,对包含字母位置编码的词汇识别过程加以解释。这些模型都能较好地解释大部分现有的实验现象,其优劣有待进一步研究的检验。目前对中文(词和文本)中的汉字位置编码的研究发现了一些与拼音文字研究相似的现象,但研究证据的数量还很少。未来对汉字位置编码研究,一方面应该考察中文的汉字位置编码与拼音文字有哪些跨语言一致的认知机制,另一方面也应该探讨汉字位置编码可能具备的独特特点和机制。具体的说,我们可以从四方面对汉字位置编码的认知机制进行系统的考察。

第一,考察字水平因素对汉字位置编码的影响。汉字具有不同于字母的属性:汉字书写体系比字母复杂,包含了笔画、部件、偏旁等多个层级的结构单元;汉字的数量远多于字母,并且在频率、视觉复杂性等诸多属性上,不同汉字之间存在很大的变异;汉字具备表义功能,语义信息在汉字的识别和加工中扮演着重要角色。上述汉字属性都有可能对汉字的位置编码造成独特的影响。

第二,充分考虑中文词汇特点对汉字位置编码机制的影响。中文词相对于拼音文字具有许多的特点,比如词长普遍较短(单字词和双字词占绝大多数),合成词比例高。这些中文词的固有特点一方面为考察字符位置编码的一般性机制提供了在拼音文字研究中所不具备的契机,另一方面也可能导致汉字位置编码具有语言特异性的特点。

第三,考察汉字位置编码与中文词切分的关系。中文文本在词间没有空格,这不仅使得中文词切分成为了中文阅读中的一个独特的问题,也使得汉字位置编码与词切分的关系成为了一个值得深入研究的新问题。中文词边界如何影响中文文本中的汉字位置编码?后者对前者有什么样的影响?这将是一个有趣的问题。

第四,检验或提出可以解释汉字位置编码的模型。基于拼音文字的字符位置编码模型是否适用于解释汉字位置编码?又或者,如果这些模型并不适用,那么如何从理论模型角度对汉字位置编码进行解释?这也将是一个重要的理论问题。

参考文献

- 卞迁, 崔磊, 闫国利. (2010). 词素位置颠倒对汉语句子阅读影响的眼动研究. *心理研究*, 3, 29–35.
- Beyersmann, E., Coltheart, M., & Castles, A. (2012). Parallel processing of whole words and morphemes in visual word recognition. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65, 1798–1819.
- Beyersmann, E., McCormick, S. F., & Rastle, K. (2013). Letter transpositions within morphemes and across morpheme boundaries. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66, 2389–2410.
- Blythe, H. I., Johnson, R. L., Liversedge, S. P., & Rayner, K. (2014). Reading transposed text: Effects of transposed letter distance and consonant-vowel status on eye movements. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 76, 2424–2440.
- Bruner, J. S., & O'Dowd, D. (1958). A note on the informativeness of parts of words. *Language & Speech*, 1, 98–101.
- Christianson, K., Johnson, R. L., & Rayner, K. (2005). Letter transpositions within and across morphemes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31, 1327–1339.
- Davis, C. J. (2010). The spatial coding model of visual word identification. *Psychological Review*, 117, 713–758.
- Duñabeitia, J. A., Dimitropoulou, M., Grainger, J., Hernández, J. A., & Carreiras, M. (2012). Differential sensitivity of letters, numbers, and symbols to character transpositions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24, 1610–1624.
- Duñabeitia, J. A., Orihuela, K., & Carreiras, M. (2014). Orthographic coding in illiterates and literates. *Psychological Science*, 25, 1275–1280.
- Duñabeitia, J. A., Perea, M., & Carreiras, M. (2007). Do transposed-letter similarity effects occur at a morpheme level? Evidence for morpho-orthographic decomposition. *Cognition*, 105, 691–703.
- Gomez, P., Ratcliff, R., & Perea, M. (2008). The overlap model: A model of letter position coding. *Psychological Review*, 115, 577–600.
- Grainger, J., & van Heuven, W. J. B. (2003). Modeling letter position coding in printed word perception. In P. Bonin (Ed.), *Mental lexicon: "Some words to talk about words"* (pp. 1–23). Hauppauge, NY, US: Nova Science Publishers.
- Gu, J. J., & Li, X. S. (2015). The effects of character transposition within and across words in Chinese reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77, 272–281.
- Gu, J. J., Li, X. S., & Liversedge, S. P. (2015). Character order processing in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 41, 127–137.
- Guerrera, C., & Forster, K. (2008). Masked form priming with extreme transposition. *Language and Cognitive Processes*, 23, 117–142.
- Johnson, R. L. (2007). The flexibility of letter coding: Nonadjacent letter transposition effects in the parafovea. In R. van Gompel, M. Fisher, W. Murray, & R. L. Hill (Eds.), *Eye movements: A window on mind and brain* (pp. 425–440). Oxford: Elsevier.
- Johnson, R. L., & Dunne, M. D. (2012). Parafoveal processing of transposed-letter words and nonwords: Evidence against parafoveal lexical activation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 191–212.
- Johnson, R. L., & Eisler, M. E. (2012). The importance of the first and last letter in words during sentence reading. *Acta Psychologica*, 141, 336–351.
- Johnson, R. L., Perea, M., & Rayner, K. (2007). Transposed-letter effects in reading: Evidence from eye movements and parafoveal preview. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 209–229.
- Jordan, T. R., Thomas, S. M., Patching, G. R., & Scott-Brown, K. C. (2003). Assessing the importance of letter pairs in initial, exterior, and interior positions in reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29, 883–893.
- Kinoshita, S., & Norris, D. (2009). Transposed-letter priming of prelexical orthographic representations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 35, 1–18.
- Kinoshita, S., & Norris, D. (2013). Letter order is not coded by open bigrams. *Journal of Memory and Language*, 69, 135–150.
- Lee, C. H., & Taft, M. (2009). Are onsets and codas important in processing letter position? A comparison of TL effects in English and Korean. *Journal of Memory and Language*, 60, 530–542.
- Luke, S. G., & Christianson, K. (2013). The influence of frequency across the time course of morphological processing: Evidence from the transposed-letter effect. *Journal of Cognitive Psychology*, 25, 781–799.
- Masserang, K. M., & Pollatsek, A. (2012). Transposed letter effects in prefixed words: Implications for morphological decomposition. *Journal of Cognitive Psychology*, 24, 476–495.
- Massol, S., Duñabeitia, J. A., Carreiras, M., & Grainger, J. (2013). Evidence for letter-specific position coding mechanisms. *PLoS One*, 8, e68460.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375–407.
- Perea, M., & Carreiras, M. (2006). Do transposed-letter

- effects occur across lexeme boundaries?. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 418–422.
- Perea, M., Duñabeitia, J. A., Carreiras, M. (2008). Transposed-letter priming effects for close versus distant transpositions. *Experimental Psychology*, 55, 384–393.
- Perea, M., & Fraga, I. (2006). Transposed-letter and laterality effects in lexical decision. *Brain and Language*, 97, 102–109.
- Perea, M., & Lupker, S. J. (2003). Transposed-letter confusability effects in masked form priming. In S. Kinoshita & S. J. Lupker (Eds.), *Masked Priming: The state of the art* (pp. 97–120). New York, NY: Psychology Press.
- Perea, M., Marcet, A., & Gómez, P. (2016). How do Scrabble players encode letter position during reading?. *Psicothema*, 28, 7–12.
- Perea, M., & Pérez, E. (2009). Beyond alphabetic orthographies: The role of form and phonology in transposition effects in Katakana. *Language and Cognitive Processes*, 24, 67–88.
- Perea, M., Winkler, H., & Ratitamkul, T. (2011). On the flexibility of letter position coding during lexical processing: The case of Thai. *Experimental Psychology*, 59, 68–73.
- Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7, 65–81.
- Rayner, K., White, S. J., Johnson, R. L., & Liversedge, S. P. (2006). Reading words with jumbled letters: There is a cost. *Psychological Science*, 17, 192–193.
- Rueckl, J. G., & Rimzhim, A. (2011). On the interaction of letter transpositions and morphemic boundaries. *Language and Cognitive Processes*, 26, 482–508.
- Sánchez-Gutiérrez, C., & Rastle, K. (2013). Letter transpositions within and across morphemic boundaries: Is there a cross-language difference?. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20, 988–996.
- Schoonbaert, S., & Grainger, J. (2004). Letter position coding in printed word perception: Effects of repeated and transposed letters. *Language and Cognitive Processes*, 19, 333–367.
- Taft, M., & Nilsen, C. (2013). Morphological decomposition and the transposed-letter (TL) position effect. *Language and Cognitive Processes*, 28, 917–938.
- Taft, M., & Zhu, X. P. (1997). Submorphemic processing in reading Chinese. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 23, 761–775.
- Taft, M., Zhu, X. P., & Peng, D. L. (1999). Positional specificity of radicals in Chinese character recognition. *Journal of Memory and Language*, 40, 498–519.
- Velan, H., Deutsch, A., & Frost, R. (2013). The flexibility of letter-position flexibility: Evidence from eye movements in reading Hebrew. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39, 1143–1152.
- White, S. J., Johnson, R. L., Liversedge, S. P., & Rayner, K. (2008). Eye movements when reading transposed text: The importance of word-beginning letters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 1261–1276.
- Whitney, C. (2013). Letter order is encoded by open-bigrams. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/252321581_Letter_Order_is_Encoded_by_Open-Bigrams.
- Winkler, H., & Perea, M. (2013). Consonant/vowel asymmetries in letter position coding during normal reading: Evidence from parafoveal previews in Thai. *Journal of Cognitive Psychology*, 25, 119–130.
- Winkler, H., Perea, M., & Ratitamkul, T. (2012). On the flexibility of letter position coding during lexical processing: Evidence from eye movements when reading Thai. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65, 1522–1536.

Letter/character position encoding in visual word recognition

HUA Huimin^{1,2}; GU Junjuan³; LIN Nan¹; LI Xingshan¹

⁽¹⁾ CAS Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Beijing 100101, China)

⁽²⁾ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

⁽³⁾ College of Psychology, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: Letter/character position information plays an important role in visual word recognition. In this article, we review three representative models of letter position encoding, i.e. the Open-Bigram Model, the Spatial Coding Model, and the Overlap Model. In addition, we review main experimental findings on letter/character position encoding in alphabetic language reading and Chinese reading. Finally, we point out some remaining open questions regarding Chinese character position encoding, and propose some new trends in this line of research.

Key words: reading; word recognition; letter/character position encoding; transposed letter effect