

中文阅读中副中央凹与中央凹相互影响的眼动实验*

崔磊^{1,2,3} 王穗苹¹ 闫国利² 白学军²

(¹ 华南师范大学心理系暨心理应用研究中心, 广州 510631)

(² 天津师范大学心理与行为研究院, 天津 300074) (³ 山东省济宁学院教育系, 曲阜 273100)

摘要 采用眼动轨迹记录法结合边界呈现的实验范式, 当注视点越过特定位置时, 预视字则变为另一目标字, 从而保证预视字只呈现在副中央凹区域。实验 1 自变量为预视字频率, 预视字与目标字均与当前句子具有语义连贯性。实验发现, 当预视字是低频时, 中央凹的首次注视时间和凝视时间更短。实验 2 在预视字与当前句子语义不连贯的情况下进一步探讨预视字的字频对中央凹加工的效应。实验发现, 预视字是高频时, 中央凹的首次注视时间和凝视时间更短。然而在以区域作为数据分析的单位时, 副中央凹-中央凹效应仅在首次注视时间上呈现显著。上述结果表明, 副中央凹的词汇属性会对中央凹的加工产生一定的影响, 但这种影响比较微弱, 该结果为阅读加工理论中的并行加工理论提供了一定的支持。

关键词 副中央凹; 中央凹; 预视效应; 串行加工; 并行加工

分类号 B842

1 前言

在阅读理解过程中, 读者的一次注视到底能获得多少文本信息? 是同时加工两个或以上的词汇, 还是按照串行的顺序, 逐一加工他们所要阅读的词汇呢? 这是阅读理解中眼动模型关心的核心问题。据此, 当前的眼动模型可以分成两类: 串行(serial attention shift models)和并行(parallel processing models)模型。串行眼动模型, 例如 E-Z Reader 模型认为, 阅读理解时词汇加工是按串行的方式逐一进行的, 只有当前词汇加工完成后, 下一个词的加工才能开始进行, 这种加工方式被称为串行加工(Rayner, Fischer, & Pollatsek, 1998; Rayner, White, Kambe, Miller, & Liversedge, 2003; Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998; Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006)。与此相反, 并行模型认为, 读者在阅读理解时, 注意力是一个空间分布的区域, 可以对知觉广度范围(perceptual span)内的两个或多个词进行同时的加工(Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005; Richter et al., 2006)。

串行和并行模型对阅读过程中的某些认知加工过程有着截然不同的预测。主要表现在预视效应(parafoveal preview effect)获取的信息是否会对当前注视的信息(即位于中央凹的信息)加工产生即时的影响, 亦即是否存在着副中央凹-中央凹效应这一问题上。所谓“副中央凹-中央凹效应”(parafoveal-on-foveal effect)是指副中央凹预视效应获得的信息对中央凹的加工产生的即时影响(Kennedy, 1995)。根据串行模型, 如 E-Z Reader 模型, 当前注视单词的词汇加工完成后, 注意转移到下一个单词, 开始对此单词进行早期的词汇加工, 由于信息加工不能发生在注意力缺乏阶段, 所以这类模型都假设副中央凹的信息对当前中央凹的加工没有直接的影响, 这或许是因为获取的副中央凹词的属性不能及时地影响当前中央凹的加工, 或许是因为根本无法获知副中央凹词的信息。但是并行加工理论则认为, 在知觉广度范围内可以对两个或多个词进行同时加工, 也就是说在对中央凹词进行加工的同时可以获得副中央凹的信息, 并且这两者之间会产生相互影响。因此, 副中央凹-中央凹效应对任何承认

收稿日期: 2009-07-23

* 国家自然科学基金(30670700, 30970894, 30870781), 广东省自然科学基金(06200524)资助项目。

通讯作者: 王穗苹, E-mail: suiping@cnu@263.net

“系列注意力转换”的理论都是一个挑战,对这一问题的探讨成为阅读理解眼动研究所争论的一个热点。

到目前为止,关于副中央凹对中央凹是否存在即时影响以及产生影响的水平还存在着许多分歧。很多实验认为并不存在副中央凹对中央凹的影响(白学军,胡笑羽,闫国利,2009; Carpenter & Just, 1983; Henderson & Ferreira, 1993; Rayner et al., 1998; Rayner et al., 2003; Rayner, Pollatsek, & Reichle, 2003; Schroyens, Vitu, Brysbaert, & d'Ydewalle, 1999; 王穗苹, 佟秀红, 杨绵绵, 冷英, 2009; White & Liversedge, 2004; Yang, Wang, Xu, & Rayner, 2009),但是也有很多实验证实,副中央凹的属性对当前中央凹的加工具有即时的效应(Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2008; Inhoff, Radach, Starr, & Greenberg, 2000; Inhoff, Starr, & Shindler, 2000; Kennedy, 1995, 1998, 2000; Kennedy, Murray, & Boissiere, 2004; Kennedy, Pynte, & Ducrot, 2002; Murray, 1998; Pynte, Kennedy, & Ducrot, 2004; Underwood, Binns, & Walker, 2000; Yan, Richter, Shu, & Kliegl, 2009)。即使那些承认副中央凹对中央凹的加工存在即时影响的实验研究之间也存在着分歧,一些研究者认为这种影响仅仅发生在前词汇属性的水平上(Inhoff et al., 2000; Pynte et al., 2004),但另一些研究结果则支持这种影响不仅能发生在前词汇属性的水平上,而且能发生在词汇属性的水平上,如词频、语义等等(Hyönä & Bertram, 2004; Inhoff et al., 2000; Kennedy, 2000; Kennedy et al., 2004; Kennedy et al., 2002; Murray, 1998; Yan et al., 2009)。

如果副中央凹-中央凹效应仅仅发生在低水平的视觉信息和前词汇水平的加工时,则串行理论还是可以对此进行解释: E-Z reader 模型修改版本认为,这种副中央凹-中央凹的并行处理模式会受到加工信息的量和质的限制,如果对低水平的信息进行加工,读者就会采用一种并行注意转移机制来对信息进行并行式的处理;但是在加工高水平的信息时,读者则仍采用传统的串行注意转移机制。E-Z reader 模型的最新版本可以成功地解释注视点右侧的正字法信息为什么会影响到当前注视点的加工,但如果副中央凹-中央凹效应发生在高水平信息加工时,如词汇信息层面上,则串行理论模型相对较难给予有利的解释。

但是串行理论对当前支持并行理论的实验研

究的结果也提出了一些疑问,主要体现在以下三个方面:(1) 当副中央凹对中央凹的影响出现显著效应时,研究者所采用的阅读任务一般是不同于正常阅读的(Rayner & Juhasz, 2004)。目前发现出现副中央凹-中央凹效应的研究大多采用词汇判断或视觉搜索的任务,这种实验条件下所得到的结果也许并不适用于自然阅读;(2) 副中央凹的信息对中央凹加工时间的影响一般很小,而且结果不稳定,很多实验都不能进行重复验证(Rayner et al., 2003),例如, Murray 和 Rowan (1998)的研究即使在他们自己的实验室里也难以重复;(3) 获得效应发生的方向通常不一致,有时甚至会出现相反的结果,例如, Hyönä 和 Bertram (2004)进行的一个系列实验就出现了前后相反的趋势。

Kennedy 认为,目前的实验研究中之所以会产生不同的甚至是相反的结果,原因主要也许在于研究者未能对落在中央凹以及副中央凹上信息的长度进行控制。实验证明,副中央凹对中央凹影响的大小作为这两个词的长度的函数发生着变化。然而由于以往相关主题的研究通常都以西文为研究材料,这些语言中,书面文本的典型特征是词与词之间有固定的间隔,而词长不定,因此运用印欧语言为材料很难对词语的长度实现完全的控制。

本研究以中文为阅读材料,采用自然阅读结合边界范式,考察自然阅读理解中,预视字的字频是否影响及怎样影响中央凹信息的加工这一问题。运用中文文本来研究副中央凹对中央凹信息的影响,具有一些独特的优势。这特别表现在,中文文本的物理特性是以汉字为基本的知觉单位,每一汉字占据同样的面积,字和字之间有明显的间隔。因此,以中文为研究材料,在汉字上操纵相关的因素,可以有效地控制中央凹和副中央凹信息长度的因素对实验结果的干扰。

实验之所以选择字频作为主要的研究变量,这是因为频率是语义水平的一个最基本的属性,以此作为研究的切入点,可以确定副中央凹-中央凹效应是否可以在词汇水平上发生,从而对并行和串行模型进行有力的检验。

已有的研究表明,预视字与当前信息的合适程度会影响到预视效应的大小(王穗苹等, 2009; White & Liversedge, 2004; Yang et al., 2009),因此,在考虑词频因素对副中央凹-中央凹效应的影响时,也需要考虑预视字本身语义合适性程度。因此,本研究分为两个分实验,实验一在预视字与当前句子

语义连贯的情况下,考察频率如何影响副中央凹预视效应以及副中央凹-中央凹效应。实验二在预视字与当前句子语义不连贯的前提下,再次考察这一问题^{*}。在实验过程中,被试阅读句子,句子中有一个隐含的边界,位于目标位置之前。当读者眼睛注视着边界左侧的信息时,边界右侧目标位置呈现的是高频或低频预视字,这些预视字都是与句子语义合适(实验一)或不合适(实验二)的。当读者眼跳跨过边界,两类预视字均变成另一个与句子语义匹配的目标字。记录读者在阅读句子过程中的眼动轨迹,通过分析不同频率预视条件下,读者对预视字及其前后几个字眼动轨迹异同,推断中文句子阅读过程中,预视信息的频率是否会影响预视效应,以及从预视中获得的信息是否会对当前注视信息的加工产生即时的影响。

2 实验一 语义连贯条件下的副中央凹-中央凹效应

2.1 实验方法

2.1.1 被试 某大学学生 30 名,所有被试裸视或矫正视力正常,母语均为汉语,无阅读障碍。

2.1.2 实验材料 根据《现代汉语字频统计表》(国家语言文字工作委员会,国家标准局编,1992)中的“社会科学和自然科学类·频度总表”,先选择了 44 个名词作为目标字,然后利用这 44 个目标字编制 44 个不同主题的句子,所有的句子都跟日常生活相关,易于理解。根据目标字和句子的主题,我们确定两种条件目标预视字,一种是高频预视字,频率为 511/百万,另一种是低频预视字,频率为 189/百万,两者差异显著, $t(43)=4.63, p<0.001$ 。两种类型的预视字均为名词。目标预视字所在的位置定义为 n , 目标字左侧第二个字($n-2$)为中央凹字,该字为动词,在不同实验条件下该词都是相同的^{**}。不

同频率的预视字跟中央凹字的意义都是连贯的,与整个句子的意义也是连贯的。材料范例如下所示,其中,“加”作为中央凹字,“糖”“醋”作为预视字呈现在副中央凹位置上,有高频、低频两种预视字,下例中 1a 为高频预视条件,1b 为低频预视字条件:

1a 苏芮认为在红酒里加点糖味道会更特别。

1b 苏芮认为在红酒里加点醋味道会更特别。

在保证两种预视字的频率差异显著的同时,对两种预视字的笔画数进行了匹配,高频字的平均笔画数为 9.57,低频字为 9.94,两者差异不显著。同时,确保不同条件下预视字的结构相同,如均为左右结构,或均为上下结构。而字音完全不同,以此控制形音等低水平信息的对预视字加工可能造成的影响。

在实验过程中,采用边界技术(Rayner, 1975),把目标字(如“冰”)所在位置定义为“预视字位置”,简称为 n ,把边界设在该字左侧。如果读者的眼睛没有移过边界,该位置呈现两种类型预视字之一(如“糖”或“醋”);一旦读者的注视点刚好落在边界之上或越过边界时,该位置上的预视字立即变为目标字,如“冰”。边界范式的具体例子请参看图 1:其中,○表示读者的注视点,1a、1b 句的注视点落在边界左侧,在高频预视字条件下,预视位置上呈现预视字“糖”;在低频预视字条件下,预视位置上呈现预视字“醋”;当注视点越过看不见的边界(图 1 中以虚线表示),两种副中央凹预视字均变为目标字“冰”。

将句子主题和副中央凹预视字的频率进行拉丁方平衡,构成两个系列的实验材料,每一系列包含实验材料 44 句,每一被试只接受每个句子中的一种条件。在每一系列的实验材料中又加入 46 个填充句子,句子结构和实验材料类似。正式实验前,有 6 个句子让被试练习,以熟悉实验程序。这样,每

^{*} 最初试图采用 2×2 被试内设计的方法来考察预视频率及其与句子语义合适性两因素对预视效应以及副中央凹-中央凹效应的影响。然而,在控制了大量的因素后,很难编写足够的实验材料。并且由于中文阅读时,跳过率较高;再加上读者在读一些句子时,可能觉察到边界的变化,而这些项目必须删去。这样,在每个条件下我们很难收集到足够多的数据进行处理,所得的结果也较不稳定。因而最后采用了两个单因素实验的方法,尝试对两个因素的作用做些初步的分析。

^{**} 由于中文阅读中,平均眼跳距离为 2.5 个汉字左右,所以当读者下一次眼跳落到 n 位置时,被试当前既可能注视 $n-2$,也可能注视 $n-1$ 。在本实验中,我们将 $n-2$ 界定为中央凹字,而不采用 $n-1$ 的原因主要有以下几点:1、由于中央凹与副中央凹字之间的视角应在 $2-5$ 度之间,将 $n-2$ 界定为中央凹字,可以保证预视字确实呈现于副中央凹位置;2、在本实验中, $n-1$ 汉字大部分为虚词,而 $n-2$ 为动词,根据以往的研究结果,实词的注视率更高,因而以 $n-2$ 为中央凹字,有可能获得更充足的数据量。3、本研究还操纵了语境的连贯性,而预视字与句子的意义违背事实上主要发生在动词与目标词之间,如果将动词置于 $n-1$ 位置,这种意义的违背则发生在边界前后相邻两个字上,这有可能使被试更容易觉察到预视字在边界前后的变化。基于上述原因,在单字分析中,我们重点考察的是 $n-2$ 的效应。不过,由于 $n-1$ 和 $n-2$ 都位于中央凹位置,在最后的分析中,我们也分析了将 $n-2$ 和 $n-1$ 两字合并的结果。

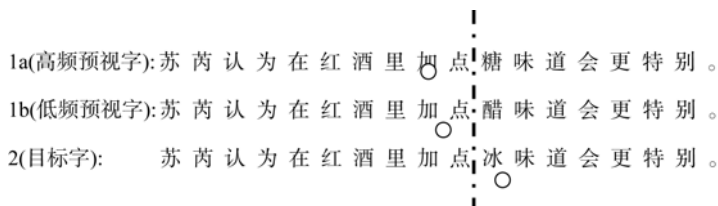


图1 边界范式图示

一被试须阅读一个系列的材料共 90 句。每 3 个句子之后都有一个阅读理解判断题, 该题目是针对 3 个句子中的填充句提出的, 要求被试作“是”或“否”判断, 以鼓励被试能仔细阅读实验材料。

2.1.3 句子合理性评定 为确保预视字与句子的语义连贯, 以及在高低频两种预视条件下, 预视字与句子之间的语义具有同等的连贯性, 我们对实验材料进行了语义合理性评定。因为, 假如两种预视条件下句子的合理性之间存在差异, 则正式实验中, 两种预视条件可能引发的不同眼动轨迹就无法唯一归结为预视字的频率, 而可能是由于语义合理性上存在差异引起的, 所以必须控制两种预视字与句子语义合理性程度一致。

将需要评定的实验材料划分为四个系列, 在每一系列的材料中, 包含高频预视字的句子, 包含低频预视字的句子, 包含目标字的句子和作为填充的语义不合理语句各占四分之一。保证每一主题的句子在同一系列中只出现一次。36 名不参加正式实验的某大学学生参与了评定。每个学生完成一个系列材料的评定。要求被试仔细阅读句子, 然后在五点量表上评定每一句子语义的合理性。对其中一半被试, 评定问卷中 1 代表非常不合理, 5 代表非常合理; 而另外一半问卷中 1 代表非常合理, 5 代表非常不合理。

评定结束后, 采用统一标准, 把所有问卷的分数转换成为用 1 代表非常合理, 5 代表非常不合理后再进行统计。

结果发现, 评定者对高频预视条件句子合理性判定的平均得分为 2.05, 低频预视条件句子合理性的得分为 1.96。配对样本 t 检验表明, 两种预视条件下句子的合理性没有显著差异, $t(43)=0.98$, $p>0.3$ 。该评定结果说明高低频率预视字确实与句子语义是连贯的, 同时, 两种预视条件下句子的意义合理性没有显著差异。

2.1.4 短语合理性评定 在此评定实验中, 将两种预视字及其前两个字抽取出来, 如“加点糖”或“加点醋”作为一个词组或短语让读者评定其是否合理。评定方法与句子合理性评定相同。目的是确

保不同预视字与动词这种局部语境语义是连贯的, 并且连贯性程度也相似。36 名不参加正式实验的某大学学生参与了评定。

结果发现, 评定者对高、低频预视条件词语合理性判定的平均得分分别为 1.96、2.07。配对样本 t 检验表明, 两种预视条件下词语的合理性没有显著差异, $t(43)=1.57$, $p>0.1$ 。该评定结果说明高低频率预视字确实适合句子的局部语境, 并且两种预视条件下, 短语的合理性没有显著差异。

2.1.5 启动评定 进行启动控制实验, 目的是排除预视字对目标字有不同的启动效应, 以保证正式实验中出现的实验效应并非由于某个条件下预视字对目标字的启动效应更大所引起的。

不参加正式实验的某大学学生 30 名参与启动实验, 所有被试裸眼视力或矫正视力正常, 母语均为汉语。

启动刺激是正式实验材料中的两种预视字, 高频预视字和低频预视字各 44 个, 分别和目标字配对, 形成启动对。实验材料分为两个系列, 每一系列包含启动对 44 组, 其中每一系列包括 22 对高频启动对, 22 对低频启动对, 每一被试只接受其中一个系列的材料。在每一系列的实验材料中又另外加入 22 个启动对作为填充材料, 其中启动词均为真字, 目标字均为假字。

实验采用美国 Psychology Software Tool 公司开发的心理学通用实验软件“E-prime” (beta 4.0), 其计时精确度为 1ms。采用 14 寸液晶显示器显示实验材料。被试随机分配到两个实验系列中的一个, 个别进行实验, 完成一个系列实验约需要 10 分钟。

所有实验材料均在计算机屏幕上呈现, 实验开始前, 主试指导被试将其大拇指放在空格键上, 左手食指置于“F”键(肯定键)上, 右手食指置于“J”键(否定键)上。实验开始时, 屏幕中央首先出现一个红色的“+”作为被试的注视点, “+”的呈现时间为 300ms。“+”消失后, 在屏幕中央出现一个黄色的汉字作为启动字, 启动字的呈现时间为 150ms, 紧接着呈现一个白色的目标字, 呈现时间为 400ms。要求被试判断该目标字是否真字还是假字, 并尽可能

快和准确地按键作出反应。被试反应后计算机马上给出“正确”或者“错误”的反馈。如果被试在目标字呈现后 2.5s 内没有作出反应, 则作为是错误反应。在正式实验前有四组启动字-目标字作为练习材料, 练习的程序与实验的程序相同。

记录被试对目标字的判断时间和准确率, 数据分析只对那些正确的反应进行。所有被试的判断正确率高于 75%。数据分析表明, 高频启动条件下, 被试的反应时间为 506ms, 正确率为 94%, 低频启动条件下被试的反应时间为 513ms, 正确率为 93.4%。两条件下的反应时间($t(43)=1.17, p>0.2$)和错误率($t(43)=0.56, p>0.5$)均没有显著差异, 这一结果说明不同条件下的预视字对目标字的启动效应是相似的。

2.1.6 实验设计与过程 采用单因素被试内实验设计, 自变量为副中央凹预视字的频率, 有两个水平: 高频和低频。

被试随机分配到两个实验系列中的一个, 个别进行实验。完成一个系列实验约需要 25 分钟。所有材料以黑底白字方式在计算机屏幕中央呈现, 每一屏呈现一个句子, 句中相邻的两个汉字之间有空格隔开。眼动仪是 SR Research 公司开发的 EyeLink 1000, 采样率为 1000 次/秒, 眼动仪的追踪分辨率的阈限值为瞳孔直径的 0.2%, 被试眼睛的注视和运动情况通过头盔上两个微型红外摄像机输入计算机, 实验只记录被试右眼的的数据。保持显示器屏幕与被试眼睛的距离大约是 71cm, 屏幕刷新率为 150Hz。材料以 34 号楷体呈现, 每个字大小为 1.1cm×1.1cm, 相邻汉字之间有 0.3cm 的距离, 这样每个汉字大约形成 0.9° 的视角, 这就保证了预视字呈现的位置为副中央凹位置。

每段实验开始前都需要进行校准以保证记录被试的眼动轨迹的精确性。每次校准都包括刻度标示(calibration)、刻度确认(validation)和漂移修正(drift correct)。在刻度标示过程中, 九个校准点(白

色的小圆点)会依次随机地出现在屏幕的中心或四周。当校准点随机出现的时候, 要求被试注视该点, 直至该点消失。刻度标示之后进行刻度确认, 仍然出现九个校准点, 程序和刻度标示一样。如果刻度确认成功, 接着进行一次漂移修正, 一个校准点会随机地出现在屏幕的中心或四周, 要求被试注视它。校准成功后方可进入正式实验。

阅读材料以逐句的方式呈现在屏幕中央, 被试的任务是认真阅读每一屏呈现的句子, 每读完 3 个句子后, 根据所读句子意思回答一个判断题。被试自己控制阅读速度, 读完一句后按手柄任意键往下翻页。计算机在下一句子或问题之前, 都会再进行一次漂移修正以保证记录精确性。实验之前有 6 个练习句子, 使被试熟悉实验程序。

2.2 结果与分析

3 名回答问题准确率低于 75% 的被试以及 1 名在实验过程中出现眼睛流泪、频繁眼跳的被试数据不参与最后的统计, 因此共获得有效被试 26 名。

基于句子的类型是由操纵句中目标字来控制的, 因此, 数据分析首先以单字为单位。结果发现, 实验效应主要反映在目标字及其左右相邻的两个字上, 即 $n-3$ 、 $n-2$ 、 $n-1$ 、 n 、 $n+1$ 处。由于副中央凹的加工效应一般只出现在反映首次加工的指标上, 反映重读加工的指标对副中央加工不敏感, 因此我们重点报告反映首次加工的眼动指标: 首次注视时间(first fixation duration, 眼睛第一次落在某个单词上面的注视时间)、凝视时间(gaze duration, 眼睛在移到下一个单词之前在当前词语上的停留总时间)、首次略读频率(initial skipping rate, 第一次阅读时, 每个字被跳读的比率(Rayner, 1998; 王穗苹等, 2009))。以下 t_1 指均以被试为随机误差的方差分析值, 而 t_2 指以项目为随机误差的方差分析值。

被试在单个汉字上的各种眼动指标见表 1。

数据统计显示, 实验效应集中表现在 $n-2$ 和 n 这两个汉字上, 因此我们重点分析在这两个汉字上

表 1 被试在关键区单个汉字上的眼动指标均值和标准差

预视类型	首次注视时间*		凝视时间*		首次略读频率	
	高频	低频	高频	低频	高频	低频
n-3	217(37)	224(37)	233(44)	235(44)	0.42(0.11)	0.48(0.16)
n-2	247(35)	224(29)	259(35)	233(35)	0.50(0.15)	0.49(0.17)
n-1	241(25)	234(33)	254(26)	248(36)	0.41(0.18)	0.41(0.15)
n	259(46)	273(46)	283(65)	305(52)	0.40(0.17)	0.38(0.18)
n+1	235(34)	244(37)	256(42)	259(46)	0.45(0.17)	0.43(0.17)

注: *阅读时间, 单位是 ms。n 代表目标字位置。带下划线粗体表示该组数据不同条件下差异显著, 粗体表示差异项目检验显著。横线为边界所在位置。

数据模式。首先报告首次注视时间和凝视时间这两个眼动指标。

在 $n-2$ 位置上, 高频预视条件下首次注视时间和凝视时间均显著长于低频预视条件, 其中首次注视时间 $t_1(25) = 3.99, p < 0.01, t_2(43) = 3.05, p < 0.01$; 凝视时间 $t_1(25) = 4.00, p < 0.001, t_2(43) = 2.80, p < 0.01$ 。

在位置 n 上, 不同条件下首次注视时间和凝视时间的趋势刚好相反, 高频预视条件下的首次注视时间更短, 但这种效应只在基于项目分析时显著: $t_1(25) = 1.58, p = 0.13, t_2(43) = 2.44, p < 0.05$; 在凝视指标上, 高频预视条件短于低频预视条件, $t_1(25) = 1.88, p = 0.07, t_2(43) = 2.14, p < 0.05$ 。

不同位置的首次略读频率在不同条件下均没

有显著差异。

与以往的考察中文阅读的研究结果一致(Chen, Song, Lau, Wong, & Tang, 2003), 本实验中单个汉字的略读频率相当高。由于数据的统计是建立在有注视点的汉字上, 高略读频率导致大量数据缺失, 从而使结果的可靠性减低。为此, 参考以往研究(Liu, Inhoff, Ye, & Wu, 2002; Yang et al., 2009), 将两个或以上的汉字合并成一个区域, 以降低略读频率, 增加结果的可靠性。数据的合并采用以下方式, 以隐含的边界为限, 边界前两个字($n-1$ 、 $n-2$)合并为一个区域, 作为中央凹区(F); 边界后两个字(n 、 $n+1$)合并为一个区域, 作为副中央凹区(P)。

合区后的数据结果如表 2 所示。

表 2 被试在合并区域上的眼动指标均值和标准差

预视类型	首次阅读时间*		凝视时间*		首次略读频率	
	高频	低频	高频	低频	高频	低频
F	<u>244(27)</u>	<u>231(35)</u>	<u>315(57)</u>	<u>298(58)</u>	0.13(0.14)	0.10(0.14)
P	<u>256(40)</u>	<u>269(39)</u>	366(115)	378(107)	0.10(0.10)	0.08(0.10)

注: *阅读时间, 单位为 ms。F 代表中央凹区域, P 代表副中央凹区域。带下划线粗体表示该组数据不同条件下差异显著。

在中央凹区域上, 首次注视时间在高频预视条件下显著长于低频预视条件, $t_1(25) = 2.33, p < 0.05, t_2(43) = 2.32, p < 0.05$; 凝视时间也有同样的趋势, 其差异在被试分析上显著, $t_1(25) = 2.27, p < 0.05$, 项目分析上边缘显著, $t_2(43) = 1.99, p = 0.05$ 。不同条件下的首次略读频率没有显著差异。

副中央凹区域首次阅读数据模式与中央凹区域的相反, 高频预视条件下阅读时间更短。在首次阅读时间上, 两者差异显著: $t_1(25) = 2.22, p < 0.05, t_2(43) = 2.65, p < 0.05$; 而在凝视时间和首次略读频率上差异不显著。

2.3 讨论

本实验在预视字与当前句子语义连贯的条件下, 通过操纵预视字的频率高低探讨预视效应能否获得频率信息, 以及获得的频率信息是否会对中央凹的加工产生影响。

在以单字作为数据分析的单位时, 实验效应集中表现在动词($n-2$)和关键预视位置(n)上。当关键预视字频率较低时, 副中央凹位置的首次注视时间和凝视时间均更长, 这一结果与已有的西文研究结果相似 (Hyönä, & Bertram, 2004; Inhoff et al., 2000; Kennedy, 2000; Kennedy et al., 2004; Kennedy et al., 2002; Murray, 1998)。表明读者可以获取副中央凹

的频率信息, 而低频字的加工比高频字更困难, 读者通过预视可以获取的信息或许更少, 因而影响到未来对副中央凹位置的加工。但是, 与此同时, 中央凹的加工时间表现出相反的模式, 低频预视字使读者对当前注视信息的加工时间更短, 这说明预视效应获得的信息会对中央凹的加工产生即时的影响, 副中央凹的加工困难可能会缩短中央凹的加工时间。这一结果跟 Hyönä (2004) 的实验结果相同, 他们认为, 副中央凹的突出特征, 如不规则的开头字母或者加工的困难, 会吸引一个较早的词间眼跳, 从而缩短中央凹加工的时间, 他们称这种理论为“磁性吸引理论”(magnetic attraction)。

为了增加有效数据, 提高数据的稳定性, 进一步把边界前两个字合并为一个关键区: 中央凹区, 边界后两个字合并为另一个关键区: 副中央区。对于区域分析的指标, 凝视时间是更能全面反映区域首次加工情况的指标, 它表示在注视点落在另外一个区域之前, 对当前所注视区域的所有注视点的注视时间之和; 但是首次注视时间表示眼睛第一次落在某个兴趣区上的注视时间, 因此它更多地反映对区域中首字的首次加工情况。合区之后, 副中央凹区域在凝视时间上不同条件之间差异未达到显著, 在中央凹区域, 低频预视条件下阅读时间较短; 这

说明预视获得的频率信息会对当前的加工产生影响。

因此, 实验一的结果总体表明, 在预视字的意义与句子语义意义连贯的条件下, 频率信息可能会影响到当前信息与未来对预视位置信息的加工, 该效应在单字分析和区域分析中的结果趋势一致, 但在区域分析中效应减弱, 两者差异仅达到边缘显著, 所以, 本实验只能在一定程度上说明在汉语阅读理解中, 汉字的加工并非遵循严格的串行加工模式, 两个或以上的汉字可以会同时被加工, 但尚需进一步验证。

3 实验二 语义冲突条件下的副中央凹-中央凹效应

因为之前的研究已经发现, 预视信息的语义与当前语境的连贯与否会影响到读者对预视信息的加工, 如果预视字与当前意义连贯, 预视位置的加工会更快, 如果不连贯, 则预视位置的加工会更慢 (Steven, Elizabeth, & Alexander, 2008; 王穗苹等, 2009; Yang et al., 2009)。由于实验一的预视字是与当前句子的意义连贯的, 在这种预视条件下, 语境或许可以引导读者对未来的信息迅速进行加工, 因而读者更有可能通过预视获得更多的信息。假如预视信息与当前句子的意义不连贯, 操纵预视字频率是否仍然会发现副中央凹-中央凹效应呢? 这是实验二关注的问题。这一实验的结果, 关键将取决于预视字与当前信息的意义是否连贯与预视字的频率这两个因素是独立地起作用, 还是会发生交互作用。如果两者互相影响, 则实验二可能产生与实验一完全不同的结果模式。

3.1 实验方法

3.1.1 被试 某大学学生 34 名, 所有被试裸视或矫正视力正常, 母语均为汉语。

3.1.2 实验材料 材料编制和呈现方式同实验一。编制 66 个不同主题的句子, 根据目标字, 确定两种条件预视字, 一种是高频预视字, 另一种是低频预视字, 两种类型的预视字均为名词, 所在的位置也设为 n 。例如在“苏芮认为在红酒里加点冰味道会更特别”这样一个句子中, 目标字为“冰”, 在不同频率的预视条件下, 该字分别被高频字“嘴”和低频字“橹”所替代, 不同类型预视字跟 $n-2$ 动词, 即“加”语义不连贯, 与整个句子的意义也不连贯。当眼睛越过特定的边界位置(与实验一样, 位于目标位置 n 的左侧)时, 与句子语义不连贯的预视字会变为与

句子意义连贯的目标字。

在两类不同频率的预视字中, 高频字的频率为 722/百万, 低频字的频率为 7/百万, 两者差异显著。考虑到笔画及结构对字词理解的影响, 我们对两种预视字的笔画数、结构进行了匹配控制。高频字的平均笔画数为 10.5, 低频字的平均笔画数为 10.4, 两者差异不显著。在同一个主题的句子中, 高频字与低频字的结构相似, 如均为左右结构或上下结构。而字音完全不相同, 以此控制形音等低水平信息的对预视字加工可能造成的影响。

3.1.3 句子合理性评定 首先对不同频率预视字与句子意义的连贯性进行评定, 方法同实验一。48 名不参加正式实验的某大学学生参与评定。结果发现, 高频预视条件句子合理性判定的平均得分为 3.92, 低频预视条件句子合理性的得分为 3.91。配对样本 t 检验表明, 两者没有显著差异, $t(65)=1.04$, $p>0.4$ 。这表明两类预视字的确与句子意义不连贯, 并且不连贯的程度没有显著差别。

3.1.4 短语合理性评定 在此评定实验中, 我们把两种预视字及其前两个字抽取出来, 如“加点嘴”或“加点橹”作为一个词组或短语让读者评定其是否合理。评定方法跟句子合理性评定相同。48 名不参加正式实验的某大学学生参与了评定。结果发现, 包含高、低频预视字的短语语义合理性平均得分分别为 4.25、4.24, 两者没有显著差异, $t(65)=1.16$, $p>0.3$ 。这说明高低频率预视字确实不适合句子的局部语境, 并且两种预视条件下, 词语的不合理性没有显著差异。控制局部语语境的不连贯主要是希望更清楚地看到可能产生的副中央凹-中央凹效应。

3.1.5 启动评定 与实验一相似, 这一评定主要是确保同一句子中, 两种类型预视字对同一目标字的启动程度相似。不参加正式实验的某大学学生 30 名参与评定实验, 所有被试裸眼视力或矫正视力正常, 母语均为汉语, 无阅读障碍。实验过程同实验一。

数据分析表明, 高频预视字启动下, 目标字的反应时为 514ms, 低频启动下的为 510ms, 两者没有显著差异, $t(65)=1.23$, $p>0.2$; 两条件下被试反应正确率均为 92%, 且差异不显著, $t(65)=1.08$, $p>0.4$, 这证实不同条件的预视字对目标字产生的启动没有显著差异。

3.1.6 实验过程 同实验一。

3.2 结果与分析

删除 2 名回答问题准确率低于 75% 的被试, 共

获得有效被试 32 名。

同实验一, 数据分析首先以单字为单位。结果发现, 实验效应主要反映在目标字及其左右相邻的两个字, 表 3 报告了 $n-3$ 、 $n-2$ 、 $n-1$ 、 n 、 $n+1$ 各个汉字上的首次加工的眼动指标。

数据统计显示, 实验效应集中表现在 $n-2$ 和 n 这两个汉字上, 因此我们重点分析在这两个汉字上的数据模式。对位于中央凹位置的 $n-2$, 高频预视条件下的首次注视时间和凝视时间均显著短于低频预视条件, 首次注视时间, $t_1(31) = 3.16$, $p < 0.01$,

$t_2(65) = 2.77$, $p < 0.01$; 凝视时间, $t_1(31) = 2.52$, $p < 0.05$, $t_2(65) = 3.12$, $p < 0.01$ 。对预视字位置, 凝视时间在高频预视条件下项目分析时显著短于低频预视条件, $t_2(65) = 2.02$, $p < 0.05$; 但是基于被试分析不显著。不同位置的首次略读频率在不同条件下均没有显著差异。

与实验一相似, 将边界前两个汉字($n-2$ 、 $n-1$)合并成一个区域, 作为中央凹区(F); 边界后两个汉字(n 、 $n+1$)合并为副中央凹区(P)进行分析, 以减少缺失数据, 增加结果的可靠性。合并后的眼动数据结果如表 4。

表 3 被试在关键字及相邻汉字上的眼动指标均值和标准差

预视类型	首次注视时间*		凝视时间*		首次略读频率	
	高频	低频	高频	低频	高频	低频
$n-3$	221(34)	223(31)	229(38)	233(38)	0.50(0.14)	0.48(0.15)
$n-2$	222(32)	235(36)	233(33)	245(39)	0.46(0.18)	0.47(0.14)
$n-1$	233(35)	234(29)	246(40)	251(46)	0.43(0.13)	0.45(0.16)
n	258(40)	265(39)	289(60)	298(57)	0.44(0.16)	0.42(0.18)
$n+1$	246(33)	243(29)	257(36)	261(33)	0.41(0.14)	0.43(0.14)

注: *阅读时间, 单位为 ms。带下划线粗体表示该组数据不同条件下差异显著, 横线表示边界所在位置。n 为关键预视字所在位置。

表 4 被试在合并区域上的眼动指标均值和标准差

预视类型	首次阅读时间*		凝视时间*		首次略读频率	
	高频	低频	高频	低频	高频	低频
F	227(31)	237(31)	307(82)	309(83)	0.10(0.11)	0.10(0.12)
P	259(35)	264(34)	372(81)	366(79)	0.09(0.11)	0.08(0.10)

注: *阅读时间, 单位为 ms。F 代表中央凹区域, P 代表副中央凹区域。带下划线粗体表示该组数据不同条件下差异显著。

对位于中央凹位置 F, 高频预视条件下的首次注视时间显著短于低频预视条件, $t_1(31) = 3.02$, $p < 0.01$, 基于项目分析, $t_2(65) = 3.51$, $p < 0.01$; 对预视字所在的区域 P, 高、低频预视条件在首次注视时间和凝视时间上差异均不显著。不同位置的首次略读频率在不同条件下也没有显著差异。

3.3 讨论

实验二在预视字与当前句子语义不连贯的条件下进一步探讨预视字的字频对中央凹加工的效应。在以区域作为数据分析的单位时, 实验效应集中表现在中央凹和副中央凹区域上。高低频预视字并不会使其未来对该位置(即副中央凹位置)的加工时间产生差异, 但中央凹位置的加工却会受到预视字频率的影响, 当副中央凹预视字频率较低时, 中央凹的加工时间会更长一些。这种数据模式与实验一是不同的, 在某种程度上甚至可以说是相反的, 以下将对其中可能的原因尝试进行分析。

首先, 在实验一中, 为了实现句子语义的连贯性, 高、低频预视字之间频率的差异尽管显著, 但两者的差异并不是很大, 至少小于先前已有研究中对高低频率这一因素的操纵(Li & Chen, 1999)。而在实验二中, 我们在语义不连贯的条件, 扩大了高、低频预视字之间频率的差异, 以期获得更显著的频率效应。结果发现, 在实验一中, 高低频预视字对预视效应产生了影响, 然而在实验二中, 虽然预视字之间的频率差异操纵比实验一的更明显, 但高低频率对预视效应所产生的影响却消失了。由于两个实验最重要的差异主要在于预视字的意义与当前的句子是否连贯, 因此, 实验一和实验二中不同的眼动模式似乎表明, 预视信息的频率对预视效应的影响可能会受该信息与句子意义连贯性的影响。尤其是, 读者可能不仅从预视字上获取频率信息, 还能获取语义信息(Yan et al., 2009; Yang et al., 2009; Yen, Tsai, Tzeng, & Hung, 2008), 而当预视

信息与当前句子局部和整体意义不连贯时,读者从预视位置所获得的语义信息也是与当前信息相冲突的,这种冲突可能对阅读理解的影响更大,因而在一定程度上遮盖了由频率高低造成的差别。只有在预视字与当前句子意义连贯的情况下,预视字的频率才会对副中央凹预视效应产生影响。不过,由于本研究未能将语义变量作为被试内变量加以精细控制,上述结果只是一种推论,未来仍需要进一步实验证明和探讨。

其次,实验二还发现,当预视字为高频字时,当前所注视的信息,或称中央凹信息的加工时间也会更短一些,这一眼动模式也是与实验一相反。不过,这种相反的模式仍然可以借用“磁性吸引理论”进行解释。因为,根据 Rayner 和 Inhoff (1986)的研究,高频字更有利于信息的提取。则当预视字与中央凹语义不连贯、且预视字为高频字时,读者更有可能提取到预视字的语义信息,且这种信息与语境相违背,则按磁性吸引理论,这反而会使读者更快地加工当前的信息,尽快把注视的焦点移到下一个位置上,因此中央凹的加工时间有可能更短。

但是,从实验二的结果也可以看到,当把边界前两个字合并为一个区域进行分析时,尽管首次注视时间上表现出与单字分析一致的显著差异,但在凝视时间指标上,字频变量中央凹和副中央凹位置上均未出现显著效应。这似乎表明,语义不连贯条件下,预视字的频率所产生的预视效应以及副中央凹-中央凹效应是比较微弱和不稳定的。

因此,结合实验一,本实验二研究结果似乎表明,在预视字的意义与句子语义意义不连贯的条件下,预视效应可能会获得频率和语义信息,并且获得的这两种信息可能存在交互作用,从而对当前的加工产生即时的影响,但是产生的副中央凹-中央凹效应比较微弱且很不稳定。

4 综合讨论

实验主要目的是考察中文句子阅读过程中,预视信息的频率是否会影响预视效应,以及从预视中获得的信息是否会对当前注视信息的加工产生即时的影响。

实验一操纵的自变量为预视字的频率(高频和低频),这两类预视字与当前句子语义连贯。实验发现,当关键预视字频率较低时,副中央凹位置的首次注视时间和凝视时间均更长,而对当前注视信息的加工时间更短。该结果表明,在预视字的意义与

句子语义意义连贯的条件下,频率信息会影响到当前信息与未来对预视位置信息的加工。副中央凹的加工困难会引发一个较早的词间眼跳,从而缩短了中央凹的加工时间。实验结果为“磁性吸引理论”提供了证据,说明在汉语阅读理解中,汉字的加工并非遵循严格的串行加工模式,两个或以上的汉字可以同时被加工。

虽然实验一的结果跟 Hyönä (2004)的实验结果相同,但是在 Hyönä 进行的一系列实验中副中央凹-中央凹效应产生的方向并不完全一致,有时甚至出现了相反的结果。Kennedy 等人在 2000、2002 进行实验产生的副中央凹-中央凹效应方向也是相反的。Hyönä 认为这些结果的不同并不能否认“磁性吸引理论”的合理性,他认为,磁性吸引力的大小作为视觉离心率的函数而变化,所以中央凹和副中央凹距离的控制对实验结果有重要的影响。实验一在严格控制中央凹、副中央凹字长度以及中央凹和副中央凹之间距离的基础上进行研究,排除这些可能影响实验结果稳定性的因素,但是同样未得到稳定的副中央凹-中央凹效应,这有可能是实验中副中央凹字频之间差异不足够显著造成。

实验二严格控制高低频字之间的频率差异,在预视字与当前句子语义不连贯的条件下进一步探讨预视字的字频对中央凹加工的效应。实验发现,副中央凹的首次注视时间和凝视时间在高、低频预视字之间没有显著差异,但中央凹位置的加工却受到预视字频率的影响,当预视频率较低时,中央凹的加工时间会更长一些。但是遗憾的是,该效应并不十分稳定,当扩大数据分析的区域时,副中央凹-中央凹效应只在首次注视时间上出现,但高低频所导致的差异并未在凝视时间上达到显著。

在中文阅读中,中央凹和副中央凹信息的长度是固定的,而且在本研究的两个分实验中,中央凹和副中央凹之间的距离也是固定的,但是实验一、二之间仍出现了方向相反的副中央凹-中央凹效应,对此结果该作何解释呢?由于两个实验的差异主要在于预视字的意义与当前的句子是否连贯,因此,实验一和实验二的结果似乎表明,预视信息的频率对预视效应的影响可能会受该信息与句子意义连贯性的影响。在预视字与当前句子语义连贯的情况下,预视效应可以获得频率信息,并且对当前注视信息的加工产生即时的影响;而在预视字与当前句子语义不连贯的情况下,预视效应不仅可以获取频率信息,而且还能获取语义信息,并且获取的语义

信息对阅读理解的影响更大,因而遮盖了由频率高低造成的差别;另外,由于高频字更有利于信息的提取,所以在预视字与中央凹语义不连贯的情况下,高频预视字更有可能获取语义冲突信息,从而缩短了对当前注视信息的加工。所以,该实验结果仍可借用“磁性吸引理论”进行解释。

副中央凹-中央凹效应在两个实验中均未表现出较强的稳定性,在扩大数据分析的区域时,效应只是达边缘显著或只是表现出差异的趋势。这表明,在正常阅读过程中,副中央凹-中央凹效应仍然是比较微弱的。这一结果与国外研究的结果是相似的,事实上,当前国外的研究不但在语义、语法等较高层次的水平上也很难发现副中央凹-中央凹效应(Inhoff et al., 2000; Pynte et al., 2004),即使是在字音、字形等较低层次的层面上,副中央凹-中央凹效应是否存在也仍未发现强有力证据(Drieghe et al., 2008; Rayner et al., 2003)。同样的,在中文正常阅读研究中,关于副中央凹-中央凹效应也未表现出一致的结果,Yan (2009)等人发现在语义水平上存在显著的副中央凹-中央凹效应;但是 Yang 等人(2009)在实验中却发现了不稳定和微弱的副中央凹-中央凹效应;另外在王穗莘(2009)等人的实验中完全未出现显著的副中央凹-中央凹效应,仅仅呈现出一种效应趋势。由此可见,副中央凹-中央凹效应可能确实是比较微弱和不稳定的,它的发生需要特定的条件以及对各种因素的控制,因此,在未来需要进行更多的研究对该问题进行探讨。

另外一个令人感兴趣的问题是,为什么在 $n-1$ 上,不同预视条件之间没有出现显著效应。 $n-1$ 跟 $n-2$ 均处于中央凹视觉区,但是为什么两者之间加工的特点不同呢?支持并行加工观点的渐变模型(Gradient model)(Schiepers, 1980; Schroyens et al., 1999; Starr & Rayner, 2001)认为,在词汇加工中,注意资源像正态分布曲线那样,沿着某个倾斜度来分配,在注视点附近达到最大值,注视点左右两侧分别逐渐下降。如果字词正好位于注意分布曲线的中央,那么它获得的注意资源最多,加工最精确,而位于中央两边的字词虽然仍可以并行加工,但是并行加工效应会被削弱。 $n-2$ 获得了更多的注意资源,而由于注意资源的有限性,所以 $n-1$ 没有表现出显著的副中央凹-中央凹效应。另外,或许由于 $n-1$ 处在两个区域的交界处,并且中央凹和副中央凹的效应是相反的,所以在 $n-1$ 上所产生的效应因为左右两个区域效应相反而相互抵消,故而效应反

而未达到显著,仅在趋势上表现出与中央凹效应的一致性。

5 结论

本研究得到如下结论:

(1) 在中文阅读过程中,读者通过预视可以获得频率信息,这说明汉字的加工并非遵循严格的串行加工模式,两个或以上的汉字可以同时被加工。

(2) 通过预视获得的频率信息对当前信息的加工会产生即时的影响,表现出副中央凹-中央凹效应,副中央凹加工的困难会引发一个较早的词间眼跳,从而缩短中央凹的加工时间。

(3) 本研究的结果和串行眼动模型并不一致,在一定程度上更倾向于支持并行眼动模型。

参 考 文 献

- Bai, X. J., Hu, X. Y., & Yan, G. L. (2009). Parafoveal-on-foveal effects in Chinese reading: the influence of semantic transparencies of word n on word $n-1$ processing (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 41(5), 377–386.
- [白学军, 胡笑羽, 闫国利. (2009). 中文阅读的副中央凹-中央凹效应: 词 n 的语义透明度对词 $n-1$ 的影响. *心理学报*, 41(5), 377–386.]
- Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1983). What your eyes do while your mind is reading. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements in reading: Perceptual and language processes* (pp. 275–305). New York: Academic Press.
- Chen, H.-C., Song, H., Lau, W. Y., Wong, K. F. E., & Tang, S. L. (2003). Developmental characteristics of eye movements in reading Chinese. In C. McBride-Chang & H.-C. Chen (Eds.), *Reading development in Chinese children* (pp. 157–169). Westport, CT: Praeger.
- Drieghe, D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2008). Mislocated fixations can account for parafoveal-on-foveal effects in eye movements during reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(8), 1239–1249.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. D., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112, 777–813.
- Henderson, J. M. & Ferreira, F. (1993). Eye movement control during reading: fixation measures reflect foveal but not parafoveal processing difficulty. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47, 201–221.
- Hyönä, J., & Bertram, R. (2004). Do frequency characteristics of non-fixated words influence the processing of fixated words during reading? *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 104–127.
- Inhoff, A. W., Radach, R., Starr, M., & Greenberg, S. (2000). Allocation of visuo-spatial attention and saccade programming during reading. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte. (Eds.), *Reading as a perceptual process* (pp. 221–246). Oxford: Elsevier.
- Inhoff, A.W. & Rayner, K. (1986). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*, 40, 431–440.

- Inhoff, A. W., Starr, M., & Shindler, K. L. (2000). Is the processing of words in reading strictly serial? *Perception & Psychophysics*, 40, 431–439.
- Kennedy, A. (1995). The influence of parafoveal words on foveal inspection time. *AMLaP-95 Conference*, Edinburgh.
- Kennedy, A. (1998). The influence of parafoveal words on foveal inspection time: Evidence for a processing trade-off. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 149–223). Oxford: Elsevier.
- Kennedy, A. (2000). Parafoveal processing in word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A, 429–455.
- Kennedy, A., Murray, W. S., & Boissiere, C. (2004). Parafoveal pragmatics revisited. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 128–153.
- Kennedy, A., Pynte, J., & Ducrot, S. (2002). Parafoveal-on-foveal interactions in word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A(4), 1307–1337.
- Li, H., & Chen, H.-C. (1999). Radical processing in Chinese character recognition: evidence from illusory conjunction (in Chinese). *Psychological science*, 22, 213–217.
- [黎红, 陈烜之. (1999). 汉字识别中的部件加工错觉性结合试验的证据. *心理科学*, 22, 213–217.]
- Liu, W., Inhoff, A. W., Ye, Y., & Wu, C. (2002). Use of parafoveally visible characters during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 28, 1213–1227.
- Murray, W. S. & Rowan, M. (1998). Early mandatory pragmatic processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, 27, 1–22.
- Pynte, J., Kennedy, A., & Ducrot, S. (2004). The influence of parafoveal typographical errors on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 178–202.
- Rayner, K., Fischer, M. F., & Pollatsek, A. (1998). Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control. *Vision Research*, 38, 1129–1144.
- Rayner, K., & Juhasz, B. J. (2004). Eye movements in reading: Old questions and new directions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 340–352.
- Rayner, K., Pollatsek, A., & Reichle, E. D. (2003). Eye movements in reading: Models and data. *Behavioral and Brain Sciences*, 26, 507–526.
- Rayner, K., White, S., Kambe, G., Miller, B., & Liversedge, S. (2003). On the processing of meaning from parafoveal vision during eye fixations in reading. In J. Hyönä, R. Radach., & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 213–234). Oxford: Elsevier Science.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, 105, 125–157.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E-Z Reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. *Cognitive Systems Research*, 7, 4–22.
- Richter, E. M., Engbert, R., & Kliegl, R. (2006). Current advances in SWIFT. *Cognitive Systems Research*, 7, 23–33.
- Schiepers, C. (1980). Response latency and accuracy in visual word recognition. *Perception & Psychophysics*, 27, 71–81.
- Schroyens, W., Vitu, F., Brysbaert, M., & d'Ydewalle, G. (1999). Eye movement control during reading: foveal load and parafoveal processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52A, 1021–1046.
- Starr, M. S., & Rayner, K. (2001). Eye movements during reading: some current controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 156–163.
- Steven, F., Elizabeth, N.-K., & Alexander, P. (2008). The role of semantic transparency in the processing of English compound words. *British Journal of Psychology*, 99(1), 87.
- Underwood, G., Binns, A., & Walker, S. (2000). Attentional demands on the processing of neighbouring words. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller., & J. Pynte (Eds.), *Reading as a perceptual process* (pp. 247–268). Oxford: Elsevier.
- Wang, S., Tong, X., Yang, J., & Leng, Y. (2009). Semantic codes are obtained before word fixation in Chinese sentence reading: Evidence from eye-movements (in Chinese). *Acta Psychologica Sinica*, 41, 220–232.
- [王穗莘, 佟秀红, 杨锦绵, 冷英. (2009). 中文句子阅读中语义信息对眼动预视效应的影响. *心理学报*, 41(3), 220–232.]
- White, S., & Liversedge, S. (2004). Orthographic familiarity influences initial fixations in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 52–78.
- Yan, M., Richter, E. M., Shu, H., & Kliegl, R. (2009). Readers of Chinese extract semantic information from parafoveal words. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 561–566.
- Yang, J. M., Wang, S. P., Xu, Y. M., & Rayner, K. (2009). Do Chinese readers obtain preview benefit from word n+2? Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1192–1204.
- Yen, M.-H., Tsai, J.-L., Tzeng, O. J. I., & Hung, D. L. (2008). Eye movements and parafoveal word processing in reading Chinese. *Memory & Cognition*, 36, 1033–1045.

Parafoveal-on-foveal Interactions in Normal Chinese Reading

CUI Lei^{1,2,3}; WANG Sui-Ping¹; YAN Guo-Li²; BAI Xue-Jun²

(¹ Department of Psychology, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

(² Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China)

(³ Department of Education, Jining Normal University, Qufu 273100, China)

Abstract

How much information can be acquired from a single fixation in normal reading? Whether words in a sentence are processed one by one (serially), or two or more words are processed in parallel, is a major dispute between serial attention shift (SAS) and distributed lexical processing models (SWIFT) of eye movement control. Assessing which type of model is more consistent with empirical data has become a hot topic in research examining eye movements during reading. The main purpose of the present study was to determine how processing of characters in the parafovea affects foveal inspection time during Chinese sentence reading.

The boundary paradigm (Rayner, 1975) was used in two experiments designed to examine whether processing of the fixated character was affected by the frequency of the character to the right of fixation. An invisible boundary was positioned between the two characters (N and N-1). Once the reader's eyes crossed the boundary, the incorrect preview of N was changed to the correct character, ensuring that the preview character was only available for parafoveal processing. In Experiment 1, 30 university students were asked to read 48 sentences. There were two types of preview characters (high- or low-frequency), both of which were congruent with the context. When the eyes crossed the invisible boundary, both previews were changed to the same target character, which was also congruent with the context. In Experiment 2, 34 university students were asked to read 76 sentences. Again, the frequency of the preview character was manipulated (high or low). Both of the two preview characters were incongruent with the sentence context, but the target character was congruent with the context.

In Experiment 1, the results showed that first fixation durations and gaze durations on character n were longer with low-frequency previews than with high-frequency previews. In contrast, first fixation durations and gaze durations on character n-2 were longer in the condition where a high-frequency preview of n was being presented compared to a low-frequency preview. In Experiment 2, there were no significant differences for first fixation durations and gaze durations on character n between high or low frequency preview conditions. However, first fixation durations and gaze durations on character n-2 were longer in the condition where a low-frequency preview of n was being presented compared to a high-frequency preview – the opposite pattern observed in Experiment 1.

The results showed that information about character frequency can be accessed in parafoveal preview. Furthermore, this preview information can affect processing of the currently fixated character to some extent (the results showed a strong preview effect but less stable parafoveal-on-foveal effects). The data from these experiments fit better with the theoretical assumptions of parallel processing models of eye movement control in reading.

Key words parafoveal; foveal; preview effect; serial processing; parallel processing