

汉语阅读过程中词切分的位置： 一项基于眼动随动显示技术的研究*

张智君 刘志方 赵亚军 季 靖

(浙江大学心理与行为科学系, 杭州 310028)

摘 要 采用眼动随动显示技术, 通过分析动态协助或干扰词切分对阅读过程的影响, 考察汉语阅读过程中词切分的位置与数量。包括两项实验: 实验一通过改变注视点附近词语的颜色来促进词汇的加工进程, 发现协助词 n+1 切分可改变被试的眼动模式, 说明至少加工词 n+1 可导致词切分效果; 实验二以类似方法干扰相应的词汇加工进程, 发现在某些实验条件下被试的眼动模式朝相反方向变化, 表明实验一结果并非由外源注意转移引起。综合分析两个实验中各种条件下首次注视概率分布、再注视时的首次注视时间和单一注视时间的差异, 得出以下结论: 在汉语阅读中存在两种词切分现象, 一种由加工词 n+1 引起, 另一种由加工词 n 引起。

关键词 汉语阅读; 眼动; 词切分; 眼动随动显示

分类号 B842

1 引言

基于词在拼音文字阅读中的重要性(Inhoff, Radach, & Heller, 2000; Rayner, 1998; Radach & McConkie, 1998; Rayner, Fischer, & Pollatsek, 1998; Rayner & Pollatsek, 1996), 学者已经发展出多个认知控制模型用于解释西文阅读中的眼动现象(Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005; Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006; Reilly & Radach, 2006; Richter, Engbert, & Kliegl, 2006; Kliegl, 2007; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003)。近几年, 有许多研究试图以这些理论为背景考察中文阅读中的眼动控制问题。例如, Rayner, Li 和 Pollatsek (2007) 基于 E-Z 读者模型的模拟结果显示, 词也是中文阅读中信息加工的基本单元。其他实证性研究则表明: 中文词汇的加工难度和预期对注视时间有明显的影响(Yan, Tian, Bai, & Rayner, 2006; Rayner, Li, Juhasz, & Yan, 2005; 闫国利, 张霞, 白学军, 2010);

中文阅读也存在预视效应、溢出效应和副中央窝-中央窝效应(Yan, Richter, Shu, & Kliegl, 2009; Yang, Wang, Xu, & Rayner, 2009; Yen, Radach, Tzeng, Hung, & Tsai, 2009; Yan, Kliegl, Shu, Pan, & Zhou, 2010; 王穗苹, 佟秀红, 杨锦绵, 冷英, 2009; 白学军, 胡笑羽, 闫国利, 2009; 崔磊, 王穗苹, 闫国利, 白学军, 2010)。

但是, 以上研究均是在“词为基本加工单元”假设的基础上展开的。中文的最基本视觉单元是字, 词间缺乏边界线索, 且中文单词中既有单字词, 也有多字词, 因此从概率的角度分析, 对一个句子成功断词的可能性极小。而若没有以词为信息加工基本单元的证据, 则上述提到的各种效应(词频效应、预视效应、溢出效应和副中央窝-中央窝效应等)都将缺乏恰当的理论背景。对于词切分, 以往研究已取得了一些重要的成果。早期的研究发现, 在中文词之间加入空格不能对阅读产生积极作用(Liu, Yeh, Wang, & Chang, 1974; Hsu & Huang, 2000)。Bai, Yan, Liversedge, Zang 和 Rayner (2008)在改进词切

收稿日期: 2010-11-29

* 中央高校基本科研业务费专项资金资助。

通讯作者: 张智君, E-mail: zjzhang@zju.edu.cn

分的实验设计后发现:正确的词切分线索难以提高阅读效率,而错误的词切分线索却会严重影响阅读。沈德立等人(2010)的研究也显示,错误的词切分线索对阅读技能较低的三年级学生的影响更为严重。他们认为,新异的呈现形式对阅读所产生的干扰抵消了词切分的积极效果,而错误的词切分线索则损害阅读,因此词是汉语阅读中的基本信息加工单元。

研究者已经发展出多个模型用于解释西文阅读中的眼动过程,而对中文阅读眼动过程的模拟还在起步阶段(吴俊,莫雷,冷英,2008)。目前较为成熟的西文模型都强调认知因素在眼动控制中的作用,无论是并列加工理论(以 SWIFT 模型为代表)还是串行加工理论(以 E-Z 读者模型为代表)都将词汇加工看作是眼跳发动时间、指向位置和注意分配的基本线索(Yang & McConkie, 2004)。如果词汇加工在中文阅读中起到的作用类似于拼音文字,那么其中至少存在心理上的词切分进程。由于缺乏外在线索,中文阅读中的词切分必定是词汇加工达到一定程度的结果。已有一致的证据表明,中文读者在一次注视中通常能够加工一个以上的词汇(王穗莘等,2009;崔磊等,2010),因此逻辑上中文读者在一次凝视中可切分出 1~2 个词汇。Yan 等人推断,在副中央凹存在一个断词过程,且如果这一过程在特定的时间内完成,则随后的眼跳将指向目标词的中心位置,否则将指向离注视词最近的字(Yan, Kliegl, Richter, Nuthman, & Shu, 2010)。汉语读者若采用这种灵活的眼跳目标选择策略,就应该存在两种词切分现象:一种发生于词 n 的加工进程中,另一种发生于词 $n+1$ 的加工进程中。以往研究通过在词间添加空格或给文字添加背景色来帮助断词,但这种静态方法难以考察词切分的发生位置和阶段,因此也难以确定词切分的数量。

词汇识别在词切分研究中不可回避(李兴珊,刘萍萍,马国杰,2011)。关于这个问题存在两种假设:(1)“向上反馈假设”(feed-forward hypothesis)认为,视觉信息首先进入单字识别器,随后读者根据被识别的单字信息完成词切分和词汇识别;(2)“整体假设”(holistic hypothesis)则主张,读者首先直接从整体上激活词汇表征从而完成词切分过程,随后影响组成该词的单字的识别(Li, Rayner, & Cave, 2009;李兴珊等,2011)。Inhoff 和 Wu (2005)推测,中文阅读中可能存在两种中文词汇识别的策略,即“多重激活策略”(multiple activation)和“单向分析策

略(unidirectional parsing strategy)”,前者假设注意广度内各单字可组成的词汇都将被激活,读者根据文本主题选择合适的词汇并抑制不合适的词汇表征以最终完成词切分,后者则假设各单字严格按照自左向右的顺序构成词汇(吴俊等人,2008;Wu, Slattery, Pollatsek, & Rayner, 2008)。

尽管缺乏引导眼跳落点的空格视觉信息,但 Yan 等人(2010)发现,中文阅读中存在类似于拼音文字式的首次注视位置偏好现象,提示至少有部分眼跳是以词为目标发动的。中文读者可在预览过程中提取词 $n+1$ 的语义信息(王穗莘等,2009),表明读者先通过词汇加工达到词切分,随后部分眼跳依据这些词切分线索发动,以此实现认知系统与眼跳系统的协调。如果确实存在词切分现象,那么通过外加方式促进和延缓相应的词汇加工速度必将增大词切分成功的概率,进而改变读者的眼动模式(如凝视时间、再注视概率和跳读率等)。考虑到颜色信息的加工特点以及两种颜色的强烈对比对客体知觉具有突显作用(Wolfe, Butcher, Lee, & Hyle, 2003),我们借助眼动随动显示(eye-movement-contingent display)技术,通过改变相应兴趣区域内文字的颜色,将目标词显现出来,从而在文本中形成一个物理边界,以此达到促进(实验一)相应词汇加工的目的。我们认为:如果词切分发生于词 n 的词汇加工进程中,那么改变词 n 及其左侧文本的颜色将会对眼动过程产生影响;如果词切分发生在词 $n+1$ 的词汇加工进程中,则改变词 $n+1$ 及其左侧文本颜色将会对眼动过程产生影响。同样道理,实验二通过提供错误的词边界信息延缓相应的词汇加工速度,进而干扰词切分过程。总之,本研究旨在从正反方面考察词切分现象以确定其发生的位置与数量。

2 实验一:协助词切分对汉语阅读过程的影响

2.1 方法

2.1.1 被试 16 名大学生参加了本次实验,其中男生 8 人,女生 8 人。被试的视力或矫正视力正常,之前均未参加过类似的实验。实验结束后可获得一定数量的报酬。

2.1.2 实验材料 实验的正式材料为 60 个句子。每个句子都是由 7 到 10 个双字词组成。实验句子的平均通顺性为 6.29(采用 7 点评定,分值越高,越通顺),平均难易程度为 1.65(采用 7 点评定,分值越低,越简单)。15 位未参加本实验的非中文系本科

生对材料句子中词之间的边界进行划分,以词边界划分正确的词数除以该句子中总的词数来计算词划分的一致性,结果发现词划分的一致性达到 95%。

2.1.3 实验设计 实验采用单因素被试内设计,共有四种不同的实验条件,即随着注视点位置变换:(1)条件 1,词 n 与其左侧文本字体由红变黑,此

操作有助于将词 n 从其后面的文本中切分出来;(2)条件 2,词 n+1 与其左侧文本字体由红变黑,此操作有助于将词 n+1 从其后面的文本中切分出来;(3)条件 3,仅词 n 的字体由红变黑,此操作可排除词 n 两侧文字的干扰;(4)控制条件,即正常呈现的红色字体句子。详情见图 1。

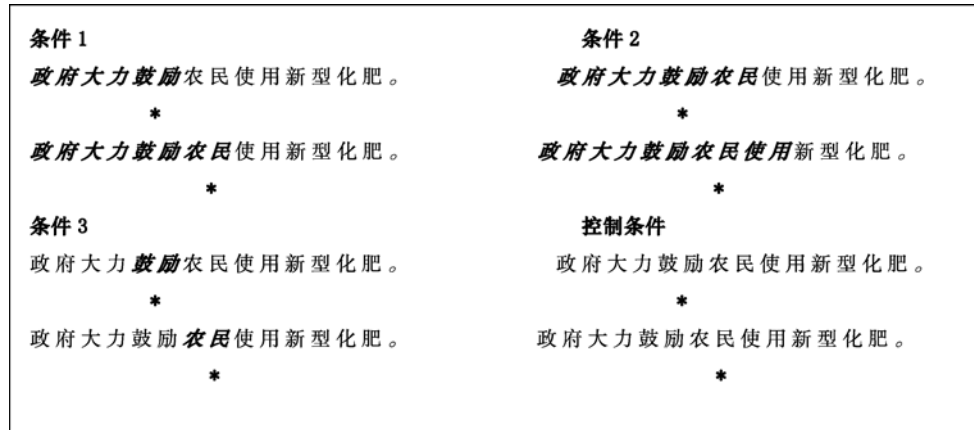


图 1 动态文本呈现条件示意图(“*”代表注视点,斜体加粗表示改变颜色的文字)

60 个正式实验句子被随机均分为 4 组,实验条件按照拉丁方的顺序在各组之间进行轮换,即生成四个实验文件,每个文件内包括同样的 60 个正式实验句子,这样可以保证所有的句子都会接受四种实验处理。各个实验文件内部的实验句子随机呈现。在以上四个实验程序中,控制条件的字体为红色,非正常呈现条件均是依照注视点位置将相应的文字由红色转换为黑色。为了平衡颜色转换可能产生的影响,本实验增加了另外相应的四个实验程序,其中非正常呈现句子的字体颜色由黑转红,正常呈现的句子的字体颜色均为黑色。

2.1.4 实验仪器 实验采用加拿大 SR 公司生产的 Eye Link II 型眼动仪呈现材料并记录被试的眼动。该型眼动记录仪的采样频率为 500 次/秒,呈现材料的电脑刷新频率为 150 Hz。刺激在一个 19 英寸、分辨率为 1024×768 的 DELL 显示器上呈现。被试距离屏幕为 75 cm,在 2°视角内可以看到 3 个汉字,一个汉字的宽度约为 28×28 像素,每个汉字呈 0.63°视角。

2.1.5 实验程序 对每个被试单独施测。被试进入实验室后,坐在仪器前,戴好头盔,用头托固定头部。实验开始前呈现指导语,确保被试理解整个实验程序后对仪器进行眼校准,校准结束后呈现 12 个练习句让被试熟悉实验过程。然后,进行正式实

验。为确保被试能真正阅读文字内容,在 6 个练习句子和 27 个正式实验句子之后会呈现若干问题,要求被试根据前面刚看过文本的内容做按键反应。整个实验过程中被试每读完 5 个句子后就重新校准仪器一次,主试实时监视眼动仪器,并在任何需要的时候重新校准仪器。整个实验过程持续大约 25 分钟。

2.2 结果

实验数据采用 SPSS 13.0 和 SR 公司提供的眼动数据分析软件“Data Viewer”进行分析。所有因变量均采用被试(F_1)和项目(F_2)的重复测量方差分析。**2.2.1 整体分析** 整体分析是对阅读过程中所有注视和眼跳行为所进行的分析,包括总阅读时间(阅读过程中所有注视时间和眼跳持续时间的总和)、注视次数(落在句子上的注视点的个数)、平均眼跳幅度(阅读过程中所有眼跳的平均距离)和平均注视时间(阅读过程中所有注视点的平均持续时间)。实验一的阅读正确率和整体分析结果见表 1。

方差分析的结果表明:(1)不同条件下的阅读正确率差异不显著, $F_1(3,45)=0.75, p=0.53; F_2(3,75)=0.79, p=0.50$ 。(2)不同条件下的总阅读时间差异不显著, $F_1(3,45)=0.39, p=0.76; F_2(3,177)=1.16, p=0.33$ 。(3)不同条件下的注视次数差异不显著, $F_1(3,45)=0.52, p=0.61; F_2(3,177)=1.08, p=0.36$ 。(4)不同条件

下的平均眼跳幅度存在显著差异, $F_1(3,45)=3.64$, $p<0.05$; $F_2(3,177)=5.33$, $p<0.05$ 。事后检验表明, 条件 2 的平均眼跳幅度显著大于控制条件($p<0.05$)。(5)不同条件下的平均注视时间在被试分析中达到了显著水平, $F_1(3,45)=3.23$, $p<0.05$, 而在项目分析中的差异不显著, $F_2(3,177)=1.79$, $p=0.15$ 。事后检验显示, 条件 3 的平均注视时间显著大于控制条件($p<0.05$)。

以上分析显示, 阅读正确率、总注视时间和注视次数没有显著差异, 说明本实验各种处理并没有从整体上影响被试的阅读效率。但是, 从表 1 的数据中可以清晰地发现两个规律: (1)非正常呈现条件中存在权衡注视时间和次数的眼动策略; (2)条件 2 的眼跳幅度显著高于其他条件。这些结果可能是协

助断词改变了读者的眼跳目标选择策略所致。

2.2.2 兴趣区眼动数据分析 为了排除词长对断词的影响, 本次实验采用的实验材料均为由双字词构成的句子, 每个词语都可看为一个兴趣区, 每个兴趣区占据相同的长度。

兴趣区的眼动指标包括平均凝视时间(第一遍阅读时对所有兴趣区的凝视时间的平均值)、首次注视时间(对所有兴趣区内的首次注视时间的平均值)、跳读次数(第一遍阅读时被跳读的兴趣区的个数)、再注视兴趣区数(第一遍阅读时获得两次或两次以上注视的兴趣区的数量)和回视次数(阅读过程中由右侧兴趣区指向左侧兴趣区的眼跳个数)。具体数据见表 2 所示。

表 1 实验一四种呈现条件下眼动的整体分析结果

自变量	阅读正确率	总阅读时间(ms)	注视次数	平均眼跳幅度(°)	平均注视时间(ms)
控制条件	0.91(0.03)	3084(723)	11.8(2.2)	2.1(0.3)	234(25)
条件 1	0.90(0.03)	3166(908)	11.9(2.9)	2.2(0.3)	239(27)
条件 2	0.90(0.03)	3039(837)	11.6(2.6)	2.3(0.3)	234(29)
条件 3	0.96(0.02)	3065(835)	11.5(2.7)	2.2(0.2)	241(27)

注: 括号内为标准差, 下同。

表 2 实验一四种呈现条件下兴趣区的眼动数据

自变量	平均凝视时间(ms)	首次注视时间(ms)	跳读次数	再注视兴趣区数	回视次数
控制条件	287(45)	234(24)	2.2(0.9)	1.2(0.6)	2.1(0.6)
条件 1	290(47)	239(26)	2.1(0.9)	1.2(0.6)	2.1(1.0)
条件 2	273(41)	234(25)	2.3(0.8)	0.9(0.5)	2.2(0.9)
条件 3	283(40)	242(28)	2.1(0.7)	1.1(0.6)	2.1(0.9)

方差分析的结果表明: (1)对于平均凝视时间, 不同呈现条件下被试分析的差异显著, $F_1(3,45)=4.78$, $p<0.05$; 项目分析的差异边缘显著, $F_2(3,177)=2.20$, $p=0.09$ 。事后检验表明, 条件 2 的平均凝视时间显著短于控制条件($p<0.05$), 其他条件之间的差异不显著($p>0.05$)。(2)对于首次注视时间, 被试分析的差异显著, $F_1(3,45)=3.22$, $p<0.05$; 项目分析的差异不显著, $F_2(3,177)=1.77$, $p=0.15$ 。事后检验表明, 条件 2 和控制条件下的首次注视时间均显著短于条件 3($p<0.05$)。(3)对于跳读次数, 不同呈现条件的被试分析边缘显著, $F_1(3,45)=2.47$, $p=0.07$; 项目分析的差异显著, $F_2(3,177)=3.64$, $p<0.05$ 。事后检验表明, 条件 2 的跳读次数显著多于条件 3($p<0.05$)。(4)对于再注视兴趣区数, 不同呈现条件之间存在显著差异, $F_1(3,45)=5.75$, $p<0.05$; $F_2(3,177)=3.77$, $p<0.05$ 。事后检验表明, 条件 2 的再注视兴趣区数显著少于

控制条件和条件 1($p<0.05$)。(5)对于回视次数, 不同呈现条件之间不存在显著差异, $F_1(3,45)=0.17$, $p=0.92$; $F_2(3,177)=0.18$, $p=0.91$ 。

2.3 讨论

在实时变换词语 n 及其左侧文本的颜色(条件 1)的情境下, 其眼动数据与控制条件之间没有显著差异, 但在变换词语 $n+1$ 及其左侧文本的颜色(条件 2)的情境下, 其平均眼跳幅度显著高于其他条件。条件 2 的数据初步说明在词 $n+1$ 上有词切分发生。兴趣区数据显示, 条件 1 各项指标与控制条件依然没有显著差异, 但条件 2 的平均凝视时间和再注视兴趣区数都显著低于控制条件, 跳读次数则显著多于控制条件, 说明该条件加速了词 $n+1$ 的激活速度, 从而导致其在竞争眼跳目标过程中获取较之正常阅读时更大的优势。在凸显词 n 的条件 3 中, 被试的平均注视时间较长, 注视次数、跳读次数和

再注视兴趣区数较少, 即被试倾向于采取逐个注视每个词语的眼动策略来完成阅读任务。条件 3 与条件 1 的差别在于是否能够清晰地标记出词 n-1 与词 n 的边界, 两种条件下眼动模式的差别提示注视点左侧词语对当前注视有所影响。

在本实验中, 我们更关注条件 2 与正常呈现(控制条件)之间的差别。条件 2 的处理显然易化了词 n+1 的加工过程, 因而也增加了它与其他词语竞争成为眼跳目标的可能性。具体表现在三个方面: 第一, 增加词 n+1 与词 n 竞争眼跳的力度, 减少了再注视兴趣区数; 第二, 促使词 n+1 在被注视以前获得较多加工, 从而出现较多的跳读次数; 第三, 协助词 n+1 切分的同时也干扰了正常阅读过程中通过发动眼跳平衡词汇激活程度的策略, 被试不得不增加回视次数给予补偿, 所以总体上并没减少总阅读时间。

由于词切分是词汇加工的结果, 因此反映词汇加工过程的凝视时间、再注视和跳读事件是衡量词切分进程的最佳指标。由此可以确定: 至少有一个词切分发生在词 n+1 的加工过程之中。当然, 条件 2 中发现的较短平均凝视时间和较少的再注视兴趣区数也可能是由词 n+1 文本颜色改变导致外源性注意引导眼球运动所致。如果事实确实如此, 则应当在条件 2 中出现较少的首次注视时间和跳读次数, 但表 2 的数据并不支持以上假设。

实验二通过提供词切分的反面证据, 进一步消

除以上疑问。

3 实验二: 干扰词切分对汉语阅读过程的影响

与实验一相同, 实验二也包含了相应的四种条件(三种实验处理, 一种正常显示), 但这些处理不仅不能为词切分提供相应的线索, 反而会在一定程度上对该词汇加工起到干扰作用。如果实验一的结果可以归因于外源注意的影响, 那么实验二将能获得与实验一相似的数据模式, 否则将不支持外源注意效应的解释。

3.1 方法

3.1.1 被试 16 名大学生参加了本次实验, 其中男生 6 人, 女生 10 人。被试的视力或矫正视力正常, 之前均未参加过实验一, 也未参加过类似的眼动实验。实验结束后可获得一定的报酬。

3.1.2 实验材料和实验设计 实验材料和实验设计均同实验一。不同的是, 实验一将每个双字词划为一个兴趣区, 仪器依照注视点是否落入该区域而改变区域内字体的颜色, 而实验二将所有兴趣区向左平移一个字的距离, 从而将本来不属于同一词的两个字划分到一个兴趣区(句首和句末兴趣区内仅保留一个汉字)。这样, 实验二的三种处理不仅不能协助相应的词切分, 反而会对词切分产生干扰。详情见图 2。

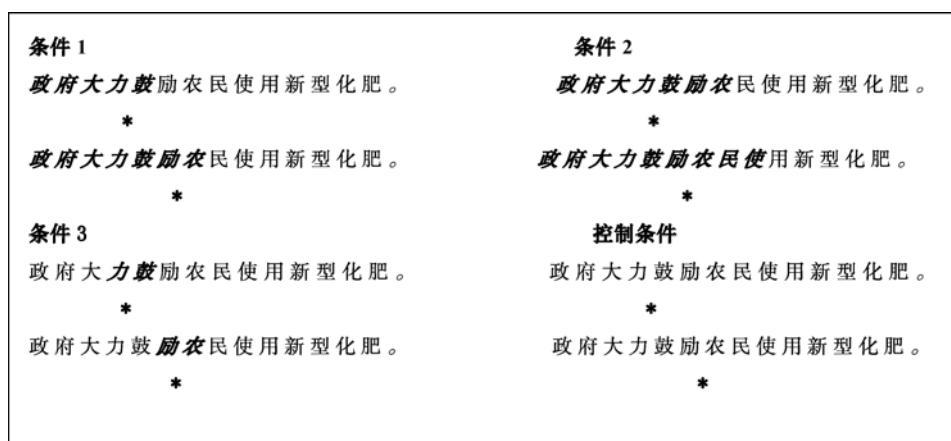


图 2 实验二呈现条件示意图(“*”代表注视点, 斜体加粗表示改变颜色的文字)

3.1.3 实验仪器和实验程序 实验仪器和实验程序均同实验一。

3.2 结果

3.2.1 整体分析 每种实验条件下各项整体指标的平均值和标准差见表 3。

方差分析显示: (1)不同呈现条件下的阅读正确率不存在显著差异, $F_1(3,45)=0.22, p=0.88$; $F_2(3,75)=0.45, p=0.72$ 。(2)不同呈现条件下总阅读时间的差异边缘显著, $F_1(3,45)=2.18, p=0.10$; $F_2(3,75)=2.33, p=0.08$ 。事后检验显示, 条件 1 和控制条件的总阅读

时间显著短于条件 3($p < 0.05$)。(3)不同呈现条件下的注视次数不存在显著差异, $F_1(3,45)=0.72$, $p=0.56$; $F_2(3,177)=0.68$, $p=0.55$ 。(4)不同呈现条件下的平均眼跳幅度没有显著差异, $F_1(3,45)=0.82$, $p=0.49$; $F_2(3,177)=0.95$, $p=0.42$ 。(5)不同呈现条件下平均注视时间的差异显著, $F_1(3,45)=10.53$, $p < 0.05$; $F_2(3,177)=7.65$, $p < 0.05$ 。事后检验表明, 条件 3 的平均注视时间显著大于其他条件, 条件 1 显著大于控制条件 ($p < 0.05$)。

表 3 实验二四种呈现条件下眼动的整体分析结果

自变量	阅读正确率	总阅读时间(ms)	注视次数	平均眼跳幅度(°)	平均注视时间(ms)
控制条件	0.92(0.13)	3037 (622)	11.6(2.3)	2.2(0.6)	236(27)
条件 1	0.94(0.10)	3097(788)	11.3(2.4)	2.2(0.4)	247(23)
条件 2	0.93(0.09)	3175 (836)	11.8(2.7)	2.3(0.5)	242(25)
条件 3	0.92(0.11)	3303 (668)	11.8(2.1)	2.2(0.4)	254(29)

表 4 实验二四种呈现条件下兴趣区的眼动数据——以词划分兴趣区

自变量	平均凝视时间(ms)	首次注视时间(ms)	跳读次数	再注视兴趣区数	回视次数
控制条件	288(53)	235(34)	2.1(0.7)	1.5(0.7)	2.3(1.0)
条件 1	303(45)	247(31)	2.0(0.6)	1.3(0.6)	2.1(0.9)
条件 2	286(43)	239(28)	2.0(0.5)	1.4(0.6)	2.1(0.9)
条件 3	305(59)	251(40)	1.9(0.6)	1.3(0.6)	2.2(0.8)

表 5 实验二四种呈现条件下兴趣区的眼动数据——以字划分兴趣区

自变量	平均凝视时间(ms)	首次注视时间(ms)	跳读次数	再注视兴趣区数	回视次数
控制条件	282(49)	236(30)	2.3(0.7)	1.2(0.6)	2.4(1.2)
条件 1	291(41)	247(32)	2.0(0.8)	1.0(0.5)	2.1(0.9)
条件 2	274(40)	240(29)	2.1(0.8)	0.9(0.6)	2.2(0.9)
条件 3	300(47)	253(34)	2.0(0.8)	1.1(0.4)	2.2(0.9)

对表 4 相应数据的方差分析表明:(1)不同条件下的平均凝视时间存在显著差异, $F_1(3,45)=4.05$, $p < 0.05$; $F_2(3,177)=3.30$, $p < 0.05$ 。事后检验表明, 条件 1 和条件 3 的平均凝视时间显著长于控制条件 ($p < 0.05$)。(2)不同条件下的首次注视时间存在显著差异, $F_1(3,45)=5.33$, $p < 0.05$; $F_2(3,177)=3.77$, $p < 0.05$ 。事后检验表明, 条件 1 和条件 3 的首次注视时间显著长于控制条件 ($p < 0.05$)。(3)不同条件下跳读次数的被试分析差异显著, $F_1(3,45)=3.59$, $p < 0.05$; 项目分析的差异达到边缘显著 $F_2(3,177)=2.26$, $p = 0.08$ 。事后检验表明, 条件 2 和条件 3 的跳读次数显著少于控制条件 ($p < 0.05$)。(4)不同条件下再注视兴趣区数的差异不显著, $F_1(3,45)=0.46$, $p = 0.79$; $F_2(3,177)=0.57$, $p = 0.64$ 。(5)不同条件下的回视次数不存在显著差异, $F_1(3,45)=0.87$, $p = 0.46$; $F_2(3,177)=$

3.2.2 兴趣区眼动数据分析 实验二中兴趣区眼动数据采取的指标与实验一完全相同。但是, 在转换兴趣区内字体颜色时, 实验二将相邻两个不属于同一个单词的字被划分到一起。据此, 在实验二中对兴趣区眼动数据的分析采用了两种不同的方式: 一种兴趣区的分析完全以词为单位(以词划分兴趣区, 与实验一相同); 另一种分析则将相邻两个不属于同一个单词的字被划分到一起(以字划分兴趣区)。实验二两种兴趣区的眼动数据见表 4 和表 5。

0.60, $p = 0.68$ 。

实验二有两个目的: 第一, 考察干扰相应的词切分能否改变中文读者相应的眼动过程, 从而为假想的词切分提供反向证据; 第二, 排除实验一得到的结果完全是外源注意引导眼球运动所致。整体分析中总阅读时间、平均注视时间以及表 4 中的平均凝视时间、再注视兴趣区数和跳读次数都为词切分假设提供了反向证据。但是, 以词为单元划分的兴趣区(表 4)与实验二中字体转换颜色的区域划分并不一致, 它不能达到第二个目的。因此, 对以双字为单元划分的兴趣区的数据进行分析很有必要。

对表 5 相应数据的方差分析表明:(1)不同条件下的平均凝视时间存在显著差异, $F_1(3,45)=6.16$, $p < 0.05$; $F_2(3,177)=5.79$, $p < 0.05$ 。事后检验表明, 条

件 3 的平均凝视时间显著长于条件 2 和控制条件 ($p < 0.05$)。 (2) 不同条件下的首次注视时间存在显著差异, $F_1(3,45) = 5.23$, $p < 0.05$; $F_2(3,177) = 3.85$, $p < 0.05$ 。 事后检验表明, 条件 1 和条件 3 的首次注视时间显著长于控制条件 ($p < 0.05$)。 (3) 不同条件下的跳读次数存在显著差异, $F_1(3,45) = 9.38$, $p < 0.05$; $F_2(3,177) = 4.55$, $p < 0.05$ 。 事后检验表明, 非正常呈现条件的跳读次数均显著少于控制条件 ($p < 0.05$)。 (4) 不同条件下的再注视兴趣区数差异显著, $F_1(3,45) = 5.07$, $p < 0.05$; $F_2(3,177) = 3.97$, $p < 0.05$ 。 事后检验表明, 条件 2 的再注视兴趣区数显著少于控制条件 ($p < 0.05$)。 (5) 不同条件下的回视次数的差异不显著, $F_1(3,45) = 1.97$, $p = 0.14$; $F_2(3,177) = 1.26$, $p = 0.29$ 。

3.3 讨论

实验二的非正常呈现条件从某种程度上对词切分起到了干扰作用, 它们不仅导致总的阅读时间和平均注视时间明显高于控制条件, 而且降低了跳读次数。 虽然两种兴趣区指标分析所针对的兴趣区不同, 但非正常呈现与控制条件的差异模式基本相同。 条件 3 严重阻碍了被试的阅读过程, 即本实验在动态词切分情境下重复得到了白学军和沈德立等人的结果 (Bai et al., 2008; 沈德立等人, 2009)。 重要的是, 在两种兴趣区分析中, 条件 2 的平均凝视时间、首次注视时间和再注视兴趣区数与控制条件之间都没有显著差异, 跳读次数却少于控制条件。 实验一、二中条件 2 的眼动数据均与正常呈现之间差异模式完全不同, 说明实验一得到的结果不是由外源注意引导眼动所致。

4 总讨论

在汉语阅读中, 眼跳选择目标是否以词汇为基础的争论由来已久。 早期一些研究者没有发现词的注视点位置偏好现象, 因此认定字是汉语阅读中选择眼跳目标的基础 (Tsai & McConkie, 2003; Yang & McConkie, 1999; Yang & McConkie, 2004)。 但是, Yan 等人 (2010) 却得到与之不同的结果。 如果中文读者以词为单元选择眼跳目标, 那么至少在词 $n+1$ 处存在一个断词过程。 然而, 已有的方法难以有效揭示词切分发生的位置和阶段。 本研究采用动态的文本呈现方式发现, 协助词切分不能减少总阅读时间, 但阻碍词切分损毁了阅读效率。 更重要的是, 本研究对词切分的位置和数量的考察验证并深化了前人对词切分的理解。 我们发现, 协助词切分不

仅增加了跳读次数, 也减少了平均凝视时间, 而 Bai (2008) 等人没有发现协助词切分对凝视时间的影响。 造成此差异的原因有三个: (1) 在词间增加空格使词汇远离注视中心从而降低了其在预视阶段的加工速度 (吴俊等, 2008), 且难以抵消刺激的新异性对阅读带来的消极影响; (2) 给词汇添加背景颜色并不是对词的直接操作, 因此其对词汇加工带来的促进作用有限; (3) Bai 等人 (2008) 所使用的句子由单字词、双字词和三字词构成, 而本研究所选用的句子都由双字词构成, 较好地平衡了词长带来的误差。

实时改变词 $n+1$ 以左文字的字体颜色可影响读者的眼动模式, 表明至少有一个词切分与词 $n+1$ 的加工有关。 在阻碍词切分的实验二中, 除了条件 3 以外, 条件 1 和条件 2 都没有影响读者阅读效率, 这可能与词切分策略有关。 下面, 我们将对这些问题进行深入的讨论。

4.1 词 $n+1$ 的切分效果

研究者一般都将阅读中首次注视偏好位置效应和最佳注视位置效应看作是支持词汇在眼动控制中占据重要地位的直接证据 (Yang & McConkie, 2004)。 首次注视偏好位置效应是指读者倾向于将首次注视点着落于词的中心略微偏左位置的现象。 最佳注视点位置效应则是指: 首次注视着落于目标词开端和末尾时所产出的再注视兴趣区数明显多于首次注视着落于词中央位置时; 着落于目标词中央位置时的单一注视持续时间显著少于着落于两端时 (Nuthmann, Engbert, & Kliegl, 2005, 2007)。 中文中不存在外在的词边界, 目标词汇只有在被注视之前得到特定的语义加工, 才能保证其作为备用眼跳目标的可能性。 因此, 从逻辑上讲, 加速或者延缓对词 $n+1$ 的预视语义加工, 必将对随后的注视位置、注视时间和再注视概率产生影响。 本研究发现, 协助或延缓断词进程都对眼动模式 (跳读次数、再注视兴趣区数、平均凝视时间和首次注视区域分布概率, 后者见图 3 和图 4) 产生了影响, 表明确实存在切分词 $n+1$ 的现象。

实验一的条件 2 在物理上协助读者将词 $n+1$ 从其随后的文本中分离出来, 加速了对该词的加工, 从而改变了基于词的眼动数据。 实验二的相应条件并没有改变眼动模式, 所以可认为实验一的结果并非由外源注意或人为引入词切分过程所致。 具体理由包括以下三点: 首先, 两个实验中各种颜色转换方式作为系统误差被平衡, 且不存在显著的主效应

及其与呈现方式的交互作用($F < 1.5, p > 0.05$); 由此可认为词汇加工是影响眼动数据的主导因素。其次, 如果实验一的结果是由外源注意引导的眼动所致, 那么在协助词 $n+1$ 切分的条件下应该可到较少的首次注视时间和跳读次数, 但事实完全相反。同时, 实验二发现, 阻碍词切分未减少首次注视时间, 却导致较少的跳读次数。这些结果均与外源注意影响实验结果的预测不符。第三, 协助与阻碍词 $n+1$ 切分对首次注视着落位置分布的影响存在差异(见图 3、图 4)。总之, 这些结果表明预视效应能够在一定程度上达到词切分效果。

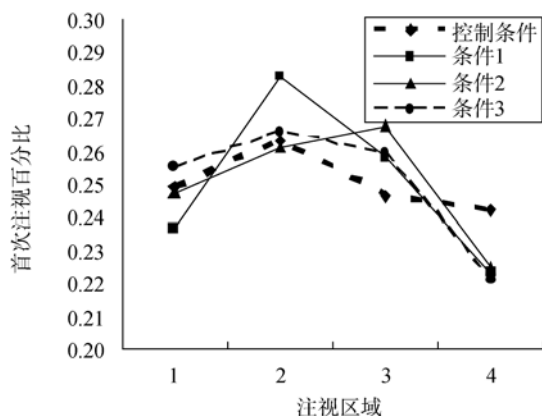


图 3 实验一协助词切分各条件下各区域内首次注视着落次数分布的百分比

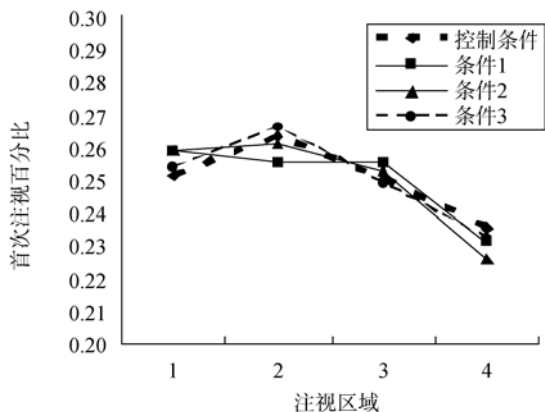


图 4 实验二阻碍词切分各条件下各区域内首次注视着落次数分布的百分比

4.2 词 n 的切分效果

通常情况下被注视的词能够获得最大的加工速度。逻辑上讲, 实验一的条件 1 和条件 3 都能加快对词 n 的识别速度, 可节省注意资源进而为切分和识别词 $n+1$ 提供便利, 而实验二的非正常呈现条件模糊了词边界线索, 会影响随后的词切分、眼跳

目标选择和凝视时间。不过, 有两个因素可导致凝视时间和再注视指标难以反映词 n 的切分进程: 第一, 中文读者完全可以依据副中央凹阶段的词切分成果, 而无需再次切分; 第二, 切分词 n 和调整首次注视位置误差都会导致再注视(Yan et al., 2010; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 1999; Engbert et al., 2005)。

不过, 通过对首次注视点着落位置的分析, 可考察加快词 n 加工能否促进词 $n+1$ 的切分(Inhoff & Radach, 1998; Radach & Kennedy, 2004; Rayner, 1998)。我们将每个双字词在水平上均分为 4 个区域(每个区域内包括半个汉字), 对两个相邻词之间眼跳导致的首次注视点在各区域次数分布的百分比进行了统计(见图 3、图 4)。尽管四种条件下都存在首次注视偏好于第 2 区域的现象, 但随后的方差分析显示(为了避免所有区域内部首次注视分布概率相加和为 1, 我们只分析了后三个区域内的数据): 实验一的控制条件和条件 3 中区域主效应不太明显, 而协助切分词 n 和词 $n+1$ 的条件却表现出显著的区域主效应(控制条件: $F_1(2,30)=0.81, p=0.45; F_2(2,118)=2.83, p=0.06$; 条件 1: $F_1(2,30)=5.31, p<0.05; F_2(2,118)=4.66, p<0.05$; 条件 2: $F_1(2,30)=4.83, p<0.05; F_2(2,118)=3.22, p<0.05$; 条件 3: $F_1(2,30)=1.9, p=0.14; F_2(2,118)=2.09, p=0.13$)。事后检验显示, 在两种协助词切分的条件下读者对第 2、第 3 兴趣区的注视比例显著大于第 4 兴趣区($p<0.05$)。实验二的所有条件下均没有出现明显的首次注视位置偏好效应(控制条件: $F_1(2,30)=2.51, p=0.10, F_2(2,118)=0.02, p=0.98$; 条件 1: $F_1(2,30)=3.00, p=0.07, F_2(2,118)=0.09, p=0.91$; 条件 2: $F_1(2,30)=1.86, p=0.17, F_2(2,118)=0.82, p=0.92$; 条件 3: $F_1(2,30)=2.48, p=0.10; F_2(2,118)=0.91, p=0.40$)。这些结果表明, 促进切分词 n 和词 $n+1$ 的词汇加工都能增加相邻词间眼跳以词为单元选择目标的概率, 而延缓相应的词汇加工则可降低相邻词间眼跳以词为单元选择眼跳目标的概率。

拼音文字阅读中不需要进行词切分, 在再注视时对目标词的首次注视时间显著短于单一注视的持续时间(Kliegl et al., 2006; Schilling, Rayner, & Chumbley, 1998)。研究者认为, 中文读者的首次注视时间之所以显著长于单一注视, 是因为读者在持续较长的首次注视时间内可积累词汇信息, 以最终完成对注视词的切分(Yan et al., 2010)。如果事实确实如此, 阻碍和协助切分词 n 至少应对再注视中的

首次注视时间产生影响。比较两种注视持续时间后发现: 在协助词 n 切分时, 两个注视点的首次注视时间与单一注视的持续时间只相差 4ms, 差异均没有达到显著水平($p>0.05$); 在阻碍词 n 切分时, 两者的差异达到 26ms, 差异非常显著($p<0.05$)。这说明, 在协助切分词的情境下, 阅读者可以利用外部线索加速对词 n 的加工, 而在干扰注视词切分的情境下, 读者必须增加再注视中的首次注视时间, 以便成功切分词 n 。

由此可见, 中文读者除了要执行切分词 $n+1$ 外, 在特定情况下还需要重新切分词 n 。

4.3 两种词切分的关系与词汇激活、加工方式

中文阅读中存在两种词切分现象, 分别与加工词 $n+1$ 和加工词 n 有关: 协助切分词 $n+1$ 可导致再注视概率和凝视时间降低, 表明后者是前者失败后的一种补偿。两种词切分的关系从逻辑上讲存在两种可能: 第一, 词 n 在被注视之前, 读者已经实现对其的切分, 随后在对词 n 的注视时间内, 读者必将开始对词 $n+1$ 的切分, 此时切分词 $n+1$ 可能成功, 亦可能不成功, 即在注视词 n 的时间内读者能够完成 1 或 0 个词的切分; 第二, 词 n 在被注视之前, 读者并未实现对其的切分, 随后读者必须在注视词 n 的时间内既实现对该词的切分, 同时又展开对词 $n+1$ 的切分进程, 考虑到两种词切分都有成功与失败的可能, 因此, 读者能够实现 0 到 2 个词的切分。

中文阅读中存在词切分, 词汇加工是眼跳的参考线索, 这说明中文读者的眼动模式部分符合认知控制理论的预测。两种词切分之间为并列互补关系, 表明中文读者的眼动模式也符合注意梯度导向理论(guidance by attentional gradient)的预测。除此之外, 还有两个证据表明中文读者对词汇的加工在时间上存在重叠: 第一, 实验一的条件 3 与条件 1 的差别在于是否显现注视词的左侧边界, 仅注视词改变颜色迫使读者采取近似于“逐词阅读”的眼跳策略, 该条件下首次注视时间显著大于其他条件, 表明词汇加工并不是眼跳发动的决定因素, 这一结果显然与将熟悉度检验看做是眼跳发动信号的 E-Z 读者模型的预测不符合。第二, 协助词 $n+1$ 切分增加了词 $n+1$ 的加工速度和作为下一眼跳目标的竞争力度, 但读者通过增加回视的方式弥补对左侧词汇加工不足, 即词汇加工不是逐个进行的。

词汇识别与词切分策略密切相关。词汇识别涉及到词汇加工由字到词和由词到字两条激活路径。有研究表明英文词汇激活遵循整体假设, 即读者可

从整体上激活单词表征(Healy, 1976, 1994; Tao, Healy, & Bourne, 1997)。Li 等 (2009)的研究也发现, 中文阅读中的词汇识别和词切分存在整体词与局部单字的交互过程。本研究提供两个证据表明中文读者采用整体的多重激活策略完成双字词句子中的词汇识别与切分: 第一, 单向分析策略难以解释“实验一所有非正常呈现条件都改变读者的眼动模式”这一现象; 第二, 在阻碍词切分的实验二中, 条件 1 和条件 2 都没有影响读者的平均凝视时间, 表明读者可从字面快速进入词汇表征层面, 但条件 3 引入注视词左侧字的干扰却严重阻碍阅读效率, 说明在词汇加工后期读者必须抑制与文本理解无关单字激活。不过, 词切分以快速高效的方式进行(Chen, 1999), 并不意味着读者在完成复合词和非复合词识别时采用同样的词切分策略, 对这一问题仍需要进一步的研究。

5 结论

读者最先在预视中开始对词 $n+1$ 进行加工, 从而在一定程度上实现对词 $n+1$ 的切分; 当对词 $n+1$ 的预视加工未能达到词切分的效果时, 读者随后对该词的注视中继续实现对其的切分。即在汉语阅读中存在两种词切分现象, 一种由加工词 $n+1$ 引起, 另一种由加工词 n 引起。

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. *Acta Psychologica Sinica*, 41, 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 $n-1$ 加工的影响. *心理学报*, 41, 377-386.]
- Bai, X. J., Yan, G. L., Liversedge, S. P., Zang, C. L., & Rayner, K. (2008). Reading spaced and unspaced Chinese text: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 1277-1287.
- Chen, J. Y. (1999). Word recognition during the reading of Chinese sentences: Evidence from studying the word superiority effect. In J. Wang, A. W. Inhoff, & H. C. Chen (Eds.), *Reading Chinese script: A cognitive analysis* (pp. 239-256). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Cui, L., Wang, S. P., Yan, G. L., & Bai, X. J. (2010). Parafoveal-on-foveal interactions in Normal Chinese reading. *Acta Psychologica Sinica*, 42, 547-558.
- [崔磊, 王穗苹, 闫国利, 白学军. (2010). 中文阅读中副中央凹与中央凹相互影响的眼动实验. *心理学报*, 42, 547-558.]
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005).

- SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112, 777–813.
- Healy, A. F. (1976). Detection errors on the word the: Evidence for reading units larger than letters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 235–242.
- Healy, A. F. (1994). Letter detection: A window to unitization and other cognitive processes in reading text. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, 333–344.
- Hsu, S. -H., & Huang, K. -C. (2000). Interword spacing in Chinese text layout. *Perceptual & Motor Skills*, 91, 355–365.
- Inhoff, A. W., & Radach, R. (1998). Definition and computation of oculomotor measures in the study of cognitive processes. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 29–54). Oxford: Elsevier.
- Inhoff, A. W., Radach, R., & Heller, D. (2000). Complex compounds in German: Interword spaces facilitate segmentation but hinder assignment of meaning. *Journal of Memory and Language*, 42, 23–50.
- Inhoff, A. W. & Wu, C., L. (2005). Eye movements and the identification of spatially ambiguous words during Chinese sentence reading. *Memory & Cognition*, 33, 1345–1356.
- Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the mind during reading: The influence of past, present, and future words on fixation durations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 135, 12–35.
- Kliegl, R. (2007). Toward a perceptual-span theory of distributed processing in reading: A reply to Rayner, Pollatsek, Drieghe, Slattery, and Reichle (2007). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 135, 12–35.
- Li, X. S., Liu, P. P., & Ma, G. J. (2011). Advances in cognitive mechanisms of word segmentation during Chinese reading. *Advances in Psychological Science*, 19, 459–470.
- [李兴珊, 刘萍萍, 马国杰. (2011). 中文阅读中词切分的认知机理述评. *心理科学进展*, 19, 459–470.]
- Li, X. S., Rayner, K., & Cave, K. R. (2009). On the segmentation of Chinese words during reading. *Cognitive Psychology*, 58, 525–552.
- Liu, I. M., Yeh, J. S., Wang, L. H., & Chang, Y. K. (1974). Effects of arranging Chinese words as units on reading efficiency. *Chinese Journal of Psychology*, 16, 25–32.
- Nuthmann, A., Engbert, R., & Kliegl, R. (2005). Mislocated fixations during reading and the inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, 45, 2201–2217.
- Nuthmann, A., Engbert, R., & Kliegl, R. (2007). The IOVP effect in mindless reading: Experiment and modeling. *Vision Research*, 47, 990–1002.
- Radach, R., & Kennedy, A. (2004). Theoretical perspectives on eye movements in reading: Past controversies, current deficits and an agenda for future research. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 3–26.
- Radach, R., & McConkie, G. W. (1998). Determinants of fixation positions in words during reading. In: G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp.77–100). Amsterdam: Elsevier.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372–422.
- Rayner, K., Fischer, M. H., & Pollatsek, A. (1998). Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control. *Vision Research*, 38, 1129–1144.
- Rayner, K., Li, X. S., Juhasz, B. J., & Yan, G. L. (2005). The effect of word predictability on the eye movements of Chinese readers. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 1089–1093.
- Rayner, K., Li, X. S., & Pollatsek, A. (2007). Extending the E-Z Reader model of eye movement control to Chinese readers. *Cognitive Science*, 31, 1021–1033.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1996). Reading unspaced text is not easy: Comments on the implications of Epelboim *et al.*'s (1994) study for models of eye movement control in reading. *Vision Research*, 36, 461–465.
- 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.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (1999). Eye movement control in reading: Accounting for initial fixation locations and refixations within the E-Z reader model. *Vision Research*, 39, 4403–4411.
- Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). The E-Z reader model of eye-movement control in reading: Comparisons to other models. *Behavioral and Brain Sciences*, 26, 445–526.
- Reilly, R. G., & Radach, R. (2006). Some empirical tests of an interactive activation model of eye movement control in reading. *Cognitive Systems Research*, 7, 34–55.
- Richter, E. M., Engbert, R., & Kliegl, R. (2006). Current advances in SWIFT. *Cognitive Systems Research*, 7, 23–33. *Performance*, 136, 530–537.
- Schilling, H. E. H., Rayner, K., & Chumbley, J. I. (1998). Comparing naming, lexical decision, and eye fixation times: Word frequency effects and individual differences. *Memory and Cognition*, 26, 1270–1281.
- Shen, D. L., Bai, X. J., Zang, C. L., Yan, G. L., Feng, B. C., & Fang, X. H. (2010). Effect of word segmentation on beginners' reading: Evidence from eye movements. *Acta Psychologica Sinica*, 42, 159–172.
- [沈德立, 白学军, 臧传丽, 闫国利, 冯本才, 范晓红. (2010). 词切分对初学者句子阅读影响的眼动研究. *心理学报*, 42, 159–172.]
- Tao, L., Healy, A. F., & Bourne, L. E., Jr. (1997). Unitization in second-language learning: Evidence from letter detection. *American Journal of Psychology*, 110, 385–395.
- Tsai, J. L., & McConkie, G. W. (2003). Where do Chinese readers send their eyes? In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 159–176). Oxford, UK: Elsevier.
- Wang, S. P., Tong, X. H., Yang, J. M., & Leng, Y. (2009). Semantic codes are obtained before word fixation in Chinese sentence reading: Evidence from eye movements. *Acta Psychologica Sinica*, 41, 220–232.
- [王穗萍, 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, 220–232.]
- Wu, J., Mo, L., & Leng, Y. (2008). The processing of 3-character word is faster than 2-character word in Chinese reading. *Psychological Exploration*, 28(2), 41–48.
- [吴俊, 莫雷, 冷英. (2008). 中文词汇切分对眼动数据的影响. *心理学探新*, 28(2), 41–48.]
- Wu, J., Slattery, T. J., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2008). Word segmentation in Chinese reading. In K. Rayner, D.

- Shen, X. Bai, & G. Yan (Eds.), *Cognitive and cultural influences on eye movements* (pp. 303–314). Tianjin: Tianjin Peoples Press/Psychology Press.
- Wolfe, J. M., Butcher, S. J., Lee, C., & Hyle, M. (2003). Changing your mind, on the contributions of top-down and bottom-up guidance in visual search for feature singletons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 483–502.
- Yan, G. L., Tian, H. J., Bai, X. J., & Rayner, K. (2006). The effect of word and character frequency on the eye movements of Chinese readers. *British Journal of Psychology*, 97, 259–268.
- Yan, M., Kliegl, R., Richter, E. M., Nuthmann, A., & Shu, H. (2010). Flexible saccade-target selection in Chinese reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63, 705–725.
- Yan, M., Kliegl, R., Shu, H., Pan, J. E., & Zhou, X. L. (2010). Parafoveal load of word N+1 modulates preprocessing effectiveness of word N+2 in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36, 1669–1676.
- Yan, M., Richter, E. M., Shu, H., & Kliegl, R. (2009). Chinese readers extract semantic information from parafoveal words during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16, 561–566.
- Yan, G. L., Zhang, X., & Bai, X. J. (2010). An eye movement study of the effect of plausibility on Chinese sentence reading. *Psychological Science*, 33, 1035–1037.
- [闫国利, 张霞, 白学军. (2010). 合理性对中文句子阅读影响的眼动研究. *心理科学*, 33, 1035–1037.]
- Yang, H. -M., & McConkie, G. W. (1999). Reading Chinese: Some basic eye-movement characters. In J. Wang, A. W. Infhoff, & H. -C. Chen (Eds.), *Reading Chinese script: A cognitive analysis* (pp. 207–222). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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, 1192–1204.
- Yang, S. -N., & McConkie, G. W. (2004). Saccade generation during reading: Are words necessary? *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 226–261.
- Yen, M. -H., Radach, R., Tzeng, O. J. -L., Hung, D. L., & Tsai, J. -L. (2009). Early parafoveal processing in reading Chinese sentences. *Acta Psychologica*, 131, 24–33.

The Locations of Word Segmentation in Chinese Reading: Research Based on the Eye-Movement-Contingent Display Technique

ZHANG Zhi-Jun; LIU Zhi-Fang; ZHAO Ya-Jun; JI Jing

(Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China)

Abstract

Recent studies have demonstrated that words are fundamental units in Chinese reading (Bai et al., 2008; Yan et al., 2010). Yan et al. (2010) suggested a two-stage process model for Chinese reading. If parafoveal word segmentation is successful for target selection, readers will aim at the center of the target word. If not, readers will gaze at the beginning of the next word. Given these hypotheses, we examine whether the assistance in word segmentation promotes reading. Two experiments were conducted using the eye-movement-contingent display technique.

The sentences used in both experiments consisted of 7 to 10 two-character words. These stimuli were balanced following a Latin-square design. There were four treatments of sentences in Experiment 1. As Word n was fixated, (1) the color of Word n and all words to its left changed from red to black, (2) the color of Word n+1 and all words to its left changed from red to black, (3) only the color of Word n changed from red to black, and (4) normal sentences were presented in red. Moreover, the four corresponding treatments from black to red were added to correspond to these changes. The first treatment facilitated the segmenting of Word n from its subsequent text, the second facilitated the segmenting of Word n+1, the third drew attention to Word n, and the normal sentences provided a baseline. As a result, there were no significant differences in reading time and the number of fixations among four experimental treatments ($p>0.05$). However, the mean gaze time and the number of words refixated in the second treatment were lower than those in the baseline group ($p<0.05$), whereas the mean saccade length and the number of words skipped were higher ($p<0.05$).

The results of Experiment 1 showed that Chinese readers always segmented Word n+1 from its subsequent

texts as they fixated on Word *n*. However, we cannot exclude the possibility that exogenous attention leads readers to fixate for less time. Therefore, a second experiment was conducted. Experiment 2 adopted similar treatments as Experiment 1, but the two adjacent characters not belonging to a word were grouped and changed color together. In other words, the manipulations did not provide cues to facilitate word segmentation. Consequently, there were no significant differences in mean saccade length, the number of fixations, the number of words refixated and skipped, and the number of regressions among different treatments ($p > 0.05$). However, there were reliable differences in mean fixation duration, gaze duration, first fixation duration, the number of words skipped and sentence reading time between the third treatment and the baseline group ($p < 0.05$), indicating that the treatment significantly interrupted reading.

The patterns of eye movements in Experiment 2 differed from those in Experiment 1. Thus, the results obtained in Experiment 1 were not due to exogenous attention. The distribution of the first fixation on the word zones was checked, and the fixation duration in the single-fixation situation and the first fixation duration in the two-fixation situation were compared. The latter was longer than the former in Experiment 2, whereas there was no difference in Experiment 1. Therefore, we concluded that there were two types of word segmentations. First, readers attempted to segment Word *n*+1 from its subsequent text as they fixated on Word *n*. Second, readers continued to segment the word as it was fixated on if the first segmentation failed.

Key words Chinese reading; eye movements; word segmentation; eye-movement-contingent display