

• 研究前沿(Regular Articles) •

阅读中的注意分配：序列与平行之争*

马国杰^{1,2} 李兴珊²

(¹中国科学院心理研究所行为科学重点实验室, 北京 100101) (²中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要 阅读中的注意分配问题是区分目前占主导地位的两类眼动控制模型的核心因素, 基于序列分布假设的眼动控制模型与基于平行注意分布的眼动控制模型在对眼动行为的预测中存在一些显著的差异, 譬如一次注视下能否深度加工知觉广度内的一个以上词汇的信息。文章围绕两类模型对该问题的不同预测, 深入探讨了两类模型的核心差异以及相关实验证据, 并概括其它相关领域中在知觉广度内关于序列与平行注意分布的研究, 以及对建构中文眼动控制模型的重要意义。

关键词 阅读; 眼动; 注意分配; 序列加工; 平行加工
分类号 B842

1 引言

阅读是伴随文字的出现而产生的, 它是人类及时获取外界信息、增强自身知识储备、提高个人能力以及传递情感信息的重要手段。在现实生活中, 阅读对于每一个有阅读能力的人而言, 就像呼吸一样平常, 它已经成为人类的重要生存方式之一。然而, 如此平常的人类活动, 其潜在的认知机制却困扰了许多不同领域的专家学者。从大的框架上讲, 多个认知系统在阅读任务中的分工情况、文字识别的内部机制、阅读中的眼动控制、阅读中的注意分配等都是颇有争议的问题。而本文主要探讨阅读中注意分配的问题, 在阅读过程中, 注意是平行的分布, 即在知觉广度下所有的词汇都分配了一定程度的注意, 还是序列的分布, 即注意资源一次只能分配到一个词汇上?

阅读中注意分配的讨论必须界定在知觉广度内, 即在可知觉的范围内词汇的加工是序列的还是并行的。因为阅读任务的特殊性, 阅读材料本身即具有一定的序列性, 譬如语序结构、故事情

节等都具有一个固有的顺序结构, 读者为了充分理解句子或者语篇, 必须按照固有的顺序进行有效地阅读。因此, 从大的框架上, 整个句子乃至整个语篇都是序列加工的, 这一点在拼音文字中很少存在争议, 譬如, 跨行之间也是一个序列的过程, 读者很难同时获得不同行的词汇信息(Pollatsek, Raney, Lagasse, & Rayner, 1993; Rayner, 1998)。

阅读中注意分配的讨论还必须从注意领域中的注意分配开始, 因为, 两类阅读模型共同继承了不同的注意分配观点, 只有认识到争议的源头, 理清模型发展的脉络, 才能更好地认识两类模型所确立的方向, 以及更好地了解阅读的认知机制。

在注意领域, 很早就有学者将注意比作聚光灯, 当人们注意一个物体时, 就像聚光灯将光线聚焦在物体上, 在光线聚焦的地方清晰可见, 而其它没有聚焦的地方相对比较模糊(Norman, 1968; Posner, Snyder, & Davidson, 1980)。Posner 在其有重要影响力的论文中, 探讨了注意朝向以及信号检测的问题(Posner, 1980; Posner et al., 1980), 并讨论了内源性注意与外源性注意的不同特征, 证实了外在线索和内在线索都能很好地引导注意的分配, 而注意并不一定与注视点重合, 当我们将注视点集中在中央凹的时候, 注意资源很可能已经转移到副中央凹, 并开始加工副中央凹的信

收稿日期: 2012-01-12

* 国家自然科学基金面上项目(Y0JJ292C01)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(Y0CX222Y01)资助。

通讯作者: 李兴珊, E-mail: lixs@psych.ac.cn

息。有研究者通过实验发现在正常阅读中也存在着内在的注意转移机制,而且以阅读方向为注意转移方向的机制很可能是知觉广度不对称性的根本原因(Inhoff, Pollatsek, Posner, & Rayner, 1989)。

沿着注意的聚光灯理论以及注意序列转移的方向,研究者提出了阅读中的聚光灯理论,认为注意就像聚光灯一样,自动聚焦在阅读有困难的地方,当要加工的信息距离注视点过远而产生知觉困难时,眼睛开始移动,即注意先于眼睛移动到目标位置(McConkie, 1979)。Morrison 模型(Morrison, 1984)也支持注意序列转移的观点,然而,在眼动控制上稍微不同于 McConkie 的理论。Morrison 认为眼动计划是一个平行的过程,即在加工中央凹词汇的同时,也在计划着下一次的眼跳。通过加入眼跳计划的平行机制,使得 Morrison 模型在解释跳读、短暂注视等阅读现象中更具有灵活性。然而, Morrison 的模型在中央凹负荷对预视效应的影响这一现象上遇到了瓶颈。Henderson 与 Ferreira (1990, 1993)发现,当操纵中央凹词频时,预视效应受到干扰,当中央凹词频较大时,能够获得更多的预视效应,而当中央凹词频较小时,预视效应相对减少。作者比较了可能的两种机制,一种是平行分布假设,注意可以分布在知觉广度下的多个词汇上,在注意加工中央凹词汇时,也在加工副中央凹信息,而副中央凹信息的加工受到中央凹词汇难易程度的影响,因为词汇越难,占用的注意资源就越多;另外一种可能的观点是经过修改后的平行计划——序列加工模型,该模型由 Henderson 等人(1990)在 Morrison 模型的基础上加入一个截止时间(Deadline)改造而成,能够很好地解释中央凹负荷对副中央凹词汇加工的影响。此外,作者通过了验证副中央凹是否对中央凹词汇加工造成影响,来区分平行与序列的加工模型,结果没有发现副中央凹词频信息对中央凹词汇注视时间的影响,因此支持了阅读中注意序列转移的假设(Henderson & Ferreira, 1993)。

然而,另外一些研究者,基于注意的平行分布假设,同样获得了一些令人信服的证据。针对 Posner (1980)的观点,有研究者最早用基于物体的注意的观点提出了反驳(Duncan, 1984),研究发现,判断同一物体的两个属性要快于判断不同物体的两个属性。后来的研究中,实验控制上更为严格,排除了基于空间的注意可能导致的差异,

在基于物体的注意上达成了共识,说明了聚光灯假设并不是惟一的注意机制(Baylis & Driver, 1993; Driver & Baylis, 1989; Egly, Driver, & Rafal, 1994)。

除了基于物体的注意为反驳聚光灯假设提供了充足证据之外,研究者还从注意是否能够同时分布在不同物体上对聚光灯理论以及由其延伸的变焦透镜理论(Zoom-len theory) (Eriksen & Yeh, 1985)进行了反驳。研究者发现,注意的规模是可以被操纵的,如果将注意有意识的限定在一个狭窄的范围内,那么,该范围以外的信息很难被知觉,如果不对其进行限制,那么注意可能平行地分布在多个物体单元上(LaBerge, Brown, Carter, Bash, & Hartley, 1991)。此外,研究者还提出了注意的梯度分布理论来解释平行加工机制,研究者通过在电脑屏幕上呈现一排 10 个四方格,每次在一个格子上呈现线索,在线索位置或者其他位置随机呈现一个探测刺激,被试对刺激进行按键反应,作者发现,按键的反应时呈现出从线索位置向两边梯度增加的趋势,因此作者认为注意资源可能由于视敏度的制约,从注视点向两边梯度递减(Downing & Pinker, 1985)。

基于以上不同的注意分布理论,产生了两类重要的阅读模型,一类是序列加工模型,代表者是 E-Z 阅读者模型(Rayner, 1998; Rayner, Sereno, & Raney, 1996; Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003; Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998; Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006),另一类是平行加工模型,代表者是 SWIFT(Saccade-generation with inhibition by foveal targets)模型(Engbert & Kliegl, 2001; Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002; Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005)。这两类模型对眼动数据都有很好的模拟,但在一些核心机制如注意分布上存在显著差异,因此导致在眼动数据的解释和预测中存在一定的分歧。这篇文章围绕两类模型的解释机制,以及在注意分配理论上的分歧,综述其相关实验证据,并概括其他相关领域中注意在知觉广度内的分配情况,以及对建构中文眼动控制模型的重要意义。

2 基于不同注意分配理论下的眼动控制模型及其争议

2.1 E-Z 阅读者模型

以注意的序列分布为核心的 E-Z 阅读者模

型, 从提出至今经历了十多年的考验, 逐渐成为阅读领域眼动控制模型中的典范(Reichle et al., 1998; Reichle, Warren, & McConnell, 2009)。对 E-Z 阅读者模型的深入认识, 需要着重强调词汇加工的阶段论以及注意的转移机制(Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006a; Reichle et al., 2006; Reichle et al., 2009)。

E-Z 阅读者模型将正常阅读中词汇的加工分为三个部分, 第一部分是简单视觉信息的加工阶段(V 阶段), 这个阶段是一个前注意的过程, 不需要注意的参与就可以获得一些最简单的视觉信息, 譬如知觉到空格以及由空格分开的字符串。这个阶段具有平行加工的特点, 加工速率主要取决于视敏度, 在知觉广度下, 距离中央凹越远, 视敏度越低, 加工速率越小。V 阶段不牵涉词汇的处理, 但对空格与词汇信息的知觉, 有效地促进词汇的识别阶段, 譬如对词汇落点的选择等(Rayner, 2009)。第二和第三部分是词汇的加工阶段, 这部分需要注意的参与。第二部分称为 L1 阶段, 代表着熟悉性检验, 是词汇加工的早期阶段, 受到一系列因素的影响, 包括词频、词长、词汇获得年龄、使用频率、最近是否使用、词汇邻居的数量等。研究者认为, L1 阶段是词汇通达的重要开端, 一旦熟悉性检验完成, 预示着可以马上开始下一个词汇的眼跳计划, 所以, L1 阶段完成之后, 自动产生一个计划眼跳的指令。第三部分称为 L2 阶段, 即词汇通达的完成, 该阶段发生在 L1 阶段完成之后, 一旦 L2 阶段完成, 注意就会开始转移到下一个词汇(Pollatsek et al., 2006c; Reichle et al., 1998)。

E-Z 阅读者将眼跳过程分为两个部分, 第一部分是眼跳计划阶段, 又分为两个阶段, 不稳定阶段 M1 以及稳定阶段 M2。词汇熟悉性检验 L1 阶段的完成发出眼跳计划的信号, 即 M1 阶段发起, 这个阶段的眼动计划是不稳定的, 受词汇加工的影响较大。当注视词汇 N (词 N 通常表示当前注视词汇, N+1 阅读方向上下一个词汇, N+2 表示阅读方向上与当前注视词汇间隔一个词汇的词语(Rayner, 1998))的时候, 如果词汇加工阶段完成了词汇 N 的通达, 以及词汇 N+1 的 L1 阶段, 那么词汇 N+1 的 L1 阶段的完成就会释放向词汇 N+2 进行跳读计划的信号, 因此, 对词汇 N+1 的跳读随之取消。M1 阶段之后是 M2 阶段, 即稳定眼跳

阶段, 在这个阶段, 跳读不受词汇加工的影响, 即已经确定跳读目标, 便不可更改。

对于一些基本的眼动现象, E-Z 阅读者模型有很好的理论框架进行诠释。E-Z 阅读者模型认为, 主要有三个因素影响词汇的注视时间: 词频、预测性和词长, 真实的实验数据也说明了这一点。该模型认为, 当词汇 N 的 L2 阶段完成, 而眼跳的 M2 阶段尚未完成时, 注意资源转移到下一个词汇并开始 L1 阶段的加工, 因此可以很好的解释预视效应的获得以及跳读现象。E-Z 读者模型认为, 只有在特殊情况下才会获得 N+2 的预视, 即 N+1 的眼跳计划取消, 直接跳读到 N+2, Angele 与 Rayner (2011)在实验中印证了这一现象。E-Z 阅读者模型, 用眼动落点误差来解释副中央凹-中央凹(Parafoveal-on-foveal)现象, 也得到了了一定的数据支持(Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2008)。然而, 由于文化的差异性, E-Z 阅读者对于完全模拟中文阅读中的眼动数据仍需要一定努力(Rayner, Li, & Pollatsek, 2007)。

2.2 SWIFT 模型

SWIFT 模型是基于平行加工观点的较有影响力的眼动控制模型, 因为其解释机制相对简单, 并获得一些神经生理机制的支持, 使其 E-Z 阅读者模型分庭抗礼, 活跃在关于阅读的眼动研究中(Engbert et al., 2002; Engbert et al., 2005)。

SWIFT 模型核心观点有以下几个: 首先强调注意的梯度分布, 认为注意资源在中央凹分布最多, 向两边梯度递减。在一次注视下, 所有知觉广度内的词汇同时进行加工, 只是加工速度随离心距的增大而递减。其次, 词汇之间形成一种竞争机制, 在整个动力场范围内, 词汇的激活程度将决定其被选定为注视目标的概率。最后, 眼跳的发起时间由随机定时器(Random Timer)决定, 并受到中央凹负荷的抑制, 一旦中央凹词汇加工困难, 将抑制跳读的发生。

SWIFT 模型也可以解释词频、预测性以及词长对当前词汇加工时间的影响。更为简洁的是, 该模型用一种机制来解释所有眼动落点位置的现象, 即落点目标的选择取决于动力场内的词汇竞争, 在知觉广度内, 每个词汇都可能成为下一个跳读目标, 只要它的激活程度在知觉广度内达到最大值。SWIFT 模型用这样一种单一的机制, 解释了再次注视、回视、跳读等现象。该模型对副

中央凹-中央凹效应也有很好的解释, 因为平行的加工策略, 使得在注视词汇 N 的时候, 也在同时加工相邻词汇 $N+1$, 所以在注视时间等指标上产生了交互作用。

SWIFT 模型与 E-Z 阅读者模型在相互竞争中, 不断得到发展, 但对于解释所有的眼动数据仍然有一段距离。研究者也在从对立的观点中提取有效成分, 来促进模型的成长。然而, 由于两类模型基于不同的注意分配理论, 所以在解释机制上存在很大的不同, 因此导致对眼动行为存在不同的预测。

2.3 两类模型的核心争议

有研究者认为, 眼动控制问题存在三方面的争议, 一是高水平与低水平的视觉信息对眼动行为的影响; 二是从右侧视野中究竟能获取多少信息; 三是读者是否能够同时提取一个以上词汇的信息(Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006; Starr & Rayner, 2001)。上述三个问题中的最后两个是区分平行加工与序列加工的关键, 这两个问题共同表达了一个主题, 即在知觉广度下同时深度加工多个词汇的可能性, 这里的深度加工包括词汇水平上的加工, 譬如词频、语义信息等。这篇文章主要探讨是否存在同时深度加工多个词汇的可能性, 并将这个问题扩展为五个小问题: 1) 注视点左侧信息的加工, 即在当前注视条件下, 是否存在仍然加工左侧信息的可能性; 2) 注视点右侧词汇 $N+2$ 的加工, 即当注视词汇 N 时, 距离中央凹两个词汇单位的词汇 $N+2$ 是否能够得到一定加工; 3) 副中央凹语义信息的加工, 即在一次注视下, 分布在副中央凹的词汇的语义信息能否被有效提取; 4) 副中央凹-中央凹效应, 即副中央凹词汇的属性是否影响到中央凹词汇的加工; 5) 副中央凹信息加工的时间进程, 即是否能在注视中央凹词汇的早期阶段获得副中央凹的信息。

两类模型基于不同的注意分配理论, 在上述问题上产生了明显的分歧, 即在知觉广度下究竟是否能够深度加工一个以上词汇。在对这个问题的研究中, 一些成熟的研究范式主要是在呈现随眼动变化技术的基础上发展而来, 包括边界范式、掩蔽范式以及移动窗口范式(McConkie & Rayner, 1975; Rayner, 1998)。这些范式中使用最为广泛的是边界范式(Rayner, McConkie, & Ehrlich, 1978), 这种范式要求在句子中设置一个无形的边

界, 当注视点分布在边界前面时, 被试可以预视到还没有被注视的边界后的信息, 当视线通过边界时, 预视词改变为符合语境的原词汇, 因此可以通过设置不同的预视条件及预视时间, 来考察在注视点停留在词汇 N 的时候, 是否能够从副中央凹提取相关信息, 以及提取信息的过程是否发生在加工词汇 N 的早期阶段。

预视效应对解决阅读中的注意分配问题具有重要的作用, 通过边界范式的操纵, 基于不同注意分配理论的研究者对上述五个问题做出了不同预测。序列加工的观点认为注意是序列转移的, 注意资源一次只能分配到一个词汇上, 而预视效应的获得是通过注意的转移机制达成的, 当注视中央凹的早期, 注意资源仅仅处理中央凹词汇信息, 当中央凹的词汇加工完成后, 注意开始转移到下一个词汇, 并加工下一个词汇的相关信息。在序列加工的理论中, 词汇 N 的完成, 继而开始词汇对 $N+1$ 的加工, 两者的加工进程具有明显的先后顺序, 所以, 词汇 $N+1$ 的属性不会影响到词 N 的加工, 即不存在副中央凹-中央凹效应。此外, 在加工词汇 N 的早期阶段, 注意资源仅仅处理词汇 N 的信息, 也不会产生 $N+1$ 的加工。然而, 平行加工做出了相反的预测, 既然多个词汇可以同时加工, 那么注视点左侧和右侧的信息很可能同时被处理, 并影响到中央凹词汇的加工。此外, 副中央凹的加工深度与中央凹没有任何差异, 在副中央凹处也能进行语义的处理, 那么, 在适当条件下, 副中央凹语义信息的获得也是客观存在的。而且, 由于知觉广度在英文中达到向注视点右侧 15 个字母, 左侧 4 个字母(McConkie & Rayner, 1975; Rayner, 1998; Rayner, Well, & Pollatsek, 1980); 汉语阅读的知觉广度为左侧 1 个汉字, 右侧 3 个汉字(Chen & Tang, 1998; Inhoff & Liu, 1998), 那么, 平行加工的理论认为, 词汇 $N+2$ 落在知觉广度内, 也能获得一定的加工。最后, 平行加工的观点还认为, 因为副中央凹和中央凹词汇的加工是同步的, 那么副中央凹词汇的加工应发生在注视中央凹词汇的早期阶段。

从 19 世纪 70 年代眼动仪广泛用于阅读研究以来, 研究者从不同的角度收集相关证据试图彻底澄清眼动控制机制, 然而, 这两类模型的争议, 最核心的是注意的分配问题, 这个问题如果得不

到解决,那么争议势必一直存在。这篇文章接下来重点介绍研究者通过对阅读的研究,来探讨注意的分配问题,并概括其他相关领域中注意分配的研究,以对深入了解阅读机制提供有益的借鉴。

3 平行加工与序列加工的相关证据

3.1 注视点左侧信息的加工

讨论注视点左侧信息加工的文献并不多,可能归结于知觉广度的不对称性,对于具有从左向右的阅读习惯的读者,左侧知觉广度远远小于右侧知觉广度(McConkie & Rayner, 1975; Rayner et al., 1980)。然而,平行加工与序列加工的讨论,本质就在于是否能够在更大范围内获得高水平的信息加工,因此,对于右侧预视的操纵,能够最大化的探测两类模型的分歧。不过,对于注视点左侧信息的加工,也给人们带来一定的启发(Binder, Pollatsek, & Rayner, 1999; Starr & Inhoff, 2004; Wang, Tsai, Inhoff, & Tzeng, 2009)。

对注视点左侧信息加工的研究通常也是采取边界范式,首先在句子中设定一个边界,当视线通过边界时,边界左侧的信息发生转变,如果发生回视现象,视线向后再次通过边界,则替换词重新转变为原词。可以根据实验任务设定不同的预视条件,来考察注视点左侧正字法、语音以及语义等信息的获得。Binder 等人(1999)通过这种范式发现,左侧语义信息对右侧不存在干扰,支持单向加工假设(Unidirectional processing),该假设也是序列加工的重要内容,因为序列加工认为,注意就像聚光灯,只能加工被注意的一个词汇,一旦该词汇加工完成,注意资源才会分配到下一个词汇,而对于已经加工的词汇,注意资源不会再次分配到原词汇上,所以不存在左侧副中央凹信息的加工。Starr 与 Inhoff(2004)发现,副中央凹正字法信息对当前加工产生重要影响,当不合法信息呈现在注视点左侧时,被试分析没有达到显著,但项目分析达到显著水平,而且作者发现左侧和右侧正字法信息的加工是独立的,此外,作者对注视概率的分析发现,不合法词汇被注视的概率显著高于合法词汇,这种现象可以用注意吸引效应(Attention attractor hypothesis) (Kennedy, 2000)来解释。作者认为单向加工假设的解释能力在此呈现出局限性,而注意的梯度分布理论对该

结果有更好的解释。有研究者对上述观点提出了质疑,认为 Starr 等人之所以得出上述实验结果,是因为副中央凹不合法信息的介入对低水平视觉信息造成干扰,而与语言信息的加工无关(Pollatsek et al., 2006c; Rayner, 2009; Reichle et al., 2003)。

中文中也有类似的研究,而且发现了注视点左侧语音的干扰作用(Wang, Tsai, et al., 2009)。Wang 等人(2009)发现注视点左侧信息的变化确实影响了当前注视点的注视时间。在实验二中,注视点左侧汉字存在四种条件:字形相似性以及声音相似性分别作为两种条件,采用拉丁方设计。结果发现字形变化基本上没有影响,而语音的抑制作用显著,即语音相似导致干扰增大,使得当前中央凹词汇注视时间增长。实验否定了 Binder et al.(1999)的结论,证实中文中是可以从注视点左侧提取相关词汇信息的。

3.2 注视点右侧词汇 N+2 的加工

对词汇 N+2 的信息提取一直颇有争议,一方面,一些研究者没有发现从词汇 N+2 处获得预视信息 (Angele & Rayner, 2011; Angele, Slattery, Yang, Kliegl, & Rayner, 2008; McDonald, 2006; Rayner, Juhasz, & Brown, 2007),另一方面,其他研究者对此提出质疑,并在适当的条件下,发现了词汇 N+2 的加工 (Kliegl, Risse, & Laubrock, 2007; Radach & Glover, 2007; Risse, Engbert, & Kliegl, 2008; Risse & Kliegl, 2011; Wang, Inhoff, & Radach, 2009; Yan, Kliegl, Shu, Pan, & Zhou, 2010)。

McDonald (2005)通过考察预视的累积效应来区分两类模型。作者用语料库分析的方法,考察了倒数第二个注视点到当前注视点的距离与当前注视点注视时间的关系。作者假设,按照平行分布加工的观点,注视点越靠近目标词,越能获得更大的预视效益,目标词前的两次注视点越靠近目标词,累积的预视效益就越大,这个观点类似于从词汇 N+2 处获得一定的预视信息。然而,实验并没有发现预视累积效应,作者虽然认为 E-Z 阅读者模型能够解释这一现象,但也存在其无法解释的现象,即倒数第二个注视点与目标词的距离与目标词的注视时间呈现出负相关关系。Rayner, Juhasz 等人(2007)对这个问题做了进一步探讨,采用更为直接的方式即边界范式,来观察

注视词汇 N 的时候是否在加工词汇 N+2。作者采用边界范式,在句子中设定两种边界条件,在一种条件下,边界设置在词汇 N-2 与词汇 N-1 之间,另一种条件下,边界设置在 N-1 与词 N 之间。按照序列加工的观点,只可能从第二种条件下获得预视信息,结果证实了作者的观点,说明被试很难从词汇 N+2 获得预视信息。

Kliegl 等人(2007)对上述实验提出了质疑,并通过实验发现了词汇 N+2 的预视效应。不同于 Rayner 等人(2007)的是, Kliegl 等人(2007)采用了长度均为三个字母的词汇作为词汇 N+1, 作者发现,虽然直接测查 N+2 的注视时间没有发现预视效应,但对 N+1 的测查中发现了显著的差异。作者认为这是一种延迟的副中央凹-中央凹效应,是由于对 N+2 的不同预视条件造成的。然而,在其他实验研究中, Angele 等人(2008)同时操纵词汇 N+1 与词汇 N+2, 结果却没有发现对词汇 N+2 的预先加工。在 Angele 另外一篇研究中,同时操纵了 N+1 的词长和词频,都是三字母词汇,高频和低频各占一半,结果发现,即使 N+1 为高频三字母词汇,仍然无法获得 N+2 的预视。研究者认为, Kliegl 等人(2007)的发现很可能是落点偏差导致的,词汇 N+2 之前的落点很可能是定位 N+2, 结果落在了 N+1 上,但加工对象是 N+2, 因此注视时间受到词汇 N+2 的影响 (Angele & Rayner, 2011; Angele et al., 2008; Drieghe et al., 2008; Nuthmann, Engbert, & Kliegl, 2005)。

英文中并没有得出充足的证据表明从词汇 N+2 获得了预视信息,在中文中也存在相应争议。Yang, Wang, Xu 和 Rayner (2009)发现,只有在词汇 N+1 是高频词条件下,才有可能从词汇 N+2 中获得预视。Yan, Kliegl, Shu, et al. (2010)同样采用边界范式,对 N+1 的词频进行了严格控制,词汇 N+1 是高频单字词或者低频单字词,结果发现,在高频单字词条件下,读者从词汇 N+2 获得了显著了预视效益。然而,作者操纵和改变的只是词汇 N+2 的第一个汉字,至于究竟获得了词汇 N+2 的信息,还是汉字 N+2 的信息,仍然存在争议。此外,白学军,刘娟,臧传丽,张慢慢,郭晓峰和闫国利(2011)认为,国内关于词汇 N+1 的预视研究已经得出一些比较一致的结论,而对于词汇 N+2 的预视效应还存在一定争议,今后的研究应从以下几个方面入手:一是探讨词汇 N+2

的预视条件,二是探讨 N+2 的预视效应是否由眼跳偏差导致,三是是否该效应必然伴随词汇 N+1 的跳读。

3.3 副中央凹语义信息的加工

副中央凹语义信息加工的研究开始的相对较早, Rayner, Balota 和 Pollatsek (1986)在正常句子阅读中采用边界范式,操纵副中央凹预视词汇的条件,譬如原词汇 song, 预视条件为语义相关词汇 tune, 结果并没有发现语义的促进作用,虽然,这些语义相关材料在独立词的启动范式中发现了显著的语义促进作用。

目前,大多数拼音文字中都没有发现正常句子阅读中副中央凹的语义加工(Altarriba, Kambe, Pollatsek, & Rayner, 2001; Pollatsek & Hyona, 2005; Rayner et al., 1986; White, Bertram, & Hyona, 2008)。然而,最近的一些研究表明,德语和中文中存在副中央凹语义加工的现象(Hohenstein, Laubrock, & Kliegl, 2010; Yan, Richter, Shu, & Kliegl, 2009; Yan, Risse, Zhou, & Kliegl, 2010; Yan, Zhou, Shu, & Kliegl, 2012 Yang, Wang, Tong, & Rayner, 2010)。Hohenstein 等人(2010)采用边界范式,操纵副中央凹词汇的呈现内容以及呈现时间,结果发现当副中央凹语义相关词汇呈现 125ms 时,存在显著的语义促进作用。作者推测,语义促进发生在副中央凹加工的早期阶段,在英文中也可能存在这个现象,而英文中研究语义相关的任务通常没有控制语义相关词的预视时间,导致无法得出副中央凹的语义加工。

在中文中也发现了副中央凹的语义加工, Yan 等人(2009)认为,汉字具有自己的特殊性,汉字的识别可能遵循双通路模型 (Zhou & Marslen-Wilson, 1999), 可以通过语音中介通路即“词形—语音—语义”, 也可以通过直接通路即“词形—语义”。Yan 等人(2009)在实验中采用了非常简单的汉字,运用边界范式,操纵副中央凹词汇的预视条件,发现了在语义相关条件下存在显著的预视效应。Yang 等人(2010)认为,可能是在语义合理性条件下才会出现语义的促进,在其实验中,也证实了这一观点。而 Yan, Zhou, Shu 和 Kliegl (2012)在控制了合理性条件下,依然发现了副中央凹语义的加工,并将这种加工推广到复杂汉字。在对其两篇文献的再分析中, Yan, Risse 等人(2010)发现了与 Hohenstein 等人(2010)一致的显现,

目标词前的注视时间改变了语义的预视效应, 当目标词前注视时间较短时, 获得更大的语义预视效应。然而, 中文阅读中副中央凹语义的提取, 究竟是汉字上的, 还是词汇上的, 上述实验并没有给出确切的答案。Schotter, Angele 和 Rayner (2011) 认为, 中文中语义加工的获得, 很可能还存在其他原因, 一是中文词汇没有空格, 字符排列紧密, 很可能所谓副中央凹的加工其实是中央凹的加工; 二是眼动记录的失误, 眼动记录的精确度不能确保边界变化操纵的误差。

3.4 副中央凹-中央凹效应

Henderson 和 Ferreira (1993) 探讨了阅读中副中央凹词汇信息是否影响中央凹词汇的加工, 结果表明, 副中央凹词频的变化并不影响中央凹词汇的注视时间, 否定了平行分布式加工的观点。然而, Kennedy (1995, 1998) 用不同的范式, 在英文中探测出副中央凹-中央凹效应。作者采用不同于正常阅读的范式, 在屏幕中呈现三个词汇, 要求被试进行一个一个的跳读加工, 第一个词汇是 looks 或者 means, 指示被试的任务, 前者判断后面两个目标词拼写上是否相似, 后者判断后面的两个目标词是否语义相同, 结果发现副中央凹的词汇的难度影响了中央凹词汇的加工, 当副中央凹词汇较难时, 中央凹注视时间变短。随后, 作者进行了一系列的研究, 控制了中央凹以及副中央凹词汇长度的干扰 (Kennedy, Pynte, & Ducrot, 2002), 以及考察语用信息的预视 (Kennedy, Murray, & Boissiere, 2004), 并推广到正常阅读中 (Kennedy & Pynte, 2005), 都发现了显著的副中央凹-中央凹效应。

随着研究的深入开展, 副中央凹-中央凹加工的证据也越来越多 (Drieghe, Brysbaert, & Desmet, 2005; Kennedy, 2008; Kliegl et al., 2006; Kliegl et al., 2007; Starr & Inhoff, 2004)。然而, 争议依然存在。首先, 上述副中央凹-中央凹效应, 在严格控制实验条件下的正常阅读中很难重复验证 (Angele & Rayner, 2011; Angele et al., 2008)。其次, 落点偏差可以在很大程度上解释这种效应 (Drieghe et al., 2008; Nuthmann et al., 2005; Rayner, Pollatsek, Drieghe, Slattery, & Reichle, 2007)。最后, 字母文本中所有关于副中央凹-中央凹的证据仅仅局限在低水平的词汇信息, 譬如正字法、空格等, 而更高水平的语义信息至今没有

发现该效应的存在 (Rayner, 2009; White, 2008)。

中文中也有一些关于副中央凹-中央凹效应的文章, 但实验结果缺乏一致性。白学军、胡笑羽和闫国利 (2009) 考察词 N 的语义透明度特性对词 N-1 (高频、低频) 加工的影响, 结果发现词 N 的语义透明度, 对词 N-1 的加工并无影响。然而, 在其他研究中, 发现了副中央凹-中央凹效应的现象 (Yan, Kliegl, Shu, et al., 2010; Yan et al., 2009; Yang et al., 2010; 崔磊, 王穗苹, 闫国利, 白学军, 2010)。研究者通过操纵副中央凹的预视条件, 发现在副中央凹的词频以及语义信息都能对中央凹信息的加工产生显著影响 (Yan et al., 2009; 崔磊等, 2010)。副中央凹词汇的属性影响了中央凹词汇的加工, 这种副中央凹的信息加工从低水平的正字法信息 (Kennedy et al., 2002; Starr & Inhoff, 2004) 推广到中文中词频、语义的加工, 预示着眼动控制模型可能存在着一定的文化差异。

3.5 副中央凹信息提取的时间进程

副中央凹信息提取的时间进程一直存在争议, Inhoff, Eiter 和 Radach (2005) 率先在英文中探讨了这个问题, 作者采用边界范式, 操纵副中央凹词汇预视的时间, 来探讨副中央凹信息的加工究竟发生在当前注视词汇加工的早期还是晚期。结果发现, 在当前词汇加工早期呈现预视信息, 能够产生显著的预视效应, 更为重要的是, 目标词的凝视时间不受前期预视与后期预视的干扰, 在两种条件下都获得了相近的预视效果。

Pollatsek, Reichle 和 Rayner (2006b) 对上述观点提出了质疑, 首先, 作者的数据显示注视时间过长, 说明其实验处理影响了被试的正常阅读。其次, 眼睛—大脑 (Eye-to-mind) 的延迟大概是 50ms, 而这个现象作者并没有考虑。再次, 大小写字母的转换对被试的影响不可忽略。最后, 作者只是在某个时间点上得到了预视效应, 并没有说明预视的加工与预视呈现时间存在某种线性关系。在之后的争议中, 双方站在各自的立场, 对其理论进行了重新阐释, 然而, 平行与序列的加工的时间进程在拼音文字中依然存在很大争议 (Inhoff, Radach, & Eiter, 2006; Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006a; Reichle, Liversedge, Pollatsek, & Rayner, 2009)。

中文和德语中也有关于副中央凹信息加工的时间进程的研究。Yen, Radach, Tzeng, Hung 和

Tsai (2009)将 140ms 作为一个时间点, 预视信息出现在注视当前词汇的前 140ms 或者 140ms 之后, 结果发现了副中央凹信息的获得可以发生在预视早期的 140ms 内, 因此, 作者认为序列的加工模型可能并不适用于中文阅读。Hohenstein 等人 (2010)在德语中也发现了类似现象, 发现预视加工早期获得的语义信息可以有效地促进之后的阅读, 这个结论在中文中也得到了证实(Yan, Risse, et al., 2010)。这些实验证据的获得, 使得平行与序列加工的争议愈演愈烈。然而, 至今没有一个完好的模型来解释所有的实验数据, 不论是表意文字还是拼音文字(Rayner, 2009)。

4 其他领域关于注意分配研究的启示

4.1 字母加工的注意分配

阅读中词汇的加工是严格序列的, 还是平行的, 存在很大的争议。对于 E-Z 阅读者模型以及 SWIFT 模型都假定字母是平行加工的, 然而, 在单纯字母加工的研究中, 字母的加工方式依然存在很大争议。McClelland 和 Rumelhart (1981)提出了交互激活的理论, 认为字母的加工遵循一种平行的机制, 并反馈到词汇水平, 而词汇的激活又能反过来促进字母的识别。然而, Whitney (2001)提出了 SERIOL (sequential encoding regulated by inputs to oscillations within letter units)模型, 认为在正常的拼音文字中, 字母的激活遵循着从左向右的过程。阅读领域 OVP (optimal viewing position) 效应的发现 (O'Regan, Lévy-Schoen, Pynte, & Brugailière, 1984), 以及字母再认水平除了两端字母以外从左向右的递减 (Montant, Nazir, & Poncet, 1998), 都被作为该模型的相关证据。

然而, Tydgat 和 Grainger (2009)的证据表明, 字母知觉任务中, 并不存在从左向右再认水平递减的趋势, 而是呈现出 W 形的正确率曲线, 即序列位置效应, 该效应支持了字母平行加工的观点。Adelman, Marquis 和 Sabatos-DeVito (2010)用单词迫选任务, 探讨字母加工的方式。首先呈现一个包含四个字母的单词作为启动词, 词汇呈现的时间为随机 18~54ms, 每 6ms 作为一个递增单位, 通过这种方式可以探测任意 2ms 的差异。在启动词呈现之后, 出现两个词汇, 其中一个刚刚呈现过, 另外一个是与原词汇只有一个字母差异的新词汇, 被试选择刚刚看到的词汇并进行按键

确认。作者发现在启动词处于 18ms 时, 四个位置的正确率都处于随机水平, 而 24ms 时均高于随机水平。启动词增加了 6ms, 导致所有四个位置的探测都显著高于随机水平, 不符合单个字母序列识别需要 10~25ms 的假设, 因此用平行的观点更容易解释。

Fiset, Arguin 和 McCabe (2006)在 LBL 失语症 (Letter-by-letter dyslexia)患者中, 却发现了字母平行加工的困难, 这类病人的词汇命名的潜伏期随着词汇长度的增加显著增长, 而正常读者中没有发现此类现象。

字母加工的证据是多方面的, 在正常阅读中, 字母的激活是平行的还是序列的; 词汇的处理是以词为单位, 还是在知觉广度下以字母为单位, 这些都是应当深入思考的问题。而且, 对于中文阅读来说, 目前的研究多半是将中文词汇对应字母文字的词汇, 而不是将单个汉字对应单个字母或者字母组合。注意如何处理句子阅读中汉字的部件信息, 如何加工单个汉字, 以及整合不同长度的词汇, 注意资源在其中扮演的角色, 仍然需要深入探讨。

4.2 基于物体的注意分配

Egly 等人(1994)采用简单反应时的任务, 发现探测与线索呈现在同一物体上的目标的反应时间, 显著快于探测与线索呈现在不同物体上的目标, 作者认为这个现象是基于物体的注意效应。Li 和 Logan (2008)用同样的范式, 将刺激材料改成汉字, 被试看到以注视点为中心的两排或两列共四个汉字, 同一排或者同一列汉字组成词汇, 实验中用眼动仪控制了被试注视点, 确保线索呈现前被试一直注视中间十字。结果发现, 当线索与刺激出现在同一词汇上时, 被试反应速度明显较快。结果与 Egly 等人(1994)用物体材料所得结果保持一致, 说明了词汇中也存在这种基于物体注意分配特征。然而, 基于物体的注意的内部机制依然没有明确的答案。该效应是由于同一物体中注意转移较快, 还是因为存在着同一物体中优先搜索的策略, 研究者给出了不同的答案(Chen & Cave, 2006; Ho, 2011; Shomstein & Yantis, 2002)。Shomstein 和 Yantis (2002)用 Flanker 任务发现, 只有在允许被试在不同位置间进行扫描时, 才会产生基于物体的注意效应。而其他研究者同样采用 Flanker 任务, 却得到了不同的答案, 当注

视点位置不变, 被试不必做出任何注视点的转移, 却发现了基于物体的注意效应(Chen & Cave, 2006; Ho, 2011)。

基于物体的注意是否可以扩展到正常句子阅读, E-Z 阅读者模型认为每一个词汇相当于一个物体, 注意按照一定的序列从一个词汇转移到另一个词汇。如果基于物体的注意的内部机制是注意的序列转移, 那么从一定程度上在物体识别中为 E-Z 阅读者提供了支持。

4.3 视觉搜索中的注意分配

Treisman 和 Gelade (1980)最早应用了视觉搜索范式探索视觉加工的内部机制, 并在文中提出了特征整合理论。该理论认为, 视觉加工分为两个阶段, 第一阶段是特征提取阶段, 是一个平行加工的前注意的过程, 视觉系统从光刺激中抽出突出的特征, 包括颜色、尺寸、方向等。第二阶段是特征整合阶段, 是一个运用注意资源进行特征整合的过程, 该阶段遵循序列加工的原则。特征整合理论与 E-Z 阅读者模型的核心假设非常相似, 共同主张前注意和注意两阶段的分离, 在前注意阶段平行处理信息, 而在注意阶段进行序列加工(Reichle et al., 2006)。

然而, Jans, Peters 和 De Weerd (2010)认为, 对于探讨注意是否能够同时分布在多个物体上, 即平行加工还是序列加工, 必须满足四个条件: 1) 足够的任务难度(正确率在 75%以下); 2) 足够简略的呈现时间(100ms 以下, 过长则注意足够有时间转移, 这类实验检测眼动将提供更充足的证据); 3) 适当的线索-目标间隔时间(外在注意最大化在 50~200ms 之间, 内在注意的最大化在 500ms 以上); 4) 充分建构目标位置以外的区域。作者通过这四条标准, 排查了平行加工的研究, 并认为当前的证据存在很大争议, 并不能确切地得出平行加工的结论。作者提出了一种观点, 注意的分配是一种习得的能力, 而序列的注意是大脑系统的初始状态。

平行与序列的争议必须考虑以上问题, 并将这些问题类比到正常阅读的研究中。对字母的加工、基于物体的注意以及视觉搜索中注意分配的研究, 能够推动人们认识到阅读领域注意的基本单元是什么, 词汇在注意分配中相对于物体的特殊心理意义, 以及阅读任务区别于视觉搜索任务的特殊视觉加工机制。

5 展望

5.1 阅读中注意分配的综合实验研究

阅读中注意分配的研究, 不仅需要重视正常句子阅读的研究范式, 还应当考虑参照其它研究领域解决同一问题的不同研究范式, 并积极采用能够更好地探讨注意分配的研究技术或相关仪器。这篇文章在第四部分介绍了其它相关领域中注意分配的研究, 包括字母加工的注意分配、基于物体的注意分配以及视觉搜索中的注意分配, 这些研究问题的解决对深刻理解阅读中的注意分配具有重要的借鉴意义。此外, 对于正常的阅读研究, 我们习惯采用便利的眼动设备来直观地观测阅读时的眼动行为, 然而, 眼动与视觉注意之间并不完全一致(Posner, 1980)。因此, 眼动设备必须结合能直观反映注意分配的设备, 譬如 ERP (事件相关电位)或 fMRI (功能磁共振成像), 才能更直接地了解阅读中的注意分配行为。

5.2 中文中注意分布的特异性

阅读中的注意分配的研究, 应当从跨文化的比较中相互借鉴。不同的语言以及语系之间, 阅读中的眼动存在的共有特征以及独有特征, 依然是摆在研究者面前尚未充分探讨的问题。Rayner 等人(2007)用 E-Z 阅读者模型成功模拟了中文阅读中的眼动行为, 然而, 也为研究者提出了一些尚未解决的问题。因为中文词汇之间没有空格, 也就是没有突出的视觉特征来引导注意分配到单个词汇上, 那么, E-Z 阅读者模型的 V 阶段即前注意平行处理视觉信息的阶段, 在中文中可能无法有效地发挥作用。譬如对于落点位置的选择, Yan, Kliegl, Richter, Nuthmann 和 Shu (2010)认为存在一种副中央凹切分机制, 当副中央凹切分成功时, 落点位置趋向于词汇的中间位置, 当副中央凹切分不成功, 落点位置类似没有切分的英文, 向词汇的起始部分偏移。然而, 基于其落点数量统计方法上的问题, 其研究并不能得出基于词汇落点策略。Li, Liu 和 Rayner (2011)的研究结果表明, 中文阅读可能是基于汉字与词汇相结合的策略。因此, 对于中文的研究, 必须考虑到文化的差异, 并解决注意在中文中分布的特异性问题, 才能更好地理解中文阅读的内部机制。

5.3 中文眼动控制模型的建构

阅读任务中注意分配的研究, 不仅应认识到

阅读任务的普遍性, 主动参考字母文本中现有的理论模型和研究框架, 还应当认识到中文阅读的特殊性, 了解其内部机制, 并反馈到认识人类普遍的阅读行为机制中。当前, 即使在英文中, 也没有一种模型能够完好的解释所有实验数据 (Rayner, 2009)。因此, 有必要在现有的实验基础上, 尝试建立一种中文阅读的眼动控制模型, 着重处理中文的特殊性, 譬如没有词间空格以及词汇之间的边界效应等 (Li, Rayner, & Cave, 2009; 李兴珊, 刘萍萍, 马国杰, 2011)。模型的建立对后续研究具有深远的影响, 英文中 E-Z 阅读者模型的建立会激发一系列对模型预测及假设的验证研究, 从而会催生了一些新的研究领域。一旦中文阅读眼动控制模型建立, 不仅会促进中文阅读研究的发展, 还会引发更系统的跨文化阅读行为比较。而且, 眼动控制模型的建立还将推进眼动研究的实际应用, 也为人工智能的发展提供必要的借鉴。

参考文献

- 白学军, 刘娟, 臧传丽, 张慢慢, 郭晓峰, 闫国利. (2011). 中文阅读过程中的副中央凹预视效应. *心理科学进展*, 19(12), 1721-1729.
- 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(5), 377-386.
- 崔磊, 王穗莘, 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(5), 547-558.
- 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(4), 459-470.
- Adelman, J. S., Marquis, S. J., & Sabatos-DeVito, M. G. (2010). Letters in words are read simultaneously, not in left-to-right sequence. *Psychological Science*, 21(12), 1799-1801.
- Altarriba, J., Kambe, G., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2001). Semantic codes are not used in integrating information across eye fixations in reading: Evidence from fluent Spanish-English bilinguals. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 63(5), 875-890.
- Angele, B., & Rayner, K. (2011). Parafoveal Processing of Word n+2 During Reading: Do the Preceding Words Matter? *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 37(4), 1210-1220.
- Angele, B., Slattery, T. J., Yang, J. M., Kliegl, R., & Rayner, K. (2008). Parafoveal processing in reading: Manipulating n+1 and n+2 previews simultaneously. *Visual Cognition*, 16(6), 697-707.
- Baylis, G. C., & Driver, J. (1993). Visual attention and objects: Evidence for hierarchical coding of location. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19(3), 451-470.
- Binder, K. S., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1999). Extraction of information to the left of the fixated word in reading. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 25(4), 1162-1172.
- Chen, H. C., & Tang, C. K. (1998). The effective visual field in reading Chinese. *Reading and Writing*, 10, 245-254.
- Chen, Z., & Cave, K. R. (2006). Reinstating object-based attention under positional certainty: The importance of subjective parsing. *Perception & Psychophysics*, 68(6), 992-1003.
- Downing, C. J., & Pinker, S. (1985). The spatial structure of visual attention. In M. I. Posner & O.S.M. Marin (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. XI, pp. 171-187). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Drieghe, D., Brysbaert, M., & Desmet, T. (2005). Parafoveal-on-foveal effects on eye movements in text reading: Does an extra space make a difference? *Vision Research*, 45(13), 1693-1706.
- Drieghe, D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2008). Mislocated fixations can account for parafoveal-on-foveal effects in eye movements during reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(8), 1239-1249.
- Driver, J., & Baylis, G. C. (1989). Movement and visual attention: The spotlight metaphor breaks down. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(3), 448-456.
- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(4), 501-517.
- Egly, R., Driver, J., & Rafal, R. D. (1994). Shifting visual attention between objects and locations: Evidence from normal and parietal lesion subjects. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123(2), 161-177.
- Engbert, R., & Kliegl, R. (2001). Mathematical models of eye movements in reading: A possible role for autonomous saccades. *Biological Cybernetics*, 85, 77-87.
- Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42, 621-636.
- Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A dynamical model of saccade generation during reading. *Psychological Review*, 112(4), 777-813.
- Eriksen, C. W., & Yeh, Y. Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11(5), 583-597.
- Fiset, D., Arguin, M., & McCabe, E. (2006). The breakdown of parallel letter processing in letter-by-letter dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 23(2), 240-260.
- Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal

- processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(3), 417–429.
- 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(2), 201–221.
- Ho, M. C. (2011). Object-based attention: Sensory enhancement or scanning prioritization. *Acta Psychologica*, 138(1), 45–51.
- Hohenstein, S., Laubrock, J., & Kliegl, R. (2010). Semantic preview benefit in eye movements during reading: A parafoveal fast-priming study. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(5), 1150–1170.
- Inhoff, A., Pollatsek, A., Posner, M., & Rayner, K. (1989). Covert attention and eye movements during reading. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 41(1), 63–89.
- Inhoff, A. W., Eiter, B. M., & Radach, R. (2005). Time course of linguistic information extraction from consecutive words during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 31(5), 979–995.
- Inhoff, A. W., & Liu, W. (1998). The perceptual span and oculomotor activity during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(1), 20–34.
- Inhoff, A. W., Radach, R., & Eiter, B. (2006). Temporal overlap in the linguistic processing of successive words in reading: Reply to Pollatsek, Reichle, and Rayner (2006a). *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 32(6), 1490–1495.
- Jans, B., Peters, J. C., & De Weerd, P. (2010). Visual spatial attention to multiple locations at once: The Jury Is Still Out. *Psychological Review*, 117(2), 637–682.
- Kennedy, A. (1995). *The influence of parafoveal words on foveal inspection time*. Paper presented at the AMLaP-95 Conference, Edinburgh, UK.
- 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. 149–179). Oxford: Elsevier.
- Kennedy, A. (2000). Parafoveal processing in word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53(2), 429–455.
- Kennedy, A. (2008). Parafoveal-on-foveal effects are not an artifact of mislocated saccades. *Journal of Eye Movement Research*, 2(1), 1–10.
- Kennedy, A., Murray, W. S., & Boissiere, C. (2004). Parafoveal pragmatics revisited. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(1-2), 128–153.
- Kennedy, A., & Pynte, J. (2005). Parafoveal-on-foveal effects in normal reading. *Vision Research*, 45(2), 153–168.
- Kennedy, A., Pynte, J., & Ducrot, S. (2002). Parafoveal-on-foveal interactions in word recognition. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A-Human Experimental Psychology*, 55(4), 1307–1337.
- 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: General*, 135(1), 12–35.
- Kliegl, R., Risse, S., & Laubrock, J. (2007). Preview benefit and parafoveal-on-foveal effects from word n+2. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 33(5), 1250–1255.
- LaBerge, D., Brown, V., Carter, M., Bash, D., & Hartley, A. (1991). Reducing the effects of adjacent distractors by narrowing attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17(1), 65–76.
- Li, X. S., Liu, P. P., & Rayner, K. (2011). Eye movement guidance in Chinese reading: Is there a preferred viewing location. *Vision Research*, 51, 1146–1156.
- Li, X. S., & Logan, G. D. (2008). Object-based attention in Chinese readers of Chinese words: Beyond Gestalt principles. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(5), 945–949.
- Li, X. S., Rayner, K., & Cave, K. R. (2009). On the segmentation of Chinese words during reading. *Cognitive Psychology*, 58, 525–552.
- 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(5), 375–407.
- McConkie, G. W. (1979). On the role and control of eye movements in reading. In P. A. Kolers, M. E. Wrolstad, & H. Bouma (Eds.), *Processing of visual language* (pp. 37–48). New York: Plenum Press.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Attention Perception & Psychophysics*, 17(6), 578–586.
- McDonald, S. A. (2005). Parafoveal preview benefit in reading is not cumulative across multiple saccades. *Vision Research*, 45(14), 1829–1834.
- Montant, M., Nazir, T. A., & Poncet, M. (1998). Pure alexia and the viewing position effect in printed words. *Cognitive Neuropsychology*, 15(1-2), 93–140.
- Morrison, R. E. (1984). Manipulation of stimulus onset delay in reading: Evidence for parallel programming of saccades. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(5), 667–682.
- Norman, D. A. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological Review*, 75(6), 522–536.
- Nuthmann, A., Engbert, R., & Kliegl, R. (2005). Mislocated fixations during reading and the inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, 45(17), 2201–2217.
- O'Regan, J. K., Lévy-Schoen, A., Pynte, J., & Brugailière, B. (1984). Convenient fixation location within isolated words of different length and structure. *Journal of Experimental*

- Psychology: Human Perception and Performance, 10(2), 250-257.
- Pollatsek, A., & Hyona, J. (2005). The role of semantic transparency in the processing of Finnish compound words. *Language and Cognitive Processes*, 20(1-2), 261-290.
- Pollatsek, A., Raney, G. E., Lagasse, L., & Rayner, K. (1993). The use of information below fixation in reading and in visual search. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 47(2), 179-200.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006a). Attention to one word at a time in reading is still a viable hypothesis: Rejoinder to Inhoff, Radach, and Eiter (2006). *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 32(6), 1496-1500.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006b). Serial processing is consistent with the time course of linguistic information extraction from consecutive words during eye fixations in reading: A response to Inhoff, Eiter, and Radach (2005). *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 32(6), 1485-1489.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006c). Tests of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*, 52, 1-56.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3-25.
- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160-174.
- Radach, R., & Glover, L. (2007). *Exploring the limits of spatially distributed word processing in normal reading: A new look at N-2 preview effects*. Paper presented at the 14th European conference on Eye Movements, Potsdam, Germany.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372-422.
- Rayner, K. (2009). The 35th sir frederick bartlett lecture: Eye movements and attention in reading, scene, perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457-1506.
- Rayner, K., Balota, D. A., & Pollatsek, A. (1986). Against parafoveal semantic preprocessing during eye fixations in reading. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 40(4), 473-483.
- Rayner, K., Juhasz, B. J., & Brown, S. J. (2007). Do readers obtain preview benefit from word n+2? A test of serial attention shift versus distributed lexical processing models of eye movement control in reading. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 33(1), 230-245.
- 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., McConkie, G. W., & Ehrlich, S. (1978). Eye movements and integrating information across fixations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4(4), 529-544.
- Rayner, K., Pollatsek, A., Drieghe, D., Slattery, T. J., & Reichle, E. D. (2007). Tracking the mind during reading via eye movements: Comments on Kliegl, Nuthmann, and Engbert (2006). *Journal of Experimental Psychology-General*, 136(3), 520-529.
- Rayner, K., Sereno, S. C., & Raney, G. E. (1996). Eye movement control in reading: A comparison of two types of models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(5), 1188-1200.
- Rayner, K., Well, A. D., & Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the effective visual-field in reading. *Perception & Psychophysics*, 27(6), 537-544.
- Reichle, E. D., Liversedge, S. P., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2009). Encoding multiple words simultaneously in reading is implausible. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(3), 115-119.
- Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, 105(1), 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.
- 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.
- Reichle, E. D., Warren, T., & McConnell, K. (2009). Using E-Z Reader to model the effects of higher level language processing on eye movements during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(1), 1-21.
- Risse, S., Engbert, R., & Kliegl, R. (2008). Eye-movement control in reading: Experimental and corpus-analytic challenges for a computational model. In K. Rayner, D. Shen, X. Bai, & G. Yan (Eds), *Cognitive and cultural influences on eye movements* (pp. 65-92). Tianjin: Tianjin People's Publishing House/Psychology Press.
- Risse, S., & Kliegl, R. (2011). Investigating age differences in the perceptual span with the N+2-boundary paradigm. *Psychology and Aging*, 26, 451-460.
- Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2011). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74, 5-35.
- Shomstein, S., & Yantis, S. (2002). Object-based attention: Sensory modulation or priority setting? *Perception & Psychophysics*, 64(1), 41-51.
- Starr, M. S., & Inhoff, A. W. (2004). Attention allocation to the right and left of a fixated word: Use of orthographic

- information from multiple words during reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(1-2), 203-225.
- Starr, M. S., & Rayner, K. (2001). Eye movements during reading: Some current controversies. *Trend in Cognitive Sciences*, 5(4), 156-163.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive psychology*, 12(1), 97-136.
- Tydgat, I., & Grainger, J. (2009). Serial position effects in the identification of letters, digits, and symbols. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 35(2), 480-498.
- Wang, C. A., Inhoff, A. W., & Radach, R. (2009). Is attention confined to one word at a time? The spatial distribution of parafoveal preview benefits during reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(7), 1487-1494.
- Wang, C. A., Tsai, J. L., Inhoff, A. W., & Tzeng, O. J. L. (2009). Acquisition of linguistic information to the left of fixation during the reading of Chinese text. *Language and Cognitive Processes*, 24(7-8), 1097-1123.
- White, S. J. (2008). Eye movement control during reading: Effects of word frequency and orthographic familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(1), 205-223.
- White, S. J., Bertram, R., & Hyona, J. (2008). Semantic processing of previews within compound words. *Journal of Experimental Psychology-Learning Memory and Cognition*, 34(4), 988-993.
- Whitney, C. (2001). How the brain encodes the order of letters in a printed word: The SERIOL model and selective literature review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(2), 221-243.
- 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(4), 705-725.
- Yan, M., Kliegl, R., Shu, H., Pan, J., & Zhou, X. (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(6), 1669-1676.
- Yan, M., Richter, E. M., Shu, H., & Kliegl, R. (2009). Readers of Chinese extract semantic information from parafoveal words. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(3), 561-566.
- Yan, M., Risse, S., Zhou, X., & Kliegl, R. (2010). Preview fixation duration modulates identical and semantic preview benefit in Chinese reading. *Reading and Writing*, 25, 1093-1111.
- Yan, M., Zhou, W., Shu, H., & Kliegl, R. (2012). Lexical and Sub-lexical Semantic Preview Benefits in Chinese Reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, doi: 10.1037/a0026935.
- Yang, J., Wang, S., Tong, X., & Rayner, K. (2010). Semantic and plausibility effects on preview benefit during eye fixations in Chinese reading. *Reading and Writing*, 25, 1031-1052.
- Yang, J., Wang, S., Xu, Y., & Rayner, K. (2009). Do Chinese readers obtain preview benefit word n+2 Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1192-1204.
- 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.
- Zhou, X. L., & Marslen-Wilson, W. (1999). Phonology, orthography, and semantic activation in reading Chinese. *Journal of Memory and Language*, 41(4), 579-606.

Attention Allocation During Reading: Sequential or Parallel

MA Guo-Jie^{1,2}; LI Xing-Shan²

⁽¹⁾ Key laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

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

Abstract: Attention allocation in reading is an essential factor discriminating two major kinds of eye movement control models in reading. These two kinds of models had different assumptions on whether more than one word can be processed simultaneously. One kind of the models assumes that attention is sequentially allocated, thus only completion of previous word can initiate process of the next word. The other, however, assumes parallel processing where multiple words can be processed simultaneously. This article mainly discusses the differences regarding attention deployment between these two kinds of models and reviews corresponding evidences supporting them. It also reviews attention allocation theories and findings from related fields, hoping to introduce different perspectives to the attention allocation studies in reading.

Key words: reading; eye movement; attention allocation; sequential processing; parallel processing