

· 研究方法(Research Method) ·

阅读研究中的主要眼动指标评述^{*}

闫国利¹ 熊建萍^{1,2} 臧传丽¹ 余莉莉¹ 崔磊³ 白学军¹

(¹ 天津师范大学心理与行为研究院, 天津 300074) (² 河南师范大学教育与教师发展学院, 新乡 453007)

(³ 山东师范大学心理学院, 济南 250014)

摘 要 眼跳和注视是阅读过程中的两种基本眼动现象。目前在对阅读的眼动研究中分析指标主要包括两类, 一类是与眼睛何时移动有关的时间维度的眼动指标, 具体包括以字或词为兴趣区的眼动指标, 如单一注视时间、首次注视时间、第二次注视时间、凝视时间、离开目标后的首次注视时间、回视时间和总注视时间等, 以及以短语或句子为兴趣区的眼动指标, 如第一遍阅读时间、向前阅读时间、第二遍阅读时间、回视路径阅读时间、重读时间等。另一类是与眼睛移动位置有关的空间维度的眼动指标, 具体包括眼跳距离、注视位置、注视次数、跳读率、再注视比率和回视次数等。在使用眼动指标时, 需要注意眼动指标的分类、原始数据的删除标准以及眼动指标的选择等问题。

关键词 阅读; 眼动; 眼动指标

分类号 B842

眼动记录技术能够对读者的阅读过程进行实时记录, 是研究阅读过程的重要研究方法, 因此采用眼动记录技术对阅读进行研究成为国内外阅读研究领域的一个显著特点。

在我国, 阅读的眼动研究起步较晚, 但是, 近十多年以来发展迅速(蒋波, 章菁华, 2011)。在中国知网搜索引擎中输入“眼动”和“阅读”两个关键词, 并将时间限定为 2000~2012 年, 可以搜索到 170 余篇期刊文章和硕士、博士论文, 最近五年的文章数量达 140 余篇。尽管发展势头迅猛, 但是不少刚开始使用眼动仪进行阅读研究的学者还是出现了一些问题: 有些研究者对眼动指标的适用范围和优缺点认识不充分, 因此不能根据自己的研究目的选取适当而有效的眼动指标; 有些研究者对指标的内在心理学意义认识不充分, 导致

数据分析和讨论泛泛而谈, 丢失诸多有价值的信息。这些问题对国内阅读眼动研究的发展有一定影响。有鉴于此, 本文将对国内外阅读研究中常用的眼动指标进行梳理, 首先介绍基本的眼动现象, 然后从时间和空间两个维度对眼动指标进行分类, 分别介绍每一种指标的界定标准和计算方法, 分析不同指标的心理学意义。

1 阅读过程中的基本眼动现象

在阅读一行文字时, 人眼的运动实际包含了两种基本的运动现象: 眼睛本身的运动(眼跳)和注视(眼睛相对静止)(Rayner, 2009)。在眼动过程中眼睛的相对保持静止被称为注视(fixation), 一般持续 200~300 ms。人们在阅读时的信息主要是在注视期间获得。眼跳(saccade), 又称眼跳动, 即眼球在注视点之间产生的跳动, 是受中枢神经系统控制的有规律的随意运动, 表现为眼球的注视点或注视方位的突然改变。因为视网膜的解剖结构和中央凹外周区域视敏度的限制, 阅读中的眼跳是必要的。在阅读中, 读者观看的一行文字可以分为三个部分: 中央凹区域(视觉中央的 2°视野范围), 副中央凹区域(视觉中央 2°~5°左右的区域)

收稿日期: 2012-07-02

^{*} 国家社科基金项目(10BYY029), 国家自然科学基金青年基金项目(31100729)和河南省教育厅人文社会科学研究项目(2012-ZD-058)的资助。

通讯作者: 闫国利, E-mail: psyylg@163.com;

熊建萍, E-mail: xjpwh2001@163.com

和外围区域(副中央凹以外的所有区域)。虽然中央凹的视敏度很高,但副中央凹的视敏度较低,外围区域则更差。因此,在阅读中注视者必须移动眼睛将新的阅读内容呈现在中央凹视觉区内。

眼跳是需要时间计划和执行的运动反应。眼跳潜伏期(saccadic latency),是编码视觉区域中目标的位置和引发眼跳所需的时间,约175~200 ms (Becker & Jürgens, 1979; Rayner, Slowiaczek, Clifton, & Bertera, 1983),但这一数据只是平均值,会随任务要求的不同而不同。眼跳时间(saccadic duration),是指眼睛在两个注视点之间实际移动所需的时间,与眼跳距离有密切关系,距离越大持续时间就越长。研究发现,阅读时2°视角的眼跳,大约需要30 ms;场景知觉中5°视角的眼跳,通常需要40~50 ms (Abrams, Meyer, & Kornblum, 1989; Rayner, 1978)。

因为眼跳过程中视觉是被抑制的(Matin, 1974),新信息只能在注视阶段获得。因此关于眼跳过程中认知加工是否被抑制的问题曾引起研究者的极大关注。早期的一些研究认为,眼跳过程中认知活动也被抑制,但是这些研究使用的任务都相对简单,并不能很好地证明在相对复杂的阅读活动中认知过程是否被抑制。随后 Irwin 等人 (Irwin & Carlson-Radvansky, 1996; Irwin, 1998; Irwin & Brockmole, 2004)的一系列研究表明,尽管在眼跳过程中视觉刺激的编码被抑制,但是词汇的认知加工过程并没有被抑制。

在阅读中,多数眼跳都是从一个已知区域朝向新的未知区域,即向前眼跳(progressive saccade),但有时还会出现反方向的眼跳,被称为回视(regression)。因此阅读中的回视是指退回到前面语句的眼跳,是阅读中另一个重要的眼动组成部分。对于熟练的阅读者来说,10%~15%的时间被用于回视。大多数回视是针对紧邻的前一个词语,然而当理解不充分或文章太难时,更长距离的回视会指向较早出现的词语上。因为很难用实验的方法对回视加以控制,因此它的内在机制以及它自身的特点目前仍没有很好的解释(Rayner, 2009; Inhoff & Weger, 2005; Rayner, Juhasz, Ashby, & Clifton, 2003; Weger & Inhoff, 2006, 2007; Mitchell, Shen, Green, & Hodgson, 2008)。

以上介绍了阅读过程中的基本眼动知识。事实上,早在19世纪末,人们就开始以眼动为指标

探讨人的认知过程。在这漫长的历史过程中,研究者不断探索反映人的心理活动的眼动指标。目前,在阅读的眼动研究中眼动分析指标非常丰富,但总体上与两类眼动活动有关,即阅读过程中眼睛何时移动和眼睛移动到哪里。据此,本文将眼动指标分为两类,一类是与眼睛何时移动有关的时间维度的眼动指标,另一类是与眼睛移动位置有关的空间维度的眼动指标。

2 时间维度的眼动指标

眼动记录分析法与其他的测量阅读时间的方法(如自控速阅读)相比,一个显著的优点是,实验者可以将读者对某个区域的第一遍注视时间与之后的阅读时间区分开。研究者据此可以推断阅读理解加工的时间进程。同时从眼动控制的角度看,时间维度的眼动指标能回答何时移动眼睛的问题。在阅读研究中时间维度的眼动指标比较丰富,而且使用广泛。

在阅读的眼动研究中,研究者往往要根据研究的需要,确定分析的目标区域,即“兴趣区”(area of interest, AOI),兴趣区可以是一个字或一个词,也可以是一个较大的区域,如一个短语或一个句子。对只有一个字或词的较小兴趣区的分析,研究者更关注语言特征对词汇通达的影响,对较大兴趣区的分析则可能更关注词语间的关系分析以及对句法结构的分析。这就决定了不同范围的兴趣区适用的眼动指标也会有所区别。

2.1 以字或词为兴趣区的眼动指标

2.1.1 单一注视时间

单一注视时间(single fixation duration)是指在最初的从左到右的句子阅读中,兴趣区内有且只有一次注视时的注视时间,如图1中注视点(3)、(4)、(5)、(9)、(10)和(11)。单一注视时间被认为是字词识别中语义激活阶段的良好指标(Rayner, 1998; 张仙峰, 叶文玲, 2006)。兴趣区内接受了多次注视的加工过程与只接受一次注视的加工过程在性质上是不同的,因此注视点(1)和(12)不属于单一注视时间。另外,如果兴趣区内的单一注视是紧跟在一次回视之后也不属于单一注视时间,如注视点(7),因为该注视点所在的兴趣区最初被跳读了,在跳读过程中有可能已从该区域获得了某些信息,因此相对于其他几个注视点,注视点(7)的注视时间已不完全反映该区域最初的心理加

工过程。当兴趣区被再注视的频率较高时, 计算单一注视时间就失去了意义, 因为这种情况下兴趣区内的大量眼动数据需要删除, 极有可能导致数据的变异增大, 从而降低该指标的敏感度 (Inhoff & Radach, 1998)。

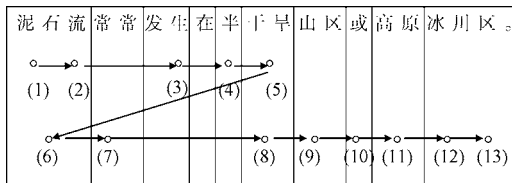


图1 假设的眼动轨迹图一

注: 该轨迹图以词语为兴趣区, 兴趣区间用竖线隔开, 圆点代表注视点, 箭头代表眼跳方向, 数字序号代表注视次序。下同。

单一注视时间受词汇特征的影响较大, 如词频、词长、词语的可预测性等。研究(Raney & Rayner, 1995; Rayner, Raney, & Sereno, 1996)发现, 阅读者对高频词的单一注视时间明显短于低频词; 随着词长的增加, 对词语的单一注视时间也随之增加, 而且单一注视的时间都长于两次注视中的任意一次注视时间。对当前注视词(词 n)的单一注视时间还受词 $n+1$ 的词汇特征的影响。有研究(Drieghe, Rayner, & Pollatsek, 2008)发现, 当词 $n+1$ 更难加工(低频、长词)时, 词 n 的单一注视时间越短。Kliegl, Risse 和 Laubrock (2007)的研究发现词 $n+1$ 的词性对词 n 的加工有影响, 当词 $n+1$ 为功能词时, 词 n 的加工时间更长。对汉语阅读的眼动研究(Yen, Tsai, Tzeng, & Hung, 2008; Yen, Radach, Tzeng, Hung, & Tsai, 2009; Yan, Richter, Shu, & Kliegl, 2009; Yang, Wang, Xu, & Rayner, 2009)发现, 字 $n+1$ 的字形、语义、语音信息以及词 $n+1$ 的语义信息对词 n 的单一注视时间均有影响。

2.1.2 首次注视时间

首次注视时间(first fixation duration)指在首次通过阅读中某兴趣区内的首个注视点的注视时间, 不用考虑该兴趣区有多少个注视点, 如图1中的注视点、 、 、 、 -。在当前的阅读眼动研究中首次注视时间是使用最普遍的指标之一, 能有效反映词汇通达的早期阶段特征。系列研究发现, 首次注视时间对多个言语特征反应

敏感, 如正字法特征(White, Johnson, Liversedge, & Rayner, 2008)、语音特性(Ashby, 2006; Ashby & Clifton, 2005)、词汇特征(词频、词长、词的可预测性等)(Kliegl, Grabner, Rolfs, & Engbert, 2004; Slattery, Pollatsek, & Rayner, 2007; White, 2008; Staub, White, Drieghe, & Hollway, 2010)、语境限制(Frisson, Rayner, & Pickering, 2005)等, 在汉语阅读中首次注视时间还受到汉字笔画数的影响(Wang & Pomplun, 2010)。然而, 首次注视时间也不是一个完美的眼动指标, 因为该指标混淆了兴趣区内有单一注视和多次注视的情况, 而这两种情境下的心理加工过程是明显不同的。单一注视表明阅读者在首次注视时已经完全获得了目标区的信息, 多次注视则表明阅读者在首次注视时没有获得完整的词汇信息。

针对这一问题, Rayner 等(2010)在研究中使用了“首次加工有多次注视的首次注视时间”(duration of the first fixation in multiple first-pass fixations)这一指标, 研究者认为这是一个较好的反映词汇早期加工的指标, 优于之前提到的首次注视时间和单一注视时间, 但是目前该指标的使用很有限。而且, 在正常的阅读中, 仅有15%的词语被再注视, 因此导致研究者很难收集到足够多的数据用于分析首次加工有多次注视的首次注视时间。该研究结果表明首次加工有多次注视的首次注视时间这一指标对词频效应和字母大小写效应的反应模式和敏感度与首次注视时间、单一注视时间和之后提到的凝视时间指标相同。

2.1.3 第二次注视时间

当一个兴趣区在首次加工过程中被多次注视时, 第二次注视时间(second fixation duration)也是一个有用的眼动指标, 如图1中的注视点和。如果首次加工过程中还有第三次、第四次注视, 那么这些注视点的持续时间也包括在第二次注视时间中。研究发现, 第二次注视和首次注视的持续时间和它们的落点位置有密切关系, 如果首次注视点落在词语的起始字母上, 那么注视时间较短, 但是随后的第二次注视时间往往较长。如果首次注视点落在词语的中心位置, 则注视时间较长, 但第二次注视时间较短(Holmqvist, et al., 2011)。在对复合词的研究中, 第二次注视时间被看做是一个较好的反映词汇早期加工的指标(Pollatsek & Hyönä, 2005)。

2.1.4 凝视时间

有时候读者对兴趣区的第一遍阅读中会包括不止一个注视点, 这种情况下, 首次加工中的所有注视点都代表着初始的加工, 凝视时间(gaze duration)是指从首次注视点开始到注视点首次离开当前兴趣区之间的持续时间, 包括兴趣区内的回视, 如图1中的注视点 和 的时间之和即为兴趣区“泥石流”的凝视时间, 因此凝视时间也是反映词汇通达早期阶段的指标。如果在注视点跳出兴趣区之前对该区域只有一次注视, 那么凝视时间就等于该区域的首次注视时间, 如图1中兴趣区“山区”和“高原”等。凝视时间指标与首次注视时间指标一样, 包含了所有兴趣区被注视的情境, 而且对前词汇(pre-lexical)特征、词汇特征都反应敏感, 因此也是使用最广泛的指标之一。如果在不同实验条件下, 兴趣区中的首次注视时间或凝视时间存在差异, 那么由此可以推断在其中一种实验条件下阅读者对词语的首次加工遇到了困难。

Hyönä, Bertram 和 Pollatsek (2004)以及 Pollatsek 和 Hyönä(2005)在对芬兰语复合词的研究中首次使用了亚凝视时间(subgaze duration)这个指标。研究采用边界范式, 边界位于复合词的两个成分词(或词素)相邻的位置, 第一个成分词和第二个成分词的起始两个字母始终可见, 第二个成分词的其他字母被形似字母替代。当读者眼睛跳过边界的同时第二个成分词的其他字母被替换为原来的字母。据此在数据分析时就可以将复合词的凝视时间拆分为两个部分, 呈现变化之前的凝视时间和变化之后的凝视时间, 分别被称为亚凝视时间 1 (subgaze $_1$ duration)和亚凝视时间 2 (subgaze $_2$ duration)。亚凝视时间 1 是指眼跳首次越过边界之前落在该复合词第一成分词上的注视点的时间之和。如果对复合词的首次注视落在边界之后, 即落在第二个成分词上, 那么亚凝视时间 1 则为0。亚凝视时间 2 是指眼跳首次越过边界之后落在该复合词(包括两个成分词)上的注视时间之和。如果眼跳首次越过边界之后注视点直接落在该复合词之外, 那么亚凝视时间 2 为0。可见, 计算亚凝视时间使复合词的凝视时间进程分析更加细化和深入, 亚凝视时间 1 可以看做是反映复合词初期加工阶段的较早期指标, 与复合词的第一成分词特征有密切关系, 亚凝视时间 2 反映的是复合词整词的早期加工情况。

2.1.5 离开目标后的首次注视时间

离开目标后的首次注视时间(first fixation duration after leaving)是指注视点离开当前兴趣区后的首次注视时间, 如图1中注视点 和 分别为兴趣区“泥石流”和“干旱”的离开后首次注视时间。Hyönä, Lorch Jr 和 Rinck (2003)指出该指标反映的是词汇加工的后期阶段特征。但问题是, 在实际的阅读活动中, 注视点离开当前兴趣区后既可能沿着正常的阅读方向跳向后面的区域, 如注视点 , 也有可能回视到之前的阅读区域, 如注视点 , 这两种眼跳轨迹反映的心理加工过程是不一样的, 前者说明读者已经完成了对兴趣区内内容的加工, 后者则表明读者在加工当前兴趣区内容时遇到了困难。离开后的首次注视时间这一指标并没有区分以上两种不同的眼动情况, 有可能会在数据分析中出现偏差。因此建议研究者在使用该指标时, 将这两种不同的眼动轨迹分别进行分析。

2.1.6 回视时间和总注视时间

回视时间(regression time)是指所有回视到当前兴趣区的注视时间之和, 如图1中注视点 的注视时间即为兴趣区“泥石流”的回视时间。总注视时间(total fixation duration), 也被称为总停留时间(total dwell time) (Holmqvist et al., 2011)、总阅读时间(total reading time) (Clifton, Staub, & Rayner, 2007)或总观看时间(total viewing time) (Inhoff et al., 1998), 是落在兴趣区的所有注视点的时间的总和。在图1中兴趣区“干旱”的总注视时间为注视点 和 的注视时间之和。回视时间是反映词汇后期加工过程的指标, 而总注视时间指标对较慢和较长时间的认知加工过程敏感 (Holmqvist et al., 2011)。如果在研究中发现, 某种效应在兴趣区的总阅读时间上显著, 而在早期的指标上(如首次注视时间和凝视时间)不显著, 那么可以推测该效应只在相对后期的加工过程中存在。但需要强调的是, 总注视时间不包括阅读者对兴趣区之前内容的回视时间, 因此不等于阅读者对兴趣区的完全加工时间。

2.2 以短语或句子为兴趣区的眼动指标

2.2.1 第一遍阅读时间

第一遍阅读时间(first-pass reading time/first-pass fixation time)是指阅读者的注视点首次跳向另一兴趣区之前对当前兴趣区的所有注视点的注

视时间之和, 也被称为“第一次通过总时间”(first run dwell time)。它的计算方法与之前提到的凝视时间相同, 只是在对较大区域的眼动研究中更多使用“第一遍阅读时间”这一名称。在计算第一遍阅读时间时, 一般都需要将多个连续注视点的注视时间相加, 这时就会遇到一个颇有争议的问题: 连续注视点间的眼跳时间是否需要加进注视时间内? 这也是所有涉及到注视点相加的眼动指标在计算时遇到的问题。对此有两种对立的观点。一种观点认为(Inhoff et al., 1998; Rayner, 1998; Murray, 2000)眼跳时间非常短, 是否加进注视时间对最终结果没有太大影响。尽管 Rayner 曾提出, 当对包含有多个单词的兴趣区进行分析时, 因为有多次注视, 眼跳时间的作用可能会比较明显, 但他并未明确指出应将眼跳时间计算在注视时间内, 而且在多数眼动研究中, 研究者在计算多个注视点之和时并未包含眼跳时间。持相反观点的研究者(Vonk & Cozijn, 2003)认为眼跳时间尽管很短, 但只要是连续的注视点的注视时间相加都应该包含眼跳时间, 因为语言加工过程在眼跳期间仍在进行。注视点间的眼跳时间对总注视时间的作用的大小主要受眼跳次数的影响, 那么当目标区域较大时, 眼跳次数势必增多, 总的眼跳时间也会随之增加; 更重要的是当加工的目标区域难度较大时, 眼跳时间的影响作用将更明显, 因为当阅读遇到困难时, 阅读者往往会多次注视该区域。因此建议研究者根据具体的研究内容和实际情况决定是否将眼跳时间加进注视时间, 因为目前的多数研究都将眼跳时间忽略不计, 因此如果在数据分析时, 加进了眼跳时间则应该在研究中予以说明, 以便于同类研究结果间的比较。

2.2.2 向前阅读时间

在阅读的眼动轨迹图中会发现, 有时阅读者是以向前眼跳的方式离开某一兴趣区(如图2中的第一个兴趣区), 有时则以向后眼跳即回视的方式离开该兴趣区(如图2中的第二个兴趣区)。在计算第一遍阅读时间时, 并未对这两种不同的眼跳现象加以区分。Altmann 等(Altmann, Garnham, & Dennis, 1992)在研究中采用“回视相依分析”(regression-contingent analysis)技术, 将这两种不同的眼跳轨迹分别进行分析, 结果发现以向前眼跳方式离开兴趣区的第一遍阅读时间长于以回视方式离开兴趣区的第一遍阅读时间, 可能的原因

是, 读者对当前兴趣区加工时遇到了理解障碍, 从而回视到文章的较早部分进行重读以完成理解, 因此对当前兴趣区的加工时间较短。没有发生回视, 表明阅读者是在完成了对兴趣区的加工过程和解决问题之后跳出该兴趣区的, 因此加工时间可能会相对较长。事实上, 数据结果也表明这两种不同眼动轨迹的数据特征不同。

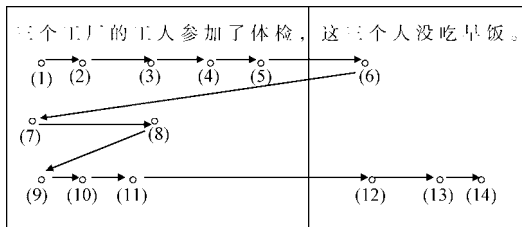


图2 假设的眼动轨迹图二

注: 该图以句子为兴趣区。

据此, 有研究者(Vonk & Cozijn, 2003)提出了“向前阅读时间”(forward reading time)指标以区分这两种不同的眼跳现象。向前眼跳时间是指从兴趣区的首次注视点开始到首次离开, 且以一个向前眼跳的方向离开该兴趣区之间的持续时间, 包括兴趣区内的回视, 在图2中第一个兴趣区的第一遍阅读时间即为向前阅读时间, 等于前五个注视点的时间之和。可见, 向前阅读时间指标区别于第一遍阅读时间指标的唯一之处在于前者仅包括以向前眼跳方式离开兴趣区的第一遍阅读时间。Vonk 等认为向前阅读时间指标更优于第一遍阅读时间指标, 因为第一遍阅读时间指标不考虑注视点首次离开兴趣区后是否发生回视, 那么在该类回视发生频率较高的情境下, 就有可能出现材料较难条件下的第一遍阅读时间反而短于材料容易条件下的阅读时间, 从而造成数据结果的自相矛盾。

2.2.3 第二遍阅读时间

第二遍阅读时间(second pass reading time)也被称为“回看注视时间”(lookback fixation time)(Hyönä et al., 2003), 是指对某兴趣区第一遍阅读之后注视点再次回到该兴趣区的所有注视点的持续时间之和, 包括第二次, 甚至第三次离开该兴趣区后又再次回到该兴趣区的注视时间。如在图2中, 第一个兴趣区的第二遍阅读时间为第7~9个注视点的时间之和, 第二个兴趣区为注视点

~ 的时间之和。如果首次通过后兴趣区没有被再注视,那么对该兴趣区的第二遍阅读时间为零。该指标通常被看做是反映信息加工后期阶段的指标 (Clifton et al., 2007)。

2.2.4 回视路径阅读时间、选择性回视路径阅读时间和重读时间

前面提到的第一遍阅读时间和第二遍阅读时间指标有一个共同的特征,它们都是对空间上连续的注视点进行整合而形成的,即所有注视点都发生在一个兴趣区内。而这种空间连续性的特点会造成这些指标无法反映在重读过程中某个变量对加工过程影响的时间进程(Liversedge, Paterson, & Pickering, 1998),因为在这种情况下,时间上连续的注视点在空间上并不是邻近的。如图2中第 个注视点与第 个注视点,要对这种阅读情况进行分析就需要采用另一类从时间邻近性上对注视点进行整合而形成的眼动指标。

回视路径阅读时间(regression path reading time) (Liversedge et al., 1998; Huang & Gordon, 2011)指从某个兴趣区的第一次注视开始,到注视点落到该兴趣区右侧的区域为止(不包括这一注视点),之间所有的注视点的持续时间的总和。如在图2中,第二个兴趣区的回视路径阅读时间等于第 - 注视点的时间之和。这个指标包含与回视行为相关的阅读时间,反映了被试用于探测到问题,并重读前面文章的加工过程,也就是说,该指标不仅可以反映词汇通达的加工过程,而且还能反映后期句子整合的加工过程。在有的研究中也被称为“回看时间”(go-past reading time) (Clifton, Bock, & Radó, 2000)、“总体通过阅读时间”(total-pass reading time) (Vonk et al., 2003)、“累计阅读时间”(cumulative region reading time) (Mitchell, Brysbaert, Grondelaers, & Swanepoel, 2000)、“扩展的第一遍阅读时间”(extended first-pass fixation time) (该指标更多用于对句子的分析) (Hyönä et al., 2003; Hyönä, Lorch, & Kaakinen, 2002)等。

选择性回视路径阅读时间(selective regression path reading time)是指从某个兴趣区的第一次注视开始,到注视点落到该兴趣区右侧的区域为止(不包括这一注视点),之间所有落在该兴趣区的注视点的持续时间之和。该指标与回视路径阅读时间的区别在于,选择性回视路径阅读时间只包

括兴趣区内的注视点,如图2中,第二个兴趣区的选择性回视路径阅读时间等于第 和第 - 注视点的时间之和。可见,选择性回视路径阅读时间整合了兴趣区的第一遍和第二遍阅读时间,因此该指标不仅能反映早期与词汇通达有关的认知加工效应,而且能反映后期与句子整合有关的认知加工效应,是一个非常有价值的指标。

重读时间(re-reading time)是指,对某兴趣区的回视路径阅读时间减去第一遍阅读时间后的持续时间。也被称为“再检查时间”(re-inspection time) (Blythe, Häikiö, Bertam, Liversedge, & Hyönä, 2011)、“首次通过回视时间”(first-pass regression time) (Van Gompal, Pickering, & Traxler, 2001)。如在图2中,第二个兴趣区的重读时间就等于第 - 注视点的时间之和。这一指标主要反映被试在目标区遇到困难后的再分析过程,因此不包括对目标区首次加工的注视时间。

回视路径阅读时间和重读时间都是将读者遇到加工困难后阅读文章时的注视点整合起来(回视路径阅读时间包括初始加工中的注视),因此是按时间上的邻近关系将注视点整合而形成的指标。Liversedge 等(1998)指出,如果阅读中的重读过程是时间连续无间断的过程,那么通过时间邻近性得出的指标可以清楚地描绘出这个过程的时间特性,因此在需要探测变量效应的时间进程时,从时间邻近性整合的眼动指标会比从空间邻近性整合的指标更敏感。但这并不是说时间邻近性整合的指标优于空间邻近性整合的指标,最好的解决办法就是在阅读的眼动研究中同时将时间邻近性指标和空间邻近性指标结合起来进行分析。这可以在最大程度上保证研究者测量到变量的效应,也能使研究者发现读者在句子理解过程中发生加工困难后的眼动特点。Liversedge 等通过对歧义句的研究验证了这一点。在该实验中研究者让被试读两种类型的定语从句,如“(1)The teenagers allowed a party invited a juggler straightaway. (2)The teenagers who were allowed a party invited a juggler straightaway.”。研究的自变量有两个:是否省略“who were”和句首是否加“only”,省略“who were”的句子容易产生歧义,研究主要考察在句前加“only”能否避免“花园路径”效应。其中“invited”为解歧区。对解歧区和解歧区之前区域的第一遍阅读时间和总注视时间的分析发现,两

个变量的主效应显著,在解歧区不存在交互作用,但在解歧区之前区域存在交互作用。但对这两个指标的分析无法弄清楚读者在读到解歧词时,是否立即做向左的眼跳,回视到前面的区域,或者说读者是否先了解歧词之后的区域,才又重读前面的区域。为了回答该问题,研究者又对这些区域的回视路径阅读时间和重读时间进行了分析,发现在解歧区之前区域上,两变量的主效应交互作用均显著,简单效应分析发现对省略句的回视路径阅读时间和重读时间长于不省略句,以“only”为开头的句子中省略句与不省略句没有差异。在解歧区上的结果与总注视时间指标的结果一致。由此整合这两类指标的结果可以得出结论,只在句前加“only”不能避免发生“花园路径”效应,但利于读者对句子的重新分析。

2.2.5 总阅读时间

总阅读时间(total reading time)与之前词汇分析中提到的“总注视时间”(total fixation duration)实质一样,都是指阅读者对兴趣区的所有注视点的时间的总和。

2.2.6 平均注视时间

兴趣区内所有注视点的持续时间的平均值就是平均注视时间(mean fixation duration)。这一指标在以字或词为兴趣区的眼动分析中同样适用。如果阅读者对兴趣区的注视点均匀分布那么平均注视时间将会是一个有用的测量。但事实是有的兴趣区仅被注视一次,而有的被多次注视,只粗略地计算所有注视点的平均值,就可能混淆这两种阅读现象。而且更重要的是,当与首次注视时间和第一遍阅读时间同时使用时,可能会出现实验结果的自相矛盾。比如,研究发现较长的词一般会被多次注视(McDonald & Shillcock, 2004; Vergilino-Perez, Collins, & Dore-Mazars, 2004),因此在凝视时间这一指标上词长效应显著,但因为首次注视时间和再注视时间倾向于比单一注视时间短,这样较长词语上多次注视时间的平均值反而小于较短词语上的单一注视时间的平均值。

另外有研究发现(Hyönä & Niemi, 1990; Raney et al., 1995; Schnitzer & Kowler, 2006),当读者重读阅读材料时,整个阅读过程都会保持相似的注视模式,但是眼跳距离变长,注视次数减少,回视频率下降。如果使用首次注视和凝视时间检验注视时间的变化时会发现,注视时间也有

很大程度的下降,但是平均注视时间却仅受最小限度的影响。这进一步证明,在有些情况下,平均注视时间不是一个很好地体现时时加工过程的指标(Rayner, 2009)。但该指标常在整体分析中使用,反映阅读加工的整体情况。

3 空间维度的眼动指标

3.1 眼跳距离

眼跳距离(saccadic amplitude/saccadic length/saccadic size)是指从眼跳开始到此次眼跳结束之间的距离。眼跳距离大,说明被试在眼跳前的注视中所获得的信息相对较多(Irwin, 1998; 闫国利, 白学军, 2000),阅读速度较快。研究发现随着文章难度的加大,阅读者的眼跳距离变短(Rayner, 1998)。Phillips 和 Edelman (2008)的研究发现,在视觉搜索任务中眼跳距离比注视时间更能解释个体成绩的变异和提高。因此,眼跳距离可以看做是反映阅读效率和材料加工难度的指标。

从眼动仪的数据分析软件中导出的眼跳距离数据是以视角度数或者像素为单位。但是,在阅读研究中,描述眼跳距离时通常使用的单位是字母数(西文)或者汉字数(中文),而很少使用视角度数这个单位。因为只要文章的字号是正常的大小,眼跳是由字母(或汉字)而非视角决定的(Morrison & Rayner, 1981; McDonald, 2006)。因此在多数研究中需要对眼跳距离进行单位转换,具体的做法是用数据分析软件中导出的以视角度数或像素为单位的数据除以实验中每个字母或汉字所对应的视角度数或像素数。眼跳距离在不同的研究中,根据研究的需要还可以形成其它新的指标,如向前眼跳距离(forward saccade size)、回视眼跳距离(regressive saccade size)等。

阅读中的眼跳距离受诸多因素影响,除上文提到的材料难度外,当前注视词和注视点右侧单词的词长也影响眼跳距离(Inhoff, Radach, Eiter, & Juhasz, 2003; Juhasz, White, Liversedge, & Rayner, 2008; O'Regan, 1979, 1980; Rayner, 1979; White, Rayner, & Liversedge, 2005),如果注视点右侧的单词很长或很短,那么下次眼跳距离与中等长度的单词相比会更长,比如,注视点右侧的单词是一个由11个字母组成的单词,那么对该词的眼跳距离和对2个由5个字母所组成的单词相比会更长一些,如果注视点右边是一个很短的词,由2

到4个字母组成,那么对它的眼跳距离相比于由5到7个字母组成的单词就更长一些,原因很可能是由于短词会被跳过。文字的书写体系也影响眼跳距离,汉语阅读者的平均眼跳距离显著小于英语阅读者,通常只有2~3个汉字空间(Inhoff & Liu, 1998; 闫国利,白学军,2007),英语阅读者的平均眼跳距离为7~9个字母空间(Rayner, 1998),可能是因为汉语中汉字的排列较紧凑,单位空间内的语言信息量比英语更紧密。阅读者自身的特征是另一个影响因素,在英语和汉语阅读中均发现,初学阅读者或不熟练阅读者的眼跳距离显著短于熟练阅读者(Ashby, Rayner, & Clifton, 2005; Häikiö, Bertram, Hyönä, & Neimi, 2009; Rayner, Slattery, & Bélanger, 2010; 熊建萍,闫国利,白学军,2009; 闫国利,王丽红,巫金根,白学军,2011),阅读困难儿童的眼跳距离明显小于正常儿童(Rayner, 2009; 韩玉昌,隋雪,任延涛,2005)。在英语材料的研究中发现,老年人的眼跳距离明显大于年轻人(Rayner, Reichle, Stroud, Williams, & Pollatsek, 2006; Rayner, Castelano, & Yang, 2009)。

3.2 注视位置

注视位置(landing position)是指注视点所处的位置,当前的注视位置既是前一次眼跳的落点位置(landing site)也是下一次眼跳的起跳位置(launch site)。在眼动记录数据时,注视位置一般都是以二维的(x, y)坐标系采样,单位为像素,在数据分析时需要对注视位置数据进行转换,普遍的做法就是将一个词语平均划分为若干个兴趣区,对兴趣区进行编码后,根据各注视点位置的像素值和对应兴趣区的像素范围计算每个注视点在词内的位置。研究者可以根据研究的需要形成多个不同的注视位置指标,如平均首次注视位置(不管词上有多少次注视,只计算在该词上的第一次注视)、单次注视中的平均首次注视位置、多次注视中的平均首次注视位置,向前注视的平均注视位置等,同时还能形成多个相应的注视位置分布图。

注视位置主要受词长和起跳位置的影响,在拼音文字的阅读中,对于4~5个字符的较短词的注视位置经常位于词语的中心,对于较长的词语则常处于词语中心偏左的位置(Nuthmann, Engbert, & Kliegl, 2005; Radach & McConkie, 1998)。汉语阅读的研究结果仍存在争议。较早的

研究表明,首字注视位置较为平均地分布在字的各个位置(Tsai & McConkie, 2003, Yang & McConkie, 1999)。在单次注视中,对词的首次注视位置往往落在词的中心,而在多次注视中,倾向于注视词的开头(Yan, Kliegl, Richter, Nuthmann, & Shu, 2010)。Li, Liu 和 Rayner (2011)的研究以两字词和四字词为实验材料,考察中文读者的注视位置,结果并未发现中文读者以词的中心位置为眼跳的目标。Li 等人认为,之所以出现不同的结果是因为之前的研究在计算注视位置时,只考虑了从目标词左侧的汉字起跳,并落在目标词上首次注视点的情况,对目标词的再注视并没有参与计算。当对落在目标词上所有向前的注视(包括词内再注视)进行分析时,发现注视位置分布呈一条平行于x轴的曲线。

注视点在词内最频繁的落点位置被称为“偏爱注视位置”(preferred viewing location, PVL)。这个位置会随着先前起跳位置的不同而变化,如果落在目标词上的注视点的起跳位置距离该单词过远(大约8~10个字符的距离),那么注视位置就会偏向词语的左侧。同样的,如果这个距离很小(2~3个字符的距离),注视位置就会偏向右侧。有研究发现,起跳位置和平均注视位置之间呈线性关系,且不受词长的影响。对于4~8个字母的词语来说,它的估计斜率平均为0.5个字母位置,换句话说,起跳位置每增加一个字母空间的距离,那么注视点的落点位置就随之向前移动约半个字母的空间(Nuthman et al., 2005; Krügel & Engbert, 2010)。Vitu (2011)在研究中将起跳位置到词语中心的距离保持不变,结果发现不管词长为多少,注视位置都基本一样,由此研究者认为,决定眼睛在词内注视位置的最主要因素是起跳位置而非词长。在拼音文字阅读中词间空格也影响注视位置。大量研究发现,拼音文字中的词边界信息可以帮助读者把下一个注视点定位在单词的最佳注视位置上,当删除单词之间的空格后,首次注视位置更多落在单词的开头位置上,这可能与眼跳距离变小有关。汉语阅读中尽管不存在词间空格,但有研究发现,如果在词间加进空格能在一定程度上帮助读者进行有效的眼跳定位(Zang, Liversedge, Liang, Bai, & Yan, 2012)。

3.3 注视次数

注视次数(number of fixations)是指兴趣区被

注视的总次数。该指标能有效反映阅读材料的认知加工负荷, 认知负荷较大的阅读材料, 注视次数也更多。研究(Henderson & Ferreira, 1990)发现, 阅读较难材料时的注视次数明显比阅读较易材料时多。不同阅读水平的读者阅读同一材料时注视次数也显著不同, 有研究表明, 老年人阅读时的注视次数显著多于年轻人, 熟练阅读者的注视次数明显少于不熟练阅读者(Rayner, Yang, Castelano, & Liversedge, 2011; Rayner et al., 2010)。根据研究需要, 注视次数指标又可以细分为向前注视次数(number of forward fixations)和回视注视次数(number of regressive fixations)两个指标。前者只计算由向前眼跳引发的注视次数, 后者则只计算由回视引发的注视次数。

3.4 跳读率

跳读率(skipping rate)是指首次阅读中兴趣区被跳读的概率, 具体而言就是首次阅读中兴趣区被跳读的频率与该兴趣区被跳读和被注视的频率之和的比值。有两个因素对跳读有很大的影响: 词的 lengths 和词的预期性。首先, 影响跳读的最主要因素是词长(Brysbaert, Drieghe, & Vitu, 2005; Drieghe, Brysbaert, Desmet, & De Baecke, 2004; Rayner, 1998; Drieghe, Desmet, & Brysbaert, 2007; Drieghe, Pollatsek, Staub, & Rayner, 2008; Gautier, O'Regan, & LaGargasson, 2000)。与较长的词相比, 短词更有可能被跳读。当两三个短词连续出现时, 他们其中的两个很有可能被跳读(Drieghe et al., 2008; Gautier et al., 2000)。Vitu 等(Vitu, O'Regan, Inhoff, & Topolski, 1995)的研究发现, 1 个字母构成的词语被跳读率约为 80%, 3 个字母构成的词语为 60%, 5 个字母构成的词语为 30%, 7 个字母或更长的词语为 10%, 而且不管是在有意义的句子阅读中还是在无意义的字母串阅读中这些数据都没有变化。其次, 词的预期性也影响跳读率。高预期性的词与那些低预期性词相比会更容易被跳读(Binder, Pollatsek, & Rayner, 1999; Rayner & Well, 1996; Vitu, 1991)。在汉语的阅读中同样存在这种现象(Rayner, Li, Juhasz, & Yan, 2005)。

词语被跳读并不表明该词语没有被加工, 研究发现(Pollatsek, Rayner, & Balota, 1986), 当一个词语被跳读时, 跳读前的注视时间往往较长。而且, 与没有被跳读的目标词相比跳读之前和之后的注视区域显示出有所扩大 (Kliegl & Engbert,

2005; Rayner et al., 2003)。这表明被跳过的词语在副中央凹视觉区已被加工, 可能是发生在被跳读之前也可能是在跳读之后。

3.5 再注视比率

再注视比率(refixation rate)就是首次阅读中兴趣区被多次注视的概率, 等于首次阅读中兴趣区被多次注视的频率与该兴趣区被单一注视和多次注视的频率之和的比值。该指标对认知变量反映敏感, 在眼动研究中被认为具有重要的意义, 因为反映语言学特征的凝视时间效应主要体现为再注视比率的增加而不是单个注视时间的增加。

词汇特征对词语的再注视比率影响较小, 再注视比率主要受较低水平的视觉特征的影响, 如词内注视的登陆位置(Rayner et al., 1996)。研究发现, 再注视比率受首次注视位置的影响较显著, 当首次注视位置位于词语的中心区域时, 再注视概率最小, 对词语的加工速度最快, 这种现象被称为“最佳注视位置效应”(optimal viewing position effect, OVP effect)或者再注视的最佳注视位置效应(refixation-optimal viewing position effect)。但需要说明的是, 关于汉语的研究结果与此不同, Yan 等人(2010)的研究发现, 汉语读者对词的首次注视落在词首时, 再注视该词的概率最高, 而落在词尾时, 再注视该词的概率最低。阅读中读者总尝试去注视词语的中心位置, 当注视点未登陆到这个最佳位置时, 就会更倾向于再注视这个单词(Inhoff et al., 2003; Juhasz et al., 2008; White et al., 2005)。O'Regan 等人(1984)的研究发现, 读者对单词的首次注视每偏离最佳注视位置一个字母, 相应损失加工时间大约 20ms。与 OVP 效应相关的另一个发现是反向最佳注视位置效应(inverted optimal viewing position effect, IOVP effect)。该效应是指当读者在一个词上只有一次注视时, 如果该次注视位于单词的中心位置, 即最佳注视位置(OVP), 那么该次注视的持续时间最长。而且注视点越偏离单词中心, 注视时间越少, 呈倒“U”型曲线(Nuthmann, Engbert, & Kliegl, 2007; Vitu, Lancelin, & Marrier d'Unienville, 2007; Vitu, McConkie, Kerr, & O'Regan, 2001)。

3.6 回视次数

回视次数(regression count)反映了读者对之前阅读信息的再加工过程。在阅读的眼动研究中, 有两种不同的回视: 词内回视和词间回视。词内

回视是指在一个词语内由右向左的眼跳,反映词汇的通达过程,而词间回视是指从当前注视词向之前某个词语的眼跳,反映的是句子整合的加工过程,即对几个词语间关系的理解过程。研究者应该根据研究的目的有选择性地使用该指标。

针对某个特定的兴趣区,回视有两种可能,一种是落进该兴趣区的回视,一种是从该兴趣区引发的回视,由此引出两种新的回视指标:“回视入比率”和“回视出比率”。回视入比率(regression-in proportion)是指在阅读中从后面区域回视到当前兴趣区的被试的比率。如图3中,共有四个被试的眼动轨迹,只有被试1引发了对兴趣区1的回视入现象,因此该兴趣区的回视入比率为25%。回视出比率(regression-out proportion)是指阅读中从当前兴趣区引发回视(越过当前兴趣区左侧边界)的被试比率,一般限于对该兴趣区的首次通过阅读过程(Clifton et al.,2007),在有的研究中又被称为第一遍回视率(first-pass-regression proportion)(陈庆荣,谭顶良,邓铸,徐晓东,2010;Calvo, Meseguer, & Carreiras, 2001; Pickering & Frisson, 2001; Traxler, 2008)。如图3中,被试1在兴趣区3引发回视出眼跳,因此该兴趣区的回视出比率为25%。回视出比率可以反映读者在兴趣区的早期加工阶段遇到的加工困难状况,一般与回视路径阅读时间指标结合使用,共同反映读者对兴趣区早期加工遇到困难和后期信息整合的加工过程。在Pollatsek等(2005)的研究中比较了三种包含不同类型复合词的句子:完全不透明复合词(如“humbug”,意为“欺骗”)、半透明复合词(如“strawberry”,意为“草莓”)和全透明复合词(如“milkbottle”,意为“奶瓶”)。结果发现对不透明复合词的回视出比率几乎是透明复合词的两倍。在对歧义句的眼动研究中发现,解歧区的回视出比率明显增加(Clifton et al.,2003)。

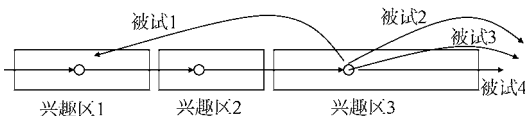


图3 回视出比率和回视入比率示意图

4 其他眼动指标—瞳孔直径

原始的瞳孔直径(pupil dilation / pupil size)数

据记录的是在当前刺激情境下观看者的瞳孔直径大小,但在最后的数据分析中多采用瞳孔直径的变化值。具体的计算方法是,首先计算瞳孔直径大小的基线值,在一般的眼动实验中,在刺激呈现前会先出现校准注视点,将观看者对校准注视点的瞳孔直径大小进行记录,取得平均值,以此作为基线值。刺激呈现期间观看者的瞳孔直径的平均值减去这一基线值即为瞳孔直径的变化值。需要说明的是,瞳孔直径与疲劳密切相关,因此在采用该指标时,应尽可能避免连续呈现刺激,同时在计算瞳孔直径的变化值时,要求对每一个实验项目按照以上步骤逐一进行计算,以尽可能减少观看疲劳对瞳孔直径的影响。另外,瞳孔直径对亮度、颜色、视觉刺激的空间频率等的变化反映敏感,因此,在实验中要尽可能控制这些因素。Porter和Troscianko(2003)提出了几种方法将这种不必要的瞳孔直径的反射性变化控制在最低程度,比如,使用相对较低的刺激对比,避免使用颜色刺激,尽量使用相对较长的刺激呈现时间等。

瞳孔直径的变化被用来推测认知加工的努力程度或认知负荷的大小。Just和Carpenter(1993)的研究考察了瞳孔直径的变化与句子加工之间的关系,结果发现加工复杂句子时的瞳孔直径变化明显大于加工简单句子,研究者认为在阅读理解过程中,瞳孔大小的变化可以作为心理加工的强度(intensity)指标。Hyönä, Tömmola和Alaja(1995)在研究中测定了三种不同任务下瞳孔直径的变化程度,这三种任务分别是:听一篇课文(无理解测验)、跟述(speech shadowing),即听一篇课文的同时以同种语言重复这篇课文、同声翻译(听的是英语,同声翻译为被试的母语)。结果发现,在同声翻译任务中被试的瞳孔直径变化幅度最大,其次是跟述任务,听课文时的瞳孔变化最小。Kuchinke, Võ, Hofmann和Jacobs(2007)在研究中使用词汇判别任务,自变量为词频和词语的情绪效价,记录被试在词汇判别中瞳孔大小的变化。结果发现,在瞳孔直径的变化上同样存在显著的词频效应,具体表现为低频词加工时的瞳孔直径变化幅度显著大于高频词,但词语的情绪效价对瞳孔直径的变化影响不显著。由以上研究可见瞳孔直径的变化可以看做即时反映言语加工过程中认知负荷变化的良好指标。

5 眼动指标使用时应注意的问题

5.1 眼动指标的分类

以上对阅读中的眼动指标进行了介绍。需要说明的是,对眼动指标进行分类的标准并不是唯一的,还可以根据其他的标准进行分类,比如根据研究目的的不同还可以划分为局部分析指标(local measures)和整体分析指标(global measures)(Bai, Yan, Zang, Liversedge, & Rayner, 2008; Li, Zhao, & Pollatsek, 2012)。整体分析指标主要是从宏观上对阅读的眼动特征进行分析,具体包括:平均注视时间、平均眼跳距离、向前眼跳次数、回视次数(比率)、总的句子阅读时间(在句子阅读过程中落在句子上的所有注视点和眼跳的总和)、句子阅读时间校正(指总的句子阅读时间减去眼跳时间,即落在句子上所有注视点的持续时间的总和)、注视位置等(沈德立等, 2010)。具体对一个兴趣区的深入分析主要使用局部分析指标,主要包括:单一注视时间、首次注视时间、第一遍阅读时间、向前通过阅读时间、第二次通过阅读时间、总阅读时间、总体通过阅读时间、重读时间、注视位置、再注视比率、跳读率、回视出比率等。当然这种分类也只是相对的,比如注视位置、眼跳距离等既可以作为整体分析指标也可以在局部分析中使用。

5.2 原始数据的删除标准

在正式分析眼动数据之前,还需要对有问题的原始数据进行剔除。

首先,要删去眼动记录丢失较多的试验项目,同时还要删去包含有眨眼的注视,因为有研究(Ridder & Tomlinson, 1995)发现,与眼跳抑制一样,在眨眼时也存在“眨眼抑制”(blink suppression)现象。根据 Volkmann, Riggs 和 Moore (1980)的研究,眨眼抑制从眨眼启动前约 50~100ms 开始,一直持续到眨眼结束后的 100~150 ms,最近的一项研究(Ehrmann, Ho, & Paoas, 2005)甚至发现要持续到眨眼结束后的 200~500 ms。

其次,要删去注视和眼跳的极端数据。注视时眼睛并不是稳定不动,而是有微小的跳动,眼跳距离只有一个字符的很小部分,这种微小的眼跳(microsaccade)可能表示注意力的调整,也可能是反映了眼动系统内在的校正倾向。关于阅读中微小眼跳的功能至今没有一种合理的解释,它与

知觉和认知加工之间的关系目前也没有统一的认识(Engbert, 2006; Engbert & Kliegl, 2003; Martinez-Conde, Macknik, Troncoso, & Hubel, 2009)。因此在数据分析之前,研究者会参考以往研究选定一个最小眼跳距离的标准,凡是小于该标准的微小眼跳将被视为眼动记录时的“噪音”,在数据分析时被删去,或者看作是较大眼跳的一部分而被合并(Inhoff et al., 1998)。从眼跳距离的频率分布中可以看出微小眼跳的概率极小(见图 4),同样大于 15~20 个字符空间(4° ~ 5° 视角)的眼跳也较少,因此在有的研究中,大于 15~20 个字符空间的眼跳也被作为极端数据删除。

同样对于短暂注视的功能目前也没有合理的解释,多数研究者认为短暂注视并不受即时的认知加工过程控制,阅读者在短暂的注视期间并不能获得有效信息(Rayner & Pollatsek, 1989; Inhoff, Briehl & Schwarz, 1996),因此在数据分析之前需要删去短暂注视。关于短暂注视的界定标准也有一定差异,早期有研究者将 50 ms 以下的注视界定为短暂注视(Inhoff et al., 1996),由图 4 可见,小于 100 ms 的注视在眼动记录中概率很小,因此也有研究将标准限定在 70~100 ms(Vitu, O'Regan, & Mittau, 1990)。当前国内外阅读的眼动研究中一般都采用 80 ms 这一标准(Reingold, Yang, & Rayner, 2010; Slattery, Angele, & Rayner, 2011; Chen & Huang, 2012; van Gompela, Pickering, Pearson, & Liversedge, 2005; 白学军等, 2011; 陈庆荣等, 2010; 任桂琴, 韩玉昌, 于泽, 2012)。也有研究者认为中文阅读中,似乎短注视点相对英文更多,因此将标准定为 60ms(Wang, Chen, Yang, & Mo, 2008; Yang, Wang, Tong, & Rayner, 2012; 王穗苹, 佟秀红, 杨锦绵, 冷英, 2009)。如果小于删除标准的注视与之前或之后的注视处在一个字符空间内,就将这两个注视时间合并作为一次注视,否则就将短暂注视删去。需要说明的是,如果有的研究在计算注视时间时将眼跳时间包含在内,那么短暂注视的界定标准就要更长,而且,当对语言加工过程进行研究时,相对较高的界定标准可能更有利,因为有研究发现,140 ms 及其短于 140 ms 的注视不受阅读材料的词汇特征的影响(McConkie, Reddix, & Zola, 1992)。时间在 1000 ms 以上的注视点几乎不存在(见图 4),如果在眼动数据中出现 1000 ms 以上的注视点,极有可能

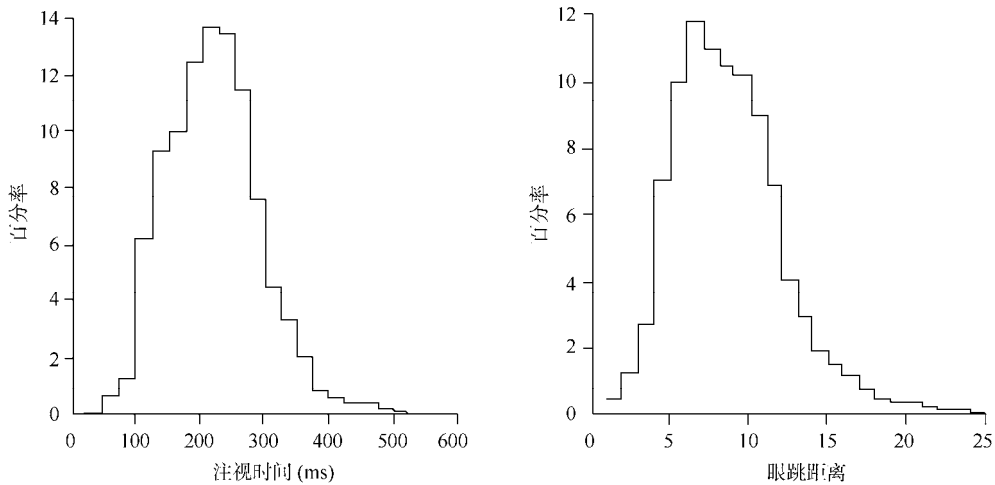


图4 注视时间和向前眼跳距离的频率分布(来自 Rayner, 1998)

注：注视时间以毫秒为单位，眼跳距离以字符空间为单位。

是仪器误差导致，因此也被作为极端数据删除。另外，也有研究将平均注视时间的两个或三个标准差作为删除标准(Rayner et al., 2010)，大于和小于两个或三个标准差的注视时间和眼跳距离作为极端数据删除。

需要说明的是，不管是眼跳距离还是注视时间，在选择极端数据的删除标准时，研究者需要特别谨慎，因为不同的删除标准将对数据的最终解释效果产生较大影响，比如，在有的研究数据中，注视时间的删除标准为 50 ms 时，最终数据的效应值可能不显著，但是如果删除标准界定为 140 ms 时效应值可能会非常显著。目前在阅读的眼动研究中仍无统一的删除标准。

5.3 眼动指标的选择

如何针对不同的研究目的，选取适当而有效的眼动指标并对其进行分析是眼动分析的关键。选择合适的眼动指标，要根据研究内容和研究目的而定。同时如上文所讲每一个眼动指标都有其适用的范围和优缺点，因此在研究中只使用某一个或某一类指标是有局限性的，应该综合使用多种眼动指标，从不同维度对数据进行细致分析。

参考文献

- 白学军, 孟红霞, 王敬欣, 田静, 臧传丽, 闫国利. (2011). 阅读障碍儿童与其年龄和能力匹配儿童阅读空格文本的注视位置效应. *心理学报*, 43(8), 851–862.
- 陈庆荣, 谭顶良, 邓铸, 徐晓东. (2010). 句法预测对句子理解影响的眼动实验. *心理学报*, 42(6), 672–682.
- 蒋波, 章菁华. (2011). 1980-2009 年国内眼动研究的文献计量分析. *心理科学*, 34(1), 235–239.
- 韩玉昌, 隋雪, 任延涛. (2005). 小学学习困难生阅读过程中的眼动特征. *心理科学*, 28(3), 550–553.
- 任桂琴, 韩玉昌, 于泽. (2012). 句子语境中汉语词汇音作用的 eye 研究. *心理学报*, 44(4), 427–434.
- 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(2), 159–172.
- 王穗苹, 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*, 141(3), 220–232.
- 熊建萍, 闫国利, 白学军. (2009). 不同年级学生汉语阅读知觉广度的眼动研究. *心理科学*, 32(3), 584–587.
- 闫国利, 白学军. (2000). 中文阅读过程的眼动研究. *心理学动态*, 8(3), 19–22.
- 闫国利, 白学军. (2007). 汉语阅读的眼动研究. *心理与行为研究*, 5(3), 222–234.
- 闫国利, 王丽红, 巫金根, 白学军. (2011). 不同年级学生阅读知觉广度及预视效益的眼动研究. *心理学报*, 43(3), 249–263.
- 张仙峰, 叶文玲. (2006). 当前阅读研究中眼动指标述评. *心理与行为研究*, 4(3), 236–240.
- Abrams, R. A., Meyer, D. E., & Kornblum, S. (1989). Speed and accuracy of saccadic eye movements: Characteristics of impulse variability in the oculomotor system. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 529–543.

- Altmann, G. T. M., Garnham, A., & Dennis, Y. (1992). Avoiding the garden path: Eye movements in context. *Journal of Memory and Language*, 31, 685–712.
- Ashby, J. (2006). Prosody in skilled silent reading: Evidence from eye movements. *Journal of Research in Reading*, 29, 318–333.
- Ashby, J., & Clifton, C., Jr. (2005). The prosodic property of lexical stress affects eye movements during silent reading. *Cognition*, 96, 89–100.
- Ashby, J., Rayner, K., & Clifton, C. (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58, 1065–1086.
- 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.
- Becker, W., & Jürgens, R. (1979). An analysis of the saccadic system by means of double step stimuli. *Vision Research*, 19, 967–983.
- 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, 1162–1172.
- Blythe, H. I., Häikiö, T., Bertam, R., Liversedge, S. P., & Hyönä, J. (2011). Reading disappearing text: Why do children refixate words? *Vision Research*, 51, 84–92.
- Brysbaert, M., Drieghe, D., & Vitu, F. (2005). Word skipping: Implications for theories of eye movement control in reading. In G. Underwood (Ed.), *Cognitive processes in eye guidance* (pp. 53–77). Oxford: Oxford University Press.
- Calvo, M. G., Meseguer, E., & Carreiras, M. (2001). Inferences about predictable events: Eye movements during reading. *Psychological Research*, 65, 158–169.
- Chen, Q. R., & Huang, Y. (2012). Processing coordinate structures in Chinese: Evidence from eye movements. *PLoS ONE*, 7(4), e35517.
- Clifton, C., Staub, J. A., & Rayner, K. (2007). Eye movements in reading words and sentences. In R. Van Gompel, M. Ficscher, W. S. Murray, & R. L. Hill (Eds.), *Eye movements: A window on mind and brain* (pp. 341–372). Amsterdam: Elsevier.
- Clifton, C., Bock, J., & Radó, J. (2000). Effects of the focus particle only and intrinsic contrast on comprehension of reduced relative clauses. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.), *Reading as a Perceptual Process* (pp. 591–619). Oxford: Elsevier.
- Clifton, C., Traxler, M. J., Mohamed, M. T., Williams, R. S., Morris, R. K., & Rayner, K. (2003). The use of thematic role information in parsing: Syntactic processing autonomy revisited. *Journal of Memory and Language*, 49, 317–334.
- Drieghe, D., Brysbaert, M., Desmet, T., & De Baecke, G. (2004). Word skipping in reading: On the interplay of linguistic and visual factors. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 79–103.
- Drieghe, D., Desmet, T., & Brysbaert, M. (2007). How important are linguistic factors in word skipping during reading? *British Journal of Psychology*, 98, 157–171.
- Drieghe, D., Pollatsek, A., Staub, A., & Rayner, K. (2008). The word grouping hypothesis and eye movements during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34, 1552–1560.
- 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.
- Ehrmann, K., Ho, A., & Papas, E. (2005). A novel method for assessing variations in visual acuity after the blink. *Contact Lens and Anterior Eye*, 28(4), 157–162.
- Engbert, R. (2006). Microsaccades: A microcosm for research on oculomotor control, attention, and visual perception. *Progress in Brain Research*, 154, 177–192.
- Engbert, R., & Kliegl, R. (2003). Microsaccades uncover the orientation of covert attention. *Vision Research*, 43(9), 1035–1045.
- Frisson, S., Rayner, K., & Pickering, M. J. (2005). Effects of contextual predictability and transitional probability on eye movements during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31, 862–877.
- Gautier, V., O'Regan, J. K., & LaGargasson, J. F. (2000). "The skipping" revisited in French: Programming saccades to skip the article "les". *Vision Research*, 40, 2517–2531.
- Häikiö, T., Bertram, R., Hyönä, J., & Neimi, P. (2009). Development of the letter identity span in reading: Evidence from the eye movement moving window paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102, 167–181.
- 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.
- Holmqvist, K., Nyström, N., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford,

- UK: Oxford University Press.
- Huang Y. T., & Gordon, P. C. (2011). Distinguishing the time course of lexical and discourse processes through context, coreference, and quantified expressions, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37(4), 966–978.
- Hyönä, J., Bertram, R., & Pollatsek, A. (2004). Are long compound words identified serially via their constituents? Evidence from an eyemovement-contingent display change study. *Memory & Cognition*, 32(4), 523–532.
- Hyönä, J., Lorch Jr, R. F., & Kaakinen, J. (2002). Individual differences in reading to summarize expository text: Evidence from eye fixation patterns. *Journal of Educational Psychology*, 94, 44–55.
- Hyönä, J., Lorch Jr, R. F., & Rinck, M. (2003). Eye movement measures to study global text processing. 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.
- Hyönä, J., & Niemi, P. (1990). Eye movements during repeated reading of a text. *Acta Psychologica*, 73, 259–280.
- Hyönä, J., Tommola, J., & Alaja, A. M. (1995). Pupil dilation as a measure of processing load in simultaneous interpretation and other language. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A: Human Experimental Psychology*, 48(3), 598–612.
- Inhoff, A. W., Brihl, D., & Schwarz, J. (1996). Compound word effects differ in reading, on-line naming, and delayed naming tasks. *Memory & Cognition*, 24, 466–476.
- Inhoff, A. W., & Liu, W. M. (1998). The perceptual span and oculomotor activity during the reading of Chinese sentences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 20–34.
- 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. 29–53). Oxford: Oxford University Press.
- Inhoff, A., Eiter, B., Radach, R., & Juhasz, B. (2003). Distinct subsystems for the parafoveal processing of spatial and linguistic information during eye fixations in reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 56, 803–828.
- Inhoff, A. W., & Weger, U. W. (2005). Memory for word location during reading: Eye movements to previously read words are spatially selective but not precise. *Memory & Cognition*, 33, 447–461.
- Irwin, D. E. (1998). Lexical processing during saccadic eye movements. *Cognitive Psychology*, 36, 1–27.
- Irwin, D. E., & Brockmole, J. R. (2004). Suppressing *where* but not *what*: The effect of saccades on dorsal- and ventral-stream visual processing. *Psychological Science*, 15(7), 467–473.
- Irwin, D. E., & Carlson-Radvansky, L. A. (1996). Cognitive suppression during saccadic eye movements. *Psychological Science*, 7, 83–88.
- Juhasz, B. J., White, S. J., Liversedge, S. P., & Rayner, K. (2008). Eye movements and the use of parafoveal word length information in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 1560–1579.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1993). The intensity dimension of thought: Pupillometric indices of sentence processing. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47(2), 310–339.
- Kliegl, R., & Engbert, R. (2005). Fixation durations before word skipping in reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 132–138.
- Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., & Engbert, R. (2004). Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16, 262–284.
- 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.
- Krügel, A., & Engbert, R. (2010). On the launch-site effect for skipped words during reading. *Vision Research*, 50, 1532–1539.
- Kuchinke, L., Võ, M. L. -H., Hofmann, M., & Jacobs, A. M. (2007). Pupillary responses during lexical decisions vary with word frequency but not emotional valence. *International Journal of Psychophysiology*, 65, 132–140.
- 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., Zhao, W., & Pollatsek, A. (2012). Dividing lines at the word boundary position helps reading in Chinese. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(5), 929–934.
- Liversedge, S. P., Paterson, K. B., & Pickering, M. J. (1998). Eye movements and measures of reading time. In G. Underwood (Ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 55–77). Oxford: Oxford University Press.
- Martinez-Conde, S., Macknik, S. L., Troncoso, X. G., & Hubel, D. H. (2009). Microsaccades: A neurophysiological analysis. *Trends in Neurosciences*, 32(9), 463–475.
- Martin, E. (1974). Saccadic suppression: A review and an analysis. *Psychological Bulletin*, 81, 899–917.
- McConkie, G. W., Reddix, M. R., & Zola, D. (1992).

- Perception and cognition in reading: Where is the meeting point. In K. Rayner (Ed.), *Eye Movements and Vision Cognition: Scene Perception and Reading* (pp. 293–303). New York: Springer.
- McDonald, S. A. (2006). Effects of number-of-letters on eye movements during reading are independent from effects of spatial word length. *Visual Cognition*, 13, 89–98.
- McDonald, S. A., & Shillcock, R. C. (2004). The potential contribution of preplanned refixations to the preferred viewing location. *Perception & Psychophysics*, 66, 1033–1045.
- Mitchell, D. C., Brysbaert, M., Grondelaers, S., & Swanepoel, P. (2000). Modifier attachment in Dutch: Testing aspects of construal theory. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.), *Reading as a Perceptual Process* (pp. 493–517). Oxford: Elsevier.
- Mitchell, D. C., Shen, X. J., Green, M. J., & Hodgson, T. L. (2008). Accounting for regressive eyemovements in models of sentence processing: A reappraisal of the selective reanalysis hypothesis. *Journal of Memory and Language*, 59, 266–293.
- Morrison, R. E., & Rayner, K. (1981). Saccade size in reading depends upon character spaces and not visual angle. *Perception & Psychophysics*, 30, 395–396.
- Murray, W. (2000). Sentence processing: Issues and measures. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte, (Eds.), *Reading as a Perceptual Process* (pp. 649–664). Oxford: Elsevier.
- Nuthmann, A., Engbert, R., & Kliegl, R. (2005). Mislocated fixations during reading and the inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, 45(17), 2201–2217.
- Nuthmann, A., Engbert, R., & Kliegl, R. (2007). The IOVP effect in mindless reading: Experiment and modeling. *Vision Research*, 47, 990–1002.
- O'Regan, J. K. (1979). Eye guidance in reading: Evidence for linguistic control hypothesis. *Perception and Psychophysics*, 25, 501–509.
- O'Regan, J. K. (1980). The control of saccade size and fixation duration in reading: The limits of linguistic control. *Perception & Psychophysics*, 28, 112–117.
- 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, 250–257.
- Pickering, M. J., & Frisson, S. (2001). Processing ambiguous verbs: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, 556–562.
- Phillips, M. H., & Edelman, J. A. (2008). The dependence of visual scanning performance on saccade, fixation, and perceptual metrics. *Vision Research*, 48(7), 926–936.
- Pollatsek, A., & Hyönä, 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., Rayner, K., & Balota, D. A. (1986). Inferences about eye movement control from the perceptual span in reading. *Perception & Psychophysics*, 40, 123–130.
- Porter, G., & Troscianko, T. (2003). Pupillary response to grating stimuli (Abstract). *Perception*, 32(ECVP Abstract Suppl.), 156.
- 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). Oxford: Elsevier.
- Raney, G. E., & Rayner, K. (1995). Word frequency effects and eye movements during two readings of a text. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 49, 151–172.
- Rayner, K. (1978). Eye movement latencies for parafoveally presented words. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 11, 13–16.
- Rayner, K. (1979). Eye guidance in reading: Fixation locations within words. *Perception*, 8, 21–30.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124, 372–422.
- Rayner, K. (2009). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457–1506.
- Rayner, K., Castelano, M. S., & Yang, J. (2009). Eye movements and the perceptual span in older and younger readers. *Psychology & Aging*, 24, 755–760.
- Rayner, K., Juhasz, B. J., Ashby, J., & Clifton, C. (2003). Inhibition of saccade return in reading. *Vision Research*, 43, 1027–1034.
- 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(6), 1089–1093.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Rayner, K., Raney, G. E., & Sereno, S. C. (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., Reichle, E. D., Stroud, M. J., Williams, C. C., & Pollatsek, A. (2006). The effect of word frequency, word predictability, and font difficulty on the eye movements of

- young and older readers. *Psychology and Aging*, 21, 448–465.
- Rayner, K., Slattery, T. J., & Bélanger, N. N. (2010). Eye movements, the perceptual span, and reading speed. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(6), 834–839.
- Rayner, K., Slowiaczek, M. L., Clifton, C., & Bertera, J. H. (1983). Latency of sequential eye movements: Implications for reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 912–922.
- Rayner, K., & Well, A. D. (1996). Effects of contextual constraint on eye movements in reading: A further examination. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 504–509.
- Rayner, K., Yang, J., Castelano, M. S., & Liversedge, S. P. (2011). Eye movements of older and younger readers when reading disappearing text. *Psychology & Aging*, 26(1), 214–223.
- Reingold, E. M., Yang, J. M., & Rayner, K. (2010). The time course of word frequency and case alternation effects on fixation times in reading: evidence for lexical control of eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(6), 1677–1683.
- Ridder, W. H., & Tomlinson, A. (1995). Spectral characteristics of blink suppression in normal observers. *Vision Research*, 35, 2569–2578.
- Schnitzer, B., & Kowler, E. (2006). Eye movements during multiple readings of the same text. *Vision Research*, 46, 1611–1636.
- Slattery, T. J., Angele, B., & Rayner, K. (2011). Eye movements and display change detection during reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 37, 1924–1938.
- Slattery, T. J., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2007). The effect of the frequencies of three consecutive content words on eye movements during reading. *Memory & Cognition*, 35, 1283–1292.
- Staub, A., White, S. J., Drieghe, D., & Hollway, E. C. (2010). Distributional effects of word frequency on eye fixation durations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36, 1280–1293.
- Traxler, M. J. (2008). Lexically independent priming in online sentence comprehension. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(1), 149–155.
- Tsai, J. L., & McConkie, G. W. (2003). Where do Chinese readers send their eyes? In J. Hyona, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research* (pp. 159–176). Oxford: UK: Elsevier.
- van Gompela, R. P. G., Pickering, M. J., Pearson, J., & Liversedge, S. P. (2005). Evidence against competition during syntactic ambiguity resolution. *Journal of Memory and Language*, 52, 284–307.
- Vergilino-Perez, D., Collins, T., & Dore-Mazars, K. (2004). Decision and metrics of refixations in reading isolated words. *Vision Research*, 44, 2009–2017.
- Vitu, F. (1991). The influence of parafoveal preprocessing and linguistic context on the optimal landing position effect. *Perception & Psychophysics*, 50, 58–75.
- Vitu, F. (2011). On the role of visual and oculomotor processes in reading. In S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.) *The Oxford Handbook of Eye Movements* (pp. 731–749). Oxford: Oxford University Press.
- Vitu, F., Lancelin, D., & Marrier d'Unienville, V. (2007). A perceptual-economy account for the inverted-optimal viewing position effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1220–1249.
- Vitu, F., McConkie, G. W., Kerr, P., & O'Regan, J. K. (2001). Fixation location effects on fixation durations during reading: An inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, 41, 3513–3533.
- Vitu, F., O'Regan, J. K., Inhoff, A. W., & Topolski, P. (1995). Mindless reading: Eye movement characteristics are similar in scanning letter strings and reading texts. *Perception and Psychophysics*, 57, 352–364.
- Vitu, F., O'Regan, J. K., & Mittau, M. (1990). Optimal landing position in reading isolated words and continuous text. *Perception & Psychophysics*, 47, 583–600.
- Volkmann, F. C., Riggs, L. A., & Moore, R. K. (1980). Eyeblinks and visual suppression. *Science*, 207, 900–902.
- Vonk, W., & Cozijn, R. (2003). On the treatment of saccades and regressions in eye movement measures of reading time. In J. Hyönä, R. Radach, & H. Deubel (Eds.), *The mind's eye: Cognitive and applied aspects of eye movement research*. Oxford, UK: Elsevier.
- Wang, H. -C., & Pomplun, M. (2010). Estimating the effect of word predictability on eye movements in Chinese reading using latent semantic analysis and transitional probability. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63(7), 1374–1386.
- Wang, S., Chen, H. -C., Yang, J., & Mo, L. (2008). Immediacy of integration in discourse comprehension: Evidence from Chinese readers' eye movements. *Language and Cognitive Processes*, 23(2), 241–257.
- Weger, U. W., & Inhoff, A. W. (2006). Attention and eye movements in reading: Inhibition of return predicts the size of regressive saccades. *Psychological Science*, 17, 187–191.
- Weger, U. W., & Inhoff, A. W. (2007). Long-range

- regressions to previously read words are guided by spatial and verbal memory. *Memory & Cognition*, 35, 1293–1306.
- 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, 205–223.
- White, S. J., Johnson, R. L., Liversedge, S. P., & Rayner, K. (2008). Eye movements when reading transposed text: The importance of word beginning letters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 1261–1276.
- White, S. J., Rayner, K., & Liversedge, S. P. (2005). The influence of parafoveal word length and contextual constraint on fixation durations and word skipping in reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 466–471.
- Yan, M., Kliegl, R., Richter, E. M., Nuthmann, A., & Shu, H. (2010). Flexible saccade target selection in Chinese reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 63, 705–725.
- Yan, M., Richter, E., Shu, H., & Kliegl, R. (2009). Readers of Chinese extract semantic information from parafoveal words. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(3), 561–566.
- Yang, H. -M., & McConkie, G. W. (1999). Reading Chinese: Some basic eye-movement characteristics. In J. Wang, A. W. Inhoff, & H. -C. Chen (Eds.), *Reading Chinese Script* (pp. 207–222). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Yang, J., Wang, S., Chen, H. -C., & Rayner, K. (2009). The time course of semantic and syntactic information processing in Chinese sentence comprehension: Evidence from eye movements. *Memory & Cognition*, 37, 1164–1176.
- Yang, J. M., Wang, S. P., Tong, X., & Rayner, K. (2012). Semantic and plausibility effects on preview benefit during eye fixations in Chinese reading. *Reading and Writing*, 25(5), 1031–1052.
- Yang, J. M., Wang, S. P., Xu, Y. M., & Rayner, K. (2009). Do Chinese readers obtain preview benefit from character n+2? Evidence from eyemovements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(4), 1192–1204.
- Yen, M. H., Radach, E., Tzeng, O. J. L., Hung, D. I., & Tsai, J. L., (2009) Early parafoveal processing in reading Chinese sentences. *Acta Psychologica*, 131(1), 24–33.
- Yen, M. H., Tsai, J. L., Tzeng, O. J. L., & Hung, D. L. (2008). Eye movements and parafoveal word processing in reading Chinese. *Memory and Cognition*, 36(5), 1033–1045.
- Zang, C., Liversedge, S. P., Liang, F., Bai, X., & Yan, G. (2012). Interword spacing and landing position effects during Chinese reading in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. Under Revision.

Review of Eye-movement Measures in Reading Research

YAN Guoli¹; XIONG Jianping^{1,2}; ZANG Chuanli¹; YU Lili¹; CUI Lei³; BAI Xuejun¹

(¹ Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin 300074, China)

(² College of Education and Teacher Development, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

(³ Academy of Psychology, Shandong Normal University, Jinan 250014, China)

Abstract: Saccade and fixation are the elementary ocularmotor activities during reading. The eye-movement measures in reading research can be classified into two different categories. One category is temporal dimension measure related to the time course of eye movements and it includes the measures in area of interest of character or word (such as single fixation duration, first fixation duration, second fixation duration, gaze duration, regression time and total fixation duration and so on.) and the measures in area of interest of phrase or sentence (such as first-pass reading time, forward reading time, second-pass reading time, regression path reading time, re-reading time and so on.). The other category is spatial dimension measure related to the location of eye movement and it includes saccade amplitude, landing position, number of fixations, skipping rate, refixation rate and regression count. Finally, when using the eye movement measures we should pay attention to the classification of oculomotor measures, the cutoff criterion of raw data, the psychological interpretation of the measures and so on.

Key words: reading; eye movements; eye-movement measures