

词汇预测性对中文高、低阅读技能 儿童眼动行为的影响*

刘妮娜^{1,2} 王霞³ 刘志方⁴ 闫国利^{**1,2}

(¹天津师范大学心理学部, 天津, 300074) (²教育部人文社会科学重点研究基地天津师范大学心理与行为研究院, 天津, 300074)

(³上海师范大学心理学系, 上海, 200234) (⁴杭州师范大学教育学院, 杭州, 31112)

摘要 操纵目标词的预测性、词频和阅读技能水平, 考察句子阅读中词汇预测性对高、低阅读技能儿童眼动行为的影响, 揭示其在儿童阅读发展中的作用。结果显示: 儿童对高预测词的跳读率更高、注视时间更短, 且预测性与词频交互影响跳读率和注视时间; 预测性对高阅读技能儿童早期的跳读率影响更大, 而对低阅读技能儿童晚期的再阅读时间具有更大影响。结果表明: 词汇预测性影响儿童阅读的眼动行为和词汇加工, 且作用大小和发生时程受阅读技能调节。

关键词 词汇预测性 阅读技能 词汇加工 眼动

1 引言

阅读是一项非常复杂的认知技能, 需要后天大量练习才能不断习得。眼动追踪技术已被心理语言学家在过去数十年间广泛用于探讨即时的阅读加工过程 (Rayner, 2009)。然而, 大量研究主要集中于熟练的成人读者, 很大程度忽视了儿童读者及其发展过程 (Johnson, Oehrlein, & Roche, 2018)。相比熟练成人读者, 儿童读者在阅读中的注视时间更长, 眼跳幅度更短, 回视概率更高 (闫国利, 刘妮娜, 梁菲菲, 刘志方, 白学军, 2015; Blythe & Joseph, 2011), 且计算机模拟发现, 儿童眼动控制的发展主要受词汇加工效率的影响 (Reichle et al., 2013)。然而, 词汇加工如何具体作用于儿童读者的眼动控制系统仍不清楚。

词汇预测性是影响词汇加工效率的最重要因素之一, 指一个词语在句子上文语境中可以被猜测出的概率 (Staub, 2015)。在阅读眼动控制模型 (如: E-Z

Reader model; SWIFT model) 中, 预测性被设定为词汇加工速度的函数 (Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005; Reichle, 2011)。成人读者的研究证实, 一个词的预测性越高, 对其跳读的可能性越大, 而注视时花费时间更少 (Staub, 2015)。相比大量成人读者的研究, 预测性如何影响儿童的眼动行为还知之甚少。目前仅有一项拼音文字阅读研究关注了这一问题 (Johnson et al., 2018), 研究显示 6~12 岁儿童能够利用预测信息促进词汇加工, 但其预测性效应相比成人读者存在延迟, 特别是对于低阅读技能儿童读者。中文与拼音文字属于不同的书写系统, 中文儿童在阅读中的眼动控制行为与拼音文字存在不同的发展变化 (Yan, Pan, & Kliegl, 2019), 然而词汇预测性是如何影响中文儿童读者的眼动行为并不清楚。因此, 当前研究将考察预测性是如何影响儿童眼动行为, 从而揭示词汇加工在儿童阅读眼动行为中的作用机制。

* 本研究得到天津市十三五教育规划课题 (BE4137)、浙江省自然科学基金一般项目 (LY18C090002) 和福建省社会科学规划青年项目 (FJ2017C088) 的资助。

** 通讯作者: 闫国利。E-mail: psygyl@163.com.

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20200613

词汇预测性与词频总是被同时提及,在阅读眼动控制模型中被共同设定为影响词汇加工速度的关键因素,然而它们之间的作用关系始终存在争论。E-Z reader 最新模型假设二者以相加的方式彼此独立地影响词汇识别的两个阶段(L1和L2),而SWIFT模型假设二者分别影响词汇加工的难度和速度,预测性和词频对眼动行为的影响既不是严格的交互也不是独立。探讨二者的作用方式不仅关系到预测性在眼动控制模型中被如何设定,而且也涉及预测性在阅读加工中的作用阶段问题。词频效应通常被认为是反映词汇通达的指标,根据斯滕伯格的加法反应时原理,如果两个变量存在交互作用,表明它们作用于同一个加工阶段。因此,词频与预测性的作用方式(相加或交互)在一定程度上可以为词汇预测性在阅读中的作用阶段提供证据。来自成人读者的实验证据显示:在注视时间上,大多数研究表明两者相互独立;而在眼跳位置的选择上,结果一致支持二者交互影响跳读率,但交互模式的方向不一致(Staub, 2015)。到目前为止,无论是在拼音文字还是在中文阅读中,均没有研究在儿童阅读中同时操纵了这两个变量,来探讨词汇预测性在儿童读者阅读中的作用阶段问题。

词汇预测性对词汇加工的影响受儿童阅读技能的调节。大多数研究发现,随儿童阅读技能的提升,预测性在词汇加工中的使用逐渐减少(Schvaneveldt, Ackerman, & Semlear, 1977; West, Stanovich, Feeman, & Cunningham, 1983);而也有研究显示,词汇识别中预测性的利用程度与阅读技能呈正相关,高技能读者具有更大的预测性效应(Klein, Klein, & Bertino, 1974; Steiner, Weiner, & Cromer, 1971)。已有相关研究均采用非自然阅读任务,读者在这种条件下无法对副中央凹词进行有效预视,且存在一些除阅读外的次级任务(例如,真假词判断),因此,当前

研究将在自然句子阅读中,进一步考察儿童阅读技能对词汇预测性效应的影响。

综上,本研究操纵词汇预测性、词频和儿童阅读技能,考察预测性对汉语儿童句子阅读时眼动控制行为的影响,同时揭示其在高、低阅读技能儿童阅读中的作用差异。眼动控制行为主要包括注视时间和眼跳。注视时间类指标可以反映阅读加工的早晚时程;眼跳指标采用跳读率,证据显示上述各类指标都能反映词汇预测性效应(Rayner, Reichle, & Pollatsek, 1998)。研究预期:儿童阅读中将存在词汇预测性效应,表现为高预测词的跳读率更高、注视时间更短;如果预测性确实作用于早期词汇加工,那么它与词频将交互作用于反映早期加工的眼动指标上,例如跳读率,首轮注视时间;如果低阅读技能儿童更加受益于来自预测性的作用,那么其眼动行为受到预测性影响会更早且影响程度更大;反之如果高阅读技能儿童更加受益于预测性的作用,其眼动行为的表现会与上述相反。

2 研究方法

2.1 被试

采用阅读理解和流畅性测验(Li & Wu, 2015),测试天津市某小学五年级204名学生的阅读能力,根据两项测验总Z分数的排序,从两端各选取22名学生作为高技能组(两项测验的Z分数都为正数)和低技能组(两项测验的Z分数都为负数),且两组儿童在两项测验成绩上差异显著($t(42) > 7.19, ps < .001$),见表1,所有被试视力或矫正视力正常,实验结束后每人可得到一份奖品。

2.2 实验材料

根据《国家语委现代汉语通用语料库》选择18对高、低频目标词,为每一对编制2个不同的句子框架。其中,在一个句子框架中:高频词为高预测性,

表1 高低组儿童在两项测验上的成绩

测验	高阅读技能组	低阅读技能组
阅读理解(分)	13.55 (1.57)	8.87 (2.64)
阅读流畅性(字/分钟)	563 (162)	201 (47)

注:括号内为标准差。

表2 实验材料示例

条件	句子
高频-高预测	医生反复叮嘱病人回家后一定要按时吃药。
低频-低预测	医生反复叮嘱村民回家后一定要按时吃药。
高频-低预测	村长耐心叮嘱病人回家后一定要关好门和窗。
低频-高预测	村长耐心叮嘱村民回家后一定要关好门和窗。

低频词为低预测性；在另一个句子框架中：高频词为低预测性，低频词为高预测性。最终形成四种条件：高频-高预测、低频-低预测、高频-低预测和低频-高预测，见表2示例。

高低频目标词控制。除高、低频词差异显著($t(34) = 2.83, p < .01$) 为确保从成人语料库所的高低频词同样适用于儿童，选取20名五年级学生（未参加正式实验）对目标词的熟悉性进行7点评定（“1”=非常熟悉；“7”=非常不熟悉）结果显示：高、低频目标词的熟悉性差异显著($t(34) = 3.48, p < .01$) 此外，高、低频词的总笔画数、首字笔画数和尾字笔画数差异均不显著($ps > .05$)。

目标词预测性评定。选取30名五年级学生（未参加正式实验）进行句子完形任务。具体，给评定者仅呈现目标词之前的内容（例如：医生反复叮嘱____），要求填写最先想到的一个字、词或者短语来补充句子，以目标词被填写的百分比作为预测性指数。结果显示，高、低预测语境框架中的预测性差异显著($t(70) = 14.04, p < .001$) 且高低预测框架中高、低频词对的预测性差异均不显著($ps > .05$)。同时对句子进行通顺性评价定，采用14名大学生（不参加正式眼动实验）进行五点等级的句子评定（“1”表示非常通顺，“5”表示非常不通顺），各条件差异不显著($ps > .05$)。实验材料属性见表3。

表3 每种条件下实验句子和目标词的各项指标数值

	高频-高预测	高频-低预测	低频-高预测	低频-低预测
词频（次/百万）	131.2 (176.6)		13.1 (12.5)	
词的熟悉性	3.09 (1.05)		4.30 (1.04)	
目标词首字笔画数	7.11 (2.14)		6.39 (2.15)	
目标词尾字笔画数	6.61 (3.38)		6.28 (2.91)	
目标词总笔画数	13.72 (3.51)		12.67 (3.50)	
预测性（%）	.58 (.22)	.01 (.03)	0.48 (.21)	0.01 (.02)
句子通顺性	1.97 (.40)	1.77 (.28)	2.11 (.44)	2.11 (.51)

将72个实验句按照条件进行拉丁方顺序平衡，形成2组材料，每组36句，每名被试只阅读其中一组。根据实验句的内容共设置22个阅读理解问题，要求被试按键进行“对”、“错”的判断。另外，正式实验前，有6个练习句和3个阅读理解题目，所有句子完全随机呈现。

2.3 实验仪器和实验程序

采用Eyelink1000Plus眼动仪追踪被试眼动，刺激显示器为19寸CRT，刷新率150Hz，分辨率1024×768。被试进入实验室后，将头部放在头托上，要求尽量不要移动头部。呈现指导语后，对仪器进行校准，练习之后进入正式实验。

每一个句子呈现前在首字的位置会出现一个校准点，当校准误差低于0.2时，句子呈现。被试在默读完句子后按下空格键进入下一试次，每个句子呈现的最长时间为25s。句子字体为20号宋体，每个双字词的视觉为1.6°，当被试由于任何原因移动头部或漂移校准不准确时，都需要重新校准。实验全程持续大约20分钟。

3 结果

平均阅读理解率为94%，高、低阅读技能儿童

差异不显著($p > .05$)，表明两组儿童都能很好的理解文本。数据删除标准：（1）删除短于80ms或长于1200ms的注视点（Rayner, 2009）；（2）删除总注视点少于5个的句子；（3）删除三个标准差之外的数据。共计小于总数据的1%。

本研究以目标词为兴趣区，眼动行为指标包括：跳读率（skip rate, SR）：指首次阅读中，在目标前词被注视的情况下，目标词被跳读的次数占总试次的比值；首次注视时间（first fixation duration, SFD）：指首轮目标词区域的首个注视点的持续时间；单一注视时间（single fixation duration, SFD）：指目标词区域内仅一次注视时的首次注视时间；凝视时间（gaze duration, GD）：指首轮阅读时进入目标词区域的总注视时间之和；再阅读时间（re-reading time, RRT）：即目标词区域内除去首轮注视时间之外的所有注视时间之和；总注视时间（total reading time, TRT）：指目标词区域内所有注视点的时间总和。

本研究在R语言环境下，采用lme4数据包对数据进行线性混合模型（linear mixed model, LMM）分析（Bates, Mächler, & Bolker 2011）。以被试和项目作为交叉随机效应，将目标词预测性、词频、读者阅读技能以及各因素的交互作用作为固定

表 4 不同条件下两组儿童在目标词各项眼动指标的平均值和标准差

	组别	高频-高预测	高频-低预测	低频-高预测	低频-低预测
跳读率 (%)	低	9.1 (16.8)	19.3 (27.9)	17.6 (25.8)	11.2 (20.6)
	高	39.9 (34.0)	34.6 (23.2)	48.5 (29.8)	21.5 (30.1)
首次注视时间 (ms)	低	287 (110)	310 (107)	293 (103)	290 (94)
	高	227 (67)	270 (88)	257 (88)	260 (88)
单一注视时间 (ms)	低	290 (114)	314 (107)	294 (106)	308 (125)
	高	225 (69)	261 (81)	256 (88)	257 (85)
凝视时间 (ms)	低	342 (163)	387 (168)	371 (170)	400 (182)
	高	259 (103)	312 (138)	288 (110)	293 (122)
再阅读时间 (ms)	低	426 (239)	466 (219)	494 (254)	556 (306)
	高	379 (201)	328 (186)	379 (202)	379 (183)
总阅读时间 (ms)	低	602 (333)	676 (310)	694 (364)	746 (376)
	高	452 (207)	496 (266)	497 (241)	549 (266)

因素来进行分析。其中, 注视时间的连续性变量进行 log 转换。在阅读技能与预测性交互作用显著时, 对每一阅读技能水平下的预测性效应进行了两个对比; 在词频与预测性交互作用显著时, 对每一词频水平下的预测性效应进行了两个对比。结果见表 4。

(1) 跳读率: 阅读技能主效应显著 ($b = -1.41$, $SE = 0.46$, $Z = -3.10$, $p < .01$), 高技能儿童的跳读率高于低技能儿童; 预测性主效应显著 ($b = -.42$, $SE = .20$, $Z = -2.12$, $p < .05$), 高预测性词的跳读率高于低预测性词; 阅读技能与预测性交互作用显著 ($b = .99$, $SE = .39$, $Z = 2.51$, $p < .05$) 进一步分析显示: 高技能儿童出现了显著的预测性效应 ($b = -.91$, $SE = .26$, $Z = -3.46$, $p < .001$), 但低技能儿童预测性效应不显著 ($p > .1$); 预测性与词频的交互作用显著 ($b = -.93$, $SE = .38$, $Z = -2.45$, $p < .05$), 简单效应分析显示: 低频词上预测性效应显著 ($b = -.99$, $SE = .28$, $Z = -3.45$, $p < .001$) 高频词的预测性效应不显著 ($p > .1$), 其他效应均不显著 ($ps > .1$)。

(2) 首次注视时间、单一注视时间和凝视时间三个指标的结果趋势相同。表现为: 阅读技能主效应显著 (FFD: $b = .11$, $SE = .05$, $t = 2.25$, $p < .05$; SFD: $b = .14$, $SE = .05$, $t = 2.71$, $p < .01$; GD: $b = .22$, $SE = .05$, $t = 4.23$, $p < .001$), 低技能儿童对目标词的注视时间长于高技能儿童; 预测性主效应显著 (FFD: $b = .06$, $SE = .02$, $t = 2.64$, $p < .01$; SFD: $b = .06$, $SE = .02$, $t = 2.44$, $p < .05$; GD: $b = .09$, $SE = .03$, $t = 3.27$, $p < .001$), 低预测性词被注视的时间长于高预测性词; 词频与预测性交互作用均显著 (FFD: $b = -.12$, $SE = .04$, $t = -3.02$, $p < .01$; SFD: $b = -.12$, $SE = .05$, $t = -2.57$, $p < .01$; GD: $b = -.13$, $SE = .05$, $t = -2.56$, $p < .01$), 进一步分析发现: 高频词上的预测性效应显著 (FFD: $b = .11$, $SE = .03$, $t = 3.80$, $p < .001$; SFD: $b = .12$, $SE =$

$.03$, $t = 3.57$, $p < .001$; GD: $b = .15$, $SE = .03$, $t = 4.14$, $p < .001$), 但在低频词上预测性效应不显著 ($ps > 0.1$); 其它效应均不显著 ($ps > 0.1$)。

(3) 再阅读时间: 阅读技能主效应显著 ($b = .27$, $SE = .07$, $t = 3.84$, $p < .001$), 低技能儿童的再阅读时间长于高技能儿童; 词频主效应显著 ($b = .10$, $SE = .05$, $t = 2.04$, $p < .05$), 低频词的阅读时间长于高频词; 阅读技能与预测性交互作用显著 ($b = .26$, $SE = .10$, $t = 2.65$, $p < .01$), 低技能儿童出现了显著的预测性效应 ($b = .12$, $SE = .06$, $t = 2.05$, $p < .05$), 而高技能儿童的预测性效应不显著 ($p > .1$); 其它效应均不显著 ($ps > .1$)。(4) 总阅读时间: 阅读技能主效应显著 ($b = .27$, $SE = .07$, $t = 3.84$, $p < .001$), 低技能儿童的总阅读时间长于高技能儿童; 预测性主效应显著 ($b = .12$, $SE = .03$, $t = 3.62$, $p < .001$), 高预测性词被阅读的时间短于低预测性词; 词频主效应显著 ($b = .07$, $SE = .03$, $t = 2.40$, $p < .05$), 低频词的阅读时间长于高频词; 其它效应均不显著 ($ps > .1$)。

4 讨论

本研究考察在自然句子阅读中, 词汇预测性对中文儿童读者眼动行为的影响以及高、低阅读技能读者之间的差异。结果显示, 儿童对高预测性词的跳读率更高、注视时间更短, 且预测性与词频交互影响跳读率和注视时间, 表明儿童在阅读中能够利用预测性信息促进词汇加工。进一步, 高阅读技能儿童更多地利用预测性决定下一次眼跳目标的选择; 而低阅读技能儿童在反映阅读后期加工的再阅读时间指标上具有更大的词汇预测效应, 表明预测性对儿童词汇加工的影响受阅读技能的调节。

当前研究在中文阅读中首次证明词汇预测性影

响儿童句子阅读的眼动控制行为,这与成人读者的发现一致(卢张龙,白学军,闫国利,2008; Rayner & Well, 1996; Rayner, Li, Juhasz, & Yan, 2005),也与拼音文字儿童读者的结果相似(Johnson et al., 2018)。相比拼音文字阅读的研究发现,中文儿童在阅读中能够更早地利用预测性信息,词汇预测性不仅促进其对当前注视词汇的加工,还促进对接下来即将要出现的词的副中央凹预加工。中文书写系统由方块汉字组成,大多数词是由两个(72%)或多个汉字(22%)构成(Li, Bicknell, Liu, Wei, & Rayner, 2014),且词与词之间缺少词边界信息,因此中文读者在阅读中将会利用,例如自上而下的语境预测信息等帮助词切分。另一个可能的原因是本研究中儿童的年龄(11~13岁,5年级)比Johnson等(2018)研究中儿童的年龄(6~12岁,1~6年级)大,阅读技能可能更高,因此表现出更早的词汇预测效应,这将有待于跨语言间的严格比较。

为进一步揭示词汇预测性在汉语儿童阅读中的作用阶段问题,本研究加入词频变量,结果表明词频和预测性共同影响词汇加工。具体地,预测性对副中央凹词加工的影响受词汇识别难度的调节,表现为副中央凹低频词的识别需要借助预测性信息来决定是否跳读,而高频词的跳读率不受预测性影响。在注视时间上,二者作用模式较为复杂,预测性对高频词加工的影响出现更早,对低频词加工的促进作用表现出一定延迟。可能的原因是低频词识别较为困难,通达所需时间更长,因此预测性效应相对延后。预测性和词频在跳读率和注视时间上出现不同的作用方式,这与前人在成人相关研究中所发现的跨指标不一致模式相同(Gollan et al., 2011; Hand, Miell, O'Donnell, & Sereno, 2010; Rayner, Ashby, Pollatsek, & Reichle, 2004; Sereno Hand, Shahid, Yao, & O'Donnell, 2018),表明眼跳何时发生(when)和跳向何处(where)具有不同的控制机制(Liversedge et al., 2014)。进一步,在E-Z读者和SWIFT模型中预测性和词频被设定为影响词汇加工的关键因素,但两者的作用方式还存在争议。本研究在中文儿童阅读中发现二者的交互作用,为儿童眼动控制模型的发展提供实验数据。

词汇预测性对高、低阅读技能儿童眼动行为的影响存在差异,表现为高阅读技能儿童比低技能儿童的预测性效应出现的更早。Johnson等(2018)在拼音儿童阅读中有相似的发现,高解码能力的读者

会在跳读率和首次注视时间上出现语境预测效应,而低解码能力读者的语境预测效应则相对延后。进一步,当前研究发现在词汇注视阶段的首轮阅读中,高、低技能儿童对预测信息的使用程度相同,但是在再阅读时间上低技能儿童具有更大的预测性效应。本研究结果与Ashby, Rayner和Clifton(2005)和Hawelka, Schuster, Gagl和Hutzler(2015)在成人高低或快慢读者语境预测效应的结果存在一定相似之处,表明高技能读者对预测信息的使用比低技能读者更早,这与预测编码框架(predictive coding framework)的假设一致。该理论认为大脑会基于之前的经验或对接下来低空间频率视觉信息的快速加工来积极预测可能发生的感受事件,相比低技能读者,高技能读者的语境推理能力更加自动化,因此会更早地出现语境预测效应(Hawelka et al., 2015)。

综上,当前研究表明词汇预测性影响中文儿童读者句子阅读中的眼动控制行为和词汇加工,且存在阅读技能间的差异,研究结果以期服务于汉语阅读眼动控制模型的建立。基于熟练成人读者数据而建立的眼动控制模型是否同样适用于阅读发展之中的儿童读者,以及不同阅读技能的读者都还需要进一步验证。此外读者从阅读初学者发展成为熟练的读者,预测性和词频的作用关系是如何随之发展变化,受哪些阅读技能的影响等问题也都需要进一步深入考察。

5 结论

在当前实验条件下,研究结果显示:(1)预测性影响儿童句子阅读中的眼动行为,表现为儿童对高预测性词的跳读率更高、注视时间更短,且预测性与词频交互影响儿童的跳读率和注视时间,表明中文儿童阅读的词汇加工中存在预测性效应;(2)词汇预测性对高、低阅读技能儿童眼动行为的影响存在差异,表现为:词汇预测性对高阅读技能儿童早期加工的跳读率具有更大影响,而对低阅读技能儿童晚期的再阅读时间具有更大影响。结果表明词汇预测性影响中文儿童读者句子阅读的眼动行为和词汇加工,且作用大小和发生时程受阅读技能调节。

参考文献

- 卢张龙,白学军,闫国利.(2008).汉语词汇识别中词频和可预测性交互作用的眼动研究.《心理研究》,1(4),29-33.
- 闫国利,刘妮娜,梁菲菲,刘志方,白学军.(2015).中文读者词汇视觉信息

- 获取速度的发展——来自消失文本的证据. *心理学报*, 47(3), 300–318.
- Ashby, J., Rayner, K., & Clifton, C. Jr. (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58(6), 1065–1086.
- Bates, D., Mächler, M., & Bolker, B.M. (2011). *LME4: linear mixed-effects models using S4 classes*. R Package Version 0.999375–39.
- Blythe, H. I., & Joseph, H. S. S. L. (2011). Children's eye movements during reading. In S. P. Livensedge, I. D. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), *The Oxford handbook of eye movements* (pp. 643–662). Oxford, England: Oxford University Press.
- 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.
- Gollan, T. H., Slattery, T. J., Goldenberg, D., van Assche, E., Duyck, W., & Rayner, K. (2011). Frequency drives lexical access in reading but not in speaking: The frequency-lag hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 140(2), 186–209.
- Hand, C. J., Miell, S., O'Donnell, P. J., & Sereno, S. C. (2010). The frequency–predictability interaction in reading: It depends where you're coming from. *Journal of Experimental Psychology: Human, Perception and Performance*, 36(5), 1294–1313.
- Hawelka, S., Schuster, S., Gagl, B., & Hutzler, F. (2015). On forward inferences of fast and slow readers. An eye movement study. *Scientific Reports*, 5, 8432.
- Johnson, R. L., Oehrlin, E. C., & Roche, W. L. (2018). Predictability and Parafoveal preview effects in the developing reader: Evidence from eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44(7), 973–991.
- Klein, H. A., Klein, G. A., & Bertino, M. (1974). Utilization of context for word identification decisions in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 17(1), 79–86.
- Li, L. P., & Wu, X. C. (2015). Effects of metalinguistic awareness on reading comprehension and the mediator role of reading fluency from grades 2 to 4. *PLoS ONE*, 10(3), e0114417.
- Li, X. S., Bicknell, K., Liu, P. P., Wei, W., & Rayner, K. (2014). Reading is fundamentally similar across disparate writing systems: A systematic characterization of how words and characters influence eye movements in Chinese reading. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(2), 895–913.
- Livensedge, S. P., Zang, C. L., Zhang, M. M., Bai, X. J., Yan, G. L., & Drieghe, D. (2014). The effect of visual complexity and word frequency on eye movements during Chinese reading. *Visual Cognition*, 22(3–4), 441–457.
- Rayner, K. (2009). The 35th Sir Frederick Bartlett lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457–1506.
- Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., & Reichle, E.D. (2004). *The effects of frequency and predictability on eye fixations in reading*: Implications for the E–Z Reader model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 720–32.
- Rayner, K., & Well, A. D. (1996). Effects of contextual constraint on eye movements in reading: A further examination. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3(4), 504–509.
- 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 and Review*, 12(6), 1089–1093.
- Rayner, K., Reichle, E. D., & Pollatsek, A. (1998). Eye movement control in reading: An overview and model. In G. Underwood (ed.), *Eye guidance in reading and scene perception* (pp. 243–268). Amsterdam: Elsevier.
- Reichle, E. D. (2011). Serial-attention models of reading. In S. P. Livensedge, I. Gilchrist, & S. Everling (Eds.), *The Oxford handbook of eye movements*. Oxford: Oxford University Press.
- Reichle, E. D., Livensedge, S. P., Drieghe, D., Blythe, H. I., Joseph, H. S. S. L., White, S. J., & K. Rayner. (2013). Using E–Z reader to examine the concurrent development of eye–movement control and reading skill. *Developmental Review*, 33(2), 110–149.
- Schvaneveldt, R., Ackerman, B. P., & Semlear, T. (1977). The effect of semantic context on children's word recognition. *Child Development*, 48(2), 612–616.
- Sereno, S. C., Hand, C. J., Shahid, A., Yao, B., & O'Donnell, P. J. (2018). Testing the limits of contextual constraint: Interactions with word frequency and parafoveal preview during fluent reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 71(1), 302–313.
- Staub, A. (2015). The effect of lexical predictability on eye movements in reading: Critical review and theoretical interpretation. *Language and Linguistics Compass*, 9(8), 311–327.
- Steiner, R., Wiener, M., & Cromer, W. (1971). Comprehension training and identification for poor and good readers. *Journal of Educational Psychology*, 62(6), 506–513.
- West, R. F., Stanovich, K. E., Feeman, D. J., & Cunningham, A. E. (1983). The effect of sentence context on word recognition in second- and sixth-grade children. *Reading Research Quarterly*, 19(1), 6–15.
- Yan, M., Pan, J. E., & Kliegl, R. (2019). Eye movement control in Chinese reading: A cross-sectional study. *Developmental Psychology*, 55(11), 2275–2285.

The Effects of the Word Predictability on Eye Movements of Skilled and Less-Skilled Developing Readers in Chinese Sentences Reading

Liu Nina^{1,2}, Wang Xia³, Liu Zhifang⁴, Yan Guoli^{1,2}

(¹Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin, 300074)(²Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Key Research Base of Humanities and Social Science of Ministry of Education, Tianjin, 300074)

(³Department of Psychology, Shanghai Normal University, Shanghai, 200234)

(⁴College of Education, Hangzhou Normal University, Hangzhou, 311121)

Abstract The word predictability has a fundamental role in determining whether a word is fixated, and how long does a skilled reading take for both alphabetic and non-alphabetic languages. Current models of eye movement control, such as E-Z Reader (Reichle, Pollatsek, Fisher, Rayner, 1998) and SWIFT (Engbert, Kliegl, & Nuthmann, 2005), treat predictability as one of the two main linguistic variables determining the speed with which words can be identified during reading. Whereas this influence of word predictability on the eye movements of skilled readers is relatively well understood, surprising little is known about how the use of these lexical cues develops. This is important for understanding how children learn to read. Moreover, previous studies have shown that there is significant difference of predictability facilitation effect for children with different reading skills. However, the relationship between reading skills and predictability effect is still controversial.

Accordingly, to gain insight into the use of these lexical cues by developing Chinese readers and how it is modulated by reading skills, we examined the effects of parametrically manipulating the predictability of a specific target word in sentences on the eye movements of high and low-skilled 5th grade readers. Developing Chinese readers (22 skilled, 2 less-skilled) were selected from a pool of school children (aged 10-12 years) whose reading skills had been comprehensively assessed. The test of reading skill was composed of reading comprehension and reading fluency. They read sentences containing two-character target words for which predictability and frequency was manipulated. Some findings suggested that lexical frequency effects provided a robust measure of lexical access, thus to investigate the relationship between predictability and frequency could tell us the processing stage at which the predictability operated.

The results showed that predictability effects emerged on skipping rate, first-pass fixation times and total reading times for high-skilled developing readers, while for low-skilled developing readers, predictability effect emerged on all fixation times measures; and for both group readers, an interaction between predictability frequency and complexity were observed on skip probability with larger frequency effect for low-predictability words. Furthermore, the differences between higher and low-skilled children showed that high-skilled readers were more likely to skip words that were more predictable in the sentence context, indicating that predictability influenced the parafoveal processing of upcoming words. However, low-skilled children among these developing readers made longer refixation fixation for higher predictability words, which indicated that they relied more on contextual predictability during later stage of lexical processing.

In summary, word predictability indeed influences the eye movements of Chinese developing readers the same as developed adult readers. However, there are fundamental differences in the influence of predictability on eye movements and lexical process for skilled and less-skilled developing Chinese readers. High-skilled readers use the predictability to facilitate lexical identification from the parafoveal processing, while the low-skilled processes from the fixated word; Although the predictability has the same influence on word identification when words are fixated for both group readers, low-skilled readers rely more on it during the re-reading processing.

Key words predictability effect, reading skill, lexical processing, eye movements