

# 听障大学生句子阅读中语音加工的眼动研究\*

兰泽波<sup>1</sup> 梁晓伟<sup>1</sup> 王正光<sup>1</sup> 姜琨<sup>2</sup> 孟珠<sup>1</sup> 闫国利<sup>\*\*1</sup>

(<sup>1</sup>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)

(<sup>2</sup>天津理工大学聋人工学院, 天津, 300384)

**摘要** 语音信息在健听者阅读中起着重要作用, 由于听觉经验的缺失, 听障者在阅读中能否利用语音信息进行词汇识别? 目前的研究结果尚存在争议。本研究采用错误中断范式, 通过眼动追踪技术考察了 24 名听障大学生在汉语句子阅读中的语音加工。结果发现, 听障大学生的表现与两组健听学生相似, 在句子阅读中能够利用语音信息, 但在时间进程上相比健听学生存在延迟。听障大学生的口语能力影响语音加工, 口语熟练者能够有效地利用语音信息进行词汇识别, 口语不熟练者则不能。

**关键词** 听障大学生 句子阅读 语音加工 眼动

## 1 引言

书面语言是人们日常生活和学习交流的重要工具, 然而, 听障者在书面语学习上存在较大困难, 他们的阅读水平落后于同龄健听者(贺荟中, 贺利中, 2007; 张帆, 李德高, 2017; Kyle & Cain, 2015)。有研究者认为听觉经验的缺失导致听障者语音表征能力较低是造成他们阅读存在困难的主要原因(Perfetti & Sandak, 2000)。目前探讨听障学生阅读中语音加工的研究大多集中在中小學生, 随着我国特殊教育的发展, 研究者也越来越关注听障大学生群体(刘志丽, 刘晓明, 李晗静, 姚登峰, 2018)。鉴于语音信息在健听学生阅读中的重要作用(任桂琴, 韩玉昌, 于泽, 2012; Jared, Ashby, Agauas, & Levy, 2016), 本研究以听障大学生为被试, 考察他们在句子阅读中的语音加工过程。

书面语的词汇识别是从印刷页面提取视觉信息, 并在词形和词义之间建立联接, 理解文本语义的过程(白学军, 闫国利, 2017)。有研究表明, 健听

读者在词汇识别过程中会激活该词汇的语音信息(Ziegler, Bertrand, Lété, & Grainger, 2014), Perfetti 和 Sandak (2000) 认为阅读从根本上来说是建立在基础的语言加工上, 包括对语音的加工, 因此语音加工在健听者阅读中起着重要的作用。

目前关于听障者在阅读中能否进行语音加工的研究结果存在较大争议(Mayberry, del Giudice, & Lieberman, 2011)。一些研究发现听障者在阅读中能够利用语音信息进行词汇识别(胡朝兵, 张兴瑜, 余林, 张大均, 2009; 咎飞, 谭和平, 2005; Friesen & Joanisse, 2012)。Transler 和 Reitsma (2005) 发现, 健听小学生和听障小学生在同音假词上出现的错误率显著高于拼写控制假词, 该结果支持了听障小学生在词汇识别中利用了语音信息。Hanson, Goodell 和 Perfetti (1991) 研究发现, 听障者和健听者在阅读绕口令时, 对句子的合理性判断正确率显著低于正常句子阅读, 说明听障者在阅读中激活了语音信息。而有研究则发现听障者在阅读中没有激活语

\* 本研究得到国家社会科学基金项目(16BYY074)的资助。

\*\* 通讯作者: 闫国利。E-mail: psyyl@163.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20200434

音信息(王志强,王雁,2016a;Fariña,Duñabeitia,&Carreiras,2017;Perea,Marcet,&Vergara-Martínez,2016)。Bélanger,Baum和Mayberry(2012)发现只有健听者利用了语音信息进行词汇识别,高阅读水平听障者和低阅读水平听障者没有利用。王志强和王雁(2016b)发现,健听者在进行语义一致性判断时出现了语音干扰效应,即当启动字与目标图片语音相似时的反应时比无关启动更慢。听障大学生则没有出现语音干扰效应,这说明他们没有利用语音信息进行词汇识别。

以往研究大多采用词汇判断任务来解决此争议,但是词汇判断任务并不能够完全反映自然阅读过程。近年来研究者开始通过眼动追踪技术来探讨听障者在句子阅读中的语音加工(闫国利,兰泽波,孟珠,王影超,王正光,2019)。眼动追踪技术能够提供个体实时的眼动数据,从而对人的阅读过程进行精细地分析,该方法被认为是目前研究默读加工过程最好的方法(闫国利,白学军,2018)。相比于传统的行为研究,丰富的眼动指标以及巧妙的眼动研究范式能够为研究者提供更多的信息,更为精细地考察读者阅读过程的加工机制。

Bélanger,Mayberry和Rayner(2013)采用边界范式考察听障成人能否加工副中央凹处词汇的语音信息。副中央凹语音预视效益指当读者注视某个字时,可以获得其下一个字(副中央凹处)的语音信息,这表明读者在阅读中激活了词汇的语音信息。Bélanger等人发现,健听者能够获得语音预视效益,而高阅读水平和低阅读水平听障者未获得语音预视效益。然而,Yan,Pan,Bélanger和Shu(2015)发现,相比低阅读水平听障中学生,高阅读水平听障中学生在预视时间较长时,表现出显著的语音预视效益。此外,Blythe,Dickins,Kennedy和Liversedge(2018)采用错误中断范式考察听障中学生在句子阅读中对中央凹处词汇的语音加工,中央凹处的词汇信息比副中央凹处更丰富,读者在阅读中也主要依赖中央凹处的词汇。在错误中断范式中,读者阅读包含正确目标词句子、同音词替换句子和无关词替换句子(Jared&O'Donnell,2017)。在阅读时,读者通

常依赖于字词的某些特征(如语音)来进行词汇识别,那么保留该特征的替换(如同音词)对阅读的干扰要比无关词的替换更小(Daneman&Reingold,1993)。Blythe等人发现,听障中学生在同音词上的阅读时间显著短于无关词,这表明他们能够利用语音信息进行词汇识别。

拼音文字属于比较透明的语言,正字法和语音的联结紧密,很难将字形与语音这两个因素分离开来。汉语属于表意文字系统,正字法与语音的关系并不存在着十分一致的关系,因此,汉语能够将字形和语音信息区分开。然而,目前很少有研究考查听障大学生在汉语句子阅读中对中央凹处词汇的语音加工。本研究将采用错误中断范式,通过眼动追踪技术来考察这一问题。如果听障大学生在句子阅读中利用语音信息进行词汇识别,将观察到他们在同音字上的注视时间显著短于无关字。如果听障大学生没有利用语音信息,则他们在同音字和无关字上的注视时间无显著差异。对这一问题的探讨,一方面有助于了解听障学生的阅读规律,对从认知加工机制来揭示造成他们阅读水平较低的原因具有重要的理论参考价值;另一方面通过揭示语音加工在听障者阅读中的作用,对聋校的语文及阅读教学活动具有一定的实践指导意义。

## 2 研究方法

### 2.1 被试

选取24名听障大学生为研究对象,年龄17.92~22.83岁。他们的优势耳听力损失大于80dB;13名为3岁学语前失聪,11名为先天失聪;未佩戴人工耳蜗,17名有佩戴助听设备;沟通交流的方式主要是手语,12名口语较为熟练;父母没有听力障碍。参考国际上的方法(Blythe et al.,2018),选取两组健听学生为对照组,分别与听障大学生在生理年龄(年龄匹配组)和阅读能力(能力匹配组)上匹配,包括24名健听大学生(17.74~20.69岁)和24名健听中学生(12.65~14.03岁)。健听学生为在普通学校学习的学生,无听力障碍,所有被试视力或矫正视力正常。

表1 三组被试在测验得分和年龄的比较

	能力匹配组	听障大学生组	年龄匹配组	<i>F</i>
智力(IQ)	109.71(13.81)	109.33(13.02)	109.35(13.47)	.01
阅读流畅性(字/分)	335.89(100.54)	330.04(108.64)	486.96(109.29)	16.83***
年龄(岁)	13.29(.46)	20.25(1.43)	19.65(.77)	375.32***

\*, $p < .05$ ; \*\*, $p < .01$ ; \*\*\*, $p < .001$ .下同

对被试进行瑞文非言语智力（李丹，胡克定，陈国鹏，金瑜，李眉，1988）和阅读流畅性（Pan et al., 2011）测验。单因素方差分析发现，被试主效应在智力上不显著，在阅读流畅性和年龄上显著，结果见表1。简单效应分析发现，在阅读流畅性上，能力匹配组与听障大学生无显著差异（ $p > .05$ ），年龄匹配组显著高于能力匹配组和听障大学生（ $ps < .05$ ）；在年龄上，年龄匹配组与听障大学生无显著差异（ $p > .05$ ），能力匹配组显著小于听障大学生和年龄匹配组（ $ps < .05$ ）。

## 2.2 实验材料

选取80个汉字作为目标字嵌入到句子中，句子从北大语料库选取和改编，目标字位于所在目标词的词首（见表2中的备注）。请未参与眼动实验的30名初二学生对句子的难度和通顺性进行5点评定（难度：1-非常容易~5-非常难；通顺性：1-非常不通顺~5-非常通顺），14名参与难度评定，16名参与通顺性评定。请25名未参与眼动实验的大学生参与预测性评定。最后选出60个符合要求的句子，难度  $1.79 \pm .34$ ，通顺性  $3.83 \pm .38$ ，预测性  $.02 \pm .04$ 。

每个目标字包含同音字、无关字两种替代字（见表2）。匹配了目标字、同音字和无关字的字频（ $F = 1.77$ ,  $p > .05$ ）、笔画数（ $F = .23$ ,  $p > .05$ ），对同音字和无关字的结构进行了控制。

实验句60句，三种类型句子共用一个句子框架，采用拉丁方平衡将实验材料分为三组，每组6个练习句子。25%的句子后面设置了是/否判断的理解题。为平衡实验句子中的错别字，另外选取20个填充句子。被试随机接受其中一组实验，告知被试句子中可能存在错误字，但不影响句子理解，要求他们认

真阅读句子，理解句子表达的意思。

## 2.3 实验设计

本研究为3（被试类型：听障大学生、能力匹配组、年龄匹配组） $\times$ 3（目标字类型：正确字、同音字、无关字）两因素混合设计。被试类型为被试间变量，目标字类型为被试内变量。

## 2.4 实验仪器与程序

实验采用Eyelink 1000 plus眼动仪（采样率1000Hz），被试机刷新率120Hz，分辨率1024 $\times$ 768。被试眼睛距屏幕65cm，材料以宋体呈现，每个汉字28 $\times$ 28像素，视角.9°。被试进入实验室后，主试通过PPT呈现并讲解指导语，其中听障被试由主试通过手语解释指导语。对被试进行三点校准，校准成功后进入实验。通过练习句子帮助被试熟悉实验过程，实验约20分钟。

## 2.5 统计方法与数据处理

根据以往中文阅读研究（Bai, Yan, Liversedge, Zang, & Rayner, 2008），将短于80ms或长于1200ms的注视点删除，并根据以下标准将无效数据删除：（1）在句子上的注视点少于或等于3个（.3%）；（2）追踪失败及首个注视点位于目标词后的数据（1%）；（3）平均数位于3个标准差以外的数据（1%）。

参照Zhou, Shu, Miller和Yan（2017）的研究，将目标字所在的目标词划为兴趣区进行数据分析，眼动指标包括首次注视时间、凝视时间、回视路径时间和总注视时间。这四个指标反映了词汇识别的时间进程，首次注视时间和凝视时间反映词汇识别的早期加工，回视路径时间和总注视时间反映词汇识别的晚期加工。眼动指标的数据分析采用基于R语言（The R Core Team, 2017）环境下的线性混合模型（Linear Mixed

表2 目标字与两组替代字的字频和笔画数

	目标字	同音字	无关字
举例	季	纪	刚
字频（次/每百万字）	179.14 (71.67)	236.19 (228.66)	235.75 (227.60)
笔画数（笔）	8.68 (2.46)	8.97 (3.15)	9.02 (3.01)

备注：字频来源《现代汉语语料库汉字频率表》，目标词“季节”嵌入到句子（古时候的农民根据“季节”的更替来耕种土地）中。

表3 三组被试在不同目标字类型上的眼动指标

	能力匹配组			听障大学生			年龄匹配组		
	正确字	同音字	无关字	正确字	同音字	无关字	正确字	同音字	无关字
首次注视时间 (ms)	264(103)	282(120)	301(142)	250(75)	264(88)	272(94)	237(80)	251(88)	269(110)
凝视时间 (ms)	352(205)	434(278)	473(340)	286(122)	321(164)	337(189)	278(147)	342(199)	396(277)
回视路径时间 (ms)	495(406)	634(502)	787(656)	350(226)	412(301)	444(362)	323(214)	458(346)	620(533)
总注视时间 (ms)	571(402)	797(569)	981(676)	396(230)	483(291)	553(361)	374(298)	561(416)	796(640)



Model, LMM; Bates, Maechler, Bolker, & Walker, 2017)。完整的模型包括对被试和材料的随机效应,模型拟合从最大随机效应模型开始,当复杂模型不能拟合时,依次简化最大模型直到它拟合。结果中报告了回归系数( $b$ ),标准误( $SE$ )和 $t$ 值( $t=b/SE$ )。

### 3 结果

#### 3.1 听障大学生与对照组差异比较

被试回答问题正确率均高于 80%,能力匹配组的正确率为 86%,听障大学生为 89%,年龄匹配组为 96%,表明三组被试均较好地理解了实验句子。三组被试在不同目标字类型的眼动数据见表 3。

线性混合模型是将被试类型、目标字类型作为固定因素来进行分析。被试类型主效应比较了听障大学生与两组健听学生的差异(听障大学生 vs. 能力匹配组和听障大学生 vs. 年龄匹配组)。目标字类型主效应首先比较了正确字与两类替代字的差异(正确字 vs. 同音字和正确字 vs. 无关字),接着比较了两类替代字的差异(同音字 vs. 无关字)。根据错误中断范式的逻辑,重点报告了三组被试在同音字和无关字上的交互作用。

被试类型主效应表现在听障大学生与能力匹配组在首次注视时间上不显著( $|t| < .93$ ),在凝视时间( $b = .20, SE = .06, t = 3.15$ )、回视路径时间( $b = .42, SE = .09, t = 4.59$ )和总注视时间( $b = .34, SE = .08, t = 4.00$ )上差异显著,听障大学生的注视时间显著短于能力匹配组。听障大学生与年龄匹配组在四个指标上差异不显著( $|ts| < 1.64$ )。目标字类型主效应表现在正确字与同音字、正确字与无关字在四个指标上差异显著( $|ts| > 4.05$ ),正确字上的注视时间显著短于同音字和无关字。同音字与无关字在四个指标上差异显著( $|ts| > 3.08$ ),同音字上的注视时

间显著短于无关字。

在交互作用上,听障大学生与能力匹配组在同音字和无关字上的交互作用不显著( $|ts| < 1.61$ );听障大学生与年龄匹配组在同音字和无关字上的交互作用在首次注视时间和凝视时间上不显著( $|ts| < 1.34$ ),在回视路径时间( $b = -.39, SE = .05, t = -7.31$ )和总注视时间( $b = -.17, SE = .06, t = -2.75$ )上显著。简单效应分析发现,能力匹配组和年龄匹配组在同音字上的回视路径时间和总注视时间显著短于无关字( $|ts| > 3.13$ )。听障大学生在同音字和无关字上的回视路径时间无显著差异( $b = .05, SE = .04, t = 1.38$ ),在同音字上的总注视时间显著短于无关字( $b = .10, SE = .03, t = 3.01$ )。

#### 3.2 听障大学生语音加工与口语能力的相关

参考 Transler 和 Reitsma (2005) 的研究,对听障大学生进行言语可懂度的自评(1- 不理解口语~5- 熟练理解口语),12 名听障大学生为口语不熟练(2 分及以下),12 名为口语熟练(3 分及以上),对口语熟练和不熟练听障大学生的言语可懂度、阅读流畅性、智力和年龄进行独立样本  $t$  检验,结果见表 4。两组学生只在言语可懂度上有显著差异( $p < .01$ ),口语熟练组显著高于口语不熟练组。

模型中将组别(口语熟练组 vs. 口语不熟练组),目标字类型(同音字 vs. 无关字)作为固定因素。两组学生的眼动数据见表 5。在首次注视时间、凝视时间与回视路径时间上,组别主效应和目标字类型主效应不显著( $|ts| < 1.62$ ),两者的交互作用不显著( $|ts| < .55$ )。在总注视时间上,组别主效应不显著( $b = .03, SE = .13, t = .20$ ),目标字类型主效应显著( $b = .11, SE = .03, t = 3.01$ ),同音字上的总注视时间短于无关字,两者的交互作用边缘显著( $b$

表 4 口语熟练组与口语不熟练组在测验得分和年龄上的差异比较

	口语熟练组	口语不熟练组	$t$
言语可懂度	3.83 (1.40)	1.08 (.29)	6.65***
阅读流畅性(字/分)	332.78 (85.20)	327.31 (131.92)	.12
智力(IQ)	110.13 (12.58)	108.54 (13.97)	.29
年龄(岁)	19.71 (1.03)	20.79 (1.60)	-1.97

表 5 口语熟练组与口语不熟练组在不同目标字类型上的眼动指标

	口语熟练组		口语不熟练组	
	同音字	无关字	同音字	无关字
首次注视时间(ms)	255 (90)	260 (83)	272 (85)	284 (102)
凝视时间(ms)	341 (201)	355 (222)	301 (111)	318 (144)
回视路径时间(ms)	422 (291)	459 (391)	402 (312)	428 (329)
总注视时间(ms)	487 (311)	604 (427)	480 (270)	502 (273)

$= .12, SE = .07, t = 1.77$ )。简单效应分析发现,口语熟练组在同音字上的总注视时间显著短于无关字( $b = .17, SE = .05, t = 3.44$ ),口语不熟练组在同音字和无关字上的总注视时间差异不显著( $b = .04, SE = .05, t = .85$ )。

## 4 讨论

本研究采用眼动追踪技术考察了听障大学生在汉语句子阅读中能否利用语音信息进行词汇识别。结果表明,听障大学生在句子阅读中能够利用语音信息进行词汇识别,但是口语能力影响了语音信息的利用,口语熟练者能够利用语音信息,而口语不熟练者则不能。

研究发现听障大学生在词汇识别中语音信息的利用能力较健听学生更弱,听障大学生在总注视时间上才表现出同音字优势效应,而两组健听学生在回视路径时间上就已经出现了。定性相似假说(qualitative similarity hypothesis)认为,听障者的阅读发展和健听者的阅读发展在质上是相似的,只是在量上存在差异,听障者阅读发展进程倾向于延迟(Paul & Lee, 2010)。同音字比无关字阅读时间更短的重要原因是,同音字与正确字读音相同,在本研究中听障大学生与两组健听学生都表现出了同音字优势效应,但在时间进程上要晚于健听学生,这表明听障大学生在汉语句子阅读时与健听学生一样能够利用语音信息进行词汇识别,但在时间进程上存在延迟。

此外,听障大学生的口语能力影响词汇识别中的语音加工。口语熟练的听障大学生在词汇识别中利用了语音信息,而口语不熟练的听障大学生没有利用。以往研究也发现通过唇读和言语训练,听障儿童能够发展出对于词汇的语音表征(Harris & Moreno, 2006)。Harris, Terlektsi 和 Kyle(2017)发现,课堂上接受口语教学的听障儿童在阅读测验上的得分显著高于接受手语教学的听障儿童,并且词汇知识和口语阅读是听障儿童阅读能力重要的纵向预测因子。因此,口语熟练的听障大学生经过口语训练后,能够获得词汇中的语音表征,在句子阅读中能够利用语音信息来进行词汇识别。此外,有研究发现听障者在词汇识别中更多依赖于视觉信息,即采用正字法策略来进行词汇识别(王志强,王雁,2016a; Bélanger et al., 2013)。也有研究发现听障者在书面语阅读时会激活手语表征(Morford, Wilkinson,

Villwock, Piñar, & Kroll, 2011; Ormel, Hermans, Knoors, & Verhoeven, 2012; Pan, Shu, Wang, & Yan, 2015)。因此,有可能是口语不熟练的听障大学生在词汇识别中主要依靠正字法表征或手语表征。未来研究可以进一步综合考察听障者在词汇识别中采用的阅读策略,以及各种阅读策略在词汇识别阶段起作用的时间进程。

本研究结果表明定性相似假说适用于口语熟练的听障大学生。口语熟练的听障大学生经过唇读或口语训练,能够发展出词汇的语音表征,在词汇识别中能够利用语音信息,这与健听学生的阅读过程相似,支持了定性相似假说。口语不熟练的听障大学生无法从口语中获取词汇的语音信息来发展出语音表征,在词汇识别中没有利用语音信息,这与健听学生的阅读过程不一致。未来研究应考察口语不熟练的听障大学生是如何达到与口语熟练者相同的阅读水平这一问题。

## 5 结论

(1) 听障大学生在汉语句子阅读中能够利用语音信息进行词汇识别,他们的词汇识别过程与健听学生相似,但在时间进程上存在延迟。

(2) 口语能力影响听障大学生的语音加工,口语熟练者能够利用语音信息进行词汇识别,而口语不熟练者没有利用。

## 参考文献

- 白学军, 闫国利. (2017). *阅读心理学*. 上海: 华东师范大学出版社.
- 贺芸中, 贺利中. (2007). 聋生篇章阅读过程的眼动研究. *中国特殊教育*, 11, 31-35.
- 胡朝兵, 张兴瑜, 余林, 张大均. (2009). 聋大学生语音意识特点的实验研究. *心理科学*, 32(5), 1134-1137.
- 李丹, 胡克定, 陈国鹏, 金瑜, 李眉. (1988). 瑞文测验联合型(CRT)上海市区试测报告. *心理科学*, 4, 27-31.
- 刘志丽, 刘晓明, 李晗静, 姚登峰. (2018). 我国听障生高等教育研究综述——基于CNKI的载文分析. *中国特殊教育*, 3, 52-57.
- 任桂琴, 韩玉昌, 于泽. (2012). 句子语境中汉语词汇形、音作用的眼动研究. *心理学报*, 44(4), 427-434.
- 王志强, 王雁. (2016a). 不同语音表征能力的听力残疾大学生语音编码研究. *中国特殊教育*, 4, 27-34.
- 王志强, 王雁. (2016b). 语音与字形在高频汉字识别中的作用——基于听障大学生与健听大学生的比较研究. *中国特殊教育*, 11, 26-31, 43.
- 闫国利, 白学军. (2018). *眼动分析技术的基础与应用*. 北京: 北京师范大学出版社.
- 闫国利, 兰泽波, 孟珠, 王影超, 王正光. (2019). 听障者语音编码的研究范式述评. *心理科学*, 42(2), 500-505.
- 管飞, 谭和平. (2005). 聋生汉字识别的同音判断与启动效应实验研究. *心*

- 理科学, 28(5), 1089–1095.
- 张帆, 李德高. (2017). 聋生“是……的”句的句法意识. *心理学报*, 49(11), 1383–1391.
- 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(5), 1277–1287.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2017). *lme4: Linear mixed effects models using 'Eigen' and S4*. Retrieved, from <https://CRAN.R-project.org/package=lme4>
- Bélanger, N. N., Baum, S. R., & Mayberry, R. I. (2012). Reading difficulties in adult deaf readers of French: Phonological codes, not guilty! *Scientific Studies of Reading*, 16(3), 263–285.
- Bélanger, N. N., Mayberry, R. I., & Rayner, K. (2013). Orthographic and phonological preview benefits: Parafoveal processing in skilled and less-skilled deaf readers. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 66(11), 2237–2252.
- Blythe, H. I., Dickens, J. H., Kennedy, C. R., & Liversedge, S. P. (2018). Phonological processing during silent reading in teenagers who are deaf/hard of hearing: An eye movement investigation. *Developmental Science*, 21(5), e12643.
- Daneman, M., & Reingold, E. (1993). What eye fixations tell us about phonological recoding during reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 47(2), 153–178.
- Fariña, N., Duñabeitia, J. A., Carreiras, M. (2017). Phonological and orthographic coding in deaf skilled readers. *Cognition*, 168, 27–33.
- Friesen, D. C., & Joanisse, M. F. (2012). Homophone effects in deaf readers: Evidence from lexical decision. *Reading and Writing*, 25(2), 375–388.
- Hanson, V. L., Goodell, E. W., & Perfetti, C. A. (1991). Tongue-Twister effects in the silent reading of hearing and deaf college students. *Journal of Memory and Language*, 30(3), 319–330.
- Harris, M., & Moreno, C. (2006). Speech reading and learning to read: A comparison of 8-year-old profoundly deaf children with good and poor reading ability. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 11(2), 189–201.
- Harris, M., Terleksi, E., & Kyle, F. E. (2017). Concurrent and longitudinal predictors of reading for deaf and hearing children in primary school. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 22(2), 233–242.
- Jared, D., Ashby, J., Aguias, S. J., & Levy, B. A. (2016). Phonological activation of word meanings in grade 5 readers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 42(4), 524–541.
- Jared, D., & O'Donnell, K. (2017). Skilled adult readers activate the meanings of high-frequency words using phonology: Evidence from eye tracking. *Memory and Cognition*, 45(2), 334–346.
- Kyle, F., & Cain, K. (2015). A comparison of deaf and hearing children's reading comprehension profiles. *Topics in Language Disorders*, 35(2), 144–156.
- Mayberry, R. I., del Giudice, A. A., & Lieberman, A. M. (2011). Reading achievement in relation to phonological coding and awareness in deaf readers: A meta-analysis. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 16(2), 164–188.
- Morford, J. P., Wilkinson, E., Villwock, A., Piñar, P., & Kroll, J. F. (2011). When deaf signers read English: Do written words activate their sign translations? *Cognition*, 118(2), 286–292.
- Ormel, E., Hermans, D., Knoors, H., & Verhoeven, L. (2012). Cross-language effects in written word recognition: The case of bilingual deaf children. *Bilingualism: Language and Cognition*, 15(2), 288–303.
- Pan, J. E., McBride-Chang, C., Shu, H., Liu, H. Y., Zhang, Y. P., & Li, H. (2011). What is in the naming? A 5-year longitudinal study of early rapid naming and phonological sensitivity in relation to subsequent reading skills in both native Chinese and English as a second language. *Journal of Educational Psychology*, 103(4), 897–908.
- Pan, J. E., Shu, H., Wang, Y. L., & Yan, M. (2015). Parafoveal activation of sign translation previews among deaf readers during the reading of Chinese sentences. *Memory and Cognition*, 43(6), 964–972.
- Paul, P. V., & Lee, C. (2010). The qualitative similarity hypothesis. *American Annals of the Deaf*, 154(5), 456–462.
- Perea, M., Marcet, A., & Vergara-Martínez, M. (2016). Phonological-lexical feedback during early abstract encoding: The case of deaf readers. *PLoS ONE*, 11(1), e0146265.
- Perfetti, C. A., & Sandak, R. (2000). Reading optimally builds on spoken language: Implications for deaf readers. *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 5(1), 32–50.
- The R Core Team. (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved, from <http://www.R-project.org/>
- Transler, C., & Reitsma, P. (2005). Phonological coding in reading of deaf children: Pseudohomophone effects in lexical decision. *British Journal of Developmental Psychology*, 23(4), 525–542.
- Yan, M., Pan, J. E., Bélanger, N. N., & Shu, H. (2015). Chinese deaf readers have early access to parafoveal semantics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(1), 254–261.
- Zhou, W., Shu, H., Miller, K., & Yan, M. (2018). Reliance on orthography and phonology in reading of Chinese: A developmental study. *Journal of Research in Reading*, 41(2), 370–391.
- Ziegler, J. C., Bertrand, D., Lété, B., & Grainger, J. (2014). Orthographic and phonological contributions to reading development: Tracking developmental trajectories using masked priming. *Developmental Psychology*, 50(4), 1026–1036.

# Phonological Processing During Sentence Reading in Deaf College Students: An Eye-Tracking Study

Lan Zebo<sup>1</sup>, Liang Xiaowei<sup>1</sup>, Wang Zhengguang<sup>1</sup>, Jiang Kun<sup>2</sup>, Meng Zhu<sup>1</sup>, Yan Guoli<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Key Research Base of Humanities and Social of the Ministry of Education, Tianjin, 300074)(<sup>2</sup> Technical College for the Deaf, Tianjin University of Technology, Tianjin, 300384 )

**Abstract** Reading is an important tool for human's daily life and communication. However, most of the deaf readers have great difficulty in learning to read, and the literacy development of average deaf readers is delayed compared with their hearing peers. As phonological information plays an important role in reading for hearing students, a lack of hearing experience has been considered as a leading factor that results in lower reading efficiency in the deaf. The experimental findings regarding phonological processing in deaf readers are controversial. Some studies have found that deaf readers activate phonological information during reading in the same way as hearing readers, while other studies have not found that deaf readers activate phonological information.

Previous studies have mainly used isolated word recognition task, such task may not necessarily reflect the cognition processing associated with normal reading. Recently, some studies have recorded the eye movements of deaf readers to investigate phonological processing during natural sentence reading in alphabetic writing systems. There is a distinction between Chinese and alphabetic writing systems. Compared with alphabetic writing systems, Chinese is a writing system with deep orthography. The orthography-phonology mapping of Chinese characters is not always consistent. To date, few studies have investigated the phonological processing in Chinese deaf readers during sentence reading. In the present study, we examine whether Chinese deaf students use phonological information during sentence reading with error disruption paradigm. In this paradigm, participants read each sentence with either a correctly spelled word (e.g. He wore blue jeans), a homophone (e.g. He wore blew jeans) or a spelling control word (e.g. He wore blow jeans). The rationale of this paradigm is that, substitutions (e.g., homophones), which preserve similar features with the correctly spelled word, should be less disruptive to reading than for spelling control words, to the extent that readers rely on certain features (e.g. phonology) to aid in reading.

The design was a 3 (groups: deaf college students, chronological age-matched students (CA), reading age-matched students (RA))  $\times$  3 (target words: correctly spelled words, homophones, unrelated words) mixed design. The deaf college students were aged 17.92 ~22.83 years with a hearing loss above 80dB in their better ear and none had received a cochlear implant. The CA control group was matched to the deaf college students on chronological age and IQ. The RA control group was matched to the deaf college students on reading ability and IQ. 24 students in each group participated in the experiment. Their eye movements were recorded with Eyelink1000 plus eye tracker. The results showed that processing of phonology in deaf college students is less efficient in comparison to both hearing controls. Deaf college students showed a homophone advantage in total reading time, while both hearing controls had already showed a homophone advantage in regression path time. Furthermore, oral language affected the use of phonological information in deaf college students. Deaf college students who were proficient in oral showed a homophone advantage in total reading time, whereas deaf college students who were less proficient in oral language did not show a homophone advantage in all eye movement data. These results supported that deaf college students who were proficient in oral language could use phonological information during sentence reading, while deaf college students who were less proficient in oral language could not use.

**Key words** deaf college students, sentence reading, phonological processing, eye movement