

押韵加工的认知神经机制*

张 晶 刘 昌

(南京师范大学心理学院暨认知神经科学实验室, 南京 210097)

摘 要 押韵是指一对词语中从最后一个发音的元音到词尾的语音结构均相同的现象。现有押韵加工主要分为押韵识别与押韵产生两个研究领域, 两者的认知加工过程相似, 包括字形编码、形音转换、语音表征与语音分段等阶段。从语音加工与字形加工两方面对押韵过程的神经基础进行探讨, 发现左半球颞上回与额下回分别负责语音表征与语音分段, 左半球梭状回参与着字形编码, 而有效的形音转换依赖于左半球顶下小叶与额下回组成的神经网络。今后应进一步整合不同研究方法下任务下的研究结果, 并对押韵产生加工进行更深入的探讨。

关键词 押韵; 押韵识别; 押韵产生; 脑

分类号 B842; B845

1 前言

押韵是一种特殊的语音加工过程, 是指一对词语中从最后一个发音的元音到词尾的语音结构均相同的现象(Fabb, 1997, p.118)。押韵现象广泛存在于文学作品之中, 为行文赋予和谐的音韵之美。其产生由来已久, 在英国文学史上已知最早的文学作品《贝奥武甫》中就采用了头韵, 而中国从《诗经》时代就开始使用韵脚押韵, 在唐诗宋词中更是将用韵达到顶峰。虽然押韵存在着一定的文化差异性, 如英语中押头韵与尾韵, 而汉语中没有头韵的概念, 只讲求韵脚押韵。且人们对押韵形式的欣赏也随文化差异而不尽相同, 法语诗歌中所推崇的完全同韵现象, 在英语和汉语诗中并不被认可(Wagner & McCurdy, 2010)。但总的说来, 押韵是东西方语言表达中共通的方式, 其作为语音加工研究中的重要组成成分, 一直都受到心理学者和语言学者的广泛关注, 并已取得了一定的研究成果。然而, 大量国外研究只将押韵作为研究语音加工的实验任务(Burton, LoCasto, Krebs-Noble, & Gullapalli, 2005; Pugh et al., 1996;

Seghier et al., 2004)。而国内的韵律研究主要关注于“律”的加工, 即语调、重音与韵律结构的加工, 而真正以押韵加工作为研究对象的实验数量还较少。但不能因此只将押韵视为研究语音加工的方法而不究其本质, 或简单的将对“律”的加工等同于“韵律”加工。对其进行更深入的探讨, 了解押韵的认知过程及神经机制, 无论对于我们理解押韵加工本身还是促进对语音加工的认识都是十分必要的。

押韵加工主要包括押韵识别加工与押韵产生加工两个研究领域, 当前研究者对两过程的认知机制进行了广泛探讨并取得了较为一致的结论, 而两过程的脑功能基础尚不清楚。随着神经影像学技术在心理学领域的广泛运用, 人们可以使用相减法确定某一心理过程的特异性激活脑区, 这对于同时携带着语音、字形及语义信息的押韵加工研究有着重要的意义。本文在比较押韵识别与押韵产生两种任务的研究范式的基础上, 寻找押韵加工中共同的认知过程, 并探讨其中语音、字形加工所起的重要作用, 以揭示押韵加工的脑活动基础。

2 押韵加工的实验研究范式

2.1 押韵识别

押韵识别是指被试对所呈现的词语或非词语

收稿日期: 2013-02-14

* 江苏省第四期“333 高层次人才培养工程”科研项目。

通讯作者: 刘昌, E-mail: cgilew@163.com

刺激的押韵结构进行语音识别, 并做出押韵与否判断的过程。押韵识别研究主要采用押韵判断任务(rhyme judgment task)与押韵检测任务(rhyme detection task)两种范式, 其中押韵判断任务因强调被试的决策反应, 故有研究者也将其称为押韵决策任务(rhyme decision task) (Cone, Burman, Bitan, Bolger, & Booth, 2008; Owen, Borowsky, & Sarty, 2004)。押韵判断任务的基本程序为相继呈现给被试两个刺激(启动刺激与目标刺激), 要求被试判断其是否押韵, 并做出相应的按键反应, 示意图见图 1。

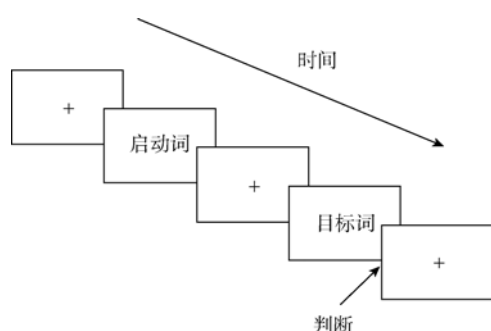


图 1 押韵判断任务流程图

(资料来源: Weber-Fox, Spencer, Spruill III, & Smith, 2004)

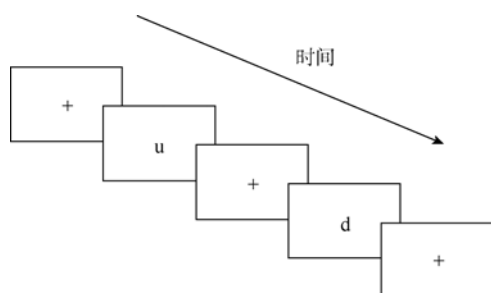


图 2 押韵检测任务流程图

(资料来源: Peyrin et al., 2012)

按照刺激的呈现通道, 押韵判断可以分为视觉押韵任务(D'Hondt & Leybaert, 2003; McDermott, Petersen, Watson, & Ojemann, 2003; Seghier et al., 2004; Weber-Fox et al., 2004)与听觉押韵任务(Coch, Grossi, Skendzel, & Neville, 2005)。而根据刺激类型, 押韵判断可分为真词押韵任务(Cone et al., 2008)与假词押韵任务(Calvert et al., 2000;

Owen et al., 2004)。Seidenberg 和 Tanenhaus (1979)最先在研究中使用真词押韵判断任务研究字形因素对押韵过程的影响。但由于真词携带着语义信息, 不可避免的将语义加工混入押韵过程。之后的研究者根据构词法与发音规则, 设计出可以发音但无意义的假词刺激, 排除了语义信息的干扰。假词属于人工词语, 因其造词方便并易于控制, 逐渐被广泛的应用于押韵研究中(Calvert et al., 2000; Pecini et al., 2008)。

押韵检测任务可看做一种特殊的押韵匹配任务, 实验首先给被试一个确定的押韵比较标准(通常选取字母“B”或者“E”), 接着呈现一系列的辅音字母(Paulesu et al., 1996)或假词刺激(Cousin et al., 2007), 要求被试比较这些刺激是否与标准刺激相押韵, 并作出相应的反应。Peyrin 等人使用押韵检测范式研究了两种发展性阅读困难患者的反应差异(Peyrin et al., 2012)。如图 2 所示, 实验中被试需要判断屏幕中呈现的单个辅音字母是否与字母“B”押韵。例如, 当呈现字母为“C”、“D”、“T”等时, 则为押韵判断, 而为“M”、“U”、“Y”时则做不押韵判断, 而只有做押韵判断时被试需进行相应的按键反应。Cousin, Peyrin 和 Baciú (2006)将假词刺激引入押韵检测任务, 被试需要判断假词是否与字母“E”押韵。实验设计了 96 个符合语法规则的假词, 每个假词由 7 个字母组成, 其中一半的刺激与“E”押韵, 另一半不押韵, 同样只有在押韵判断时做按键反应。押韵检测任务与押韵判断任务相比, 认知过程较为简单, 被试只需对所给标准刺激字母进行编码, 即可获得其韵脚信息, 之后每个刺激都与保持在工作记忆中的靶字母进行押韵比较即可。但总的说来, 虽然押韵判断任务与押韵检测任务在任务形式上有所差别, 但两种任务的认知过程在本质上是相同的, 都反映了被试对刺激进行押韵识别的过程。通过对以往研究的总结(Owen et al., 2004; Pugh et al., 1996), 我们认为押韵识别过程分为以下几个部分。首先, 将刺激的字形信息进行加工, 根据一般的语法规则, 将字形信息转换为语音信息, 并进行语音表征与编码。之后, 被试需要在头脑中将语音信息进行分段, 以辨认出其中的押韵结构, 包括韵核与韵尾, 而这两部分以连贯的音节形式进入下一步分析。最后, 对两刺激的押韵结构进行比较, 并做出押韵与否的判断。

2.2 押韵产生

押韵产生研究的主要范式是押韵流畅性任务(rhyming verbal fluency, RVF),即根据所给词语的语音线索产生与之押韵词语的过程。这与根据语义分类产生词语的语义流畅性任务(semantic verbal fluency, SVF)及根据首字母产生词语的词汇流畅性任务(lexical verbal fluency, LVF)方法类似。Hanson 和 McGarr (1989)使用押韵流畅性任务考察了先天耳聋者押韵产生的过程,该实验为纸笔测验,共呈现给被试 50 个英语单音节真词,要求被试尽可能多的写出与之相押韵的词语。Pecini 等(2008)将此任务进行了改进,以研究意大利语押韵过程中的语言加工。研究使用计算机屏幕随机的呈现刺激,并对实验材料的词频进行了一定的控制,共选取了 30 个高频意大利语双音节真词。而 Krach 和 Hartje (2006)首次尝试使用假词研究押韵产生过程,实验流程如图 3 所示,首先给被试呈现假词刺激,让被试在头脑中思考与之押韵的词语,实验要求被试每在头脑中想出一个押韵词语,就按一下电脑键盘上的空格键。为了避免由于按键反应所引起的半球优势效应,被试需要用双手食指同时进行按键反应,随后口头报告答案,并有相应的休息时间。研究者对实验材料进行了更为严格的控制,为了避免被试根据字形做出反应,所设计的假词与正常德语词的主干结构不同,但都能根据德语的形音转换读出发音。假词词长控制在四个字母,并且去除了与正常德语词读音相同的词汇。这一实验任务与材料为之后研究者所借鉴,将押韵产生、语义产生与词汇产生进行了对比研究。在每个试次中,首先呈现给被试一个词汇流畅性任务,随后呈现一个押韵流畅性任务,在一个作为基线的休息之后,再呈现一个语义流畅性任务,每种任务都要求被试尽可能多的产生相应类别的词语(Kircher, Nagels, Kirner-veselinovic, & Krach, 2011)。

Kircher 等(2011)总结前人研究,提出了押韵产生加工的模型。其模型前 3 个阶段分别为被试对刺激的字形编码、形音转换及语音的表征与分段,这与押韵识别过程的前期阶段是基本一致的。而之后的押韵产生加工通过分析分段后的音节信息,来寻找新的辅音与押韵主体部分(韵核与韵尾)相结合,以产生一个或多个有意义的新词。

总的说来,押韵识别与押韵产生虽是两种不

同的任务,但从信息加工角度说二者却有着相似的认知过程,即二者主体押韵加工过程均包括字形编码、形音转换、语音表征与语音分段等几个加工阶段,只在后期的任务完成阶段,押韵识别侧重押韵的判断与比较,而押韵产生的重点则在于生成押韵新词。这两种可行的实验范式使我们进一步探讨押韵加工的脑活动基础成为可能。我们拟从语音加工(包括语音表征与语音分段)与字形加工(包括字形编码与形音转换)两个方面加以说明。

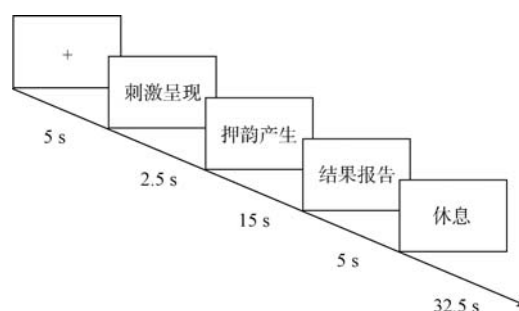


图3 押韵流畅性任务流程图

(资料来源: Krach & Hartje, 2006)

3 押韵的语音加工

与语义加工及字形加工相比,押韵加工需要对刺激信息进行更多的语音表征与编码,研究者普遍认为对语音加工具有更大的依赖性。Seghier 等(2004)使用fMRI技术,考察了30名母语为法语的成年被试完成视觉押韵判断任务与语义分类任务的脑区激活情况。结果发现,两任务都广泛的激活了左半球额下部与额中部、以及颞叶区域与顶枕脑区,其中激活程度最高的脑区分别为左半球额下回、颞上回与中央前回。但相比语义分类任务,押韵判断任务更显著的激活了左半球颞顶脑区。并且,尽管两者所激活的颞上回区域有较大重叠,但押韵加工任务在后部颞上回的激活程度更高。已有神经影像学研究表明,左半球颞上回对语义及词汇信息并不敏感,只与语音表征及编码有关(Binder et al., 2000)。而左半球颞上回的后部一般被称为威尔尼克区,是专门负责语音编码的脑区,它存储着词语的语音信息,通过对语音输入进行编码,将语音信息转入上一级语言加

工。听觉押韵任务主要在听觉单通道内实现,始终伴随着语音加工。在大量听觉押韵研究中,均发现了左半球颞上回的显著激活(Booth et al., 2003; Cone et al., 2008; Rudner, Rönnerberg, & Hugdahl, 2005)。Booth 等人(2003)研究比较了押韵任务与拼写任务的神经基础,在听觉押韵任务实验中,研究者采用了传统押韵判断任务的变式:每个试次相继呈现给被试 3 个词语,要求被试判断最后呈现的目标词是否与前两个词语中的一个押韵,如 hope-cold-soap。其中一半试次的目标词与前两词语押韵,另一半则不押韵。并且,在一半正确反应的试次中,目标词与第一个呈现的词语相匹配,而另一半与第二个呈现的词语相匹配。结果发现,该听觉押韵判断任务显著的激活了两半球的颞上回区域,并且左半球颞上回的激活与行为反应中更高的准确率及更快的反应时呈正相关。相比听觉押韵任务,尽管视觉押韵任务的初始刺激为视觉字形信息,但也需要经过转换而提取出语音信息作为后续加工的基础,这一过程也需要对刺激的语音表征及编码。而研究发现,在视觉押韵产生过程中,左半球颞下回也存在显著的激活(Kircher et al., 2011)。因此我们有理由认为左半球颞上回区域是押韵加工中语音表征与编码的神经基础。

押韵加工过程包含一般的语音加工,但又与普通语音加工存在着区别,即需要对刺激的语音结构进行分解,将其分割为韵首、韵核与韵尾 3 个部分,从而对韵核与韵尾组成的语音结构进行押韵判断或进一步产生押韵新词。在押韵过程中,将听觉语音信息转换为相应的构音形式需要将各个辅音与元音分开。研究者在对语音及音高判断的偏侧化效应研究中发现,被试在进行音高辨别实验过程中,由于两个相比较单词结尾辅音前的元音不同,被试为了完成实验任务,需要将此元音与结尾辅音进行分割,结果显示,在此任务中,左半球额下回有显著的激活(Zatorre, Evans, Meyer, & Gjedde, 1992),而不包括这一语音分段过程的类似实验则没有发现左半球额下回的激活(Burton, Small, & Blumstein, 2000)。因此,研究者认为左半球额下回的激活可能正反映了对音节输入的分段编码。语音分段是押韵加工的关键性环节,可以说没有正确的语音分段就无法进行最终的押韵识别与产生。Pugh 等(1996)使用功能磁

共振成像的方法,研究了 38 名被试完成假词押韵判断任务的神经机制。研究者使用减法实验设计试图找到押韵判断过程的关键脑区。实验中,需要被试判断两对无意义的假词是否押韵,这一任务包括了对视觉空间、字形与语音等信息的加工。控制任务为判断两对辅音字母串大小写是否一致,这一任务包括视觉空间与字形信息的加工。因此,两任务相减所剩下的脑区激活所反映的就应该是押韵特异性语音加工过程。结果发现,押韵判断任务与字母大小写判断任务的激活脑区相减,仅余下左半球额下回区域。这说明了左半球额下回在押韵加工中的关键作用,而这一关键作用可能正反映了押韵加工中最不可缺少的语音分段过程。

4 押韵的字形加工

虽然我们肯定了语音编码与语音分段在押韵加工中的重要作用,然而押韵加工并非单纯的语音加工,其中也包含着字形加工的参与。相比之下,语音加工是对口语中声音结构信息的加工(Wagner & Torgesen, 1987),而字形加工一般指对书面语言的拼写结构所进行的编码(Foorman, Francis, Fletcher, & Lynn, 1996),二者相互联系相互补充,缺一不可。研究者普遍认可在视觉押韵加工中存在字形加工,对字形信息的表征与编码是视觉押韵加工的第一步。在大量视觉方式呈现的词语任务实验中,研究者发现了左半球梭状回的显著激活(Cohen Jobert, Le Bihan, & Dehaene, 2004; Dehaene et al., 2004)。Cohen 等(2004)认为对视觉词语刺激的字形编码引起了左半球梭状回的激活,并把其称为视觉字形区。在多个视觉押韵任务研究中,我们发现了左半球梭状回的广泛激活(Burton et al., 2005; Calvert et al., 2000; Peyrin et al., 2012)。但是否字形编码仅发生在视觉押韵任务中,听觉押韵任务是否完全依靠语音单通道的加工,其中有无字形编码的参与,这一系列的问题需要从听觉押韵研究中寻找答案。

Seidenberg 和 Tanenhaus (1979)研究了字形因素对押韵加工的影响,结果发现无论在视觉还是听觉押韵任务中,被试对字形相似词对的反应均要快于字形不相似词对。之后 Zecker (1991)在听觉押韵判断任务中,也发现了这一字形加工的易化效应。而 Cone 等(2008)使用 fMRI 技术测查了

语音与字形信息对儿童听觉押韵判断任务的影响。根据字形相似性与语音相似性将刺激对分为一致条件与冲突条件两种类型,一致条件包括词对的字形及语音均相似(如 GATE-HATE),以及字形与语音均不相似(如 PRESS-LIST)两种条件。冲突条件包括词对的字形相似但语音不相似(如 PINT-MINT),以及语音相似但字形不相似(如 JAZZ-HAS)两种条件,每种条件均包括 24 对词语。被试需要尽可能快而准确的对押韵词对做出按键反应,而不押韵时不按键。结果发现,听觉押韵任务激活了左半球颞上回、颞中回、右半球颞中回、左半球额下回与梭状回等脑区,而字形与语音表征冲突条件比一致条件的脑区激活程度更高,这说明即使在不需字形加工的听觉押韵任务中,被试仍在自动对刺激词语进行字形表征。被试完成语音不相似时的字形相似任务(冲突条件)比字形不相似任务(一致条件)更为困难,行为结果显示,冲突条件比一致条件的反应时更长,正确率更低,Conne 等认为这一差异可能由于冲突条件下产生了更多的与任务无关的字形加工干扰所致。而脑成像结果发现,冲突条件比一致条件更大激活了左半球梭状回脑区。

字形编码所提供的字形信息只有通过形音转换,才能转化为语音信息为后续语音加工所用。Pugh 等指出,熟练的阅读者依赖两种语言加工通路,腹侧通路与背侧通路(Pugh et al., 2001)。腹侧通路包括左半球枕颞脑区与纹状皮层外侧区,主要负责字形识别;而背侧通路包括左半球颞顶脑区与大脑前部区域,其中位于顶下小叶的角回与缘上回负责字形通达字音的过程。这一观点得到了实验证据的支持,Booth 等人(2003)在实验中设置了四种任务,包括在同一感觉通道内实现的视觉拼写任务与听觉押韵判断任务,及跨通道实现的听觉拼写任务与视觉押韵判断任务。从认知加工的角度看来,相比同一通道任务,跨通道任务需要进行更多的形音转换。结果发现,跨通道任务更显著的激活了左半球缘上回与角回。

也有研究者认为从拼写信息到语音信息的转换主要通过左半球额下回实现,这一观点来自于假词押韵研究的证据。语音通达的双通路模型理论认为,阅读加工中存在两种语音提取通路:词典通路(lexical route)与非词典通路(non-lexical route)(Coltheart, Cutis, Atkins, & Haller, 1993)。真

词信息已存储在心理词典中,通过词典通路实现从视觉字形信息到语音的直接表征;而假词任务需要在非词典通路中完成字形到语音的转换。因此,与真词相比,假词的押韵加工迫使被试通过更多的形音转换来提取语音。研究表明,假词阅读的过程中,出现了左半球额下回的显著激活(Fiez & Petersen, 1998)。而 Burton 等(2005)在押韵判断任务实验中,直接比较假词任务与真词任务激活脑区的差异,发现假词任务比真词任务存在着更显著的左半球额下回激活。我们认为左半球顶下小叶与左半球额下回可能共同组成了一个神经网络来负责押韵过程中的形音转换,其中左半球顶下小叶更多的参与从字形信息提取语音的过程,而额下回反映了对所提取语音信息的加工与输出。Peyrin 等(2012)使用押韵检测任务,对患有发展性阅读障碍的被试 LL 进行了个案研究,发展性阅读障碍是一种以语音加工困难为主要特征的语音障碍(Ramus & Szenkovits, 2008),而其主要原因在于患者不能良好的实现字形语音的转换。研究结果发现,正常控制组被试,显著激活了左半球额下回、左半球缘上回与左半球角回,而 LL 的激活区域为左半球颞上回、左半球角回和左半球运动前区皮质,并且激活了双侧颞下回、颞中回和左侧楔前叶。相比控制组,LL 没有发现左半球额下回与左半球缘上回的激活。这也为额下回与顶下小叶在形音转换中的重要性提供了反面证据的支持。

5 结论与展望

现有研究对押韵识别加工与押韵产生加工的认知机制进行了探讨,发现二者主体押韵加工过程均包括字形表征、形音转换、语音编码与语音分段等几个加工阶段。进而从语音加工与字形加工两个角度探讨了押韵认知过程的神经基础。并发现在押韵加工中字形的表征与左半球梭状回的激活有关,形音转换依赖于左半球额下回与左半球顶下小叶组成的神经网络,左半球颞上回参与语音表征,而左半球额下回是语音分段的关键脑区。我们认为,未来研究可以从以下几个方面进行努力,以更深入地探究押韵加工的神经基础。

首先,通过对现有神经影像学研究的梳理发现,即便当各研究使用的实验范式相似甚至相同时,结果之间却仍然存在着较大的差异。这些差

异可能来源于被试的个体特征及认知策略、实验材料的选择与呈现方式,甚至控制任务的设置等。因此,不断地对不同任务研究进行分析,提取出真正与押韵加工相关的脑区是一个长期的任务。

其次,统一脑成像研究与电生理研究对押韵加工半球优势的认识。众多使用押韵检测任务、押韵判断任务的脑成像研究均发现押韵识别加工具有明显的左半球优势,各脑成像研究广泛报告了左半球额叶、颞叶与顶枕脑区的显著激活。而押韵产生任务的左半球优势更甚于押韵识别任务。但是脑电生理研究却给出了完全相反的证据:大量在启动-目标范式下的视觉押韵研究表明,非押韵刺激比押韵刺激引起了一个更大的负成分(N400/N450),而这一差异主要体现在中部和右半球电极上(Coch, Hart, & Mitra, 2008; Rugg, 1984)。传统观点认为右半球与语音加工无关,但近来也有研究发现了右半球在押韵加工中的显著激活。有研究者认为这种右半球优势可能反映的是神经网络对于语音输出的加工,而并非语音加工本身(Barret & Rugg, 1990)。但进一步明确押韵加工的半球优势,实现其不同研究方法之间的整合还是十分必要的。

最后,现有押韵产生研究在数量与方法上都不能满足人们对其认识与了解的需要。现有研究中只有押韵流畅性任务较好地反映了押韵产生的过程,押韵产生作为一种语言产生任务,虽然对其结果的记录与分析具有较大的主观性,但相比其他押韵研究任务,已最接近于现实创作中的押韵加工。如果将其从对孤立词语层面的加工扩展为在真实语境中进行的加工,例如考察诗歌与童谣创作中的押韵产生过程,将有可能为押韵研究带来新的生机。

参考文献

- Barrett, S. E., & Rugg, M. D. (1990). Event-related potentials and the phonological matching of picture names. *Brain and Language*, 38(3), 424–437.
- Binder, J. R., Frost, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S. Y., Springer, J. A., Kaufman, J. N., & Possing, E. T. (2000). Human temporal lobe activation by speech and nonspeech sounds. *Cerebral Cortex*, 10(5), 512–528.
- Booth, J. R., Burman, D. D., Meyer, J. R., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2003). Relation between brain activation and lexical performance. *Human Brain Mapping*, 19(3), 155–169.
- Burton, M. W., LoCasto, P. C., Krebs-Noble, D., & Gullapalli, R. P. (2005). A systematic investigation of the functional neuroanatomy of auditory and visual phonological processing. *NeuroImage*, 26(3), 647–661.
- Burton, M. W., Small, S. L., & Blumstein, S. E. (2000). The role of segmentation in phonological processing: An fMRI investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12(4), 679–690.
- Calvert, G. A., Brammer, M. J., Morris, R. G., Williams, S. C. R., King, N., & Matthews, P. M. (2000). Using fMRI to study recovery from acquired dysphasia. *Brain and Language*, 71(3), 391–399.
- Coch, D., Grossi, G., Skendzel, W., & Neville, H. (2005). ERP nonword rhyming effects in children and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(1), 168–182.
- Coch, D., Hart, T., & Mitra, P. (2008). Three kinds of rhymes: An ERP study. *Brain and Language*, 104(3), 230–243.
- Cohen, L., Jobert, A., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). Distinct unimodal and multimodal regions for word processing in the left temporal cortex. *NeuroImage*, 23(4), 1256–1270.
- Coltheart, M., Curtis, B., Atkins, P., & Haller, M. (1993). Models of reading aloud: Dual-route and parallel-distributed-processing approaches. *Psychological Review*, 100(4), 589–608.
- Cone, N. E., Burman, D. D., Bitan, T., Bolger, D. J., & Booth, J. R. (2008). Developmental changes in brain regions involved in phonological and orthographic processing during spoken language processing. *NeuroImage*, 41(2), 623–635.
- Cousin, E., Peyrin, C., & Baci, M. (2006). Hemispheric predominance assessment of phonology and semantics: A divided visual field experiment. *Brain and Cognition*, 61(3), 298–304.
- Cousin, E., Peyrin, C., Pichat, C., Lamalle, L., Le Bas, J. F., & Baci, M. (2007). Functional MRI approach for assessing hemispheric predominance of regions activated by a phonological and a semantic task. *European Journal of Radiology*, 63(2), 274–285.
- D'Hondt, M., & Leybaert, J. (2003). Lateralization effects during semantic and rhyme judgement tasks in deaf and hearing subjects. *Brain and Language*, 87(2), 227–240.
- Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2004). Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence. *Psychological Science*, 15(5), 307–313.
- Fabb, N. (1997). *Linguistics and literature: Language in the verbal arts of the world*. London: Blackwell.
- Fiez, J. A., & Petersen, S. E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 914–921.
- Foorman, B. R., Francis, D. J., Fletcher, J. M., & Lynn, A. (1996). Relation of phonological and orthographic processing to early reading: Comparing two approaches to regression-based, reading-level-match designs. *Journal of Educational Psychology*, 88(4), 639–652.

- Hanson, V. L., & McGarr, N. S. (1989). Rhyme generation by deaf adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 32(1), 2–11.
- Kircher, T., Nagels, A., Kirner-Veselinovic, A., & Krach, S. (2011). Neural correlates of rhyming vs. lexical and semantic fluency. *Brain Research*, 1391, 71–80.
- Krach, S., & Hartje, W. (2006). Comparison of hemispheric activation during mental word and rhyme generation using transcranial Doppler sonography. *Brain and Language*, 96(3), 269–279.
- McDermott, K. B., Petersen, S. E., Watson, J. M., & Ojemann, J. G. (2003). A procedure for identifying regions preferentially activated by attention to semantic and phonological relations using functional magnetic resonance imaging. *Neuropsychologia*, 41(3), 293–303.
- Owen, W. J., Borowsky, R., & Sarty, G. E. (2004). fMRI of two measures of phonological processing in visual word recognition: Ecological validity matters. *Brain and Language*, 90(1-3), 40–46.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? *Brain*, 119(1), 143–157.
- Pecini, C., Biagi, L., Guzzetta, A., Montanaro, D., Brizzolara, D., Cipriani, P.,... Cioni, G. (2008). Brain representation of phonological processing in Italian: Individual variability and behavioural correlates. *Archives Italiennes de Biologie*, 146(3-4), 189–204.
- Peyrin, C., Lallier, M., Démonet, J. F., Pernet, C., Baci, M., Le Bas, J. F., & Valdois, S. (2012). Neural dissociation of phonological and visual attention span disorders in developmental dyslexia: fMRI evidence from two case reports. *Brain and Language*, 120(3), 381–394.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Lee, J. R., Katz, L., Frost, S. J.,... Shaywitz, B. A. (2001). Neuroimaging studies of reading development and reading disability. *Learning Disabilities Research & Practice*, 16(4), 240–249.
- Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., ... Gore, J. C. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, 119(4), 1221–1238.
- Ramus, F., & Szenkovits, G. (2008). What phonological deficit? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 129–141.
- Rudner, M., Rönnerberg, J., & Hugdahl, K. (2005). Reversing spoken items-mind twisting not tongue twisting. *Brain and Language*, 92(1), 78–90.
- Rugg, M. D. (1984). Event-related potentials in phonological matching tasks. *Brain and Language*, 23(2), 225–240.
- Seghier, M. L., Lazeyras, F., Pegna, A. J., Annoni, J. M., Zimine, I., Mayer, E.,... Khateb, A. (2004). Variability of fMRI activation during a phonological and semantic language task in healthy subjects. *Human Brain Mapping*, 23(3), 140–155.
- Seidenberg, M. S., & Tanenhaus, M. K. (1979). Orthographic effects on rhyme monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5(6), 546–554.
- Wagner, M., & McCurdy, K. (2010). Poetic rhyme reflects cross-linguistic differences in information structure. *Cognition*, 117(2), 166–175.
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101(2), 192–212.
- Weber-Fox, C., Spencer, R. C., Spruill III, J. E., & Smith, A. (2004). Phonologic processing in adults who stutter: Electrophysiological and behavioral evidence. *Journal of speech, language, and Hearing Research*, 47(6), 1244–1258.
- Zatorre, R. J., Evans, A. C., Meyer, E., & Gjedde, A. (1992). Lateralization of phonetic and pitch discrimination in speech processing. *Science*, 256(5058), 846–849.
- Zecker, S. G. (1991). The orthographic code: Developmental trends in reading-disabled and normally-achieving children. *Annals of Dyslexia*, 41(1), 178–192.

The Neural Mechanism of Rhyme Processing

ZHANG Jing; LIU Chang

(Lab of Cognitive Neuroscience and Department of Psychology, Nanjing Normal University, Nanjing, 210097, China)

Abstract: Rhyme can be defined as a pair of words that are phonologically identical from the last accented vowel to the end of a word. Researches of rhyme processing mainly focus on two fields: rhyme identification and rhyme generation, both of which have similar cognitive processes, including orthographic coding, graphic-phonetic transformation, phonological representation and phonological segmentation. Investigations about the neural basis of rhyme processing, from two aspects: phonological processing and orthographic processing, indicated that the left inferior frontal gyrus and the left superior temporal gyrus control phonological representation and phonological segmentation respectively, and the left fusiform gyrus involves in orthographic coding, while valid graphic-phonetic transformation depends on neural network composed of left inferior parietal lobule and left inferior frontal gyrus. In future, results from different research methods and tasks should be integrated, and further discussion on rhyme generation should be employed.

Key words: rhyme; rhyme identification; rhyme generation; brain