

The Cognitive and Neural Mechanisms of Reading: Comparing the Neuronal Recycling Hypothesis and the Interactive Account

Kun Wu, Xinran Xu, Yidan Qiu

School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou Guangdong
Email: 925404572@qq.com

Received: Jul. 3rd, 2016; accepted: Jul. 16th, 2016; published: Jul. 27th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The language psychologists are fond of exploring the mechanisms of reading: how is the semantic information accessed after a word is recognized? Is there a brain region specialized for processing and recognizing visual words? Further, how does our brain process the phonological information, the visual form information and the semantic information of a word delicately? To answer these questions, psychologists proposed distinct hypotheses based on a set of psychological researches and neural imaging studies. This article makes a comparison between the Neuronal Recycling Hypothesis and the Interactive Account towards words reading, and explains the importance and limitation, combined with a meta-analysis research.

Keywords

Words Reading, Recognition of Words, The Neuronal Recycling Hypothesis, The Interactive Account

浅析单词阅读的认知神经机制——基于神经再利用假说和交互作用观的比较

吴 坤, 徐昕然, 邱怡丹

华南师范大学心理学院, 广东 广州
Email: 925404572@qq.com

收稿日期：2016年7月3日；录用日期：2016年7月16日；发布日期：2016年7月27日

摘要

语言心理学家对单词阅读的几个基本问题的探究乐此不疲，这些问题包括但不限于：1) 阅读过程中单词是如何在识别之后进一步达到语义的通达的？2) 人脑中是否存在一个特异于字词加工与识别的脑区？3) 一个单词的字形、语音、语义三个加工在阅读中是一种怎样的关系和程序？围绕这些问题，心理学家展开了一系列实验研究。本文基于正常被试及失语症被试的一系列行为实验研究和脑成像研究证据，对当前解释字词识别过程的神经再利用假说和交互作用观进行比较，并分析两者间存在的共识、冲突及原因。在此基础上，进一步阐述这两个理论和一篇元分析研究在单词阅读的不同阶段所具有的研究意义及局限性。

关键词

单词阅读，字词识别，神经再利用假说，交互作用观

1. 语言的特点与阅读的界定

语言作为阅读的对象，其不同类别和特点也影响着阅读的机制。不同语言按照拼读和发音的对应关系不同，可以分为不同类型的书写系统，例如英语按照音素(phoneme)和语素(grapheme)的相互对应关系应归类为拼写体书写系统(Alphabetic script)，而中文的每一个符号单元可单独表征一个字义且与音素无对应关系，称为语标体或表义体(Logographic script) (Harley, 2004)。阅读不同书写系统对应的语言时，所需进行的加工过程也大相径庭。

另外，语言本身具有不同的组织层次，使得阅读涉及的过程也复杂多样：单词、句法、段落、篇章...不同组织层次的文本及彼此之间的过渡具有不同的特点，对应的阅读过程更是不能一概而论。

考虑到以上两点，本文所探讨的阅读过程，主要指字母拼写体系(alphabetic orthography)的单词阅读，即从单词的字形刺激输入、识别加工到语义通达的整个过程。而朗读和默读作为阅读的不同形式，都是本次探讨的范围。

2. 单词阅读的认知神经机制

语言心理学家对阅读的几个基本问题的探究乐此不疲，这些问题包括但不限于：1) 阅读过程中单词是如何在识别之后进一步达到语义的通达的？2) 人脑中是否存在一个特异于字词加工与识别的脑区？3) 一个单词的字形、语音、语义三个加工在阅读中是一种怎样的关系和程序？

随着越来越多来自正常被试和失语症被试的行为实验研究和脑成像研究证据，研究者们对阅读的各个阶段都开始提出了不同的理论和模型进行解读。

2.1. 字形识别的研究进展与理论

2.1.1. 字形识别的研究进展

当单词作为视觉刺激引发的神经信号经过初级视觉皮层处理之后，如何与其它图片类等非文字客体刺激的加工相区别，使得进一步的语音语义表征得以激活，是阅读研究的焦点。近年来，围绕视觉字形区(Visual Word Form Area)的一系列研究发现与争议，是促使相应理论探索的契机。

早在 19 世纪,神经心理学领域就对左侧梭状回在字形识别中的作用进行关注,2000 年通过 fMRI 和 ERP 手段对正常被试和两位胼胝体受损病人的实验研究发现(Nobre, 1892; Petersen, 1988), 大脑左侧的外侧枕颞裂与阅读功能紧密相关。更多研究表明, 这个区域的激活不仅完全地对语词刺激的视觉过程和前语词阶段有反应(Dehaene, 2002), 还不受刺激的空间位置和大小写的影响(Cohen et al., 2000; Dehaene, 2001)。这样的发现与早前神经心理学家们推测的一个语言功能相吻合: 视觉字形加工。于是这个区域被称为视觉字形区。

结合更多的研究证据显示, 这个区域可能对阅读功能具有特异性。Song 等人在 2010 发现 VWFA 的激活反应模式随着阅读的习得变化(Song et al., 2010), 通过阅读训练可以较快提高 VWFA 对文字的激活反应(Hashimoto & Sakai, 2004; Song et al., 2010; Yoncheva et al., 2010); Price 和 Devlin 在 2011 也指出, 腹侧枕颞区的受损能导致阅读功能障碍(Price & Devlin, 2011); 综合这些发现, 视觉字形区的神经活动可能对正字法刺激具有选择性。

然而也有大量研究表明, 即使是习得阅读的个体, 非正字法刺激如客体和面孔同样能引起这些个体的腹侧枕颞区激活(Baker et al., 2007; Price & Devlin, 2003; Price et al., 2006)。对视觉字形区的传统认识, 在名称和功能上都受到了挑战(Dehaene & Cohen, 2011)。

2.1.2. 进化视角下的 VWFA: 神经再利用假说

综合了近年来功能磁共振成像研究在字形加工领域的一系列研究成果, Dehaene 和 Cohen 在 2011 年提出假设: 人类阅读能力的习得建立在对客体、面孔识别脑区的再利用基础上, 并且客体和面孔加工先形成的属性对后期书写系统的形式产生重要影响(Dehaene & Cohen, 2011)。

Dehaene 将这个假说称为神经再利用假说(The neuronal recycling hypothesis)。假说的出发点, 是认为相较于人类进化的整个发展历程, 语言书写系统的出现时期太短以至于不可能在人的基因层面产生直接影响, 同样人脑也不应该发展出一个特异于阅读的独立的精细加工机制。因此, Dehaene 进一步提出, 阅读的学习应该包含一个“神经再利用”(neuronal recycling)过程, 即有一个先前存在的皮层系统被应用到新的书面语词识别任务上。这里的“神经再利用”概念, 和进化心理学中的“扩展适应”有类似之处, 但“神经再利用”更强调是在发展时期发生的、可习得的变化, 并且这种变化并不体现在人类的基因组上。假说还提出, 阅读功能的出现受到生物和文化两个方面因素的限制, 生物因素是大脑皮层特定区域的发展成熟, 例如对类似文字的小客体的形状起识别作用的区域和将处理后的形状信息送往颞叶的连接通道; 文化因素是指能被这些区域识别和加工的系列符号形状组合的诞生。

按照这个假说, Dehaene 提出: 书写能力是在对腹侧视觉皮层的提取客体轮廓构造的能力的再使用基础上发展起来的。有相应的研究表明, 阅读和客体识别一样, 当线条构成被删除时能力会受损(Szwed et al., 2009; Szwed et al., 2011)。进一步研究发现, 视觉字形区与腹侧视觉皮层有部分重叠, 而后者被认为对线条连接模式具有高度敏感性(Szwed et al., 2011)。另外, 跨文化分析研究表明, 世界上所有的书写和符号系统都基于同样的线段连接组合, 并且这些高频的组合模式与自然景色的高频轮廓是匹配的(Changizi et al., 2006)。这些研究一方面辅助说明了脑结构作为其中一个约束因素对书写系统产生了重要影响, 另一方面也支持这个假说: 视觉字形识别是对先前负责客体识别的脑功能的再利用(Dehaene & Cohen, 2011)。

结合神经再利用假说, Dehaene 对以下问题进行了分析阐述:

1) 视觉字形区对阅读的特异性

Dehaene 依据再利用观点预测, 阅读的获取一定伴随着视觉皮层某个特定区域发生可重复性激活, 并且这个区域的激活表现出针对阅读过程的功能特异化, 考虑到单词识别的信息很可能与客体识别混合在同个皮层系统, 这种特异化可能以部分区域特异性的形式表现。

可重复性激活指大量阅读研究重复发现了大脑左侧的外侧枕颞裂区域的激活，无论是来自元分析的研究证据还是在文本阅读的跨文化研究。通过连接早期一系列结论可以解释这个皮层适合文本字词识别处理的原因：一是对高分别率的中央凹客体的偏好；二是对线形结构的高敏感度；三是与邻近外侧颞叶有紧密相互作用。

功能特异化主要列举了五点证据：一是 VWFA 的功能特异于阅读，而不只是类别视觉识别加工(对字母大小写激活保持不变第一个区域；对打印体和书写体的激活保持不变)；二是对双字母组合语素的频率具有敏感性的唯一脑区；三是只对字词的镜像刺激表现出激活差异；四是在汉字的研究中能重复出这些特性；五是在正常人和病人研究发现这个区域与单词内字母平行加工的能力有关。

部分区域的特异性是指在再利用假设的基础上，VWFA 一定会对部分具有丰富线段连接线索的非正字法刺激如图画和面孔刺激产生激活反应；但 VWFA 在激活强度上表现出对字词有特异性(相比于图画刺激)，并且这种专门化程度与阅读速度和水平成正相关。

2) 阅读对视觉字形区的影响

来自成年习得阅读的研究和部分纵向研究表明 VWFA 具有很强可塑性，并且对使用盲文材料对先天盲人的研究重复出这些 VWFA 的以上特性，一方面表明这个区域的加工是一个对形状识别的一般性能力(无论视觉还是触觉信息)；另一方面表明，视觉字形区这个字词特异性同时接受受性连接(自上而下)和投射性连接(自下而上)两方面的约束。

2.1.3. 字形识别过程的交互作用观

对于 VWFA 在不同实验材料中表现出的功能分离，Price 等人提出的交互作用观从知觉过程的本质出发进行了很好的整合解释：腹侧枕颞区的功能如何在正常人上发挥作用，以及该区域损伤与语言障碍存在怎样的具体联系。

Price 提出，VOT(腹侧枕颞区)在功能上的交互性建立在这样一个假设上：知觉过程本身是自下而上的感觉输入，和自上而下的即基于先前经验而自发产生预测的两者综合过程(Price & Devlin, 2011)。并且假设 VOT 的功能实质上是承担知觉阶段整合功能：来自基础视空间信息输入和更高级的语音、动作、意义等信息整合。这个意义上，VOT 对正字法刺激(orthography)的特异性不是出于对字形刺激特点的选择特异性，而是多个脑区信息在此交互作用的结果。

具体来说，Price 认为知觉过程包含一个周期性往复的交互作用：在低级的感觉皮层和高级调控区域之间通过一个正向连接和负向连接的层级结构实现。在这个层级结构中，皮层区域的功能通过综合自下而上的正向连接中的感觉信息输入，和由负向连接调控的自上而下的预测过程的综合。这些预测过程，起到解决感觉输入背景的不确定性和模糊性作用。这种自上而下的调控过程，指的不是有意识的策略性调控，而是指来自更高级的语言表征如语音语义表征的相关激活对感觉信息输入过程的自发性影响。

对于阅读过程，Price 提出感觉刺激输入即书写体单词或者盲文，而预测过程即建立在先前经验之上的与该词相关的语音语义表征信息。如果缺少先前经验知识，VOT 对单词的激活较弱，因为此时缺少语音、语义信息在预测过程对 VOT 的调控；相反，一旦语音信息得到学习，当呈现单词或类似单词的刺激，更高级皮层就得以通过负向连接向 VOT 传导自上而下的预测。在这个意义上的自上而下过程，不是一种有意识策略的使用，而是无意识的知觉层级推断。或者说它代表了一种基于任务要求和注意的，在视觉输入和更高级语言表征间的一种自发连接。

因此，传统阅读认知功能模块(字形、语音、语义)的神经基础是彼此不完全分离的跨层级的不同分布激活模式。这与联结主义的三角模型有共通之处。

在这个理论基础上，Price 进一步对 VOT 激活的刺激选择性进行分析。首先是单词和其它正字法刺

激。在材料呈现任务中发现，VOT 对假词产生了比单纯辅音字符串产生更强的激活：因为假词更像真词，具有来自语音区域自上而下的预测输入；而相比假词，真词的激活更弱，因为真词作为一个更熟悉的表征，发生的自上而下的预测错误更少，假词的预测错误较多对 VOT 有更强的激活。按照这个理论，Price 同样解释了重复抑制现象和单词与图画刺激的选择性。

值得注意的是，Price 也指出以上的激活选择性结果可能随着任务要求而发生变化，但都可以使用交互作用论进行解释。

2.2. 字形识别与语音、语义通达的进一步交互作用证据

Cattinelli 在 2013 发表的一篇基于 1992~2008 的单词/假词神经成像数据元分析，发现了三个神经网络：以布洛卡区和注意相关脑区为主的难度调节网络，以左侧颞叶和梭状回前部为主的语词相关网络，和以基部枕颞区和顶下小叶为主的假词相关网络(Cattinelli, 2013)。

元分析入组的文献总共包括 35 篇真词、假词相关的神经成像研究，1176 组激活坐标，涉及四种实验范式：阅读、字词决策任务、语音决策任务和语义任务。Cattinelli 首先对入组的文献数据根据实验范式和材料按照以下维度进行标记：词性(真假词)、规则性、频率、音节长度、正字法类型。然后采用层级聚类的元分析方法对数据进行聚类分析得到激活的脑区，最后依据维度的不同属性对脑区进行二项分布检验确定脑区激活与具体维度的关系。最后发现了难度调节网络、语词相关网络、假词相关网络三个神经网络：

1) 难度调节网络

Cattinelli 在元分析的检验中发现有些脑区的激活在一系列维度中表现出一下特点：假词 > 真词或者低频 > 高频、不规则 > 规则，这些维度的属性特点在行为实验研究中表明前者往往具有更长的反应时，被认为具有更大的难度，因此 Cattinelli 将结果中满足这类情况的脑区归类难度调节网络，认为这些脑区与阅读任务中的难度有关。

2) 真词相关网络

元分析中同样识别出一系列特异于真词识别的脑区，这些脑区包括一系列颞顶网络：角回后部、楔前叶、颞中回、梭状回前部以及前扣带回。Cattinelli 还发现，真词网络中的脑区没有特异于字形加工或语义过程的，这很可能说明了字形加工和语义过程两者是同时进行的。

3) 假词相关网络

最后，研究发现两个稳定激活于假词加工的脑区：注意相关的右侧顶叶区、语音相关的左侧顶下小叶、和被认为与字形、语音信息整合功能相关的腹侧枕颞区。

结合三个研究网络和前人研究，Cattinelli 提出一个阅读功能模型：从初级视觉皮层传来的视觉信息首先进入腹侧枕颞区(VMFA)加工，在这里进行字形、语音信息整合交互作用；语词相关网络与枕颞区的交互，起到对不规则真词语音信息的摘取作用；另一方面，在假词加工过程中，缘上回起到进一步语音信息与字形表征的整合作用。最后，难度调节网络中的额叶皮层参与语义层面或语音层面的进一步调控作用，多种整合性与竞争性机制也在这里交汇决定最终的发音。

3. 讨论：意义与局限

3.1. 字形识别：两种理论的比较

1) 比较：矛盾与共识

两个理论从不同的角度出发，冲突点主要集中在“VWFA 的阅读领域功能特异性”上，Price 等人认为，字词识别和其它图像识别等客体识别都作为知觉过程的一部分，彼此的加工机制和遵循的原则是相

同的：都是自下而上的感觉信息与自上而下的预测调控的综合结果，因此 VWFA 对字形刺激材料的反应和加工不具备特异性；而 Dehaene 等人基于神经再利用理论，认为尽管阅读的过程是通过再利用客体识别尤其是图画识别的皮层功能完成的，但是在许多方面体现出了针对于字形刺激材料反应的选择特异性。

结合各自理论内容进一步细致区分，两者对“VWFA 的阅读领域功能特异性”的理解分歧原因主要是以下三点：

一是对“特异性(specialization)”这个模糊的概念具有的不同理解。

正如 Dehaene 在文中提到的，对于“特异化”和“特异性”概念缺少一个明确的定义和阐述，是大多数研究在结论表述上分歧的重要原因之一。Price 等人认为 VWFA 不存在对阅读的特异性，是针对其交互作用功能来进行推论的，即 VWFA 的交互作用整合功能在知觉过程中对字词材料不具备特异性；而 Dehaene 等人强调的是 VWFA 在刺激材料选择性和对双字母语素编码的神经编码方式上表现出了特异性，因此两者虽然得出了相反的结论，但具体的主要依据针对的是 VWFA 反应的不同现象，由于彼此之间也不存在直接的互相驳斥关系，所以本质上是不矛盾的。

二是在 VWFA 对材料刺激选择性现象上具有不同理解。

Dehaene 认为 VWFA 对字词刺激表现出比图画刺激的更强激活，是由于 VWFA 对字形刺激存在选择特异性；而如果依据 Price 的交互作用观理论解释，字词刺激的更强激活，完全有可能是因为字词刺激存在比图画刺激更多的来自自上而下的语音、语义激活，而这个过程所遵循的知觉机制并不是字词加工特有的。

三是对神经编码方式的假设。

Dehaene 针对 VWFA 对双字母组语素的反应模式提出了“双字母组探测器”(bigram detector)的神经编码假设，并认为这种 VWFA 中的这种编码方式对字词材料的特异性选择的重要体现之一；Price 则认为，基于交互作用观理论即使不使用类似的神经编码假设，也可以很好地解释大多数 VWFA 的研究结果。

基于以上三点的不同，两个理论对 VWFA 的阅读领域功能特异性得到了相反的结论，但正如本文所分析的，两者在具体的问题上并不存在直接的非此即彼的矛盾关系。

另一方面，神经再利用假说和交互作用观在 VWFA 的功能也存在一定共识。

一是都认为 VWFA 作为一个在字词加工中重复激活的脑区，在字形加工中扮演着重要角色。二是两者都在不同程度上承认，VWFA 确实存在着自下而上的感觉输入信息和自上而下的语音信息的交互。Dehaene 在讨论阅读习得对 VWFA 的影响部分提到，语音邻近效应与音节的多少同样对 VWFA 的字形识别存在影响；另外，在以盲文为材料的先天盲人被试实验表明，“视觉字形区的字词特异性同时受接受性连接(自上而下)和投射性连接(自下而上)两方面的约束”。这些都从侧面印证了 Price 对 VWFA 的功能交互作用观。

2) 意义与局限

Dehaene 的神经再利用理论主要从进化的视角出发，很好地解释了视觉字形区(VWFA)对字形刺激和图画刺激所表现的共性结果，并结合了当前神经成像领域研究的多方面证据指出了视觉字形区对正字法刺激具有特异性。

而 Price 的交互作用理论从知觉过程的交互作用本质出发，结合阅读过程解释了如何在相同的机制下出现 VOT 激活模式对字词刺激材料与图像等非字词刺激材料的分离，即腹侧枕颞区对刺激选择性的背后机制：巧妙地引入了自上而下的“预测”(prediction)和“预测失误”(prediction error)概念，对当前分散的研究证据起到更好的整合作用，也为联结主义的三角模型提供具体的神经层面的假设印证。

当然两个理论也有各自的局限性。Dehaene 的神经再利用提出，VWFA 具有特异于阅读过程的字词刺激材料的选择特异性，但这个观点与一些 VWFA 对非正字法刺激的更强激活的实验发现相矛盾，难以

进行解释。而 Price 的交互作用观通过自上而下的预测过程或者预测失误的调控作用，不仅可以解释上述不一致的发现，也能解释 Dehaene 所列举的所谓阅读特异性的研究发现，这似乎显示 Price 的交互作用观在整合当前各种分散的研究发现解释力上更胜一筹。

然而，这也是 Price 的交互作用论中一个最让人困惑和质疑的地方：行为层面上同样是更强的激活，却可以同时通过预测过程(prediction)的存在或预测失误(prediction error)的假设分别解释，这不禁给人一个无法证伪的疑惑。毕竟目前的交互作用论中，对这两个过程的存在并没有定性的辅助证据，也难有量化的相互鉴别，这更给同时存在两种可能的情况下带来解释上的困难：例如原文在 VOT 对字词与其它正字法刺激选择性的阐述分析中提到(第 5 页，第 2 段，第 8 行)，“通过对比，VOT 对假词的激活比真词更强，这是因为尽管两者都激活了自上而下的预测作用，但显然前者的预测失误(prediction error)更多”。但这种预测失误对假词加工过程来说，本身的含义是什么和产生的原因都很难确定：假词的语音信息(音节拼读经验)一定比真词的预测失误更多吗？更重要的是，Price 在分析中还遗漏了真词中同样可以作为自上而下的调控的语义调控作用，当加入这个真词的语义调控之后，和假词的语音经验预测失误相比应该是哪个激活更多呢？恐怕这也是交互作用论难以解释的重要问题。在预测和预测失误对 VOT 调控作用的确定和比较上仍然非常模糊，这给交互作用论的不同分析带来弹性和空间，却也同时留下了关于准确性和可靠性的质疑。

同样需要引起注意的是，理论对所引用的不同研究范式的差别关注不足，例如作为字形加工领域常用的单词决策任务(lexical decision)和单词命名任务(word naming)，两者在具体阅读过程和成分上存在差异：前者作为决策任务很可能包含除了字词识别外的其它策略过程的参与，后者则可能还混杂了语音编码与发音、预备状态和识别后的检查等过程。不同的研究范式所得到的研究结论之间是否能够用来直接对比，也是一个值得关注的问题。

3.2. 字形、语音、语义交互作用的元分析证据

Cattinelli 的元分析结果，发现了语词加工中的三个神经网络，提出了与语词加工任务中难度相关的难度调节网络，与字形、语义加工有关的真词相关网络和与字形、语音整合相关的语音加工网络。在三个网络的结果基础上，Cattinelli 结合前人研究提出一个阅读功能模型：这个发现一方面部分印证了 Price 等人研究所揭示的 VWFA 区的字形、语音整合功能，另一方面也从神经层面对联结主义三角模型进行补充说明；除此之外，对真、假词的语音、语义加工的推断和难度调节网络的决策调控猜想也很具有启发性。

当然，Cattinelli 这个元分析研究也有其局限性。例如对部分结果的过分解读。在对真词相关网络的阐述中，Cattinelli 提出，由于没有发现单独只在字形加工研究或语义加工研究中激活的脑区，所以很可能字形加工和语义加工是同时进行的。然而，值得重视的是，Cattinelli 通过追溯前人研究得到的结果，很可能是由于阅读过程的复杂性以及入组的研究对语义或字形加工这些成分没有很好的分离而导致的重复激活，另外不同的实验范式和控制聚类分析过程中是否存在潜在的交互作用导致这样的结果出现也是值得重视的，尤其是在入组 35 篇研究的情况下涉及了四种范式，对结果的推断应该更加谨慎。

参考文献 (References)

- Baker, C. I., Liu, J., Wald, L. L., & Kanwisher, N. (2007). Visual Word Processing and Experiential Origins of Functional Selectivity in Human Extrastriate Cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 9087-9092. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0703300104>
- Cattinelli, I. (2013). Reading the Reading Brain: A New Meta-Analysis of Functional Imaging Data on Reading. *Journal of Neurolinguistics*, 26, 214-238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneuroling.2012.08.001>
- Changizi, M. A., Zhang, Q., Ye, H., & Shimojo, S. (2006). The Structures of Letters and Symbols throughout Human Histo-

- ry Are Selected to Match Those Found in Objects in Natural Scenes. *American Naturalist*, 167, E117-E139.
<http://dx.doi.org/10.1086/502806>
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The Visual Word Form Area: Spatial and Temporal Characterization of an Initial Stage of Reading in Normal Subjects and Posterior Split-Brain Patients. *Brain*, 123, 291-307. <http://dx.doi.org/10.1093/brain/123.2.291>
- Dehaene, S. (2001). Cerebral Mechanisms of Word Masking and Unconscious Repetition Priming. *Nature Neuroscience*, 4, 752-758. <http://dx.doi.org/10.1038/89551>
- Dehaene, S. (2002). The Visual Word Form Area: A Prelexical Representation of Visual Words in the Fusiform Gyrus. *Neuroreport*, 13, 321-325. <http://dx.doi.org/10.1097/00001756-200203040-00015>
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The Unique Role of Visual Word Form Area in Reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 254-262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2011.04.003>
- Harley, T. A. (2004). The Psychology of Language: From Data to Theory.
- Hashimoto, R., & Sakai, K. L. (2004). Learning Letters in Adulthood: Direct Visualization of Cortical Plasticity for Forming a New Link between Orthography and Phonology. *Neuron*, 42, 311-322.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0896-6273\(04\)00196-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0896-6273(04)00196-5)
- Nobre, A. C. (1892). Word Recognition in the Human Inferior Temporal Lobe. *Nature*, 372, 260-263.
<http://dx.doi.org/10.1038/372260a0>
- Petersen, S. E. (1988). Positron Emission Tomographic Studies of the Cortical Anatomy of Single-Word Processing. *Nature*, 331, 585-589. <http://dx.doi.org/10.1038/331585a0>
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2003). The Myth of the Visual Word Form Area. *Neuroimage*, 19, 473-481.
[http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00084-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00084-3)
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2011). The Interactive Account of Ventral Occipitotemporal Contributions to Reading. *Trends in cognitive sciences*, 15, 246-253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2011.04.001>
- Price, C. J., McCrory, E., Noppeney, U., Mechelli, A., Moore, C. J., Biggio, N., & Devlin, J. T. (2006). How Reading Differs from Object Naming at the Neuronal Level. *Neuroimage*, 29, 643-648.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.07.044>
- Song, Y. Y., Hu, S., Li, X., Li, W., & Liu, J. (2010). The Role of Top-Down Task Context in Learning to Perceive Objects. *Journal of Neuroscience*, 30, 9869-9876. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0140-10.2010>
- Szwed, M., Cohen, L., Qiao, E., & Dehaene, S. (2009). The Role of Invariant Line Junctions in Object and Visual Word Recognition. *Vision Research*, 49, 718-725. <http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2009.01.003>
- Szwed, M., Dehaene, S., Kleinschmidt, A., Eger, E., Valabrègue, R., Amadon, A., & Cohen, L. (2011). Specialization for Written Words over Objects in the Visual Cortex. *Neuroimage*, 56, 330-344.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.073>
- Yoncheva, Y. N., Blau, V. C., Maurer, U., & McCandliss, B. D. (2010). Attentional Focus during Learning Impacts N170 ERP Responses to an Artificial Script. *Developmental Neuropsychology*, 35, 423-445.
<http://dx.doi.org/10.1080/87565641.2010.480918>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>