

# 大脑视觉词形区及其在阅读神经网络中的作用\*

王小娟<sup>1</sup> 舒华<sup>1</sup> 杨剑峰<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室, 北京 100875)

(<sup>2</sup>中国科学院心理研究所, 北京 100101)

**摘要** 大脑梭状回中部被认为是视觉词形加工区(Visual Word Form Area, VWFA)。近年来的研究对 VWFA 的功能提出了质疑, 研究者开始关注 VWFA 作为复杂阅读网络的一部分与其它脑区的动态联结机制, 主要集中在三个方面: 一是梭状回中部对于视觉词形选择性敏感的本质; 二是它在词汇阅读的神经网络中的作用; 最后是语言经验对于 VWFA 认知神经功能的塑造作用。结合以上研究的最新进展, 文中指明从动态神经网络的角度揭示大脑功能成为今后认知神经科学研究的最新取向。

**关键词** 视觉词汇阅读; 视觉词形区(VWFA); 梭状回; 脑功能成像(fMRI)

**分类号** B842

随着认知神经科学的迅速发展, 对人类视觉大脑神经机制的探讨取得了显著的成果, 其相关研究也越来越深入。例如, 对于颞叶下部与枕叶下部交接的梭状回的研究发现, 梭状回中后部具有对人类面孔的选择性敏感(Op de Beeck, Baker, DiCarlo, & Kanwisher, 2006), 梭状回纹状区则对人类身体选择性敏感(Downing, Chan, Peelen, Dodds, & Kanwisher, 2006)。视觉词汇阅读的研究发现, 梭状回中部的布鲁德曼 37 区对视觉词汇刺激具有选择性敏感, 这种对视觉词汇分类知觉的敏感性激活与词汇呈现的大小、字体、呈现视野以及书写方式等变量无关(Dehaene et al., 2004; Polk & Farah, 2002), 因而被称为视觉词形区(Visual Word Form Area, VWFA) (Cohen et al., 2000, 2002; Cohen & Dehaene, 2004)。但是, 对于 VWFA 的功能还远远没有得到一致的结论, 一方面, 更多的证据不断地对前人的研究发现提出了质疑; 另一方面, 研究者不再局限于探讨大脑的功能定位, 而是从神经网络的角度, 探讨 VWFA 作为复杂网络一部分的动态功能。因此, 对于 VWFA 的探讨仍然是研究者广泛关注的热

点和焦点问题, 主要集中在三个方面的研究: 一是梭状回中部对于视觉词形选择性敏感的本质; 二是它在整个词汇阅读神经网络中的作用; 最后是语言经验对 VWFA 的选择性激活中的塑造作用。本文综述以上研究的最新进展, 探讨视觉词形加工脑区及其在阅读神经网络中的作用, 同时指出语言加工的认知神经科学研究的最新取向。

## 1 梭状回中部对视觉词形加工的选择性敏感

VWFA 自提出以来就引起广大研究者的兴趣, 一方面, 不同研究者得到的结果并不一致, 同时存在验证和质疑 VWFA 的实验发现; 另一方面, 研究者把 VWFA 与整个梭状回以及视觉加工区的功能联系起来, 深入探讨梭状回内部不同层次的功能组织。

### 1.1 视觉词形加工脑区

位于大脑颞叶下部与枕叶下部交接的梭状回中部最先被 Cohen 等人(2000)识别为视觉词形加工区。Cohen 等人对胼胝体后部受损的病人研究发现, 当视觉词汇刺激投射到右侧视野时, 患者能正常完成阅读任务; 而刺激投射在左视野时, 患者表现出逐字母阅读的 letter-by-letter 阅读现象, 结合相关研究推测出, 当胼胝体后部受损后, 左侧视野传递给右脑的信息得到右脑的初级视觉加工, 不能传递到左脑梭状回, 得不到更高级的视觉词形加工, 从而表现出 letter-by-letter 的

收稿日期: 2009-11-12

\* 长江学者和创新团队发展计划(IRT0710), 北京市自然科学基金(7092051), 北京市教育委员会共建项目(SYS100270661)支持。

通讯作者: 杨剑峰, E-mail: yangjf@psych.ac.cn

阅读现象。这种现象往往表现在纯失语患者(Pure Dyslexia)身上,而这类患者也大都存在着左侧梭状回的受损(Cohen et al., 2004),因而认为左侧梭状回中部可能对应着抽象的视觉词形表征和加工。对比正常人与胼胝体受损患者的脑功能成像(fMRI)实验进一步支持了这一结论(Cohen et al., 2000)。结合患者的研究以及脑功能成像的发现,Cohen 等人(2004)鉴别出中心点( $x = -43$ ,  $y = -54$ ,  $z = -12$ )周围 0.5cm 的左侧梭状回区域,认为它对应着抽象的视觉词形加工,称之为视觉词形加工区。

对比视觉词汇与不同类型的刺激,大量研究发现 VWFA 具有对视觉词汇特异性敏感的机制。视觉呈现的词汇总是要比听觉呈现出的词汇激活更多的梭状回中部区域(Dehaene, Le Clec'H, Poline, Le Bihan, & Cohen, 2002),这种激活与刺激材料的语义信息以及是否具有词典表征无关。视觉词汇也要比其它类型的视觉刺激更多地激活这个区域,比如词汇的激活要显著大于黑白线条图(Hasson, Levy, Behrmann, Hendler, & Malach, 2002; Nobre, Allison, & McCarthy, 1994),几何图形(Tarkiainen, Helenius, Hansen, Cornelissen, & Salmelin, 1999),黑白面孔及房屋图形等(Fiebach, Rissman, & D'Esposito, 2006; Gaillard et al., 2006)。这种选择性敏感不受视觉词汇大小、字体、呈现方位、左右视野以及书写方式等变量的影响(Dehaene et al., 2004; Dehaene et al., 2001)。甚至当字母在视觉特征上与数字或图形相匹配时,字母串也会稳定地激活这一脑区(Polk et al., 2002)。

但是,梭状回中部对视觉词形加工具有范畴选择性敏感的特性也受到来自各方面研究证据的挑战。一方面,已有研究发现真词与可发音假词在 VWFA 的激活并不一致:一些支持 VWFA 是词形加工区的研究都发现该区域对真词的激活要比假词更强(Vinckier et al., 2007),但相反的发现表明假词在这个区域的激活要比真词的激活更强(Bruno, Zumberge, Manis, Lu, & Goldman, 2008),还有研究发现了真词与字母串在 VWFA 的激活上没有差异(Baker et al., 2007; Vigneau, Jobard, Mazoyer, & Tzourio-Mazoyer, 2005)。另一方面,已经发现的视觉词汇比其它类型刺激或字母串在 VWFA 上的激活更强,但这种刺激属性的差别也有可能是视觉特征的区别。例如, Hasson

等人(2002)的研究发现这个区域对数字/字母串和书写词汇的反应没有差别,但要比面孔、建筑物或工具的线条图激活得更多,意味着 VWFA 可能只是一种视觉系统基本的分类知觉功能而已,不对应于特异的词形表征或加工机制。

Price (2003) 综述前人的研究发现并直接反驳 Cohen 等人对于 VWFA 的认识,认为来自认知神经心理学的证据并不能作为支持 VWFA 的证据,因为纯失语患者往往并不是只有梭状回中部或是颞叶下底部的受损。来自脑功能成像的证据也存在着问题,因为在一些不包括视觉词形加工的任务,比如颜色命名、图片命名以及口语词汇复述等不需要视觉词形加工的任务中同样发现了 VWFA 的激活。也就是说,如果该区域涉及到以上所有任务的共同加工机制的话,那肯定不会是视觉词形加工;另一方面,如果视觉词形加工是由该区域与其它脑区共同作用的网络功能的话,那应该把整个网络作为负责视觉词形加工的脑机制,而不能简单地把某个脑区作为整个网络作用的功能。

梭状回中后部的功能到底只是视觉系统一种基本的分类知觉还是具有特异的对视觉词形的敏感,仍然是研究者所关注和争论的问题。同时,另一些研究者不是关注词汇是否与其它类型的视觉刺激在 VWFA 的激活有差异,而是更加关注 VWFA 作为梭状回一部分的功能,探讨从视觉特征分析到抽象的正字法表征不同层次下 VWFA 的功能。因而, VWFA 与整个梭状回的功能组织成了研究者关注的另一个问题。

## 1.2 VWFA 对视觉词汇选择性敏感的本质

VWFA 作为梭状回的一部分,不可能独立于整个梭状回的功能,因而研究者从 VWFA 与整个梭状回乃至视觉系统的关系角度来探讨其功能。而视觉词形识别是一个基本的视觉输入到抽象的词形表征的认知过程。以拼音文字为例,从纯粹的视觉刺激输入到抽象的词形表征可以存在多个不同的水平,包括对字母符号的大小、位置敏感到抽象出不依赖视觉属性的字母单元,或更高水平的字母组合(如 ph),甚至是以整词作为单元的词形表征。梭状回对词形范畴特异的加工敏感性究竟通达到了哪一个抽象加工的层次成了研究者关注的问题。

研究发现整个梭状回对于视觉词形加工的

确具有层级式的内部功能组织。Dehaene 等人(2004)采用启动的实验范式,发现梭状回后部( $y = -64$ )的启动效应来源于同一字母在同一位置的重复,表现出对空间位置的依赖性,对应着一种更初级的视觉加工;梭状回中部( $y = -56$ )对个别位置变化后的字母依然存在着启动效应,从而可以忽视字母的空间位置信息,在抽象的字母水平表现出视觉相似性的启动效应;梭状回前部( $y = -48$ )则表现出对更加任意的字母空间变化不敏感,说明已经不存在对空间信息的依赖,而是对字母串本身的相似性敏感。

采用非词的刺激材料, Binder 等人(2006)控制字母串中的单字母、双字母以及三字母的字母组合频率(即亚词汇正字法熟悉度),要求被试完成字形判断任务。结果发现被试的脑区激活在去除反应时的影响后,随着正字法熟悉度的增加而激活增强的唯一脑区就是 VWFA,从而表明 VWFA 能对不同单元的正字法加工敏感。更直接的证据来自 Vinckier 等人(2007)的研究,采用法语材料,在 Binder 等人研究的基础上增加了假字体和真词两种条件,仍然控制字母组合频率在各条件中梯度递增。发现整个梭状回的激活随着字母组合频率的增加而增强,越接近真词条件,其激活也越强;而且从梭状回的后部到前部,表现出层级式的功能组织,越靠近前部越表现出对对象的词形加工敏感。

对于拼音文字来说,字母组合频率的高低同时还意味着从字形到语音联结强度的变化,梭状回的激活随着这种组合频率的变化而呈现梯度增长,就意味着它也可能是对视觉词汇的形-音联结关系的敏感。如果是这样, VWFA 的功能可能不仅仅是视觉系统对书写词汇的分类知觉机制,有可能还对应着视觉词汇阅读中更高水平的认知加工成分,因而有研究者开始关注 VWFA 在视觉词汇阅读中的作用,下面我们具体讨论这种可能性。

## 2 视觉词形加工区在阅读中的作用

自从视觉词形区被提出以来,研究者不仅关注它作为视觉系统的功能所表现出的对词形加工选择性敏感的机制,同时也在探讨它在视觉词汇阅读中的作用,提出了不同的功能假说:一种观点认为它对应着阅读过程的正字法词典通达,研究者主要感兴趣它究竟对应于亚词汇(通达正

字法词典前)水平还是词典水平的加工;另一种观点则认为它还对应着从字形到语义/语音信息的整合加工;还有研究者关注它作为阅读神经网络的一部分,是如何与阅读相关的其它脑区之间相互影响,相互作用的。

### 2.1 正字法词典的通达加工

大量研究发现,真词与假词在 VWFA 引起的激活并没有差异,但是这两者相对于辅音字母串、假字体或者注视点(+)都表现出显著的激活增强(Cohen et al., 2002; Fiez & Petersen, 1998; Nobre, Allison, & McCarthy, 1994; Polk et al., 2002; Rumsey et al., 1997)。真词与假词的相同点就是他们都合乎正字法规则,都有着合法的字母拼写。因而研究者认为 VWFA 可能对应着正字法表征的认知加工机制。

研究表明这种正字法加工可能只是一种亚词汇水平的加工。因为真词(如: plane, apple)和假词(如: plint, taple)所激活的亚词汇形素单元(如: pl)都是相同的,二者在 VWFA 的激活也就没有差异(Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005)。表明 VWFA 可能储存着符合正字法规则的亚词汇形素单元。VWFA 的激活与亚词汇单元频率的线性相关(Binder, Medler, Westbury, Liebenthal, & Buchanan, 2006)以及左侧梭状回对视觉词汇的亚词汇频率呈现出的梯度变化(Vinckier et al., 2007)表明 VWFA 的功能与亚词汇水平的正字法加工有关。

也有研究发现真词与假词在此区域的激活并不相同,据此研究者认为 VWFA 同时还对应着整词或词典水平的正字法加工。Kronbichler 等人(2007)采用语音词汇判断任务发现,正字法熟悉的真词(“taxi”)在 VWFA 的激活要比正字法不熟悉的同音假词(“taksi”)激活更低,而同音假词与一般假词(“tazi”)的激活没有差异。同音假词与真词的语音熟悉性是相同的,二者的激活差异可能是其它词典属性的差异。同音假词与一般假词的激活相同进一步表明 VWFA 的激活对于语音熟悉性不敏感(Kronbichler et al., 2007)。真词与同音假词在 VWFA 上的激活差异被证明是整词水平正字法表征的作用(Bruno, Zumberge, Manis, Lu, & Goldman, 2008)。频率效应是一种典型的词典效应,因而成为支持 VWFA 可能负责词典加工的直接证据, Kronbichler 等人(2004)发现 VWFA 对

真词的激活受到频率的调节,高频词要比低频词在这一区域的激活明显降低。这种频率效应的存在证明了该区域信息的存储是来自于词典水平的正字法表征,而不是亚词汇的。

还有研究认为,真词与假词在VWFA的激活结果不一致是受到研究方法的限制。因为脑成像所记录到的最小数据单元——体素(Voxel)的激活值,可以是由真词所激活的少数特定神经细胞的活动,也可以是与假词形相似的真词所激活的众多神经细胞活动,后者的强度虽然低于前者,但数目众多可能导致在体素上的激活与前者相当,甚至可能超过前者。Glezer等人(2009)采用快速适应技术(Rapid Adaptation Technique)的脑成像方法,这种启动词对目标词的神经适应性反应能真实地反映出激活变化所对应的认知成分,从而再次表明VWFA的功能可能是词典水平的正字法加工。

究竟VWFA对应着词典还是亚词典水平的正字法表征,目前仍然没有得到一致的结论,但这两种观点的共同点是显而易见的,即他们都认为VWFA对应着视觉词汇阅读中词形表征通达的加工过程。

## 2.2 词形与语音、语义信息的整合加工

近年来,研究者越来越认识到VWFA在阅读中的功能并不仅仅是对视觉词汇正字法表征的通达过程。一方面,在阅读中微小的视觉差异往往意味着语义上的很大差别。在视觉上一个字母的差异,而在语义却是两种差别非常远的概念。这种现象不仅在拼音文字中,几乎在所有书写形式的文字阅读中都存在。因此,阅读需要连接非常精细的视觉加工与高水平的刺激属性(如语音、语义信息)来唯一的识别出这个词汇(Devlin, Jamison, Gonnerman, & Matthews, 2006)。另一方面,视觉词汇识别并不能独立于阅读其它的认知过程而单独存在,它必然会受到词形所承载的语音、语义信息自上而下加工的影响。因而研究者认为左侧梭状回中后部并不能简单定义为视觉词形加工脑区(后文仍使用VWFA来指这一脑区),它可能对应着词形加工向语音、语义加工整合的功能。

拼音文字系统中的正字法规则与形-音转换的规则是分不开的,认为VWFA的功能是一种正字法加工的同时就意味着它可能是一种由字形

向语音加工转换的机制。例如,整个梭状回对字母组合频率的敏感可能就意味着是对不同单元的形-音转换加工的敏感(Binder, Medler, Westbury, Liebenthal, & Buchanan, 2006; Vinckier et al., 2007)。在英语中,形-音转换的加工技能直接影响着阅读及其获得过程,这种技能被称为形-音解码能力。Shaywitz等人(2002)对144名儿童进行脑成像研究发现,VWFA的激活强度与儿童的形-音解码能力具有高度的相关。从而表明VWFA的功能不仅仅停留在正字法水平的表征和加工,还表现为视觉词形与更高层次语音信息的整合与分析。来自阅读障碍矫治的研究(Temple et al., 2003)发现,在对阅读障碍儿童进行形-音匹配训练之后,梭状回中部表现出训练前没有的正激活,进一步表明此区域可能是一种词形与更高信息(语音)整合的加工机制。

VWFA不仅对词形到语音的整合加工敏感,也有证据表明它可能还对词形到语义的加工敏感。例如,梭状回的内侧区域具有对物体的分类知觉能力,体现为人造物会比动物对此区域的激活更强,但这种分类激活会受到语义相关性的影响,表明语义信息会参与并调节梭状回的激活(Mechelli, Sartori, Orlandi, & Price, 2006)。Devlin等人(2006)采用重复启动的实验范式对比真词和假词的启动效应,如果说VWFA仅仅对正字法加工敏感,那么视觉信息完全相同的真词和假词应该具有相同的启动效应,事实上发现假词重复在VWFA没有任何启动效应,而真词重复使该区域的激活显著下降,说明VWFA的真词启动效应不是来自正字法信息重复出现的结果,而是真词的其他属性(比如词典信息)的作用。进一步的实验发现语义相关的启动词与目标词在VWFA的激活要比语义不相关的两个真词表现出明显的激活减弱,确认了语义信息参与并影响了VWFA对真词启动的反应模式。

VWFA在视觉词汇阅读中的作用目前仍然没有得到一致的结论。更有研究认为VWFA的功能并不能说成是对单一的视觉词形加工敏感的脑区,因为这个脑区对非视觉刺激同样表现出强有力的激活(Price & Devlin, 2003),而且VWFA还表现出对更高级更精细的形状分析整合的反应(Starrfelt & Gerlach, 2007)。因而研究者认为与基本感觉系统相比,词形加工不可能在人类进化过

程中形成特异的神经机制,比如 Price 等人(2003)就认为人类大脑在神经生理上还不可能形成一个任务特异的阅读机制,梭状回可能只是作为一般的视觉加工系统与阅读网络中其它脑区相互作用的结果,反映在特定任务或特定加工网络中,就表现出对各种词形(真字,假字,非字等)、形-音联结等具体刺激材料敏感的特征。

从这一点来说,脑功能成像的研究挑战了传统的认知功能模块化的思想。基于行为实验以及脑损伤病人的研究传统往往把某种认知功能成分从认知技能中独立出来,并进而寻找其神经功能定位。但脑成像研究发现,在没有共同加工成分的不同认知任务下,大脑神经系统的激活具有高度的重合,表明一种神经结构可能同时执行着多种不同的认知功能,具体的认知功能会依赖于与之交互的其它脑区的活动(Price & Friston, 2005)。因而,我们不能简单地界定梭状回中部为某种单一的正字法加工或是形-音/形-义转换的加工机制,视觉词汇识别的最终目的是通达文字系统所承载的语音/语义信息,负责视觉词汇识别的脑区必然会受到这些更高级信息的调节作用。因此,要更清楚地揭示出梭状回在阅读中的作用,就有必要在整个阅读神经回路中来具体探讨它与其它阅读脑区之间的相互作用机制。

### 2.3 VWFA 与其它阅读脑区的交互作用

长期以来,基于大脑功能模块化的思想,研究者试图揭示阅读加工不同认知过程所对应的神经生理机制,并取得了一定的成果。但是,大脑的神经机制是一个复杂的系统,即使是简单的认知成分也可能同时涉及多个脑区的参与,另一方面,同一脑区也可能参与到多个不同的认知加工任务(Vigneau et al., 2006)。因而研究者越来越重视从神经网络的角度来研究阅读的神经机制。

跨语言的认知神经科学研究发现梭状回中部是视觉词汇阅读网络中的一部分。Bolger 等人(2005)综合了英语及西方欧洲语言,汉语,日语的 Kanji 和 Kana 文字等研究进行了元分析,认为跨语言普遍的阅读网络包括三个大的脑区:一是大脑左侧颞上回的后部(涉及到颞叶中前部 BA22);二是大脑左侧颞下回(涉及到颞叶上部和后部区域 BA6);三是大脑左侧的枕颞区域(BA19)和梭状回的中部(BA37)。梭状回与其它两个脑区一起形成了一个阅读的动态网络,任何一种语言

的词汇阅读都需要这个网络的参与加工,只是根据文字属性的不同会表现出不同的激活模式。例如,左侧颞上回(STG)被认为是负责语音加工的脑区,它在不同正字法深度的词汇阅读中都表现出很强的激活,但在透明文字中,如意大利语,要比英语的词汇阅读具有更强的激活(Paulesu et al., 2000),而英语又相对比汉语表现出更强的激活(Liu, Dunlap, Fiez, & Perfetti, 2007; Tan, Laird, Li, & Fox, 2005)。

基于阅读网络的思想,研究者认为在完成词汇阅读的加工任务时,不可能存在着具体任务特异(如形音转换)的加工通道,阅读是视觉词形、语音和语义三种主要系统之间相互作用的结果(Plaut, McClelland, Seidenberg, & Patterson, 1996; Seidenberg & McClelland, 1989)。在有任务要求的情况下,比如命名任务,语音与语义信息会同时参与来完成阅读任务,从而表现出两种信息之间的交互作用(详见综述:王小娟,杨剑峰,舒华,2008)。脑成像的研究发现(Frost et al., 2005),当语音信息足够完成阅读任务时,语音区的激活表现更强,对语义信息的依赖就较弱,语义区的激活也就较弱;与之相反,当语义信息参与更多时,语义区的激活就强,语音区的参与就减弱,从而表现出一种在完成阅读时语义与语音的 Trade-off 效应。梭状回同样表现出与阅读其它脑区的协同作用机制。例如,认知神经心理学发现语音阅读障碍与表层障碍的双分离现象,语音障碍患者能成功阅读例外词,但却不能阅读形-音对应规则的可发音假词;表层障碍患者则能成功阅读可发音假词,却表现出例外词的阅读困难。Mechelli 等人(2005)对正常人的脑成像研究发现了对这两类词阅读神经机制上的双分离:例外词激活更多的额下三角部,而可发音的假词要更多的激活左侧运动前区,动态因果模型分析表明额下三角区与左侧梭状回前部的联结更强,而假词所激活的运动前区则与左侧梭状回后部联系更强。进一步的有效联结分析表明梭状回中后部的功能与阅读网络中的其它脑区具有协调活动机制。跨语言的研究也表明,VWFA 在不同书写系统下都会参与并成为普遍阅读网络的一部分,只是它的活动会因书写系统的特点不同而变化(Perfetti et al., 2007),并与其它语言特异的脑区协同活动成为不同文字系统下的动态阅读网络。

因此, VWFA 在阅读神经网络中, 可能对应着正字法词典通达、字形与语音/语义信息的整合加工等不同的认知成分, 这些加工不能简单地定位为 VWFA 的神经功能, 因为它可能是梭状回作为视觉加工与阅读网络中其它脑区之间相互影响, 相互作用的结果。

### 3 语言经验对视觉词形加工的塑造作用

虽然对于 VWFA 的认知功能仍然是研究者所关注和争论的问题, 但有研究者开始思考另一个问题, 就是 VWFA 的功能是如何形成的。VWFA 的激活会受刺激属性的影响, 与字母组合频率具有高相关(Binder et al., 2006), 说明它的功能受正字法熟悉性的影响, 这种熟悉性反映了一个重大的理论问题, 即 VWFA 的选择性功能是如何受语言经验的作用而形成的。

语言经验的影响体现在不同语言环境下母语者身上, 就表现出他们在加工视觉词汇时梭状回中后部的激活模式不同。Baker 等人(2007)发现, 对于母语同样是拼音文字系统的希伯来语被试来说, 甚至这些被试也是英语熟练读者, 他们在加工希伯来词时也要比加工英语词汇表现出梭状回中后部更强的激活。另一方面, Polk 和 Farah (1998)结合行为研究、模拟以及脑成像的结果, 研究发现大脑对词形或是抽象的物体识别的选择性敏感来自于输入刺激与环境共现的作用。进一步表明 VWFA 的选择性功能与被试的语言经验密不可分。

跨书写系统语言的研究为语言经验对 VWFA 的塑造作用提供了有力的证据。与英语等拼音文字不同, 汉字具有复杂的空间结构分布, 因而在阅读汉字时, 被试往往表现出梭状回激活双侧化的趋势(Peng et al., 2004; Tan et al., 2001; Tan et al., 2000), 被试在内隐地完成阅读任务时这种双侧化趋势更为明显(C. Liu et al., 2008)。韩语文字也具有类似汉字的空分布特点, 母语为韩语的被试在阅读时同样表现出双侧梭状回的激活, 但韩文同时也是一种基于音素阅读的文字, 因而双侧激活都没有汉字强(Yoon, Cho, Chung, & Park, 2005)。这种汉字阅读中的双侧化趋势一方面是因为完成汉字阅读需要更多的视空间分析, 另一方面可能是因为汉字是一种表义文字系统, 因而在学习阅读汉字时, 语义加工就影响了右侧梭状回的激活, 从而表现出双侧化的特点(Xue, Chen,

Jin, & Dong, 2006)。来自脑电(ERP)研究的证据同样发现, 对于日语中的汉字(Kana 文字), 只有日语母语者才表现出左侧枕叶下部的 N170 脑电成分, 而对完全不认识汉字的英语被试来说, 它们却表现出双侧的 N170 成分(Maurer, Zevin, & McCandliss, 2008)。表明语言经验越多, 在完成视觉词汇阅读时就需要更多抽象的语言加工和更少的视觉词形分析, 梭状回中后部的激活就越表现出左侧化的趋势。

第二语言学习的研究为语言经验对 VWFA 的塑造作用提供了直接的证据。Perfetti 等人(2007)综述了汉英双语者以及汉语作为第二语言的学习者的研究提出了适应性假说(accommodation hypothesis), 认为一个书写系统下获得的神经网络能根据另一个书写系统的要求而做出相应的适应性调节。当英语母语者在学习汉字阅读时, 他们也会使用汉字阅读特异的脑区: 如双侧的额叶中部(BA9 区), 右侧枕叶(BA18/19)以及梭状回(BA37)区域, 这些脑区在英语阅读中的参与作用比较弱(Y. Liu, Dunlap, Fiez, & Perfetti, 2007)。表明汉字特异的脑区同样会被英语母语者在需要时使用, 不同文字系统的视觉词汇识别并不存在先天固定的语言特异机制, 而是后天语言经验的影响塑造了不同的阅读神经网络。

因此, 来自跨语言、第二语言学习等多个领域的研究都表明 VWFA 的功能更多地受到语言经验的影响作用, 从而表现出对正字法加工的选择性敏感, 同时又体现出它在特定阅读网络中的作用。

### 4 小结

对于语言加工神经机制的探讨, 研究者不再孤立地探讨某个脑区的认知功能, 而是从神经网络的角度, 认为任何一种认知活动都是各脑区动态协作的结果, 不同的刺激属性或任务差异不是反映在特定脑区是否参与激活, 而是各脑区反应模式的差别。这种从动态网络的角度揭示人类大脑功能逐渐成为今后认知神经科学研究的主要取向。

在动态神经网络的思想下, 虽然对于梭状回中部的功能认识还存在着不一致的结果, 但可以得到以下结论: 1) 作为视觉系统的功能, 梭状回中部对应着视觉分类知觉的神经机制, 会对不同层面的正字法加工敏感; 2) 作为整个阅读网络的

一部分, 梭状回中部与阅读的语音、语义等高水平信息加工表现出一种交互作用的机制, 形成一个动态协作的阅读神经网络; 3) 梭状回中后部的功能与语言经验的影响密切相关。

### 参考文献

- 王小娟, 杨剑峰, 舒华. (2008). 获得性阅读障碍的“主要系统”假说. *心理科学进展*, 16(6), 868–873.
- Baker, C. I., Hutchison, T. L., & Kanwisher, N. (2007). Does the fusiform face area contain subregions highly selective for nonfaces? *Nat Neurosci*, 10(1), 3–4.
- Baker, C. I., Liu, J., Wald, L. L., Kwong, K. K., Benner, T., & Kanwisher, N. (2007). Visual word processing and experiential origins of functional selectivity in human extrastriate cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(21), 9087–9092.
- Binder, J. R., Medler, D. A., Westbury, C. F., Liebenthal, E., & Buchanan, L. (2006). Tuning of the human left fusiform gyrus to sublexical orthographic structure. *NeuroImage*, 33(2), 739–748.
- Bolger, D. J., Perfetti, C. A., & Schneider, W. (2005). Cross-cultural effect on the brain revisited: Universal structures plus writing system variation. *Human Brain Mapping*, 25(1), 92–104.
- Bruno, J. L., Zumberge, A., Manis, F. R., Lu, Z.-L., & Goldman, J. G. (2008). Sensitivity to orthographic familiarity in the occipito-temporal region. *NeuroImage*, 39(4), 1988–2001.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *NeuroImage*, 22(1), 466–476.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehericy, S. P., Dehaene-Lambertz, G., He'naff, M.-A., et al. (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.
- Cohen, L., Henry, C., Dehaene, S., Martinaud, O., Lehericy, S., Lemer, C., et al. (2004). The pathophysiology of letter-by-letter reading. *Neuropsychologia*, 42(13), 1768–1780.
- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain*, 125(5), 1054–1069.
- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), 335–341.
- Dehaene, S., Jobert, A., Naccache, L., Ciuciu, P., Poline, J. B., Le Bihan, D., et al. (2004). Letter Binding and Invariant Recognition of Masked Words. Behavioral and Neuroimaging Evidence. *Psychological Science*, 15(5), 307–313.
- Dehaene, S., Le Clec'H, G., Poline, J.-B., Le Bihan, D., & Cohen, L. (2002). The visual word form area: a prelexical representation of visual words in the fusiform gyrus. *Neuroreport*, 13(3), 321–325.
- Dehaene, S., Naccache, L., Cohen, L., Bihan, D. L., Mangin, J.-F., Poline, J.-B., et al. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nat Neurosci*, 4(7), 752–758.
- Devlin, J. T., Jamison, H. L., Gonnerman, L. M., & Matthews, P. M. (2006). The Role of the Posterior Fusiform Gyrus in Reading. *J. Cogn. Neurosci.*, 18(6), 911–922.
- Downing, P. E., Chan, A. W. Y., Peelen, M. V., Dodds, C. M., & Kanwisher, N. (2006). Domain Specificity in Visual Cortex. *Cereb. Cortex*, 16(10), 1453–461.
- Fiebach, C. J., Rissman, J., & D'Esposito, M. (2006). Modulation of Inferotemporal Cortex Activation during Verbal Working Memory Maintenance. *Neuron*, 51(2), 251–261.
- Fiez, J. A., & Petersen, S. E. (1998). Neuroimaging studies of word reading. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 95, 914–921.
- Frost, S. J., Mencl, W. E., Sandak, R., Moore, D. L., Rueckl, J. G., Katz, L., et al. (2005). A functional magnetic resonance imaging study of the tradeoff between semantics and phonology in reading aloud. *Neuroreport*, 16(6), 621–624.
- Gaillard, R., Naccache, L., Pinel, P., Clemenceau, S., Volle, E., Hasboun, D., et al. (2006). Direct Intracranial, fMRI, and Lesion Evidence for the Causal Role of Left Inferotemporal Cortex in Reading. *Neuron*, 50(2), 191–204.
- Glezer, L. S., Jiang, X., & Riesenhuber, M. (2009). Evidence for Highly Selective Neuronal Tuning to Whole Words in the “Visual Word Form Area”. *Neuron*, 62(2), 199–204.
- Hasson, U., Levy, I., Behrmann, M., Hendler, T., & Malach, R. (2002). Eccentricity Bias as an Organizing Principle for Human High-Order Object Areas. *Neuron*, 34(3), 479–490.
- Kronbichler, M., Bergmann, J., Hutzler, F., Staffen, W., Mair, A., Ladurner, G., et al. (2007). Taxi vs. Taksi: On Orthographic Word Recognition in the Left Ventral Occipitotemporal Cortex. *J. Cogn. Neurosci.*, 19(10), 1584–1594.
- Kronbichler, M., Hutzler, F., Wimmer, H., Mair, A., Staffen, W., & Ladurner, G. (2004). The visual word form area and the frequency with which words are encountered: evidence from a parametric fMRI study. *NeuroImage*, 21(3), 946–953.
- Liu, C., Zhang, W.-T., Tang, Y.-Y., Mai, X.-Q., Chen, H.-C.,

- Tardif, T., et al. (2008). The Visual Word Form Area: Evidence from an fMRI study of implicit processing of Chinese characters. *NeuroImage*, *40*(3), 1350–1361.
- Liu, Y., Dunlap, S., Fiez, J., & Perfetti, C. (2007). Evidence for neural accommodation to a writing system following learning. *Human Brain Mapping*, *28*(11), 1223–1234.
- Maurer, U., Zevin, J. D., & McCandliss, B. D. (2008). Left-lateralized N170 Effects of Visual Expertise in Reading: Evidence from Japanese Syllabic and Logographic Scripts. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(10), 1878–1891.
- Mechelli, A., Crinion, J. T., Long, S., Friston, K. J., Lambon Ralph, M. A., Patterson, K., et al. (2005). Dissociating reading processes on the basis of neuronal interactions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *17*(11), 1753–1765.
- Mechelli, A., Sartori, G., Orlandi, P., & Price, C. J. (2006). Semantic relevance explains category effects in medial fusiform gyri. *NeuroImage*, *30*(3), 992–1002.
- Nobre, A. C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, *372*(6503), 260–263.
- Op de Beeck, H. P., Baker, C. I., DiCarlo, J. J., & Kanwisher, N. G. (2006). Discrimination Training Alters Object Representations in Human Extrastriate Cortex. *J. Neurosci.*, *26*(50), 13025–13036.
- Paulesu, E., McCrory, E., Fazio, F., Menoncello, L., Brunswick, N., Cappa, S. F., et al. (2000). A cultural effect on brain function. *Nat Neurosci*, *3*(1), 91–96.
- Peng, D., Ding, G.-s., Perry, C., Xu, D., Jin, Z., Luo, Q., et al. (2004). fMRI evidence for the automatic phonological activation of briefly presented words. *Cognitive Brain Research*, *20*(2), 156–164.
- Perfetti, C. A., Liu, Y., Fiez, J., Nelson, J., Bolger, D. J., & Tan, L.-H. (2007). Reading in two writing systems: Accommodation and assimilation of the brain's reading network. *Bilingualism: Language and Cognition*, *10*(2), 131–146.
- Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review*, *103*(1), 56–115.
- Polk, T. A., & Farah, M. J. (1998). The neural development and organization of letter recognition: Evidence from functional neuroimaging, computational modeling, and behavioral studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(3), 847–852.
- Polk, T. A., & Farah, M. J. (2002). Functional MRI Evidence for an Abstract, Not Perceptual, Word-Form Area. *Journal of Experimental Psychology: General*, *131*(1), 65–72.
- Polk, T. A., Stallcup, M., Aguirre, G. K., Alsop, D. C., D'Esposito, M., Detre, J. A., et al. (2002). Neural Specialization for Letter Recognition. *J. Cogn. Neurosci.*, *14*(2), 145–159.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2003). The myth of the visual word form area. *NeuroImage*, *19*(3), 473–481.
- Price, C. J., & Friston, K. J. (2005). Functional ontologies for cognition: the systematic definition of structure and function. *Cognitive Neuropsychology* *22*, 262–275.
- Rumsey, J. M., Horwitz, B., Donohue, B. C., Nace, K., Maisog, J. M., & Andreason, P. (1997). Phonological and orthographic components of word recognition. A PET-rCBF study. *Brain*, *120*(5), 739–759.
- Seidenberg, M. S., & McClelland, J. L. (1989). A distributed, developmental model of word recognition and naming. *Psychological Review*, *96*(4), 523–568.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., et al. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, *52*(2), 101–110.
- Starrfelt, R., & Gerlach, C. (2007). The Visual What For Area: Words and pictures in the left fusiform gyrus. *NeuroImage*, *35*(1), 334–342.
- Tan, L. H., Laird, A. R., Li, K., & Fox, P. T. (2005). Neuroanatomical correlates of phonological processing of Chinese characters and alphabetic words: A meta-analysis. *Human Brain Mapping*, *25*(1), 83–91.
- Tan, L. H., Liu, H.-L., Perfetti, C. A., Spinks, J. A., Fox, P. T., & Gao, J.-H. (2001). The Neural System Underlying Chinese Logograph Reading. *NeuroImage*, *13*(5), 836–846.
- Tan, L. H., Spinks, J. A., Gao, J. H., Liu, H. L., Perfetti, C. A., Xiong, J., et al. (2000). Brain activation in the processing of Chinese characters and words: a functional MRI study. *Human Brain Mapping*, *10*(1), 16–27.
- Tarkiainen, A., Helenius, P., Hansen, P. C., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (1999). Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex. *Brain*, *122*(11), 2119–2132.
- Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M., et al. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, *100*(5), 2860–2865.
- Vigneau, M., Beaucousin, V., Herve, P. Y., Duffau, H., Crivello, F., Houde, O., et al. (2006). Meta-analyzing left hemisphere language areas: Phonology, semantics, and sentence processing. *NeuroImage*, *30*(4), 1414–1432.
- Vigneau, M., Jobard, G., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2005). Word and non-word reading: What role for the



- Visual Word Form Area? *NeuroImage*, 27(3), 694–705.
- Vinckier, F., Dehaene, S., Jobert, A., Dubus, J. P., Sigman, M., & Cohen, L. (2007). Hierarchical Coding of Letter Strings in the Ventral Stream: Dissecting the Inner Organization of the Visual Word-Form System. *Neuron*, 55(1), 143–156.
- Xue, G., Chen, C., Jin, Z., & Dong, Q. (2006). Language experience shapes fusiform activation when processing a logographic artificial language: An fMRI training study. *NeuroImage*, 31(3), 1315–1326.
- Yoon, H. W., Cho, K.-D., Chung, J.-Y., & Park, H. (2005). Neural mechanisms of Korean word reading: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 373(3), 206–211.

## Visual Word Form Area and Its Functional Role in the Neural Network of Reading

WANG Xiao-Juan<sup>a</sup> ; SHU Hua<sup>a</sup> ; YANG Jian-Feng<sup>b</sup>

<sup>(a)</sup> State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

<sup>(b)</sup> Institute of Psychology, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The middle fusiform gyrus was regarded as visual word form areas (VWFA). This view was challenged by more and more evidence recently. An increasing number of researchers are interested in the function of VWFA and the role in visual words reading. They view it as a part of dynamic network. This issue has been investigated quite intensively in recent years, which includes three controversial points reviewed in this paper: the selective sensitivity of VWFA to orthographic stimuli and the hierarchical organization of whole fusiform gyrus; its functional role in visual words reading; the role of language experience in shaping its function. By discussing the new findings, a new approach was proposed as the direction of future cognitive neuroscience studies. It suggested a dynamic neural network as the brain mechanism of cognitive task, instead of identification of local brain region for specific cognitive processing component.

**Key words:** visual word reading; visual words form area (VWFA); fusiform gyrus; fMRI