

• 研究构想(Conceptual Framework) •

视觉词汇加工的动态神经网络及其形成^{*}

王小娟¹ 杨剑峰²

(¹ 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)

(² 中国科学院心理研究所行为科学重点实验室, 北京 100101)

摘要 揭示大脑加工的神经网络机制成为认知神经科学研究最新取向。本研究以视觉词汇加工脑区(VWFA)的神经功能作为切入点, 探讨视觉词汇加工神经网络的动态机制及其形成。研究一考察 VWFA 在刺激驱动和任务调节下的动态激活, 及其与语音、语义脑区所组成神经网络的动态机制。研究二通过跨文化对比以及儿童阅读发展研究, 阐明语言经验对视觉词汇加工网络的塑造作用。研究三对比功能网络、静息网络以及白质纤维束联结, 探讨视觉词汇加工网络的动态联结及其形成。研究结果有助于建构视觉词汇加工的神经生理模型, 为基于脑科学的阅读教学和阅读障碍矫治奠定理论基础, 为认知神经科学研究提供了新的思路。

关键词 视觉词汇加工; VWFA; 神经网络; 动态激活

分类号 B842

1 问题提出

大脑左侧梭状回中后部区域被识别为视觉词形加工区(Visual Word Form Area, VWFA), 是阅读的神经机制研究最重要的发现之一。对 VWFA 的功能探讨仍然是近年来的研究热点和焦点问题(详见综述, 王小娟等, 2010), 主要体现在以下几个方面: 首先, VWFA 自提出以来就受到了质疑, 不同的功能假说存在着争论; 其次是左侧梭状回中部可能同时作为视觉加工和阅读网络的一部分, 从网络的角度考察视觉词汇加工的动态神经机制成为最新的研究取向; 虽然研究者广泛认为 VWFA 是知觉经验作用的结果, 但经验如何塑造脑区功能一直都是研究者广泛关注的问题。下面依次详述:

1.1 视觉词形加工区的功能争论

结合脑损伤病人以及脑功能磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)研

究, Cohen 等人(2004)鉴别出位于大脑左侧梭状回中部中心点($x=-43$, $y=-54$, $z=-12$)周围 0.5cm 的区域, 称之为视觉词形加工区。该脑区自提出以来, 其认知功能就成为研究者广泛关注和争论的问题, 没有得到统一的结论(Dehaene & Cohen, 2011; Price & Devlin, 2011)。

一种观点是正字法加工假说, 认为 VWFA 对应着视觉词汇的正字法表征。有研究认为它负责亚词汇水平的正字法加工(Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005), 也有研究认为它对应着整词或词典水平的正字法加工(Kronbichler et al., 2007; Bruno, Zumberge, Manis, Lu, & Goldman, 2008), 但是都一致地认为它是负责视觉词形加工。另一种观点是映射假说, 认为 VWFA 对应着由词形到高水平的语音或语义加工的映射。因为 VWFA 的激活不仅与形-音对应规则相关(Temple et al., 2003), 而且整词的词典(如语义)信息也参与并调节了 VWFA 的激活(Mechelli, Sartori, Orlandi, & Price, 2006; Devlin et al., 2006)。

1.2 VWFA 与其它脑区相互协作形成视觉词汇加工的动态网络

长期以来, 基于大脑功能定位的思想, 脑成像研究的目的在于识别出不同的大脑功能模块,

收稿日期: 2012-05-15

^{*} 国家自然科学基金项目(31171077), 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室开放课题重点项目(CNKOPZD1005)。

通讯作者: 杨剑峰, E-mail: yangjf@psych.ac.cn

如语音、语义和词形加工区,从而忽略了自上而下的认知任务对脑区激活的调节作用,也没有考虑到脑区所在加工网络的动态特性。近年来,研究者不再局限于传统的脑功能定位思想,开始从神经网络的角度考察 VWFA 的动态激活,以及它与其它脑区相互协作形成的视觉词汇加工网络。

研究表明, VWFA 在不同的认知任务下会表现出激活的动态特性,这也是其功能争论的原因之一。已有的大多数研究都是基于内隐的实验任务,发现真词比假词在 VWFA 上的激活更强(Binder et al., 2006)。但是,在外显阅读任务中发现真词与假词的激活没有差异(Vigneau et al., 2005),而在默读或语音、语义判断任务中假词的激活要更强(Kronbichler et al., 2004; Kronbichler et al., 2007),因而研究者得出 VWFA 完全不同的结论。在不同认知任务下, VWFA 在神经网络中的作用可能不同,其激活模式也就不同,只有把它作为神经网络的一部分来考察才能充分揭示其功能。

基于不同认知网络下的研究发现 VWFA 的功能并不一致。首先,作为视觉系统的一部分, VWFA 与词汇的视觉熟悉性具有高相关(Binder et al., 2006),对更高级、更精细的形状分析的加工敏感(Starrfelt & Gerlach, 2007),整个梭状回从后往前具有层级的功能组织,越靠近前部的脑区对抽象的词形加工越敏感(Vinckier et al., 2007)。其次, VWFA 是视觉词汇加工网络的重要组成部分。行为实验(Strain, Patterson, & Seidenberg, 1995)、计算机模拟(Harm & Seidenberg, 2004)以及认知神经心理学(Patterson & Ralph, 1999)的大量证据都表明阅读是视觉系统(词形)、语音和语义三个主要系统之间的相互作用。认知神经科学家开始考察三个系统所对应脑区之间的协作关系(Frost et al., 2005),认为视觉词汇识别需要联结精细的视觉加工与高水平的刺激属性(如语音、语义信息)来唯一准确地识别出这个词汇(Devlin et al., 2006),我们的研究也表明 VWFA 与语音、语义加工区具有相互协作的关系(Wang, Yang, Shu, & Zevin, 2011)。基于元分析的结果,研究 VWFA 与左侧颞上回后部、左侧额下回一起形成了跨语言普遍性的阅读网络(Bolger et al., 2005),网络内脑区的激活模式会根据文字属性的不同而不同(Liu, Dunlap, Fiez, & Perfetti, 2007; Tan, Laird, Li, & Fox, 2005)。在不

同书写系统下 VWFA 都会参与并成为普遍阅读网络的一部分,它的作用会因书写系统的特点而变化(Perfetti et al., 2007),并与其它语言特异的脑区协同活动组成不同文字系统下的阅读网络。

大脑的神经机制是一个复杂的系统,简单的认知加工都可能涉及多个脑区的参与,而同一脑区可能会参与多个不同的认知加工任务(Vigneau et al., 2006)。VWFA 在刺激驱动和认知任务的调节下会表现出动态的激活模式。同时,它又会与语音、语义加工脑区相互协作形成视觉词汇加工的神经网络,网络内脑区在不同条件下表现出不同的激活模式,具有动态特性。因此,从动态网络的角度系统地考察特定脑区的功能激活,及其与网络内各脑区的联结机制是未来认知神经科学研究的重要方向。

1.3 语言经验对视觉词汇加工网络的塑造作用

语言经验是 VWFA 功能形成的重要条件,探讨语言经验对大脑功能的塑造机制一直是认知神经科学关注的重要研究问题。与一般感知觉相比,人类的进化历史还不足以在大脑中形成文字特异的遗传脑区,视觉词形区是从面孔识别脑区中分化而成的文字敏感区(Dehaene, 2010),这种选择性敏感来自于输入刺激与环境共现的作用(Polk & Farah, 1998),是语言文字经验长期作用的结果(McCandliss et al., 2003; Reich et al., 2011)。

任何书写系统下都能形成文字特异的加工脑区(Bolger et al., 2005; Qiao et al., 2010),语言经验不同,脑区的激活强度或模式也会不同。例如英语熟练的希伯来语被试在加工希伯来词时要比加工英语词在 VWFA 上有更强的激活(Baker et al., 2007),表明语言经验使得被试在加工母语词汇时需要更多抽象的语言加工和更少的视觉分析。相对于拼音文字,汉字具有复杂的空间结构,汉字加工就需要更多的视觉分析从而表现出梭状回的双侧激活(Liu et al., 2008)。而韩文具有类似汉字的空分分布特点,韩语加工同样表现出双侧激活。韩语是音素拼读的文字系统,具有拼音文字类似的形-音对应规则,所以其双侧化趋势没有汉语强(Yoon, Cho, Chung, & Park, 2005; Xue, Chen, Jin, & Dong, 2006)。因此,通过跨语言/书写系统的对比,可以充分考察文字属性对于脑区激活的影响,从而揭示出语言经验对脑区功能的塑造机制。

语言学习的研究是揭示语言经验对大脑塑造

机制的最有效途径。第二语言学习研究已经表明学习者会使用已有的神经网络来加工新的刺激材料,同时,已习得的神经网络功能可以根据学习材料的要求而做出适应性调节(Perfetti et al., 2007)。例如,汉字特异的脑区在英语母语者阅读加工需要时激活,不同文字系统的视觉词汇加工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神经网络(Liu, Dunlap, Fiez, & Perfetti, 2007)。儿童阅读发展的脑成像研究能提供最直接的证据,但是,已有研究都局限于对比特定脑区激活的功能改变,并借此探讨阅读障碍的神经机制(Siok et al., 2004),还没有研究从网络的角度系统地探讨大脑功能的发展。如何利用儿童的语言学习特点,直接考察语言经验对神经网络的塑造机制是未来重要的研究方向。

结合跨语言以及儿童发展的脑成像研究,通过探讨语言经验对 VWFA 的选择性激活乃至对视觉词汇加工网络的塑造机制,进而揭示经验对大脑功能的塑造机制具有重要的理论意义。

2 研究构想

对 VWFA 功能认知的争论一时难以解决,原因是多方面的:首先,以往研究所采用的实验任务各不相同,导致了实验结果和最终结论的不一致;而大多数研究都是基于拼音文字系统(主要为英语)的实验发现,拼音文字的正字法规则与形-音对应规则无法分离,不可能区分出正字法与映射加工的理论争论;其次,受大脑功能定位和模块化思想的主导,缺少动态地考察大脑的功能激活以及脑区之间的相互协作机制;另外,脑区功能是语言经验作用的结果,需要进一步考察语言经验对脑区功能的塑造作用。

本项目采用脑功能成像技术,利用汉字的独特性系统地考察 VWFA 功能及其在刺激驱动和任务调节下的动态激活,考察它参与视觉词汇加工网络并与其它脑区之间的协作机制;结合跨语言及儿童发展的脑功能成像研究揭示语言经验对视觉词汇网络的塑造作用;并通过多变量数据分析技术深入探讨大脑阅读神经网络的动态机制。

2.1 视觉词汇加工区的动态激活以及网络内部脑区的协作机制

利用汉字的独特书写特点能够系统地探讨

VWFA 的功能。拼音文字的正字法规则等价于词形到语音的映射规则。而且,拼音文字往往不具有词形到语义的对应关系,因此无法直接考察 VWFA 是正字法加工还是形-音或形-义的映射加工,关于 VWFA 的正字法加工假说和映射假说很难在拼音文字的研究中得到解决。汉字部件具有传递整字语音和语义的功能,有的部件同时具有表音和表义功能(如月字旁),而有的部件只具有表义功能,不能独立成字(如钅字旁);还有的部件既不表音也不表义,只具有汉字的正字法特征。利用这些汉字部件,我们可以设计组合出不同类型的假字:只有正字法信息,不提供音义信息(Only Orthography, OO)、字形能够提供语义信息(Orthography and Semantics, OS)、以及能同时提供音义信息的(Phonology and Semantics, PS)假字。通过这些假字与真字、随机笔画组合图形的比较,对比 VWFA 在不同字类型上的激活,从而考察其认知功能。这样,利用汉字的独特性就能分离出正字法加工、形-音或形-义的映射加工,为检验 VWFA 的功能争论提供最直接的实验证据。

我们预期 VWFA 的激活会同时受到刺激驱动和任务要求的调节作用。当刺激材料不能提供语音或语义信息支持时,完成任务就需要依赖于充足的视知觉分析,从而会表现出较强的 VWFA 脑区激活;而当刺激材料具有更多的语音/语义信息支持时,只需要少量的视知觉分析即可,完成加工任务对 VWFA 的依赖程度下降,其激活就相应减弱;相应的,不同认知任务对视觉分析的依赖程度不同, VWFA 的激活程度也就不同。从而, VWFA 会表现出在刺激驱动和任务调节下的动态激活。

基于行为实验(Strain, Patterson, & Seidenberg, 1995)、计算机模拟(Harm & Seidenberg, 2004)以及认知神经心理学研究(Patterson & Ralph, 1999)的大量证据,研究者提出了视觉词汇加工的主要系统假说,认为阅读是视觉系统(词形)、语音和语义三个主要系统之间的相互作用(见综述,王小娟等, 2008)。但在神经生理层面,仅有初步研究从不同的角度发现脑区之间具有相互影响,还缺少对阅读神经网络系统地探讨。根据主要系统假说,可以预期阅读时大脑会表现出 VWFA 与语音和语义加工脑区间的动态协作。在加工特定词汇时,如

果能够得到语音和语义信息的支持,语音和语义脑区的激活增强,就不需要过多地依赖视觉分析,VWFA 脑区的激活就会下降;反之,如果语义和语音脑区的激活相对下降,就必然需要更多的负责视觉分析的 VWFA 激活。操控不同的实验任务,可以调整完成任务所需要的认知加工,脑区间的激活模式上也就会在不同任务上存在差异。因此,本研究通过操纵刺激材料和认知任务,可以考察阅读时 VWFA 与语音和语义加工脑区的相应激活变化,从而揭示出词汇阅读的神经生理基础是在刺激驱动和任务调节下多个脑区的动态协作机制。

2.2 视觉加工网络在语言经验作用下的动态发展

研究表明,VWFA 是语言经验对大脑功能的塑造作用。不同语言经验下形成的视觉词汇加工网络具有不同的激活模式,儿童发展的脑功能成像研究能提供最直接的证据。但是,语言经验是如何塑造阅读网络及其动态发展的研究还缺少系统的探讨。

儿童阅读发展的脑成像研究,可以深入考察语言经验对大脑功能的塑造机制。对比小学儿童与成人在加工相同词汇材料时的大脑激活差异,可以看到语言经验对脑区活动模式的作用。刚入学的低年级儿童由于阅读经验较少,汉字阅读更多依赖于字形加工,在字形中得到的语音和语义信息的支持较少,在阅读时大脑激活会表现出较强的字形分析脑区(VWFA)激活,而语音和语义加工脑区的激活要相对较弱;随着阅读经验的丰富,高年级儿童以及正常成人能利用汉字部件提供的语音和语义信息,阅读时将会有更多的语音和语义脑区的参与。随阅读发展而表现出的脑区活动变化就反映阅读经验对大脑功能的塑造作用。

英语母语者在没有汉字经验的情况下,他们加工汉语词汇材料时的大脑激活,不仅能表明语言经验对大脑功能的作用,还能揭示出跨文化的阅读脑机制。非汉语母语者的大脑激活是与汉语低年级儿童的加工方式相同,还是他们在加工汉语词汇时仍然使用了英语阅读的相关网络?这些问题的回答直接表明了语言经验与大脑功能之间的关系。

结合跨文化对比以及儿童阅读发展的脑机制研究,将继续考察 VWFA 的动态激活及其与网络内部脑区之间的协同机制,但会着重分析语言经

验在脑区激活以及网络联结改变上的作用。

2.3 多变量统计分析技术的应用

长期以来的脑功能成像研究都是建构一般线性模型来把实验条件与基线进行对比,识别出不同功能的神经脑区。这种数据分析方法可能导致解释上的困难,例如,功能不同的脑区在因为解剖结构上的连续性可能被识别为同一个功能脑区(Yang, Wang, Shu, & Zevin, 2011; 2012)。另一方面,研究者广泛采用的逻辑是基于相减的原则。一种条件比另一种条件多激活的脑区,其神经功能被认为对应着相减多出来的认知成分。问题是,大脑的活动会同时受到刺激、任务以及被试经验等多种因素的作用,条件对比得到的差异脑区可能同时会对多种信息敏感,据此就会得出片面或相互矛盾的结果。

近年来,多变量统计分析技术的广泛应用为探讨神经网络机制提供了可能。基于数据驱动的统计分析方法,如独立成分分析(ICA)能有效识别出解剖结构上邻近脑区的不同功能(Yang et al., 2011);联结分析能建立脑区之间的联系,探讨脑区功能是如何受其它脑区加工的影响(Zevin, Yang, Skipper, & McCandliss, 2010);通过建构动态因果模型以及脑区间的白质纤维束联结能揭示出神经网络的动态机制。

本研究将应用多种统计分析技术,深入考察视觉词汇加工网络的动态机制。具体将以 VWFA 作为种子脑区(Seed Region),考察它与全脑活动的功能联结,具体分析它与语音、语义加工脑区的功能联结,以及脑区联结在刺激和任务调节下的动态变化;利用静息态的脑成像数据,可以进一步分析参与视觉词汇加工的脑区功能联结,并与功能网络相比较,深入揭示出阅读网络的脑区功能联结的动态机制;扩散张量成像(DTI)的数据分析,能考察出 VWFA 与语音、语义加工脑区之间的白质纤维束联结,以及结构联结在不同组群上的差异,从而揭示出语言经验对阅读网络的功能和结构联结的塑造作用。

3 研究意义及预期成果

本研究以 VWFA 的认知功能作为切入点,克服拼音文字系统的局限,利用汉字独特的书写特点,对 VWFA 在词汇阅读中的作用这一争论问题进行直接的检验,提供最直接的证据;以动态的

观点考察 VWFA 在刺激驱动和任务调节下的激活变化, 从神经网络的角度考察 VWFA 与语音、语义加工脑区的动态协作机制。结合跨语言对比和儿童发展的研究, 深入揭示语言经验对阅读网络的塑造作用。

并通过多变量数据分析技术的应用, 对比静息网络、功能网络以及脑区间的白质纤维束联结, 建构和发展视觉词汇加工的神经生理模型。在功能和结构上揭示出视觉词汇阅读加工的动态神经网络, 及其在语言经验下的形成机制。

研究结果将丰富和发展汉字阅读加工的神经生理模型, 为基于脑科学的教育教学和阅读障碍矫治提供理论依据。而多变量统计分析方法的应用, 在方法学上对今后的认知神经科学研究具有借鉴和指导作用。

参考文献

- 王小娟, 舒华, 杨剑峰. (2010). 大脑视觉词形区及其在阅读神经网络中的作用. *心理科学进展*, 18(8), 1199–1207.
- 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., 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(24), 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.
- 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., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(6), 254–262.
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Filho, G. N., Jobert, A., et al. (2010). How learning to read changes the cortical networks for vision and language. *Science*, 330(6009), 1359–1364.
- Devlin, J. T., Jamison, H. L., Gonnerman, L. M., & Matthews, P. M. (2006). The role of the posterior fusiform gyrus in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(6), 911–922.
- 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.
- Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the meanings of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review*, 111(3), 662–720.
- 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. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 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.
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: Expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Science*, 7(7), 293–299.
- Mechelli, A., Sartori, G., Orlandi, P., & Price, C. J. (2006). Semantic relevance explains category effects in medial fusiform gyri. *NeuroImage*, 30(3), 992–1002.
- Patterson, K., & Ralph, M. A. L. (1999). Selective disorders of reading? *Current Opinion in Neurobiology*, 9(2), 235–239.
- 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.
- Price, C. J., & Devlin, J. T. (2011). The interactive account of ventral occipitotemporal contributions to reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(6), 246–253.
- 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.
- Qiao, E., Vinckier, F., Szwed, M., Naccache, L., Valabregue, R., Dehaene, S., et al. (2010). Unconsciously deciphering handwriting: Subliminal invariance for handwritten words in the visual word form area. *Neuroimage*, 49(2), 1786–1799.

- Reich L., Szwed, M., Cohen, L., & Amedi, A. (2011). A ventral visual stream reading center independent of visual experience. *Current Biology*, 21(5), 1–6.
- Siok, W. T., Perfetti, C. A., Jin, Z., & Tan, L. H. (2004). Biological abnormality of impaired reading is constrained by culture. *Nature*, 431(7004), 71–76.
- Starrfelt, R., & Gerlach, C. (2007). The visual what for area: Words and pictures in the left fusiform gyrus. *NeuroImage*, 35(1), 334–342.
- Strain, E., Patterson, K., & Seidenberg, M. S. (1995). Semantic effects in single-word naming. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(5), 1140–1154.
- 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.
- 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. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(5), 2860–2865.
- Vigneau, M., Beaucousin, V., Herve, P. Y., Duffau, H., Crivello, F., Houdé, 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.
- Wang, X. Y., Yang, J. F., Shu, H., & Zevin, J. D. (2011). Left fusiform BOLD responses are inversely related to word-likeness in a one-back task. *NeuroImage*, 55(3), 1346–1356.
- Xue, G., Chen, C. S., 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.
- Yang, J. F., Wang, X. J., Shu, H., & Zevin, J. D. (2011). Brain networks associated with sublexical properties of Chinese characters. *Brain and Language*, 119(2), 68–79.
- Yang, J. F., Wang, X. J., Shu, H., & Zevin, J. D. (2012). Task by stimulus interactions in brain responses during Chinese character processing. *NeuroImage*, 60(2), 979–990.
- Yoon, H. W., Cho, K. -D., Chung, J. -Y., & Park, H. W. (2005). Neural mechanisms of Korean word reading: A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 373(3), 206–211.
- Zevin, J. D., Yang, J., Skipper, J. I., & McCandliss, B. D. (2010). Domain general change detection accounts for "dishabituation" effects in temporal-parietal regions in fMRI studies of speech perception. *The Journal of Neuroscience*, 30(3), 1110–1117.

The Dynamic Neural Network and Its Development of Visual Word Processing

WANG Xiaojuan²; YANG Jianfeng¹

(¹ Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(² State Key Laboratory of Cognitive Neuroscience and Learning, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Investigating the dynamic neural network of cognitive processing is the new approach of cognitive neuroscience. This project proposes a series of fMRI experiments to investigate the function role of visual word form area (VWFA) at left middle part of fusiform gyrus, and further investigates the neural network of visual word processing and its development. Taking advantage of the specific properties of Chinese writing system, the first study will examine the activations of VWFA both under the task demands and the stimuli-driven. The interaction among VWFA, phonological and semantic areas will be tested to show the dynamic activation of brain regions involved in visual words processing. The second study investigates how the language experience shapes the development of brain network of visual words processing, by combining the experiments on English-speaker and Chinese Children. The third study conducts multivariate analysis on data from functional imaging, resting state and diffusion tensor imaging (DTI). The function and effective connectivity among visual, phonological and semantic processing areas will be used to construct the neurobiological model of visual words processing, and further to show the impact of language experience on its development.

Key words: visual words processing; VWFA; neural network; dynamic activation