

• 研究构想(Conceptual Framework) •

聋人早期手语经验对脑功能及结构的塑造作用*

丁国盛 李妍妍

(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)

摘要 语言经验对脑功能和结构发展有重要的塑造作用。然而, 目前的相关证据主要来自对脑损伤导致的失语症病人的语言康复、第二语言学习以及针对成人读者进行的语言训练等方面的研究。幼儿时期的早期语言经验对脑结构与功能发展的影响更加重要, 但直接的研究证据却相当缺乏。本文提出一个研究设想, 拟综合使用多种脑成像技术, 系统探讨有早期手语经验和无早期手语经验的聋人个体在脑皮层语言功能的组织及脑结构发育的差异, 包括语言任务中大脑语言区的激活模式, 静息状态下脑功能联结的默认网络特征, 脑皮层灰质密度, 以及神经纤维束发育状况等, 揭示早期语言经验对大脑功能和结构发育的塑造作用。

关键词 聋人; 语言经验; 脑成像; 脑可塑性

分类号 B845.1

1 前言

脑具有在外界环境和个体经验的作用下不断塑造其功能和结构的能力, 这称为脑的可塑性。脑的可塑性水平与年龄密切相关。在脑和神经系统发育的早期, 其功能和结构特别容易受到环境和经验的影响, 可塑性水平最高; 在成人时期, 脑仍然保持着一定程度的可塑性, 并可以持续终生。语言是人脑的一项特殊而重要的功能, 语言经验对脑功能和结构发展同样有重要的塑造作用。目前的相关证据主要来自对脑损伤导致的失语症病人的语言康复、第二语言学习以及针对成人读者进行的语言训练等方面的考察。幼儿时期的早期语言经验对脑结构与功能发展的影响更加重要, 但直接的研究证据却相当缺乏, 主要原因是缺乏有效的手段来操控早期语言经验这一变量。

先天性重度耳聋群体为研究早期语言经验的作用提供了一个重要突破口。因为种种原因, 这类聋童在早期语言经验方面存在着很大的个体差异。一部分先天性重度聋童, 其父母也是聋人, 从

小接触丰富的手语刺激, 学习并熟练掌握手语。而另一部分先天性重度聋童, 由于其父母是健听者, 不会手语, 因此出生后缺乏适当的语言刺激, 在 6、7 岁以后, 进入专门的学习机构才开始系统学习手语。因此, 这两类听障群体的早期手语经验存在显著的差异。本研究提出一个研究构想, 拟综合采用脑功能和结构成像技术, 比较这两类群体的脑功能与结构发展, 揭示早期语言经验对脑功能和结构发展的影响。

2 语言经验与脑可塑性

2.1 语言经验与脑功能可塑性

脑功能可塑性发生在不同层次上, 主要包括分子层面、细胞层面、皮层地图层面以及神经网络层面等。分子和细胞层面的功能重组包括突触效能的改变、突触连接的改变等(Holtmaat & Svoboda, 2009; Poldrack, 2000); 皮层地图层面的重组包括表征面积、表征区域、表征方位以及表征区域之间联合或分离的变化等; 在神经网络层面, 大脑的可塑性主要表现为系统水平的可塑性, 例如, 不同感觉通道之间跨通道联系的可塑性(Poldrack, 2000)。对语言经验的作用的考察集中在皮层地图层面和神经网络层面, 主要来自三方面证据:

收稿日期: 2011-08-30

* 国家自然科学基金项目(30870757)。

通讯作者: 丁国盛, E-mail: dinggsh@bnu.edu.cn

1) **脑损伤导致的失语症患者的语言功能康复。**通常脑损伤儿童的语言能力可以得到相当程度的恢复, 这是大脑具有高度可塑性的重要证据。脑成像研究显示, 左侧大脑语言功能区的早期损伤会使语言的优势功能区转移到右脑对应区域(Krägeloh-Mann, 2004), 其右脑在语言任务中的激活模式与正常控制组的左脑激活模式惊人的相似(Staudt et al., 2002)。对于成人, 左侧外侧裂周边脑区的损伤通常会导致特异性的语言障碍, 而右侧对应区域的损伤则通常对一些辅助性语言功能有影响, 如语言的韵律、语用功能等。经过语言康复训练, 成人被试的语言能力会得到一定程度的恢复(Krägeloh-Mann, 2004)。

2) **第二语言学习和成人语言训练过程中的脑功能可塑性变化。**这方面的研究主要使用成人被试, 集中考察了第二语言学习和实验室条件下的言语训练引起的脑功能变化(参见综述, 李妍妍, 丁国盛, 2007)。第二语言的词汇—语义学习引起的脑功能变化主要受熟练程度的影响(Chee et al., 1999; Klein, Milner, Zatorre, Zhao, & Nikelski, 1999; Pillai et al., 2003), 而句法学习引起的脑功能变化主要受习得年龄的影响(Wartenburger et al., 2003); 实验室言语训练可以引起语言加工相关区域激活增强或减弱(Cornelissen et al., 2004; Majerus et al., 2005), 以及出现新的激活区域(Raboyeau et al., 2004)。

3) **语言发展的敏感期。**语言的敏感期体现了早期语言经验在脑功能发展中的关键作用。在敏感期内, 适当的语言经验对个体的脑功能发展, 特别是语言功能的发展至关重要。但这方面缺乏严格的实验证据。有关证据主要来自对早期被隔离的儿童语言能力发展情况的考察。由于这些儿童的早期语言经验严重匮乏, 他们语言学习能力也较差, 无法熟练掌握语言, 特别是语法方面的知识。最典型的案例是关于“狼孩”的研究。例如, 著名的8岁印度狼孩“卡玛拉”在回到人类社会后, 尽管受到了大量训练, 但直到死也未能真正学会讲话, 4年内只学会6个词, 听懂几句简单的话, 7年时才学会45个词并勉强地学几句话。另外一个著名的个案研究是对一个化名叫“Genie”的女孩进行的考察(Rymer, 1994)。从出生到13岁7个月间, 她被严重忽视和虐待, 一直处于与世隔绝的环境。经过训练, 她可以学会一些英语词汇, 但是

与正常个体的学习过程有很大差异。表现为学习速度很慢, 学习语法方面非常困难, 有些语法始终不能够掌握, 基本没能说出完整的句子等。这些个案研究对于理解早期语言缺乏对语言发展的影响具有十分重要的作用。

2.2 经验与脑结构可塑性

经验可以改变脑结构。系统水平上的脑结构可塑性在主要体现在经验作用下, 脑重量、皮层厚度、不同脑区沟回面积的改变(Benloucif, Bennett, & Rosenzweig, 1995; Kolb, Forgie, Gibb, Gorny, & Rowntree, 1998); 微观水平上的脑结构可塑性则表现为经验作用下树突长度的增加、树突棘密度的改变、神经元数量的改变等(Kolb et al., 1998)。

在动物和人类的毕生发展中, 脑结构都具有一定的可塑性(Holtmaat & Svoboda, 2009)。基于动物的研究已经积累了很多证据。例如, 饲养环境的差异可以引起动物大脑形态的差异(Diamond, 1967; Globus, Rosenzweig, Bennett, & Diamond, 1973); 果蝇的社会性活动及性活动会引起大脑体积的增加(Heisenberg, Heusipp, & Wanke, 1995)。成年工蜂的工作由照顾蜂王和养育幼蜂转变为外出觅食后, 其脑结构也发生巨大变化, 而且这种变化是与觅食经验紧密相联的, 与年龄因素无关(Withers, Fahrbach, & Robinson, 1993)。对于人类而言, 经过几个月杂耍训练后, 个体的双侧颞中回、左侧顶内沟后部灰质有显著的增加, 说明杂耍训练对运动物体的空间感知和预测使得与视觉有关的区域发生了结构上的变化(Draganski et al., 2004)。多年的数学思维训练会改变数学家相应脑区的解剖结构, 与普通相比, 数学家的左侧额下和双侧顶下皮层的灰质密度都有显著增加, 其中右侧顶下皮层的灰质密度与专业数学训练的时间之间存在高相关(Aydin et al., 2007)。更多的证据表明, 音乐训练(Gaser, Nenadic, Volz, Buchel, & Sauer, 2004; Gaser & Schlaug, 2003; Sluming et al., 2002; Zatorre, Belin, & Penhune, 2002)、杂耍训练(Scholz, Klein, Behrens, & Johansen-Berg, 2009)、脑外伤经历(Salmond et al., 2006)、截肢(Draganski et al., 2006)等带来的个体经验的变化, 都可以引起大脑灰质密度的改变。

经验也可以引起白质纤维髓鞘化程度的改变。对白质发展情况的考察, 主要应用的是弥散张量成像技术(diffusion tensor imaging, DTI)。DTI

可以定量观察活体组织的弥散特征,了解组织纤维的走行方向和完整性。例如,音乐的经验可以引起大脑感觉运动区白质纤维的髓鞘化程度的变化(Bengtsson et al., 2005; Gaser & Schlaug, 2003),这种变化与训练时间,特别是早期训练时间相关(Bengtsson et al., 2005)。

目前关于语言经验与脑结构可塑性的研究还相当有限,主要考察了第二语言经验和不同文字的经验对脑皮层灰质密度的影响。研究表明,第二语言经验可以引起大脑灰质密度的变化。双语者与单语者相比,左侧顶下皮层灰质密度增加,而且第二语言越熟练、习得年龄越低,该区域灰质密度越大(Mechelli et al., 2004)。不同文字的经验也可能引起脑皮质灰质密度的不同。一项研究比较了汉语母语的中国人和拼音文字为母语的高加索人脑的结构差异,结果发现中国人的左侧额中回、颞中回下前部(布罗德曼21区的喙部)、右侧顶上小叶的密度更大,而高加索人左侧顶上小叶的密度更大(Kochunov et al., 2003)。但该研究未能排除其结果来自人种差异的可能性。我们课题组新近的一项研究显示,汉语口语-手语双语者的左侧尾状核头部的脑灰质密度大于汉语单语对照组(Zou, Ding, Abutalebi, Shu, & Peng, 2011),该脑结构与双语者的语言切换和控制功能有关(Abutalebi et al., 2008; Crinion et al., 2006; van Heuven, Schriefers, Dijkstra, & Hagoort, 2008)。我们进一步发现,双语者在尾状核头部的脑灰质密度变化与其在语言切换任务中的额外激活呈正相关(Zou et al., 2011),说明其结构的变化与担负的认知功能有密切关系。

2.3 早期语言经验对脑的塑造:困境及突破

从上述介绍可以看出,目前语言经验引起脑功能改变的研究主要集中在脑损伤、第二语言学习和成人语言训练方面,引起脑结构改变的证据则非常有限。同时,多数研究揭示的是个体已经熟练掌握母语的基础上,新增加的语言经验的作用,如第二语言学习和陌生语言训练。这些语言经验的作用自然不能与母语经验的作用相提并论。而且在获得时间上,这些语言经验主要发生在语言敏感期的晚期,甚至过了语言敏感期。无疑,敏感期内的早期母语经验在塑造脑功能和结构方面扮演着更重要的角色,自幼时期被剥夺语言环境的个体认知能力发展,像狼孩、Genie的

个案就是鲜明的证据。

脑成像技术为直接考察正常个体的脑功能和结构特征提供了强有力的工具。然而,尽管该技术在脑可塑性研究中的应用日益深入(Poldrack, 2000),考察早期语言经验作用的脑成像研究却鲜有报道。其中最重要的原因是缺少一种有效的措施来操控早期语言经验这一变量,毕竟在实际生活中被剥夺早期有声语言经验的个体非常罕见,且易受很多干扰因素的影响。因此,探讨早期语言经验对脑可塑性的作用,需要在研究思路上有新的突破。

先天性重度耳聋群体为研究早期语言经验的作用提供了可能。因为种种原因,这个群体在早期语言经验方面存在着很大的个体差异。一部分聋童,其父母是健听者,由于条件的限制,在进入专门的机构和学校后才开始学习手语(通常6、7岁以后),之前的语言经验基本上是空白。而另一部分,由于父母也是聋人,他们可以从小接触丰富的手语刺激,发展成他们的第一语言,因此他们的早期语言经验与健听儿童相似,远比第一类聋童丰富。因此,这两类听障群体在早期语言(手语)经验上存在显著的差异。通过对这两类群体的脑功能与结构发展的比较,可以揭示早期手语经验对脑发育的影响,从而提供了一个探讨早期语言经验与脑可塑性关系的绝佳突破口。

3 聋人的手语加工与脑可塑性

3.1 聋人手语加工的神经基础及脑可塑性

先天性重度聋者由于与生俱来的听力障碍,通常需要借助手语与其他人交流。手语在表达形式上与口语有很大差异,手语是主要借助于“手”和“眼”的视-动系统,口语则是借助于“口”和“耳”的听-说系统。但手语在语言特性方面与口语又是共同的,例如,同样包括语形(语音)、词汇和句法三个成分,手语句子也存在一定的语法规则。手语语形(语音)的构成要素包括手形(hand shape)、方向(orientation)、方位(location)和移动(movement)这四大视觉要素。改变其中任何一个要素的某些特征都会改变手势的意义。目前国际上已普遍承认了手语的语言学地位。在美国,美国手语(American Sign Language, ASL)被认为是聋人的第一语言,而英语只是聋人的第二语言。

基于脑损伤及脑成像的研究证据显示,聋人

的手语加工与健听者口语加工有相似的脑机制,集中在左脑外侧裂周边脑区(Horwitz et al., 2003; MacSweeney, 2004, 2006; Neville et al., 1998; Petitto et al., 2000)。对于先天聋且有早期语言经验的成年人,他们的大脑在体积、灰质密度、白质密度方面与听力正常人没有显著的差异(Emmorey, Allen, Bruss, Schenker, & Damasio, 2003; Penhune, Cismaru, Dorsaint-Pierre, Petitto, & Zatorre, 2003)。这表明,手语和口语似乎存在着某些共同的内在机制。研究者也发现,手语加工与口语加工的神经机制存在差异。例如, Neville 等发现与口语母语者相比,手语母语者在语言理解时右半球有更多参与(Neville et al., 1998)。另外,聋人在加工手语时左侧缘上回(Emmorey, Mehta, & Grabowski, 2007; MacSweeney et al., 2002)、顶上小叶(Braun, Guillemin, Hosey, & Varga, 2001; Emmorey et al., 2007)和双侧颞枕区(MacSweeney et al., 2002)的激活显著大于健听者加工口语时的脑激活。

探讨聋人的语言及认知过程的神经基础,可以揭示人脑在听觉经验被剥夺的情况下发生的可塑性变化。颞叶的听觉皮层,包括初级听觉皮层(赫氏回)和听觉联合皮层(颞上回)是研究者尤为关注的脑区。如 Nishimura 等发现,先天聋人的手语理解激活颞上皮层,显示该脑区发生了跨通道可塑性变化(Nishimura et al., 1999)。Sadato 等人则发现,致聋年龄对该脑区的可塑性变化有重要影响。不管是早期致聋者(2岁以前)还是晚期致聋者(5岁以后),手语理解都激活了颞上回中后部的颞平面部分(即威尔尼克区),健听手语者的手语理解则没有激活该脑区;而早期致聋者还激活了双侧颞上沟中部,晚期致聋者则没有激活该脑区(Sadato et al., 2004)。

3.2 聋人早期语言经验对语言和认知能力发展的影响

聋人学习手语的年龄越早,其手语理解能力和产出熟练度就越强。Newport 比较了开始学习手语时间不同的三组聋人的手语能力。三组聋人的手语学习时间分别为 A 组:从出生开始学习; B 组:4-6岁,和 C 组:12岁以后。研究发现不管是手语产生还是和手语理解任务, A 组的成绩比 B 组好, B 组比 C 组好(Newport, 1984)。这说明手语的习得年龄可能对手语的理解和产生有持久的影

响。这一结论得到了很多研究的支持,如 Mayberry 等人发现,手语习得年龄与手语句子回忆的正确率成负相关。在控制使用手语的时间等因素后,在不同的语言测试任务中,如语法判断等,均发现早期手语经验对语言能力发展的重要作用(Boudreault & Mayberry, 2006; Mayberry & Eichen, 1991)。

研究者进一步发现,如果聋童在致聋之前有过一定的有声语言经验,这种经验可以促进接下来的手语学习,同样,聋童的早期手语经验也可以促进接下来的有声语言的学习,而没有早期经验的群体在语言学习方面存在困难(Mayberry, 1993; Mayberry, Lock, & Kazmi, 2002)。因此,无论早期语言经验的形式如何,都可以促进接下来其它语言的学习,而早期语言经验缺乏将影响到终生的语言学习能力。因此,早期语言经验对后期语言能力发展的重要作用在认知、行为层面已经积累了很多证据,然而,用实验手段,从神经层面直接考察个体早期语言经验对脑功能和结构的塑造作用,国际上尚没有文献报道。

4 我国对聋人的认知及手语加工的研究现状

国内研究者在认知、行为层面对中国聋人的语言加工和认知方式进行了相应的探索。研究发现,聋人在一些认知能力,如视觉搜索、视觉图形识别敏感度、心理投影能力等方面,与健全人相比有一定的优势(张茂林, 2007; 雷江华, 李海燕, 2005; 王庭照, 张凤琴, 方俊明, 2006),但在另外一些能力方面,如拓扑性质知觉中的错觉关联效应等,与健听者没有差异(王庭照, 方俊明, 张凤琴, 2007)。在识别汉语字词中,聋人的语义提取采用由形到义的直通加工方式(张朝, 2005),汉字的笔画数和熟悉度也是影响聋人识别汉字的重要因素(冯建新, 方俊明, 2004)。语音编码在聋生汉字加工过程中也起了非常重要的作用(谭和平, 眭飞, 刘春玲, 2003)。在语音意识的发展方面,聋生的首音-韵脚意识的发展好于音节意识的发展,但比健听学生要差(张丽君, 2005)。另外,聋人在汉语书面语的学习类似健听者对第二语言的学习,如聋人的汉语生造词在出现频率、类型分布、产生原因等方面与学习汉语(作为第二语言)的留学生有相似之处(吕会华, 2008),但聋人学习汉语比正

常人学习第二语言会遇到更多的困难(吴玲, 2007)。在对空间词的概念组织方面, 聋人大学生与健听大学生既有相似性, 也存在一定差异, 其差异反映了语言对空间认知的影响(张积家, 芦松敏, 方燕红, 2010)。这些研究为探讨中国聋人手语加工的脑机制提供了借鉴。

在脑机制研究方面, 一篇采用功能磁共振成像(fMRI) 技术的研究报告考察了中国手语在聋人左、右半球大脑皮层的功能定位情况, 发现手语与有声语言的绝大多数功能区是叠合的, 与正常人和美国手语的研究结果相似, 聋人的视觉性语言优势半球也是在左半球(方俊明, 何大芳, 2003)。我们课题组采用功能磁共振成像(fMRI)研究了聋听障儿童手语的语言产生的脑机制, 研究发现聋听障儿童手语产出激活了一个复杂的神经网络, 同口语产生一样, 需要多个脑区的协同合作(Hu et al., 2011)。

5 研究构想

5.1 文献总结与问题提出

上面的文献分析可以总结为以下几点:

1) 尽管有证据显示语言经验对脑功能和结构有重要的塑造作用, 但探讨早期语言经验对脑功能和结构的塑造作用的研究非常有限。其中最重要的原因是缺少有效的措施来操控早期语言经验这一变量。

2) 先天性重度耳聋群体为研究早期语言经验的作用提供了可能。通过对比有早期手语经验的聋童(父母是使用手语的聋人)和没有早期手语经验的聋童(其父母是不懂手语的健听者), 可以揭示早期手语经验对脑功能和结构发育的影响。但鲜有文献从这个角度来探讨早期语言经验与脑可塑性的关系。

3) 针对手语加工的神经基础, 国内外研究者已经开展了较为充分的研究。同时, 认知-行为层面的研究也显示聋人早期语言经验对其日后的语言和认知能力发展有重要的影响。这些研究为进一步揭示早期手语经验对脑功能和结构的塑造奠定了基础。

基于文献分析, 我们提出如下问题:

1) 早期手语经验如何改变或调节脑的语言功能网络?

2) 早期手语经验是否以及如何影响脑结构

发育?

3) 早期手语经验作用下, 脑的语言功能可塑性和脑结构发育可塑性的内在关系是什么?

5.2 研究假设

关于早期语言经验如何改变或调节脑的语言功能发展和脑结构发育, 目前国际上没有现成的理论或模型。我们根据对脑发育、语言的神经基础、经验与脑可塑性的关系等方面的背景知识, 针对拟研究的问题将重点检验以下研究假设:

(1) 早期语言经验的缺乏对语言加工网络中一些负责多通道信息整合或多个认知模块连接的特定脑区的功能发展有重要影响。重点关注: 后部的颞上沟、顶下小叶(包括角回/缘上回)和前部的额下回及脑岛。语言的重要特征之一是多通道信息(如视觉和听觉)的整合和多加工模块之间的协同配合。语言发展的过程, 即是多通道信息整合及各加工模块之间协作的高度有序化和自动化过程。颞上沟和角回/缘上回在语言的多通道信息整合中发挥重要作用, 而颞下回后部(布洛卡区及相邻区域)在发音过程的动作序列编码、句法加工及语义编码均有重要作用。脑岛与多种认知功能有关, 其结构发育(如灰质密度)对不同类型的语言(如手语/口语)或感觉经验(如有听觉经验的健听者/无听觉经验的聋人)比较敏感(Allen, Emmorey, Bruss, & Damasio, 2008)。因此, 这几个脑区的功能最可能受到早期语言经验的影响。本研究将对有/无早期手语经验的两组先天聋人进行对比, 检验这些脑区在语言理解和语言产生中的功能激活强度, 以及激活强度与语言成绩的相关, 以推测这些脑区担负的语言功能的发展情况。

(2) 早期语言经验的缺乏将削弱或损害特定的远距离脑区功能连接的形成。脑功能发育的一个重要规律是局部脑区内功能的分化伴随远距离脑区间功能连接的形成及增强(Fair et al., 2007; Zhao, Zhou, Chen, Hu, & Wang, 2010)。我们假设, 早期语言经验在的缺乏将削弱或损害特定的远距离脑区功能连接的形成, 重点关注的脑区连接包括: 颞上沟-额下回、角回/缘上回-额下回。

(3) 早期语言经验对特定脑区的结构发育有影响, 包括脑岛及其他脑区的灰质密度、皮层厚度及白质纤维束。鉴于已有文献中脑岛对同类型的语言或感觉经验的敏感性(Allen et al., 2008), 该脑区将是我们首要关注的脑区, 同时我们也会考

察颞上回/颞上沟及顶叶的灰质发育及邻近的白质发育,及弓形束(连接布洛卡区和威尔尼克区)与钩束(连接颞叶前部与额下回及脑岛)的发育情况。

5.3 研究设计及预期结果

研究一:聋人早期手语经验对局部脑区功能发展及脑区间功能连接发展的影响

通过综合使用调查问卷、行为评定、认知实验技术等,全面细致地了解被试的详细情况,做好被试的分组和匹配工作,筛选出先天耳聋的被试。根据其学习手语的时间早晚分成有、无早期手语经验组,前者为从出生开始接触和学习手语,后者为6岁以后开始学习手语,并控制其他无关变量。使用功能磁共振成像(fMRI)技术,比较二者在执行手语理解和产生任务中的脑功能激活及脑功能连接模式,以及在静息状态下的脑功能联结网络,揭示手语经验对聋人语言功能区的塑造作用。具体包括3个实验方案:

实验1:不同任务条件下,聋人早期手语经验对局部脑区功能发展的影响。采用组间设计,对有和无早期手语经验的先天聋个体进行fMRI功能扫描。实验任务包括手语理解和手语产生。手语理解是对手语句子的可理解性判断(事先录制),手语产生任务是对图片刺激进行手语命名。刺激呈现采用ER(事件相关)设计。重点考察早期经验是否会影响听障者在理解和产生手语句子时的脑激活模式。预期手语产生激活的脑区网络与理解网络有重叠,但不完全相同,其中前部额叶脑区在手语产生中有更多的激活。在产生过程中,重点考察脑岛、布洛卡区的激活,预期两组被试在拟检验的关键脑区(如,颞上沟、角回、布洛卡区等)的激活强度不同。

实验2:不同任务条件下,聋人早期手语经验对脑区功能连接发展的影响。研究设计与实验任务同实验1。考察早期经验是否会影响听障者在手语理解、产生时的脑功能连接模式。预期聋人早期手语经验对脑区功能连接的发展有重要影响,与无早期语言经验组相比,有早期手语经验组的脑区功能连接更强。

实验3:早期手语经验对聋人静息态脑功能网络的影响。静息态扫描是对无特定任务下的BOLD信号进行的扫描,可以揭示大脑内部稳定的,不依赖具体实验任务的功能联结模式。通过

比较有、无早期手语经验的先天聋个体的静息态脑区低频振幅(ALFF)、局部功能一致性(ReHo)、及脑区功能联结的差异,揭示早期手语经验在塑造脑功能网络中的作用。

研究二:聋人早期手语经验对脑结构的塑造作用

使用结构磁共振成像技术和弥散张量成像技术,对比有、无早期手语经验的聋人的脑皮层灰质密度、皮层厚度和白质纤维束发展的差异,揭示早期手语经验在脑结构发展中的作用。

实验4:早期手语经验与大脑灰质密度/皮层厚度的关系。对有、无早期手语经验的听障个体进行MRI扫描,比较他们的大脑灰质发育的差异,揭示早期手语经验对脑结构发展的影响。我们预期在脑岛及颞上回等区域,有语言经验组的灰质密度/皮层厚度比无语言经验组的灰质密度/皮层厚度高。通过计算经典语言区灰质密度/皮层厚度与母语习得年龄,语言能力(前面实验中的测试成绩)的相关,进一步考察这种结构的差异与经验、语言能力的关系。

实验5:早期手语经验与大脑神经纤维的发展及连接情况的关系。对被试进行DTI扫描,重点考察大脑神经纤维的髓鞘化程度、连接情况与语言经验的关系。进行类似于实验4的数据分析,以揭示早期手语经验对脑结构的塑造作用。

研究三:早期经验作用下,对脑功能可塑性和结构可塑性的综合分析

本部分将对上述5个实验的数据进行深入挖掘和联合分析,结合感兴趣脑区分析(ROI),功能和结构数据的关联分析等,综合探讨功能结构性和结构可塑性的内在关系。脑功能可塑性与结构可塑性在脑区上可能并非一一对应的关系,或是严格的因果关系。我们将对相关数据进行认真梳理和分析,揭示其内在联系和规律。

6 理论构想

关于早期语言经验如何对脑结构发育和语言功能发展产生影响,我们提出一个理论构想,该构想主要包括以下三个方面。

1)语言加工的脑网络是包含多个信息处理模块,由众多脑区参与的一个高度整合的复杂系统,其组织和工作方式具有以下三个特点:(A)多通路;(B)层级性;(C)多脑区协同震荡。多通路表现为,

对于语言加工中的主要功能模块,都有多条神经通路平行进行加工,这些通路通常存在一定的功能分工,在不同的语言任务中发挥重要作用。例如,听觉语言加工包含背侧通路和腹侧通路(Hickok & Poeppel, 2004, 2007),前者从初级听觉皮层区出发,经威尔尼克区、颞顶结合区、缘上回到达布洛卡和发音运动区,在听觉与语音信号转换成发音动作编码中发挥重要作用;后者从初级听觉皮层区出发,经颞中回、颞下回后部、颞叶前部到达额下回三角部,在语义加工中发挥重要作用。同样,视觉词汇加工(阅读)中也存在腹侧通路和背侧通路的分离,分别在亚词汇语音加工和词汇语音/语义加工中发挥重要作用(Borowsky et al., 2006)。因此,多通路并存是语言加工网络的一个重要特点。层级性则表现为在各条神经通路上,不同层级的脑区分别处理不同层级和抽象水平的信息,在每条通路内部,信息处理遵循简单到复杂、从具体到抽象的过程。以阅读的腹侧通路为例,从基本视觉加工区(V1)出发,沿着V2、V4到枕颞区,其功能可能分别与线条、字母、字母串、单词相对应(Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005)。多脑区协同振荡是指语言加工过程是通过负责各通路及各层级信息处理的脑区协同振荡来实现的。具体表现为,在语言加工中,信息的流动和各脑区之间激活不是单向的,而是动态的、双向交互的,并在相关的脑区和神经回路中形成振荡,并逐步达到其稳定状态。

2)早期语言经验对语言功能网络的塑造,主要作用于各模块之间的信息整合和联系的神经基础,包含两个方面:(A)对担负加工模块间信息整合的一些特定脑区功能发展的影响;(B)对远距离脑区之间的功能连接的影响。由于语言加工涉及对多种感觉通道信息(如视觉和听觉)的整合,并包含了多个信息处理模块,例如字形加工、语音加工、句法加工、语义加工等。加工模块间的信息整合和联系,是通过两种方式来实现的,一种是由特定脑区来承担,例如颞上沟中后部和脑岛。颞上沟中后部是语音(颞上回)、字形(颞枕联合区)和语义加工(颞中、下回)模块交汇的中介脑区(interface),对三种信息加工模块的整合发挥重要作用。脑岛是功能比较综合的脑区,担负多种认知功能,与语言产生中语音、语义信息的整合及发音编码等都密切相关。另一种方式是远距离

脑区之间的功能连接,这种功能连接通常有相应的结构基础。例如额叶和枕叶之间有上纵束,颞叶前部与枕叶之间有下纵束,额叶与颞叶之间有弓形束和钩束。早期语言经验对语言功能网络发展的影响,表现在特定脑区的功能变化和脑区间功能连接的变化两个方面。就脑区而言,颞上沟中后部和脑岛是最容易受到早期语言经验影响的脑区。有早期手语经验的先天聋人在语言理解和语言产生任务中两个脑区的功能激活强度会高于无早期手语经验的先天聋人,其信息整合和各加工成分协作的有序化和自动化也更好。同时,早期语言经验对语言功能网络中远距离脑区之间的功能联结也产生影响,表现为早期语言经验的缺乏将削弱或损害特定的远距离脑区功能连接的形成,其中主要影响颞上沟与额下回,以及角回/缘上回与额下回之间的连接。

之所以早期语言经验主要作用于模块之间的信息整合和联系的神经基础,主要有以下原因:(A)这些脑区在语言功能组织的层级上处于较高的层次,其功能发展比低层级的脑区更容易受经验的影响。(B)语言的重要特征是在不同类型的信息之间建立联结,即使没有早期语言经验,其知觉经验及相应的认知功能发展也会使各信息加工模块得到相应发展。而语言经验对信息模块间的联系和相互作用提出了更高的要求,因此早期语言经验直接影响到这一部分功能的神经基础。

3)早期语言经验对脑结构也存在塑造作用,并与语言功能网络的变化密切相关,表现为特定脑区灰质密度、皮层厚度及白质纤维束的变化。早期语言经验对脑结构的塑造,与其对语言功能网络的塑造是相辅相成、相互影响的。在脑发育过程中,脑结构发育为功能发展提供了物质基础,同时功能发展对脑结构发育又有调节作用(Casey, Giedd, & Thomas, 2000)。早期语言经验不仅对脑岛和颞上沟的功能发展有重要影响,对这两个脑区的结构发育,包括灰质密度及皮层厚度也有重要影响。同时,连接特定脑区的神经纤维也会受到影响。我们预期,弓形束(连接布洛卡区和威尔尼克区)及钩束(连接颞叶前部与额下回及脑岛)是最易受影响的纤维结构。

参考文献

方俊明,何大芳.(2003).中国聋人手语脑功能成像的研究.

- 中国特殊教育, 1, 50-57.
- 冯建新, 方俊明. (2004). 聋童与正常儿童汉字识别中笔画数与熟悉度的影响比较. *中国特殊教育*, (2), 1-4.
- 雷江华, 李海燕. (2005). 听觉障碍学生与正常学生视觉识别敏感度的比较研究. *中国特殊教育*, (8), 7-10.
- 李妍妍, 丁国盛. (2007). 言语学习引起的脑功能和结构变化. *心理科学进展*, 15(3), 409-415.
- 吕会华. (2008). 聋人和留学生汉语生造词比较研究. *中国听力语言康复科学杂志*, (3), 43-46.
- 谭和平, 咎飞, 刘春玲. (2003). 聋生汉字加工的自由回忆与词序位置记忆实验研究. *心理科学*, 26(6), 1065-1068.
- 王庭照, 方俊明, 张凤琴. (2007). 聋人与听力正常人拓扑性质知觉的错觉关联效应比较实验研究. *中国特殊教育*, (8), 18-22.
- 王庭照, 张凤琴, 方俊明. (2006). 聋童与听力正常儿童心理投影能力的比较实验研究. *中国特殊教育*, (1), 36-40.
- 吴玲. (2007). 聋人书面语学习困难的研究. *中国特殊教育*, (5), 33-37.
- 张朝. (2005). 聋人与听力正常人汉语字词加工认知途径的比较. *中国临床康复*, (12), 235-236.
- 张积家, 芦松敏, 方燕红. (2010). 聋人大学生的空间概念及其组织. *中国特殊教育*, (4), 28-32.
- 张丽君. (2005). 听力障碍学生语音意识发展的实验研究. *中国特殊教育*, (11), 20-25.
- 张茂林. (2007). 聋生与听力正常学生在非对称性视觉搜索中的比较研究. *中国特殊教育*, (2), 19-22.
- Abutalebi, J., Annoni, J. M., Zimine, I., Pegna, A. J., Seghier, M. L., Lee-Jahnke, H., et al. (2008). Language control and lexical competition in bilinguals: An event-related fMRI study. *Cerebral Cortex*, 18(7), 1496-1505.
- Allen, J. S., Emmorey, K., Bruss, J., & Damasio, H. (2008). Morphology of the insula in relation to hearing status and sign language experience. *Journal of Neuroscience*, 28(46), 11900-11905.
- Aydin, K., Ucar, A., Oguz, K. K., Okur, O. O., Agayev, A., Unal, Z., et al. (2007). Increased gray matter density in the parietal cortex of mathematicians: A voxel-based morphometry study. *American Journal of Neuroradiology*, 28(10), 1859-1864.
- Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H., & Ullen, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1148-1150.
- Benloucif, S., Bennett, E. L., & Rosenzweig, M. R. (1995). Norepinephrine and neural plasticity: The effects of xylamine on experience-induced changes in brain weight, memory, and behavior. *Neurobiology of Learning and Memory*, 63(1), 33-42.
- Borowsky, R., Cummine, J., Owen, W. J., Friesen, C. K., Shih, F., & Sarty, G. E. (2006). fMRI of ventral and dorsal processing streams in basic reading processes: Insular sensitivity to phonology. *Brain Topography*, 18(4), 233-239.
- Boudreault, P., & Mayberry, R. I. (2006). Grammatical processing in American Sign Language: Age of first-language acquisition effects in relation to syntactic structure. *Language and Cognitive Processes*, 21(5), 608-635.
- Braun, A. R., Guillemin, A., Hosey, L., & Varga, M. (2001). The neural organization of discourse - An H₂O-O-15-PET study of narrative production in English and American sign language. *Brain*, 124, 2028-2044.
- Casey, B. J., Giedd, J. N., & Thomas, K. M. (2000). Structural and functional brain development and its relation to cognitive development. *Biological Psychology*, 54(1-3), 241-257.
- Chee, M. W., Caplan, D., Soon, C. S., Sriram, N., Tan, E. W., Thiel, T., et al. (1999). Processing of visually presented sentences in Mandarin and English studied with fMRI. *Neuron*, 23(1), 127-137.
- Cornelissen, K., Laine, M., Renvall, K., Saarinen, T., Martin, N., & Salmelin, R. (2004). Learning new names for new objects: Cortical effects as measured by magnetoencephalography. *Brain and Language*, 89(3), 617-622.
- Crinion, J., Turner, R., Grogan, A., Hanakawa, T., Noppeney, U., Devlin, J. T., Aso, T., et al. (2006). Language control in the bilingual brain. *Science*, 312(5779), 1537-1540.
- 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.
- Diamond, L. (1967). The effect of training procedures on the double alternation-behavior of laboratory rats in a temporal maze. *American Journal of Psychology*, 80(4), 594-601.
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311-312.
- Draganski, B., Moser, T., Lummel, N., Gänssbauer, S., Bogdahn, U., Haas, F., et al. (2006). Decrease of thalamic gray matter following limb amputation. *NeuroImage*, 31(3), 951-957.
- Emmorey, K., Allen, J. S., Bruss, J., Schenker, N., & Damasio, H. (2003). A morphometric analysis of auditory brain regions in congenitally deaf adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(17), 10049-10054.
- Emmorey, K., Mehta, S., & Grabowski, T. J. (2007). The neural correlates of sign versus word production. *NeuroImage*, 36(1), 202-208.
- Fair, D. A., Dosenbach, N. U. F., Church, J. A., Cohen, A. L., Brahmbhatt, S., Miezin, F. M., et al. (2007). Development of distinct control networks through segregation and integration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(19), 10533-10538.

- Sciences of the United States of America*, 104(33), 13507–13512.
- Gaser, C., Nenadic, I., Volz, H. P., Büchel, C., & Sauer, H. (2004). Neuroanatomy of "hearing voices": A frontotemporal brain structural abnormality associated with auditory hallucinations in schizophrenia. *Cerebral Cortex*, 14(1), 91–96.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240–9245.
- Globus, A., Rosenzweig, M. R., Bennett, E. L., & Diamond, M. C. (1973). Effects of differential experience on dendritic spine counts in rat cerebral cortex. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 82(2), 175–181.
- Heisenberg, M., Heusipp, M., & Wanke, C. (1995). Structural plasticity in the Drosophila brain. *Journal of Neuroscience*, 15(3 Pt 1), 1951–1960.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: A framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92(1-2), 67–99.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2007). The cortical organization of speech processing. *Nature Reviews Neurosciences*, 8(5), 393–402.
- Holtmaat, A., & Svoboda, K. (2009). Experience-dependent structural synaptic plasticity in the mammalian brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(9), 647–658.
- Horwitz, B., Amunts, K., Bhattacharyya, R., Patkin, D., Jeffries, K., Zilles, K., et al. (2003). Activation of Broca's area during the production of spoken and signed language: A combined cytoarchitectonic mapping and PET analysis. *Neuropsychologia*, 41(14), 1868–1876.
- Hu, Z. G., Wang, W. J., Liu, H. Y., Peng, D. L., Yang, Y. H., Li, K. C., et al. (2011). Brain activations associated with sign production using word and picture inputs in deaf signers. *Brain and Language*, 116(2), 64–70.
- Klein, D., Milner, B., Zatorre, R. J., Zhao, V., & Nikelski, J. (1999). Cerebral organization in bilinguals: A PET study of Chinese-English verb generation. *NeuroReport*, 10(13), 2841–2846.
- Kochunov, P., Fox, P., Lancaster, J., Tan, L. H., Amunts, K., Zilles, K., et al. (2003). Localized morphological brain differences between English-speaking Caucasians and Chinese-speaking Asians: New evidence of anatomical plasticity. *NeuroReport*, 14(7), 961–964.
- Kolb, B., Forgie, M., Gibb, R., Gorny, G., & Rowntree, S. (1998). Age, experience and the changing brain. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22(2), 143–159.
- Krägeloh-Mann, I. (2004). Imaging of early brain injury and cortical plasticity. *Experimental Neurology*, 190(Suppl 1), S84–S90.
- MacSweeney, M., Campbell, R., Woll, B., Brammer, M. J., Giampietro, V., David, A. S., et al. (2006). Lexical and sentential processing in British Sign Language. *Human Brain Mapping*, 27(1), 63–76.
- MacSweeney, M., Campbell, R., Woll, B., Giampietro, V., David, A. S., McGuire, P. K., et al. (2004). Dissociating linguistic and nonlinguistic gestural communication in the brain. *NeuroImage*, 22(4), 1605–1618.
- MacSweeney, M., Woll, B., Campbell, R., McGuire, P. K., David, A. S., Williams, S. C. R., et al. (2002). Neural systems underlying British Sign Language and audio-visual English processing in native users. *Brain*, 125(7), 1583–1593.
- Majerus, S., van der Linden, M., Collette, F., Laureys, S., Poncelet, M., Degueldre, C., et al. (2005). Modulation of brain activity during phonological familiarization. *Brain and Language*, 92(3), 320–331.
- Mayberry, R. I. (1993). First-language acquisition after childhood differs from second-language acquisition: The case of American Sign Language. *Journal of Speech and Hearing Research*, 36(6), 1258–1270.
- Mayberry, R. I., & Eichen, E. B. (1991). The long-lasting advantage of learning sign language in childhood: Another look at the critical period for language acquisition. *Journal of Memory & Language*, 30(4), 486–512.
- Mayberry, R. I., Lock, E., & Kazmi, H. (2002). Linguistic ability and early language exposure. *Nature*, 417(6884), 38.
- Mechelli, A., Crinion, J. T., Noppeney, U., O'Doherty, J., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., et al. (2004). Neurolinguistics: Structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*, 431(7010), 757.
- Neville, H. J., Bavelier, D., Corina, D., Rauschecker, J., Karni, A., Lalwani, A., et al. (1998). Cerebral organization for language in deaf and hearing subjects: Biological constraints and effects of experience. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95(3), 922–929.
- Newport, E. L. (1984). Constraints on learning: Studies in the acquisition of American Sign Language. *Papers and Reports on Child Language Development*, 23, 1–22.
- Nishimura, H., Hashikawa, K., Doi, K., Iwaki, T., Watanabe, Y., Kusuoka, H., et al. (1999). Sign language 'heard' in the auditory cortex. *Nature*, 397(6715), 116.
- Penhune, V. B., Cismaru, R., Dorsaint-Pierre, R., Petitto, L. A., & Zatorre, R. J. (2003). The morphometry of auditory cortex in the congenitally deaf measured using MRI. *NeuroImage*, 20(2), 1215–1225.
- Petitto, L. A., Zatorre, R. J., Gauna, K., Nikelski, E. J., Dostie, D., & Evans, A. C. (2000). Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people processing signed

- languages: Implications for the neural basis of human language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(25), 13961–13966.
- Pillai, J. J., Araque, J. M., Allison, J. D., Sethuraman, S., Loring, D. W., Thiruvaiyaru, D., et al. (2003). Functional MRI study of semantic and phonological language processing in bilingual subjects: Preliminary findings. *NeuroImage*, 19(3), 565–576.
- Poldrack, R. A. (2000). Imaging brain plasticity: Conceptual and methodological issues—A theoretical review. *NeuroImage*, 12(1), 1–13.
- Raboyeau, G., Marie, N., Balduyck, S., Gros, H., Démonet, J. F., & Cardebat, D. (2004). Lexical learning of the English language: A PET study in healthy French subjects. *NeuroImage*, 22(4), 1808–1818.
- Rymer, R. (1994). *Genie: A Scientific Tragedy*. Harper Paperbacks.
- Sadato, N., Yamada, H., Okada, T., Yoshida, M., Hasegawa, T., Matsuki, K. I., et al. (2004). Age-dependent plasticity in the superior temporal sulcus in deaf humans: A functional MRI study. *BMC Neurosci*, 5, 56.
- Salmond, C. H., Menon, D. K., Chatfield, D. A., Williams, G. B., Pena, A., Sahakian, B. J., et al. (2006). Diffusion tensor imaging in chronic head injury survivors: Correlations with learning and memory indices. *NeuroImage*, 29(1), 117–124.
- Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E. J., & Johansen-Berg, H. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature Neuroscience*, 12(11), 1370–1371.
- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *Neuroimage*, 17(3), 1613–1622.
- Staudt, M., Lidzba, K., Grodd, W., Wildgruber, D., Erb, M., & Krägeloh-Mann, I. (2002). Right-hemispheric organization of language following early left-sided brain lesions: Functional MRI topography. *NeuroImage*, 16(4), 954–967.
- van Heuven, W. J. B., Schriefers, H., Dijkstra, T., & Hagoort, P. (2008). Language conflict in the bilingual brain. *Cerebral Cortex*, 18(11), 2706–2716.
- Wartenburger, I., Hecker, H. R., Abutalebi, J., Cappa, S. F., Villringer, A., & Perani, D. (2003). Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, 37(1), 159–170.
- Withers, G. S., Fahrbach, S. E., & Robinson, G. E. (1993). Selective neuroanatomical plasticity and division of labour in the honeybee. *Nature*, 364(6434), 238–240.
- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1), 37–46.
- Zhao, M., Zhou, C. S., Chen, Y. H., Hu, B., & Wang, B. H. (2010). Complexity versus modularity and heterogeneity in oscillatory networks: Combining segregation and integration in neural systems. *Physical Review E Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 82(4 Pt 2), 046225.
- Zou, L., Ding, G., Abutalebi, J., Shu, H., & Peng, D. (2011). Structural plasticity of the left caudate in bimodal bilinguals. *Cortex*. In Press.

The Role of Early Sign-language Experience in Shaping the Structure and Function of the Deaf Brain

DING Guo-Sheng; LI Yan-Yan

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

Abstract: Language is unique to human being, and language experience is critical in shaping both functional and anatomical development of human brain. Specifically, the initial experience at the early stage of the development is extremely important. However, few neuro-imaging studies have been done to investigate this issue. In this paper, we raised a proposal to explore the impact of age of first language acquisition with comparing deaf native signers who have early sign language experience and nonnative signers who have no sign language experience. We will compare the functional development of the brain in both groups, including the working neural network underlying language comprehension and production, and the default network in resting state. We will also compared the structural development by measuring the gray matter volume (density) and the fractional anisotropy (FA) values of whiter matter, to explore how early language experience shapes both function and structure of the brain.

Key words: language experience; deaf people; brain imaging; brain plasticity