

Review of Brain Imaging Studies of Language Production and Processing

Abudoukelimu Abulizi^{1,2}, Minghu Jiang^{1,2}, Dengfeng Yao^{1,2}, Xiaodi Xue³

¹Lab of Computational Linguistics, School of Humanities, Tsinghua University, Beijing

²Center for Psychology and Cognitive Science, Tsinghua University, Beijing

³Department of Psychology, School of Social Sciences, Tsinghua University, Beijing

Email: keram1106@163.com, jiang.mh@tsinghua.edu.cn

Received: May 4th, 2015; accepted: May 24th, 2015; published: May 29th, 2015

Copyright © 2015 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

21st century is known as the “century of the brain”, neuroimaging studies about how the brain completes the various tasks are significantly increased. In this paper, we reviewed brain research about the neuroimaging of language production and language comprehension over the several decades. These studies indicate that various parts of the brain are responsible for completing various cognitive tasks including language processing, such as Broca’s area and Wernicke’s area, primary auditory and visual cortex, the left hemisphere frontal and temporal lobe regions, and the homologous regions of the right hemisphere, etc. In the paper, the results of these studies are briefly summarizes.

Keywords

Language, Image, Neuro, Brain

语言产生和加工的脑神经成像研究综述

阿布都克力木·阿布力孜^{1,2}, 江铭虎^{1,2}, 姚登峰^{1,2}, 薛小迪³

¹清华大学人文学院计算语言学实验室, 北京

²清华大学心理学与认知科学研究中心, 北京

³清华大学社会科学学院心理学系, 北京

Email: keram1106@163.com, jiang.mh@tsinghua.edu.cn

收稿日期：2015年5月4日；录用日期：2015年5月24日；发布日期：2015年5月29日

摘要

21世纪被称为“脑的世纪”，观察大脑是如何完成其各项任务的神经影像学研究显著增加，其中不乏对语言脑机制的研究。本文我们回顾了过去几十年神经影像学对语言产生和理解的脑研究。这些研究表明，大脑各部位负责完成包括语言处理在内的不同认知任务，如布罗卡区和韦尼克区，初级听觉和视觉皮层区，左半球额叶、颞叶区域，及右半球同源区域等。本文对这些研究结果进行简单总结。

关键词

语言，成像，神经，大脑

1. 引言

语言的使用是人类区别于其他动物的最重要的特征。语言学的很多规律与生物学的规律相似，大约2300万年前，类人猿与其他灵长类动物分离，而人类和黑猩猩大约在500万年前产生了分歧。在近300万年中，人类大脑从300g增加到目前的1200~1400g，它的体积和复杂性在人类进化的过程中不断增加，使得一些旧有的功能得以改进，一些新的功能，如工具的创造和语言的产生得以实现。其中语言和工具的使用和发展起了决定性作用，口语是大约50万年前现代人出现的标志，使大脑皮层面积开始增加，脑皮层的表面是一种皱巴折叠的构造，这样在头骨范围内更多的表面区域。人脑中操作口语的功能和音义结合的符号系统经过几十万年的进化，神经系统自然而然的连接为一个整体，可以说语言与人脑是共同进化的，也是世界上最复杂的两样东西。语言是人类沟通交流的一种方式，具有系统性和社会性，是人类行为的重要部分。人类智慧的结晶可用语言描述和记载，使我们只用几年或几十年的时间就可以掌握人类几千年的文明智慧所积累的知识，使我们的经历和财富得以积累。大脑容量的增加扩大了人类行为和认知能力，决定了人类在物种竞争中的胜出，逐步成为世界的主宰者[1]。

认知神经科学研究旨在探明大脑的认知加工机制。以往的心理语言学研究中已有大量的神经心理语言学文献，这些研究主要根据大脑特定区域损伤病人的语言产生和理解的行为表现来确定语言理解和语言产生的大脑区域[2][3]。

二战后的几十年，科学技术的迅速发展使得研究者可以通过神经活动过程中血液流动的变化来研究大脑工作机制。其主要研究手段是功能性磁共振成像(fMRI)、正电子发射断层扫描(PET)、事件相关电位(ERP)。PET、fMRI是基于特定大脑区域中的神经活动伴随着血液流向该区域流动而被激活的原理而进行研究[4][5]，而血流量的变化是很缓慢的，所以这种血流的增加从神经活动的开始要延迟几秒钟，这就限制了神经成像研究时间分辨率。典型的神经影像学研究通过与任务有关脑区的神经活动变化试图辨别和探寻任务对应的脑区及其工作机制。比如，一个研究者对句法异常句子感兴趣，利用神经成像进行研究的话，就需要给被试一组句法异常的句子和一组句法正常的句子。然后观察有关脑区血液的变化(这些变化与实验过程中的特定事件有关系)并确定人脑哪些区域对异常句子特别活跃而哪些区域不是。类似的任务可以由两种方法来检测。第一，把一种任务(正常句子加工)中出现的脑激活与另一种任务(异常句子加工)的激活互相比较。这个方法又叫做减法，通过这个方法研究者从异常条件下的脑激活减去正常条件下的脑激活。减去后的激活脑区被看作专门参与异常句子加工的区域。第二种方法是事件相关电位(ERP)的神经成像方法。事件相关电位的方法是操作特定任务相关事件(比如：句子中的句法异常)，然后观察脑

血液流动引起的电位变化[6]。通过时间锁定(time-locking)、任务相关(task-related)和神经事件(neural event),在给定的任务相关的实验中,研究者可以确定大脑哪些区域在加工过程当中特别活跃。

本文中我们将要对神经成像在语言处理的不同方面的研究结果进行评述:子字词级(sub-word)加工、词加工、句子加工、篇章加工并通过神经成像技术来解决神经结构的语言处理问题。这些发现补充和扩展了传统神经心理学的语言模型[2] [7]:传统的语言模型是大脑左侧参与语言加工和语言产生任务,韦尼克区参与语义加工、布罗卡区参与句法加工和言语产生,其他语言有关的区域主要分布在左半球,负责语音、正字法有关的语言成分的加工。

2. 词以下(Below the Word)的语言成分的加工:语音和正字法

低层语言的加工包括很多成分,其中的一些成分是语言感知的必要条件(例如:语言的初级听觉和视觉分析),还有一些是特定语言(Language specific)成分的处理。比如,语音的处理。

语音的处理开始于双侧颞上回,包括初级和次级听觉处理区域。成像研究表明语言声音和非语言声音都在这个区域被激活[8]-[11]。这些研究大部分采用听觉刺激和被动静止状态的减法。他们提出了无论是对被试熟悉的语言(法语)还是陌生的语言(泰米尔语),这个区域是在语音处理过程中唯一被激活的皮层区域。这些作者还报告当被试加工他们的母语时大脑左半球的激活区域比右半球多。该研究也观察到语音加工是特定于左颞中回的。这些发现已被许多实验证实:上、中颞叶和颞叶平面(planum temporal)区域在语音处理过程中被激活[12] [13]。除此之外右颞区(尤其是前区)牵涉到语音信号韵律信息的处理[14]。其他语音加工方面的研究(两个押韵词的任务和记忆有关任务)显示额下回和毗邻区域也参与语音处理[15]-[19]。后颞区包括韦尼克区和缘上回[20]-[22]也参与语音处理。这些脑区也有可能是把正字法符号翻译成语音表征的基础[19],但是有证据显示他们的语音处理作用独立于这个翻译过程[21]。

人脑额叶区的语音处理作用一直是有争议的一个问题,来自押韵判断和生成任务的实验[19] [23],证据显示额下回参与语音处理,虽然现在看来语音信号中的语音信息对最初的颞叶来说是次要的。因此额叶区域的语音处理有可能反映维持功能(maintenance function) (当实验进行时音位信息被保留)。除此之外毗邻的皮层区域(如:布罗卡区)很可能在语音产生过程中发挥作用[23],邻近依赖于语音信息的前运动区域在语音加工中也起作用[24]。Buchen [14]提出右半球前额叶部分参与韵律情感信息的检测。他的实验中让被试按他们的声音来判断词汇时左前额部分被激活,说话者的韵律传达的情感声调来判断词的时候右脑前额显示激活。

由于正字法和语音之间的转换,视觉语言刺激更多参与语音加工[19] [25]。他们的实验由四个部分组成,研究者让被试做出相同和不同两种判断,其中的两组实验在语音加工中比较重要:a)行判断任务(a line judgment task) (两组线方向相同模式)和 b)字母大小写判断任务(相同的模式下替换两组字符串中的辅音)。实验结果显示,正字法加工过程中大脑纹状体区域被激活。这个结果与病变研究[26]和前面的正电子发射断层扫描(PET)的研究[15]结果相符合。除此之外[27]的实验结果显示像字母和假词这样的复杂视觉形式激活大脑双侧枕颞沟和后颞下区。从而这些区域在视觉语言刺激的早期加工中起着一定的作用。

正字法加工之外,视觉语言的输入被转成语音形式[19]。韦尼克区周围的部分包括缘上回和角回都也参与加工,这两个区域被认为词形中心(word-form centers) (尤其是角回附近的区域[28] [29])或负责实际转换过程。视觉文字加工方面存在一些争论[15] [24] [25],异议者提出,虽然参与处理语言特定方面的大脑区域已经被确定,但是有关具体词形的加工区域方面还没有任何证据。Polk [30]进行了一项实验,实验中让受试者阅读大小写替换的词和假词。这些刺激在大脑左腹侧视觉皮层出现相同模式的激活,表明这种词形模式注重抽象正字法模式而不是视觉呈现语言的严格感知成分。

Xu B. [19]做的正电子断层扫描(PET)实验显示虽然词和假词的语音加工分享共同的皮层激活区域,

假词加工激活缘上回和及其附近区域,这表明词和假词(或者低频词汇)在视觉语音转换过程中经历不同的路线,词形的词汇项直接获取语音表征,但是假词在缘上回和及其附近区域需要强迫性的组装语音编码。如果低频词汇的加工方式类似于假词的加工过程,各种认知任务中的频率效应的存在可能(至少某种程度上)需要额外的时间去访问低频词汇的语音编码。

听觉和视觉词汇加工过程中有很多重叠的部分。但是初步的加工过程有不同的形式。最初的语音加工似乎发生在双侧颞叶,较高级的加工发生在左侧脑半球(语音加工)。视觉语言的加工开始于枕叶皮层及枕叶和颞叶边缘的一些部分(比如:左角回,双侧梭状回,后下颞区,枕颞沟,缘上回,韦尼克区等)。这些区域的推定(putative)功能是识别正字法(拼写)形式并把他转换成语音表征。

3. 词级加工

最早有关语言加工的成像研究是词为中心的[20]。这些研究的作者很惊讶地发现他们的研究中被激活的脑区是传统上不被认为是语言处理的脑区(比如:下额叶区[20] [31])。此后的研究重复和扩展了这些发现,这些脑区被确定为词汇加工中被激活的区域。

在研究词汇加工的实验中,研究者要求被试做出语义判断,有的研究中,判断比较简单:(比如:这个词是具体的还是抽象的?) [32]-[34]而有的研究中,判断稍有难度,如 Demb J.B. [32]的实验中当把抽象和具体词实验任务与简单非语义任务(大写和小写任务判断)和较困难的任务(按字母顺序排列的字母上升还是下降的?)相互比较大脑的左侧额下回被激活。在实验中刺激材料呈现两次,重复减少了下额叶区域的激活。在抽象词、具体词和非语义任务减法实验中也出现同样减少激活的情况。这说明词汇加工中额叶区域的激活很可能在某种程度上与语义判断任务的难度有密切关系; Gabrieli J.D.E. [33]要求被试进行抽象和具体词任务以及感知判断任务(词汇中的字母大写还是小写?),并对两种任务进行比较。这种减法(语义任务-感知任务)发现人脑左半球的额下回、扣带回、上颞叶等几个区被激活。

探测词汇处理的另一种方法是词汇生成任务,即给被试一个特殊的提示,让其按提示大声或默默的说单词。这种方法的一个变体是言语流畅性任务,被试按照主试提示的字母生成该字母开头的词(比如:产生以“F”开头的词) [23] [35]-[37]。这个实验与前面的实验相互比较会发现,此实验中左下额叶,韦尼克区及颞上回部分被激活。与其他基线实验(比如:词汇重复)比较时,言语流畅性任务在上额叶和右侧小脑区也被激活。让被试生成名词和动词的实验中也出现相同的结果,虽然动词的生成通常会在布罗卡区周围导致更强的激活[38]。

另一种词汇产生任务是顺序生成[39]和词干竞争任务。要求被试一年的十二个月按顺序或逆序默默背诵,顺序减去逆序就发现双侧中下额叶、顶叶皮层和左半球的前扣带部分被激活。这些广泛的激活与有目的性的背诵有关系(按月份顺序背诵), Preissl 的实验中也出现相同的结果。词干竞争任务(比如:通过给定的词干“mat-”生成联想词)也显示下额叶,辅助运动区域和左侧小脑被激活[40]-[42]。同一个实验任务上, fMRI(功能磁共振成像)做的实验结果与 PET(正电子发射断层扫描)做的实验结果相互比较发现,无论在激活增加区域还是减少区域, fMRI 和 PET 的很多激活区域特别相同。

从上述的研究中似乎有一些规律,词汇级信息的获取和加工主要是以下额叶区、韦尼克区附近和后颞叶区域为中心。其他一项研究尝试找到特定类型的词汇加工的更精细的区别。Kiehl [43]探索具体词和抽象词的加工方式,词和假词的加工方式相互比较,他们发现的激活区域是前扣带回、左下额叶、左侧颞中回、右颞上回。与具体词相比抽象词在右额叶和颞叶区域出现更大程度的激活。这些发现与前人的研究中所提到的右脑主要负责抽象语言的处理的结论相符合[44] [45]。

Chee M.V. [46]一直在寻求以视觉形式呈现的词和以听觉形式呈现的词的加工区别。被试完成这两种形式的具体词和抽象词任务。至于视觉词的基线任务(baseline task)而言被试进行的是大小写判断任务(大

写比较小写), 对于听觉刺激来说要求被试判断他们所听到的词是由一个音节组成的还是多音节组成的。可以预见的是, 视觉和听觉刺激初始加工涉及不同脑区。其他研究也发现[20] [25]听觉语言主要在左颞叶区域出现比较强烈的激活, 反之视觉词汇加工主要在左后颞上回、左缘上回和小脑部分出现比较强烈的激活。尽管如此, 在这两种形式的语义判断任务中也出现同样激活模式。这种常见的激活模式参与的脑区是下额叶、前额叶(两个半球)左侧前运动区域和小脑。

研究者慢慢开始注意到视觉词和听觉词[46], 词和图片[47] [48], 人脸和专用名词[49]之间的语义处理的相似性。而与个体之间的实验范式和实验任务要求会导致改变具体激活脑区。听觉和视觉语言加工在很大程度上是相互重叠的, 这是因为加工的早期阶段视觉刺激语言被转换成语音形式[19]。

规则动词和不规则动词之间的加工区别是认知神经心理学领域比较争论的一个热点[50] [51]。神经心理学时态研究[50] [52]和神经成像实验[53] [54]显示规则和不规则动词加工过程中激活不同皮层脑区。Jaeger [53]报告规则动词过去式的生成(produce)激活下额叶区, 而不规则动词过去式的生成激活颞叶中区。下额叶区的激活主要是因为动词词干(kill)和形态变化 ed 的结合而组装的规则动词过去式所引起的。不规则动词激活颞叶中区是因为他们需要从心里词典里面逐字召回。Pinker S. [51]总结这是词法结构理论中的词和规则(word-and-rules)的证据。

规则动词和不规则动词加工方式的区别一直以来以不同的方式来解释。第一个是“双系统”(Dual-system)。他们的理论假设是规则动词是由规则支配的心理语法来分解计算。而不规则动词的表征是由词汇记忆来存储和检索[55]-[59]。他们认为这些不同的认知成分也有明显不同的神经基础[50] [52] [60]。规则动词主要依赖于前额基地神经节的程序性记忆系统。与此相比, 规则动词和其他词汇形式在联想性心理词典中被存储和表征[61] [62]。第二种是“单一机制”(single-mechanism)理论: 无论规则动词还是不规则动词都在依赖记忆机制加工[63]-[65]。

Price C.J. [66]做了词汇呈现时间有关的实验, 并报道说当词被加工时(刺激呈现时间的长短变化来证明)很多大脑区域被抑制(激活减少)。说明认知过程中有一些注意成分阻止循环中多余信息的加工。

Pulvermuller F. [67]提出了大脑词汇结构理论其主张是词汇的正字法, 语音和具体信息意义的细胞集群(cell assemblies)。比如: 视觉词汇是在颞叶区(语音词形式表征)以及枕叶区(语义信息)分布式表征, 而运动词(motor words) (比如: 动词)在运动皮层附近的颞叶区和额叶区域被表征。来自 fMRI 神经心理学的案例和行为实验证据支持这个假设[67]。这个实验基本上没有报道特定词和词类的语义激活。有一些动词生成实验显示, 布罗卡区和其附近的运动皮层被激活[38]。这些激活有可能是实验要求的语言生成的结果而不是释放细胞集群的结果。

通过很多研究已经生成了词汇加工的一般地形图。左额下回和附近的辅助前运动区域参与语义、语音的加工和词形的获取和生成。中、上、前额叶部分与语义加工有关。这些部分也显示与语义记忆加工有关系[68] [69]。词汇处理中额叶部分的激活很可能是由于多种因素的组合: 语音信息的短期存储、词汇的获取、语义加工和任务难度。当加工抽象词的时候右脑也同样显示被激活。此外词形有关的语义加工时两半球上颞叶部分显示激活。

后颞叶区(韦尼克区和其附近区)涉及词形获取和生成, 语义加工和一些语音任务。Small S.L. [28]提出左侧角回部分及其附近的部分可以作为词形中心, 虽然他的这个观点存在很多争论[24] [27]。其他被认为参与词汇加工的区域是双侧梭状回和左缘上回。最后, 词汇加工研究揭示了小脑在认知任务中令人惊讶的作用。

小脑长期以来被认为运动协调功能的基础。直到认知任务全脑扫描, 才发现小脑在更高级的任务中被激活。Demond [32]进行了一个实验, 实验中要求被试完成词干任务, 或易(很可能完成)或难(完成的可能性小)。类似的其他实验指出, 左额叶的激活和小脑激活之间有相关性[40], 其中左额叶的激活似乎与

小脑激活有关。他通过额叶区域的激活和小脑部分的激活的分解来证明这个关系。他假设小脑可能在维持有效的认知活动中发挥作用。

还有一些学者提出人脑对不同词类的加工区域也有所不同[70]。他们用 fMRI 来研究脑损伤病人，研究表明，脑损伤的患者可能表现出特定词类加工障碍。他们的研究报道了三例有障碍类别动词和名词的病人的实验表现。第一和第二种病人左侧额叶萎缩，他们在命名和动词理解方面有障碍。第三种病人在左侧颞叶有明显萎缩，他们在命名和名词理解方面有障碍。这些研究结果显示，在神经解剖结构不同的左半球额叶部分和颞叶分别在名词和动词的词汇加工过程中起着重要作用，大脑左侧额叶部分动词的加工和产生有关，左侧颞叶部分主要是名词的加工和产生有关。

4. 句子加工

尽管正字法，语音和词汇方面的研究很多，但是有关句子处理方面的研究比较少。事实上，在本文中报道的大多数研究把句子处理作为一个整体结构，而不是任务特定成分的激活。有关句子加工的实验研究揭示句子处理涉及“经典语言脑区”（比如：布罗卡区和韦尼克区）及其附近区域。Bavelier [71] 的句子阅读实验中要求被试阅读短陈述句，或实验条件下观察辅音字符串，要么在控制条件下观察句子或让被试观察不熟悉的非语言——美国手语(ASL)字符。有关句子加工独特的激活主要发现在布罗卡区和韦尼克区(包括缘上回)、左半球颞叶中上回、右半球颞上回、左下额回和角回。

角回部分的激活可能是由于词汇加工所引起的，这与前人的研究结果相符合[71] [72]。布罗卡区的激活说明这一区域主要在句法加工中起主要作用[2]。韦尼克区的激活很可能是语音加工(把文字转换成语音编码)或词形加工的结果[11] [73]。关于颞上回和额下回的假设还不太清楚。这两个区域口头信息的维持(maintenance)和口头声音的加工有关[21]。除此之外，额叶区域与词汇加工有关，而上颞区句法和语义加工和词汇加工有关[70]。

其他研究中也运用了类似的激活模型[74] [75]。这些研究结果表明，与以前的神经心理学模型假设相比颞叶区更积极参与句子的加工。Ni W. [73] 做一个分开参与句子加工过程的实验。在两个实验中研究人员试图定位句法和语义加工的相关功能。与 Bavelier 的研究不同，刺激材料是以口头形式呈现。第一个实验中被试进行异常判断任务。a) 句法异常句子(比如: tree can grew), b) 语义异常句子(比如: tree can eat), c) 重音相同和不同(same/different)的语气对(tone pair)。相对于语气判别，句子判断任务激活双侧额叶下，中，上皮层以及颞上回。这些区域的激活与 Bavelier 的实验结果相匹配，但 Bavelier 的实验中两侧前额部分的激活比较显著，这可能是注意或实验战略成分或使用的听觉刺激有关系(与视觉刺激相反)。

第二类实验，被试会听到与第一个实验相同的实验材料，但是没有要求被试判断异常句子。相反，要求被试判断这个句子中是否包括生命体(animate being)。这个实验的主要目的是要观察句法和语义异常时大脑哪些区域发生变化。事件相关实验设计，使得我们三个窗口上观察有关异常句的表征(早期，中期和晚期)。句法异常句子的激活早期阶段没有什么变化，但是到了晚期，左半球额下、中区域被激活。语义异常的早期阶段双侧额叶区出现激活(额中、上回)。这些区域伴随着左半球颞叶中、上回的激活到了中间和后面一直保持激活。因此句法异常句子在布罗卡区和其附近的额叶区出现偏侧化的激活，然而，语义异常句子在两侧半球的额叶及其后颞叶部分出现激活。

这些实验结果表明，不同类型的异常句子在大脑的不同区域被激活。所以语义异常产生更广泛的激活。这可能因为大脑处理语义异常句子时要消耗较多的精力召回适当的信息来使异常句子(tree can eat)能被接受[76] [77]，另外一个原因是与句子难度的增加有系。(比如：使一个句子更形象化的解释)。但是句法异常句子的激活是由什么引起的，这一点还不太清楚，初步看来，这些句法异常句子似乎不需要从错误中恢复过来再进行分析。因为自然语言中使用的很多句子是某种程度上不符合语法的，这些激活有可

能是大脑试图把这些句子修正并再进行加工。句法异常句子的加工过程中布罗卡区的激活可能是由大脑检测到的异常字母序列所引起的。另外一个让被试听异常弦(anomaloua chord)结尾的和声实验中也出现同样的激活[78]。所以想更详细的了解语言加工系统,遇到这种句法异常句子的时候需要进一步的观察。

还有一些研究评估句法复杂性变化如何改变大脑活动。研究者用正电子发射断层扫描(PET)进行实验,实验中要求被试阅读中央嵌入式句(Center-embedded sentence) (比如:警察开的车撞上墙了)与右分支句(right-branching sentence) (比如:警察开了撞上墙的车)。他们发现中央嵌入式句子越复杂额下叶部分越被激活。Just M.A. 做了一个相关的研究,阅读连接句子(conjoined sentence) (记者攻击参议院并承认错误)与主语相关句(subject-relative sentence) (攻击参议院的记者承认错误)和宾语相关句(object-relative sentence) (参议院攻击的记者承认错误)相互比较。这个阅读任务与阅读辅音字符串的控制任务相互比较。他们发现与阅读任务相比,控制任务在大脑左半球出现更大的激活,除此之外,他们还发现随着句子难度的提高,大脑右半球与左半球同源区域的激活会增加。他们把大脑右半球的激活归因于主语相关和宾语相关句子加工的资源密集型性质。这与语言处理中的基于能力的语言理论(capacity-based theory of language)相符合。尽管如此,激活程度的增加并不意味着工作记忆资源的招集。大脑右半球的激活有可能反映韵律信息的获取而不是本身加工能力的提高。右半球的这些激活有可能反应词汇歧义的消歧过程。

总而言之,参与句子加工的大脑区域包括,韦尼克区(词汇和语音处理),上、中颞叶区域(语音,词汇,语义处理),布罗卡区(语言产生,句法分析),额下回(语音,句法,语义处理),上、中额叶区(语义)和右半球同源区域。句子加工中被发现的大脑右半球的激活程度随着任务性质和减法中所用的控制变化而改变。右半球似乎也参与词汇和韵律的加工,这些区域的激活又反映了对任务绩效资源的招集。

5. 篇章加工

对篇章加工的研究有两类。第一类是有关篇章理解的一般加工[75]。第二类是篇章具体细节的加工,比如:理解篇章寓意或文本主题(moral or theme of a text)。

Tzouri N [11]的实验中,受试者被动地听故事。听力任务与休息状态相互比较发现,听故事激活大脑双侧颞极、双侧颞上回和左侧颞中回。但实验缺乏严格控制任务(比如:控制任务在多个成分加工的实验中,允许更精确的确定实验任务中哪些脑区是特定成分的基础),研究者主要探索大脑特定解剖特征和语言偏侧化之间的关系。这种实验设计无法详细地分析与篇章有关的过程。Robertson [75]等人通过一些实验来研究篇章的理解过程。其中一个实验中,被试阅读与篇章有关的但是相互没有关联的句子以及非字母字符串,该篇章和没有连贯的句子在一组句子中通过定冠词“the”来实现,而另一组通过“a”,“an”等不定冠词来实现。这种操作产生的大脑左半球的激活没有改变,但是有关联的句子在大脑右半球的上额叶部分被激活。

Robertson 等人的另一个实验是故事加工实验,其实验显示故事加工激活分布在大脑右半球的很多部分:楔前叶、楔叶、后扣带回、双侧颞顶枕区、额极、沿着右颞上沟延长到右颞极区。有趣的是当被试要求加工这些图片故事的时候很多相同的区域被激活,其中一些图片呈现简单的叙述,就像阅读任务中使用的结构。这表明这些激活区域并不是专门的语言中心,代表故事理解中的一般过程(比如:记忆的检索过程)。

St. George [79]的实验让被试阅读两种有标题的和没有标题的故事,他们发现的激活模式与 Robertson 的实验结果几乎相同。但是当被试阅读无标题的故事时大脑右半球的激活比较强烈。这可能是无标题的故事相对于有标题的故事通过更大程度的消耗来创造一个连贯性的情景。有趣的是, Mazoyer [11]报道了他的研究,其中被试被动地听一个故事,他的实验中没有报道有关大脑右半球额叶部分的激活。Tzourio 的实验也报道过同样的结果。这表明右半球的激活主要是来自于被试建立的故事表征,而不是声音加工。

篇章加工涉及广泛的右半球区域,这与其他研究所指出的右半球在语言处理的不同方面的作用相符

合：韵律加工[14]，反语和隐喻的加工[44]，词汇加工[70]，抽象词的加工[43]。研究表明，增加任务难度可以导致更加分散的脑区激活，还有一些人发现加工复杂句子的时候右半球也会被激活。实际上，篇章加工中颞极的激活似乎对该任务来说是唯一的(相对于其他语言任务)，表明这里有一个超出句子加工的要求参与篇章加工的过程。这些研究结果还认为，这些实验中观察到的右半球的激活不仅仅是招集(recruitment)更多加工资源。在楔前叶区(与其他皮层区域有广泛联系并参与记忆加工)的激活显示篇章加工有关的右半球额叶的激活可能是创建连贯故事加工过程中所需要的特定记忆加工的结果。

有一些学者也做了有关篇章加工具体方面的研究。他们使用正电子发射断层扫描(PET)技术来研究[80][81]，实验使用的材料是伊索寓言(Aesop's fables)。其实验采用的是减法，当有关语义任务的激活(比如：回答寓言是否与一个特定的角色有关)减去有关寓意(moral)任务(比如：回答寓言是否包含给定的寓意)的激活时，发现右半球额下回和右半球颞中回被激活。

Fletcher [82]等人让被试阅读三种类型的文本：心灵故事理论(theory-of mind stories)(要求被试做出有关人物内在心理状态的推理)，物理故事(Physical stories)(是物理事件的，被试不需要对故事人物的心理过程做出推论)，另外一个是无关句子的集合。故事加工激活大脑双侧颞极、左颞上回以及后扣带皮层。有关心灵故事理论，物理故事激活后扣带和左额中回区域。后扣带链接整个皮层，包括前额叶和颞叶中区，该区域与情节记忆的编码相关联。

Brockway [83][84]提出了海马结构在故事加工和存储过程对记忆来说非常重要。他在对颞叶癫痫患者一项研究中指出，左侧海马区的受损导致篇章有关长期记忆的损伤(35分钟阅读和回忆的分离实验)。基于该实验和其他记忆实验结果相比较，作者得出结论：篇章加工过程中左侧颞叶区在维持输入信息的一致性上起着非常重要作用。

因此，篇章加工似乎涉及到很多的大脑区域，低级语言加工部分(词汇和句子)，以及专门篇章加工区域：右侧颞叶和额叶部分(篇章加工的综合方面)和双侧颞极部分。这些区域的确切功能尚不清楚[85]。目前学者的假设是篇章加工过程的激活区域是记忆加工的功能。

在篇章加工中，有趣的一个发现是颞极区域的激活。这个区域在以前的研究中很少有人提到，这个区域在篇章加工过程中被激活。学者认为颞极与颞叶和额叶共享连接成一个整体的功能。Damasio H. [86]又用颞极及其附近区域损伤病人的实验来证明颞极也参与词汇的检测。因为对颞极知之甚少，这一区域在语言处理过程中的作用是今后可以探索的重要方向。

6. 结论

本文我们主要论述了生物物理学家、神经学家、心理学家和语言学家利用神经成像技术研究大脑语言加工和语言产生及其工作机制方面的开创性工作。我们在前人研究成果的基础上将参与语言加工和语言产生过程的大脑区域总结为如下：

前额区：下额叶区域包括布罗卡区有关语音加工、语义决策任务、句子和篇章级加工任务中出现比较明显的激活。这些区域还被认为参与短期记忆的存储和保存。中、上额叶部分主要在语义决策任务、语义记忆任务中显示明显激活。布罗卡区在句法加工以及音乐认知任务中被激活(Maess 2001)。

右侧半球出现相同区域的激活。下额叶在抽象词加工、句子加工、篇章加工、话语情感内容的检测任务和一些有限条件下语音加工过程中被激活。上额叶部分语义决策任务和篇章加工的综合方面被激活。

颞叶和后部区域：上颞叶部分主要在语音声音的听觉处理，语义加工，句法加工(主要在前区)过程中被激活。中颞叶部分主要参与语音和语义加工。颞极主要参与篇章级任务的加工。韦尼克区以及缘上回主要参与语义加工，语音加工的某些方面(比如：把文字转换成语音表征)。后下颞叶区以及枕颞沟参与早期视觉词加工。顶叶参与篇章加工。小脑主要参与认知检索任务，决策任务以及命名任务的加工。

右半球的很多相同的部分被激活。顶叶部分像颞极一样参与篇章加工。上颞叶区域参与早期语音加工、难句加工及篇章加工。在早期词汇加工中,很多双侧视觉加工区域被激活。右侧颞叶区与韵律加工有关系。

随着科学技术的迅速发展,大脑语言加工方面的研究也进展很快。统计方法、实验方法和迅速发展的神经成像技术,让研究者很精确和真实地获得神经过程中的相关数据和图像信息。上述的这些研究主要回答神经加工中的“在哪儿”(大脑的那个区域)问题。本综述可以很容易看出参与语言加工的主要脑区:在左侧半球,上、中、下颞叶区和颞极,上、中、下额叶区。在右侧半球,额区、颞叶区域和左脑的同源区域牵涉到语言加工。当然,这些研究结果需要广泛的复制到以后的实验范式中。随着我们更加确定有关语言处理过程中“在哪儿”问题的时候,我们应该开始考虑重要的“如何?”问题(语言处理的这些过程如何去完成其任务)。随着影像技术时间和空间上的性能提高,研究者开始观察大脑皮层的微观结构并精确的确定大脑加工一个给定类型的过程。除此之外,还有许多领域在神经语言学或心理语言学上没有详细的研究。比如,像语言处理中语用信息的加工和语言使用中会话信息的加工方待认知神经学家和心理语言学家进一步的研究。大脑语言区域的解剖属性方面的研究也是研究者应该去探索的一个问题。

基金项目

这项工作受到国家自然科学基金面上基金(61171114)和重点基金(61433015)和国家社会科学基金重大(14ZDB154)支持。

参考文献 (References)

- [1] 江铭虎 (2013) 脑与语言认知. 清华大学出版社, 北京.
- [2] Zurif, E. and Swimmer, D. (1994) The neuropsychology of language, See Gernsbacher 1994. Special Issue of Studies in Second Language Acquisition, Cambridge, MA: Cambridge University Press. London.
- [3] Obler, L.K. and Gjerlow, K. (1999) Language and brain. Cambridge University Press, New York.
- [4] Turner, R. and Jezzard, P. (1994) Magnetic resonance studies of brain functional activation using echo-planar imaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **90**, 4952-4956.
- [5] Cohen, J.D., Noll, D.C. and Schneider, W. (1993) Functional magnetic resonance imaging: Overview and methods for psychological research. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, **25**, 101-113.
- [6] Bradley, R., Zarahn, P.E. and D'Esposito, M. (2000) Using event-related fMRI to assess delay-period activity during performance of spatial and nonspatial working memory tasks. *Brain Research, Brain Research Protocols*, **5**, 57-66.
- [7] Caplan, D. (1994) Language and brain. See Gernsbacher 1994. Special Issue of Studies in Second Language Acquisition, Cambridge, MA: Cambridge University Press. London.
- [8] Alavi, A., Reivich, M., Greeberg, J., Rosenquist, A. and Hand, P. (1981) Mapping of functional activity in brain with 18F-fluoro-deoxyglucose. *Seminars in Nuclear Medicine*, **11**, 24-31.
- [9] Peterson, S.E., Fox, P.T., Ponsler, M.I., Mintum, M. and Raichle, M.E. (1998) Positron emission tomography studied of the cortical anatomy of single word processing. *Nature*, **331**, 585-589.
- [10] Frith, C.D., Friston, K., Liddle, P.K. and Frackowiak, R.S. (1991) A PET study of word finding. *Neuropsychologia*, **29**, 1137-1148.
- [11] Mazoyer, M.B., Tzourio, N., Frak, V., Syrota, A. and Murayama, N. (1993) The cortical representation of speech. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **5**, 467-479.
- [12] Binder, J.R., Swanson, S.J., Hammeke, T.A., Morris, G.L. and Mueller, W.M. (1996) Determination of language dominance using functional MRI: A comparison with the Wada test. *Neurology*, **46**, 978-984.
- [13] Binder, J.R. (1997) Neuroanatomy of language processing studies with functional MRI. *Journal of Clinical Neuroscience*, **4**, 87-94.
- [14] Buchanan, T.W., Lutz, K., Mizazade, S., Specht, K. and Shah, N.J. (2000) Recognition of emotional prosody and verbal components of spoken language: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, **9**, 227-238.
- [15] Peterson, S.E. and Fiez, J.A. (1993) The processing of single words studied with positron emission tomography. *The*

Annual Review of Neuroscience, **16**, 509-530.

- [16] Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E. and Pugh, K.R. (1999) Sex differences in the functional organization of the Brain for language. *Nature*, **373**, 607-609.
- [17] Gabrieli, J.D.E., Poldrack, R.A. and Desmond, J.E. (1998) The role of left prefrontal cortex in language and memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **95**, 906-913.
- [18] Wagner, A.D., Maril, A., Bjork, R.A. and Schacter, D.L. (2001) Prefrontal contributions to executive Control: FMRI evidence for functional distinctions within lateral prefrontal cortex. *NeuroImage*, **14**, 1337-1347.
- [19] Xu, B., Grafman, J., Gaillard, W.D., Ishii, K. and Vega Bermudiz, F. (2001) Conjoint and extended neural Neural networks for the computation of speech codes: The neural basis of selective impairment in reading words and pseudo-words. *Cerebral Cortex*, **11**, 267-277.
- [20] Peterson, S.E., Fox, P.T., Posner, M.I., Mintum, M. and Raichle, M.E. (1989) Positron emission tomographic studies of the processing of single words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **1**, 153-170.
- [21] Demonet, J.F., Price, C., Wise, R. and Frackowiak, R.S. (1994) Differential activation of right and left Posterior sylvian regions by semantic and phonological task: A positron-emission Tomography study in normal human subjects. *Neuroscience Letters*, **182**, 25-28.
- [22] Zatorre, R.J., Meyer, E., Gjedde, A. and Evans, A.C. (1996) PET studies of phonetic processing of speech: Review, replication, and reanalysis. *Cerebral Cortex*, **6**, 21-30.
- [23] Cuenod, C.A., Bookheimer, S.Y., Hertz-Pannier, L., Zeffiro, T.A., Theodore, W.H. and Le Bihan, D. (1995) Functional FMRI during word generation, using conventional equipment: A potential tool for language localization in the clinical environment. *Neurology*, **45**, 182-195.
- [24] Piece, C.J., Wise, R.J., Waton, J.D., Patterson, K. and Howard, D. (1994) Brain activity during reading. The effects of exposure duration and task. *Brain*, **117**, 1255-1269.
- [25] Pugh, K.R., Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Constable, R.T. and Skudlarski, P. (1996) Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, **119**, 1221-1238.
- [26] Henderson, V.W. (1986) Anatomy of posterior pathway in reading: A reassessment. *Brain and Language*, **29**, 119-133.
- [27] Fujimaki, N., Miyauchi, S., Putz, B., Sasaki, Y. and Takino, R. (1999) Functional magnetic resonance imaging of neural activity related to orthographic, phonological, and lexical-semantic judgments of visually presented characters and words. *Psychological Science*, **7**, 278-283.
- [28] Small, S.L., Noll, D.C., Perfetti, C.A., Hlustik, P., Wellington, R. and Schneider, W. (1996) Localizing the lexicon for reading aloud: Replication of a PET study using FMRI. *NeuroReport*, **7**, 961-965.
- [29] Peterson, S.E., Fox, P.T., Snyder, A.Z. and Raichle, M.E. (1990) Activation of extrastriate and frontal cortical areas by visual words and word-like stimulus. *Science*, **249**, 1041-1044.
- [30] Polk, T.A. and Farah, M.J. (2002) Functional MRI evidence for an abstract, not perceptual, word-form area. *Journal of Experimental Psychology: General*, **131**, 65-72.
- [31] Raichle, M.E. (1996) What words are telling us about the brain. *Cold Spring Harbor Symposium*, **61**, 9-14.
- [32] Demb, J.B., Desmond, J.E., Wagner, A.D., Vaiday, C.J. and Glover, G.H. (1995) Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: A functional MRI study of task difficulty and process specificity. *The Journal of Neuroscience*, **15**, 5870-5878.
- [33] Gabrieli, J.D.E., Demb, J.B., Stone, M.V., Desmond, J.E. and Wagner, H.D. (1996) Functional magnetic resonance imaging of semantic memory process in frontal lobes. *Psychological Science*, **7**, 278-283.
- [34] Frost, J.A., Binder, J.R., Springer, J.A., Hammeke, T.A. and Bellgowan, P.S. (1999) Language processing is strongly left lateralization in both sexes. Evidence from functional MRI. *Brain*, **122**, 1137-1148.
- [35] Binder, J.R., Rao, S.M., Hammeke, T.A., Frost, J.A. and Bandettini, P.A. (1995) Lateralized human brain language system demonstrated by task subtraction functional magnetic resonance imaging. *Archives of Neurology*, **52**, 593-601.
- [36] Phelps, E.A., Hyder, F., Blamire, A.M. and Shulman, R.G. (1997) FMRI of prefrontal cortex during overt verbal fluency. *NeuroReport*, **8**, 561-565.
- [37] Schlosser, R., Hutchinson, M., Joseffer, S., Rusinek, H. and Saarimaki, A. (1998) Functional resonance imaging of human brain activity in a verbal fluency task. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, **64**, 492-498.
- [38] Weiller, C., Isensee, C., Rijntjes, M., Huber, W. and Muller, S. (1995) Recovery from Wernicke's aphasia: A positron emission tomographic study. *Annals of Neurology*, **37**, 723-732.
- [39] Wildgruber, D., Kischka, U., Ackermann, H., Klose, U. and Grodd, W. (1999) Dynamic pattern of brain activation during sequencing of word strings evaluated by FMRI. *Cognitive Brain Research*, **7**, 285-294.
- [40] Ojemann, J.G., Buckner, R.L., Akbudak, E., Snyder, A.Z. and Ollinger, J.M. (1998) Functional FMRI studies of

word-stem completion: Reliability across laboratories and comparison to blood flow imaging with PET. *Human Brain Mapping*, **6**, 203-215.

- [41] Desmond, J.E., Sum, J.M., Wagner, A.D., Demb, J.B. and Shear, P.K. (1995) Functional FMRI measurement of language lateralization in Wada-tested patients. *Brain*, **188**, 155-178.
- [42] Chee, M.V., O'Graven, K.M., Bergida, R., Rosen, B.R. and Savoy, R.L. (1990) Auditory and visual word processing studied with FMRI. *Human Brain Mapping*, **7**, 15-28.
- [43] Kiehl, K.A., Liddle, P.F., Smith, A.M., Mendrek, A., Forster, B.B. and Hare, R.D. (1999) Neural pathways involved in processing of concrete and abstract words. *Human Brain Mapping*, **7**, 225-233.
- [44] Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E. and Schenone, P. (1994) The role of right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study. *Brain*, **117**, 1241-1253.
- [45] Beauregard, M., Chertkow, H., Bub, D., Mutha, S., Dixon, R. and Evans, A. (1997) The neural substrate for concrete, abstract and emotional word lexica: A positron emission tomography study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **9**, 441-461.
- [46] Chee, M.V., Tan, E.W. and Thiel, T. (1996) Mandarin and English single word processing studied functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, **19**, 3050-3056.
- [47] Vandenberghe, R., Price, C., Wise, R., Josephs, O. and Frackowiak, R.S. (1996) Functional anatomy of a common semantic system for words and pictures. *Nature*, **383**, 354-356.
- [48] Federmeier, K.D. and Kutas, M. (2001) Meaning and modality: influences of context, semantic memory organization, and perceptual predictability on picture processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **27**, 202-224.
- [49] Goro-Temini, M.L., Price, C.J., Josephs, O., Vandenberghe, R. and Cppa, S.F. (1997) The neural system sustaining face and proper-name processing. *Brain*, **121**, 2103-2118.
- [50] Marlsen-Wilson, W. and Tyler, L.K. (1997) Dissociating types of mental computation. *Nature*, **387**, 592-594.
- [51] Pinker, S. (1997) Words and rules in the human brain. *Nature*, **387**, 547-548.
- [52] Ullman, M.T., Cokin, S., Coppola, M., Hickok, G. and Growdon, J.H. (1997) A neural dissociation within language: Evidence that metal dictionary is part of declarative memory, and that grammatical rules are processed by the procedural system. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **9**, 266-276.
- [53] Jaeger, J.J., Lockwood, A.H., Kemmerer, D.L., van Valin, R.D., Murphy, B.W. and Khalak, H.G. (1996) A positron emission tomography study of regular and irregular verb morphology in English. *Language*, **72**, 451-497.
- [54] Idefrey, P., Brown, C., Hagoort, P., Herzog, H., Sach, M. and Seits, R.J. (1997) A PET study of cerebral activation patterns induced by verb inflection. *NeuroImage*, **5**, S548
- [55] Clahsen, H., (1999) Lexical entries and rules of language: A multidisciplinary study of German inflection. *Behavioral and Brain Sciences*, **22**, 991-1060.
- [56] Pinker, S. (1991) Rules of language. *Science*, **253**, 530-535.
- [57] Pinker, S. (1999) Words and rules: The ingredients of language. Basicbooks, Inc, New York.
- [58] Schreuder, R. and Baayen, R.H. (1995) Modeling morphological processing. In: Feldman, L.B., Ed., *Morphological Aspects of Language Processing*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc, Hillsdale, 131-154.
- [59] Marslen Wilson, W. and Tyler, L.K. (1998) Rules, representations, and the English past tense. *Trends in Cognitive Sciences*, **2**, 428-435.
- [60] Ullman, M.T. (1999) Acceptability ratings of regular and irregular past tense forms: Evidence for a dual system model of language from word frequency and phonological neighborhood effects. *Language and Cognitive Processes*, **14**, 47-67.
- [61] Ullman, M.T. (2001) A neurocognitive perspective on language: The declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience*, **2**, 717-726.
- [62] Ullman, M.T. (2004) Contributions of memory circuits to language: The declarative/procedural model. *Cognition*, **92**, 231-270.
- [63] Bybee, J. (1995) Regular morphology and the lexicon. *Language and Cognitive Processes*, **10**, 425-455.
- [64] Joanisse, M.F. and Seidenberg, M.S. (1999) Impairments in verb morphology after brain injury: A connectionist model. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **96**, 7592-7597.
- [65] McClelland, J.L. and Patterson, K. (2002) Rules or connections in past-tense inflections: What does the evidence rule out? *Trends in Cognitive Sciences*, **6**, 465-472.
- [66] Price, C., Wise, R., Ramsay, S. Friston, K. and Howard, D. (1992) Regional response differences within the human au-

- ditory cortex when listening to words. *Neuroscience Letters*, **146**, 179-182.
- [67] Pulvermuller, F. (1996) Hebb's concept of cell assemblies and the psychophysiology of word processing. *Psychophysiology*, **33**, 317-333.
- [68] Cabeza, R. and Nyberg, L. (2000) Imaging cognition. An empirical review of 275 PET and FMRI studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 1-47.
- [69] Bader, M. (1998) Prosodic influence on reading syntactically ambiguous sentence. *Studies in Theoretical Psycholinguistics*, **21**, 1-46.
- [70] Damasio, H., Grabowski, T.J., Tranel, D., Hichwa, R.D. and Damasio, A.R. (1996) A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, **380**, 499-505.
- [71] Bavelier, D., Corina, D., Jezzard, P., Padmanabhan, S. and Clark, V.P. (1997) Sentence reading: A functional MRI study at 4 Tesla. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **9**, 644-686.
- [72] Binder, J.R., Frost, J.A., Hammeke, T.A., Rao, S.M. and Cox, R.W. (1996) Function of the left planum temporale in auditory and linguistic processing. *Brain*, **119**, 1239-1247.
- [73] Ni, W., Constable, R. T., Mencl, W.E. and Pugh, K.R. (2000) An event related neuroimaging study distinguishing form and content in sentence processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, **12**, 120-133.
- [74] Demosia, A.R. and Demasio, H. (1992) Brain and language. *Scientific American*, **267**, 88-95.
- [75] Robertson, D.A., Gernsbacher, M.A., Guidotti, S.J., Robertson, R.R.W., Irwin, W., Mock, B.J. and Campana, M.E. (2000) Functional neuroanatomy of the cognitive process of mapping during discourse comprehension. *Psychological Science*, **11**, 255-260.
- [76] Dehaene, S., Dupoux, E., Mhler, J., Cohen, L. and Paulesu, E. (1997) Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *NeuroReport*, **8**, 3809-3815.
- [77] Demonet, J.F., Chollet, F., Ramsay, S., Cardebat, D. and Nespoulous, J.L. (1992) The anatomy of phonological and semantic processing specificity. *The Journal of Neuroscience*, **15**, 5870-5878.
- [78] MacDonald, M.C., Pearlmutter, N.J. and Seidenberg, M.S. (1994) Lexical nature of syntactic ambiguity resolution. *Psychological Review*, **101**, 676-703.
- [79] St George, M., Kutas, M., Martinez, A. and Sereno, M.I. (1999) Semantic integration in reading: engagement of the right hemisphere during discourse processing. *Brain*, **122**, 1317-1325.
- [80] Frisk, V. and Milner, B. (1990) The relationship of working memory to the immediate recall of stories following unilateral temporal or frontal lobectomy. *Neuropsychologia*, **28**, 121-135.
- [81] Hinke, R.M., Hu, X., Stillman, A.E., Kim, S.G. and Merkle, H. (1993) Functional magnetic resonance imaging of Broca's area during internal speech. *NeuroReport*, **4**, 675-678.
- [82] Fletcher, P.C., Happe, F., Frith, U., Baker, S.C. and Dolan, R.J. (1995) Other minds in the brain: A functional imaging study of "Theory of mind" in story comprehension. *Cognition*, **57**, 109-128.
- [83] Brockway, J.P. (1999) Deep language structure: memory for connected discourse produced unilateral (L) hippocampal activation observed by functional magnetic resonance imaging. *Brain and Cognition*, **40**, 57-60.
- [84] Brockway, J.P., Follmer, R.L., Preuss, L.A., Prioleau, C.E. and Burrows, C.S. (1998) Memory, simple and complex language and the temporal lobe. *Brain and Language*, **61**, 1-29.
- [85] Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T.C. and Frederici, A.D. (2001) Musical syntax is processed in Broca's area: An MEG study. *Nature Neuroscience*, **4**, 540-545.
- [86] Demosia, H., Grabowski, T.J., Tranel, D., Hichwa, R.D. and Damasia, A.R. (1996) A neural basis for lexical retrieval. *Nature*, **380**, 499-505.