

图命名的视觉语言加工双流模型*

汪洁¹ 吴东宇^{2,3} 宋为群¹ 袁英¹

三十多年前,Ungerleider和Mishkin根据恒河猴颞叶下部和顶叶损伤的不同行为,提出颞枕腹侧进行视觉物体识别,而背侧顶叶进行空间视觉加工的视觉双流模型^[1]。在人类,Duffau等^[2]在神经外科手术中实施直接电刺激的同时,让清醒患者图命名时观察到图命名产生的语义错语与视觉腹侧相关的左侧下纵束、下额枕束、钩束连接的脑区有关;图命名出现的语音性错语与弓状束连接的脑区有关。据此,他们提出视觉语言加工的双流模型,即图命名时腹侧流加工语义,背侧流加工语音。下面我们将阐述在神经外科手术中,灰质和白质直接电刺激产生的图命名错误的神经机制。

1 图命名的言语错误

图命名任务是一个敏感的测试,广泛用于术中研究大脑的语言功能。直接电刺激对一个局部脑区的干扰,可能破坏了语言网络维持的一个功能。对大脑进行4s内直接电刺激可以抑制语言加工环路,诱发一个短暂的虚拟损伤。因此,直接电刺激为确定语言功能的脑结构提供了一个独特的、更准确的(约5mm)、可重复实施的方法。

Duffau等^[2]在图命名时直接电刺激左半球不同脑区,观察到视觉性错语、语义性错语、命名不能、词素错语(morphological verbal paraphasia)、音位性错语(phonemic paraphasia)、语音性错语(phonetic paraphasia)和发音障碍。他们将直接电刺激图命名的言语错误所见与Levelt等^[3-4]的词汇产生模型结合起来,概括了词汇产生加工的不同阶段与言语错误的关系。

在Levelt等的词汇产生模型中,词汇产生分为五个阶段:概念准备、词条选择、音韵编码(phonological encoding)、语音编码(phonetic encoding)和发声。概念准备是指大脑把思想、观点等转化成概念的过程,这也是言语产生的最初环节。准备好的概念将会激活心理词典中对应的语义表征(如,表达“狗”的语义特征),词汇化把激活的语义表征转换成词的音位表征。受到激活或提取的音位表征将进一步进

行词法音韵编码(morpho-phonological encoding)。在这一阶段,单词的词汇结构、韵律特征和音段组成被展开,词素单位内的音位信息被组合成符合实际发音情况的音节。在语音编码和发声之间,还有音节发声程序的提取。一种语言经常使用的音节的抽象发声程序被存储在一个“仓库”中,这些音节程序发声时将“从左到右”依次被提取。激活这些程序也归因于语音编码的激活传播。音节发声程序一旦被提取,一个词的发声就立即开始。发声系统计算出执行抽象音节发声程序的最佳方案,指挥呼吸系统和咽喉发出声音^[5]。

视觉性错语指的是在图命名时,因视觉识别障碍出现的错语与目标图片的名称具有较高的视觉相似性。

语义性错语是语义知识提取或词汇选择错误,如把“山羊”说成“绵羊”。在图命名和语义联系任务(金字塔与棕榈树测验),直接电刺激左半球颞上回后部诱发出选择性命名不能,而无理解缺陷。临近区诱发理解障碍,但命名保留^[6-7]。为了解释这种双分离,Duffau等^[2]提出增加一个平行通路,在视觉物体形态和它的语音形式之间的直接联系,避开语义通路(图1)。有了这个直接联系,词法音韵码(morpho-phonological code)的提取错误引起词素性错语(morphological verbal paraphasia)(如把“elephant”说成“telephone”)。他们认为,来自视觉物体形态和语音形式的粘合,词条也会最大化激活。这一观点需要更多的证据进一步证实。

音位性错语是指词汇的语音出现替代,如在直接电刺激时把“goat”说成“boat”,发生在音韵编码阶段(phonological encoding step);而语音性错语(phonetic paraphasia)即语音歪曲,在语音编码(phonetic encoding)(将抽象的语音码转换成言语运动计划)时产生^[8]。言语停滞时,完全不能说话,舌仍能够快速执行转换运动^[9],这最后一点是与完全性呐吃的区别。最后,构音障碍(极端情况下呐吃)发生在由直接电刺激造成的发音程序的干扰。言语错误也可以看作是各阶段信息加工本身的干扰,或在每个阶段之间信息通达或转换的失败。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.06.025

*基金项目:国家自然科学基金资助课题(81171011,81272173,81671048,81572220);首都临床特色应用研究(Z121107001012144,Z171100001017028,Z171100001017111);国家科技支撑计划(2013BAH14F03)

1 首都医科大学宣武医院康复医学科,北京,100053; 2 中国中医科学院望京医院; 3 通讯作者

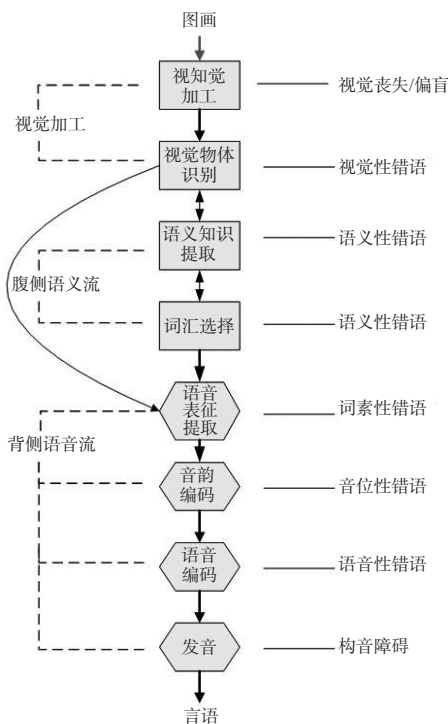
作者简介:汪洁,女,硕士,副主任技师; 收稿日期:2017-06-28

2 图命名的视觉加工阶段及其神经机制

图命名的第一阶段是视知觉加工。视放射^[10]和初级视皮质直接电刺激^[11]可以诱发闪烁和对侧视野可逆性视觉丧失,显示第一阶段视知觉抑制。图命名的第二阶段是视觉识别。枕颞后部轴突(下纵束)的电刺激产生视觉性错语。该束由连接着视觉皮质和视觉物体形态区(visual object form area,简称“视觉物形区”)的连续U形纤维组成^[12]。该区位于枕颞基底部,涉及了图命名加工的第二阶段,即物体识别。视觉物形区临近视觉词形区,在枕颞皮质存在平行的两条通路,分别涉及了词形和物体识别。枕颞皮质下白质纤维电刺激,可产生失读症,刺激上部纤维产生命名不能。从而,可以造成失读症和图命名困难之间的双分离^[13-14]。

Mandonnet等^[12]对1例24岁男性癫痫患者于术中操作图命名任务,在左颞叶下部与梭状回之间的接合部,连续刺激(三个试验)产生三个错语,患者把黑白线条图“扶手椅”(椅子靠背有一个圆形装饰)说成“镜子”,“手风琴”说成“剃须刀”,“勺子”说成“冰淇淋”。刺激皮质下白质产生类似的视觉性错语,把“假面具”说成“猫”,“铁丝网”说成“渔网”。刺激下纵束U形纤维的后部产生视觉性错语,表明枕叶和言语视觉物形区之间的下纵束的间接通路是图命名加工的第二阶段,即视觉识别(图1)。

图1 图命名的语言加工模块



左侧是模块所对应的加工信息流。右侧是图命名加工模块损伤时出现的视觉和言语症状。

3 图命名视觉语言加工的腹侧流与背侧流

视觉信息加工被分为两个加工流:腹侧流和背侧流。腹侧流加工物体识别,即看到的是“什么”通路;背侧流分析空间位置,即看到的事物在“哪里”通路^[15]。根据图命名时直接电刺激诱发的语言功能障碍,Duffau等^[2]提出了更详细的视觉识别后视觉语言加工的双流模型。腹侧流涉及视觉信息到意义的映射,背侧流经视觉-语音转换将视觉信息映射到发音。由于直接电刺激引起的语音和语义加工之间的双分离,对此他们提出两者是平行加工,而不是序列加工。

从言语视觉物形区输出可能存在三条解剖通路。首先,前部下纵束的U形纤维,与更前的基底部颞叶语言区,这些区域即使涉及语言加工,但对语言不是最重要的。另外两条在后基底部颞区相互连接、相互作用,对语言加工至关重要的纤维是:①下枕额束,从颞枕区到眶额区,构成语义加工的“腹侧通路”;②弓状束,从颞中、下回后部连接到额下回,构成语音加工的“背侧通路”^[16]。与图命名相关的视觉物形区可能是从枕叶皮质传递的视觉信息与腹侧和背侧流内平行加工之间的关键区(图2)。左后梭状回皮质是抽象视觉形态信息和高层次属性刺激,如语音和意义相关刺激之间的界面。

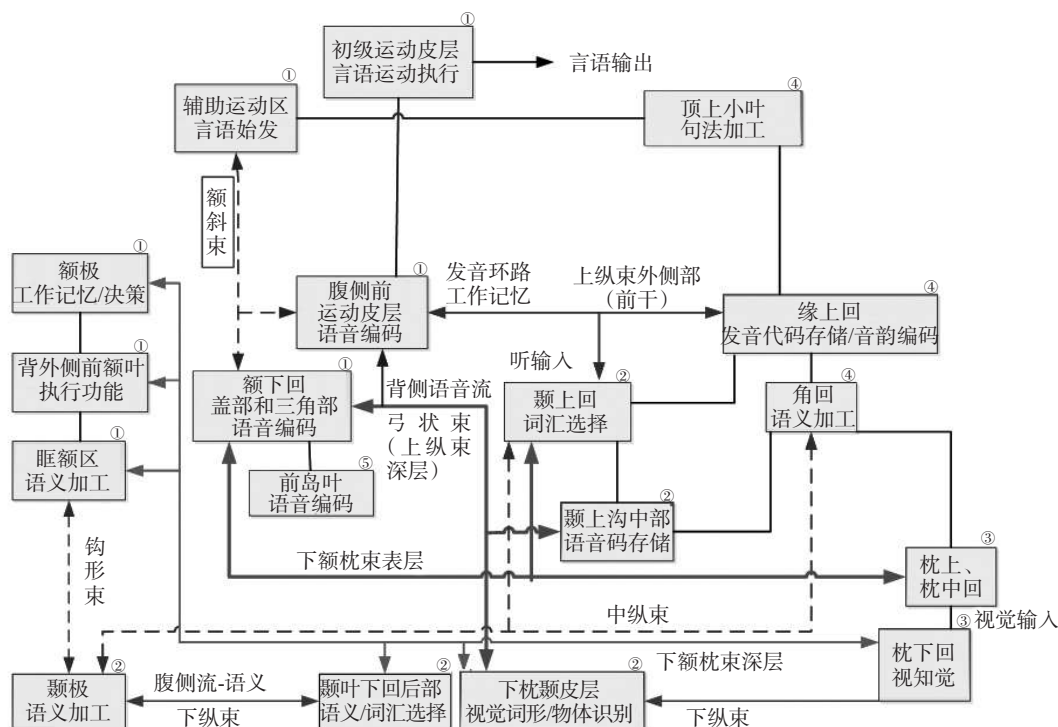
3.1 图命名的视觉腹侧语义流

腹侧通路被分为直接通路(下额枕束)和间接通路(由前下纵束和钩束组成,图2)^[17]。解剖研究发现下额枕束的前部皮质终端由额下回和背外侧前额叶组成,后部皮质终端在后枕叶和视觉物形区^[18-19]。腹侧语义流在皮质手术中得到证实。术中沿着颞上沟后部、背外侧前额叶和额下回眶部直接电刺激,观察到语义性错语。在侧脑室下角顶部、岛叶下外囊和最外囊的底部,以及在连接背外侧前额叶皮质更前部的白质诱发出语义性错语。

除了由下额枕束连接的直接腹侧通路外,存在一个间接腹侧语义通路,位于颞极水平。颞极被认为是“集线器”,它是一个功能中心,将来自单模态系统的众多数据进行多模态整合。这一间接腹侧流由下纵束前部构成,连接视觉物形区与颞极,经连接颞极与额下回眶部的钩束中转^[20]。钩束连接额眶皮质与颞极(图2),前颞皮质和腹外侧前额叶涉及了语义认知。前颞与语义记忆的提取有关^[21]。基本的图命名需要低水平的语义控制^[22],直接电刺激钩束对这一加工起的作用不大。在更特异性水平的命名(包括人名)可能需要更多的执行控制,因此钩束直接电刺激显示了这个作用。损伤-症状映射研究也显示钩束损害伴有特异性命名(如,著名人物)缺陷,而下纵束损害伴有非特异性命名(如,兔子)损害^[23]。

另一条通路,中纵束起源于颞上回后部、角回,终止于颞极(图2),沿着颞上回内白质行走,它也可能参与到腹侧语义

图2 图命名的视觉腹侧语义流与背侧语音流



框内①表示额叶,②表示颞叶,③表示枕叶,④表示顶叶,⑤表示岛叶。无箭头连线表示U纤维。

通路。但是,皮质下该束的直接电刺激没有诱发任何命名障碍^[24]。因此,它的真正功能作用仍不清楚。

在正常人图命名的功能影像研究中发现,对应于腹侧流的左颞下回后部,涉及了词汇选择,该区损伤出现语义性错语^[25]。有时视觉性错语与语义性错语难以鉴别,如把“老虎”命名为“豹子”,两者在视觉上非常相似,在语义上具有许多相似特征。因此,在临床检查时,除了应具有一定的测试项目,而且也要避免将视觉和语义相似的物体作为测试项目,以提高鉴别诊断率。

3.2 图命名的视觉背侧语音流

背侧语音流由上纵束的两个亚分支组成^[26]。深部是经典的弓状束,它源于颞叶尾部,主要是颞下回和颞中回,它绕着岛叶,并向前到额叶结束,基本上终止在腹侧前运动皮质和额下回盖部。左颞上沟中部是词汇语音代码的存储区,左颞顶后部涉及了音位提取和编码,损伤可出现音位性错语^[25],当刺激顶下小叶和额下回、岛上沟的上后部周围白质也产生音位性错语^[27]。在功能方面,该束损害产生传导性失语症,其特征是言语产生时出现音位性错语。弓状束介导的背侧流的部分作用是语音加工。颞下回后部是弓状束的后部皮质起源^[28],相当于视觉物形区(图2)。该区涉及了视觉材料的语义和语音加工^[29]。

背侧流的表层由上纵束外侧部前干(也称为第Ⅲ上纵束)支持,它将颞上回后部、缘上回(支持来自躯体感觉和听觉区的反馈信息)与腹侧前运动皮质(它将传入的语音信息转换为发音运动程序)相连^[30],该束涉及了发音。直接电刺激该束产生呐吃,即丧失了说话能力,不能发音、无面部动作^[31]。诱发发音障碍的皮质区还包括岛盖,以及额顶盖部,以及弓状束外侧和腹侧的白质。Duffau等^[32]提出假设,发音代码存储在额顶环路,经上纵束连接腹侧前额叶和前腹侧缘上回。在前部,腹侧前运动皮质携带转换到发音运动程序的音韵和语音信息,传到初级运动区。直接电刺激岛盖连接也诱发发音障碍,可能腹侧前运动皮质到岛叶的连接本身涉及了发音计划。在后部,腹侧缘上回接受来自躯体感觉和听觉区(分别在顶叶和颞上回)的反馈信息。

言语复述涉及了语音工作记忆。由于任何词汇由基本的音位结合而成,言语复述需要大脑短暂存储含有词汇或句子的语音信息。因此,语音工作记忆是语音系统的重要方面。Baddeley的模型将语音加工分为语音存储(涉及左缘上回)和发音复述模块(位于左额下回和腹侧前运动皮质)^[33-34]。上纵束外侧部额顶环路支持言语语音记忆,三角部的背侧连接着缘上回的背侧部。颞上回后部和缘上回,即上纵束外侧后皮质终端直接电刺激^[35],可以造成复述障碍。

这些发现可以解释为什么经典弓状束的直接电刺激并没有破坏复述。因此,伴有音位性错语和复述障碍的传导性失语症,由涉及弓状束语音背侧流(产生音位性错语)和位于弓状束上部的上纵束外侧部(因损害支持语音工作记忆环路,产生复述障碍)的联合损伤造成。

直接电刺激可以观察到语义和语音加工的双分离。刺激下额枕束产生语义性错语(无论是刺激传导束的哪一部分,如颞叶内、岛叶下或额叶),语音性错语得不到诱发。这可能是在颞叶后部视觉物体形态区和额叶之间的直接交流^[36]。这种在广泛网络水平的整合操作可能导致概念化,独立于平行加工的背侧语音通路。另一方面,语音性错语由刺激弓状束产生(无论刺激该传导束的哪一部分,如颞叶后部、顶叶下部或额叶后部),从未观察到语义性错语^[27]。Maldonado等^[27]提出,背侧通路不参与语义加工。

3.3 下额枕束的皮质连接和其他功能

下额枕束表层(背侧成分)终止于额下回,起始端为枕中、枕上回后部和顶上小叶/角回(图2),该通路的确切功能作用尚不清楚^[37]。由于顶上小叶涉及多通道感觉信息整合和空间知觉,前额皮质涉及运动计划,因两者之间的联系,该通路可能参与感觉-运动加工^[37]。也有的研究结果提示该束可能支持语义记忆与言语系统的连接^[38]。顶上小叶还参与更高级的认知功能,如注意、工作记忆和语言加工(如:语句理解)。下额枕束深层(腹侧成分)有三个亚成分,终止于额/前额区^[39]。后部亚成分终止于额中回,和背外侧前额叶,中成分终止于额中回和眶额皮质,前部成分终止于眶额皮质和额极。左下额枕束连接额叶与顶叶和枕叶后下部和颞叶后基底区,涉及了重要的语义加工。下额枕束不同的亚分支可能承担不同的语言和非语言语义加工,如命名、阅读与朗读、注意和视觉加工^[40]。

4 小结

总之,在图命名视觉语言加工中:①后基底枕颞区涉及了视觉物体识别,称为视觉物体形态区或视觉物形区,该区损伤可以造成视觉性错语;②视觉语言加工分为腹侧语义流和背侧语音流,它们是平行加工。因此,可以观察到视觉图命名时语义和语音的双分离。左腹侧枕颞区是视觉识别(视觉词形区、视觉物形区)与语音和语义之间的界面^[41-42],该区损伤可以表现不同程度的朗读(视觉词形区或背侧语音流)损害、视觉词-图匹配(视觉词形区/视觉物形区或腹侧语义流)的损害和图命名时的视觉性错语(视觉物形区)或语义性错语(腹侧语义流)。因此,了解图命名视觉语言加工的双流模型有助于我们对左枕颞损伤患者的语言功能的预后做出判断、选择恰当的语言功能测试、采用恰当的靶点进行非侵入性脑刺激治疗和行为治疗,更好地促进语言功能的恢复。

参考文献

- [1] Ungerleider LG, Mishkin M. Two cortical visual systems. In Ingle DJ, Goodale MA, Mansfield RJW(Eds.), Analysis of visual behavior[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1982.549—586.
- [2] Duffau H, Moritz-Gasser S, Mandonnet E. A re-examination of neural basis of language processing: Proposal of a dynamic hodotopical model from data provided by brain stimulation mapping during picture naming[J]. Brain Lang, 2014, 131:1—10.
- [3] Levelt WJ, Roelofs A, Meyer AS. A theory of lexical access in speech production[J]. Behav Brain Sci, 1999,22(1): 1—38; discussion 38—75.
- [4] Levelt WJ. Spoken word production: A theory of lexical access[J]. Proc Natl Acad Sci USA,2001,98(23):13464—13471.
- [5] 周晓林,庄捷,舒华. 言语产生研究的理论框架[J]. 心理科学, 2001,24(3):262—265.
- [6] Bello L, Gallucci M, Fava M, et al. Intraoperative subcortical language tract mapping guides surgical removal of gliomas involving speech areas[J]. Neurosurgery, 2007,60(1):67—80, discussion 80—82.
- [7] Gatignol P, Capelle L, Le Bihan R, et al. Double dissociation between picture naming and comprehension: An electrostimulation study[J]. Neuro Report, 2004,15:191—195.
- [8] Laganaro M, Python G, Toepel U. Dynamics of phonological-phonetic encoding in word production: Evidence from diverging ERPs between stroke patients and controls[J]. Brain & Language, 2013,126:123—132.
- [9] Matsumoto R, Nair DR, LaPresto E, et al. Functional connectivity in the human language system: A corticocortical evoked potential study[J]. Brain, 2004,127:2316—2330.
- [10] Duffau H, Velut S, Mitchell MC, et al. Intra-operative mapping of the subcortical visual pathways using direct electrical stimulations[J]. Acta Neurochir (Wien), 2004,146(3): 265—269, discussion 269—270.
- [11] Nguyen HS, Sundaram SV, Mosier KM, et al. A method to map the visual cortex during an awake craniotomy[J]. J Neurosurg, 2011,114(4):922—926.
- [12] Mandonnet E, Gatignol P, Duffau H. Evidence for an occipito-temporal tract underlying visual recognition in picture naming[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2009,111(7):601—605.
- [13] Gil Robles S,Carvallo A,Jimenez Mdel M, et al. Double dissociation between visual recognition and picture naming: a study of the visual language connectivity using tractography and brain stimulation[J]. Neurosurgery, 2013,72:678—686.
- [14] Chan-Seng, E, Moritz-Gasser S, Duffau H. Awake mapping for low-grade gliomas involving the left sagittal stratum: anatomofunctional and surgical considerations[J]. J Neurosurg, 2014,120:1069—1077.
- [15] Ungerleider LG, Haxby JV. “What” and “where” in the hu-

- man brain[J]. *Curr Opin Neurobiol*, 1994, 4(2):157—165.
- [16] Martino J, De Witt Hamer PC, Berger MS, et al. Analysis of the subcomponents and cortical terminations of the perisylvian superior longitudinal fasciculus: a fiber dissection and DTI tractography study[J]. *Brain Struct Funct*, 2013, 218(1):105—121.
- [17] Duffau H, Herbet G, Moritz-Gasser S. Toward a pluri-component, multimodal, and dynamic organization of the ventral semantic stream in humans: lessons from stimulation mapping in awake patients[J]. *Front Syst Neurosci*, 2013, 7:44.
- [18] Martino J, De Witt Hamer PC, Vergani F, et al. Cortex-sparing fiber dissection: An improved method for the study of white matter anatomy in the human brain[J]. *J Anat*, 2011, 219(4):531—541.
- [19] Martino J, Brogna C, Robles SG, et al. Anatomic dissection of the inferior fronto-occipital fasciculus revisited in the lights of brain stimulation data[J]. *Cortex*, 2010, 46:691—699.
- [20] Duffau H, Thiebaut de Schotten M, Mandonnet E. White matter functional connectivity as an additional landmark for dominant temporal lobectomy[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2008, 79(5):492—495.
- [21] Binney RJ, Parker GJ, Lambon Ralph MA. Convergent connectivity and graded specialization in the rostral human temporal lobe as revealed by diffusion-weighted imaging probabilistic tractography[J]. *J Cogn Neurosci*, 2012, 24:1998—2014.
- [22] Jefferies E, Lambon Ralph MA. Semantic impairment in stroke aphasia versus semantic dementia: a case-series comparison[J]. *Brain*, 2006, 129:2132—2147.
- [23] Mehta S, Inoue K, Rudrauf D, et al. Segregation of anterior temporal regions critical for retrieving names of unique and non-unique entities reflects underlying long-range connectivity[J]. *Cortex*, 2016, 75:1—19.
- [24] De Witt Hamer PC, Moritz-Gasser S, Gatignol P, et al. Is the human left middle longitudinal fascicle essential for language? A brain electrostimulation study[J]. *Hum Brain Mapp*, 2011, 32(6):962—973.
- [25] Wilson SM, Isenberg AL, Hickok G. Neural correlates of word production stages delineated by parametric modulation of psycholinguistic variables[J]. *Hum Brain Mapp*, 2009, 30(11):3596—3608.
- [26] Catani M, Jones DK, ffytche DH. Perisylvian language networks of the human brain[J]. *Ann Neurol*, 2005, 57:8—16.
- [27] Maldonado IL, Moritz-Gasser S, Duffau H. Does the left superior longitudinal fascicle subserve language semantics? A brain electrostimulation study[J]. *Brain Struct Funct*, 2011, 216(3):263—274.
- [28] Parker GJ, Luzzi S, Alexander DC, et al. Lateralization of ventral and dorsal auditory language pathways in the human brain[J]. *Neuroimage*, 2005, 24(3):656—666.
- [29] Vigneau M, Beaucois V, Hervé PY, et al. Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing[J]. *Neuroimage*, 2006, 30(4):1414—1432.
- [31] van Geemen K, Herbet G, Moritz-Gasser S, et al. Limited plastic potential of the left ventral premotor cortex in speech articulation: evidence from intraoperative awake mapping in glioma patients[J]. *Hum Brain Mapp*, 2014, 35:1587—1596.
- [30] Duffau H, Gatignol P, Denvil D, et al. The articulatory loop: study of the subcortical connectivity by electrostimulation[J]. *Neuroreport*, 2003, 14:2005—2008.
- [32] Duffau H. Stimulation mapping of white matter tracts to study brain functional connectivity[J]. *Nat Rev Neurol*, 2015, 11:255—265.
- [33] Baddeley A. Working memory[J]. *Curr Biol*, 2010, 20(4):136—140.
- [34] Paulesu E, Frith CD, Frackowiak RS. The neural correlates of the verbal component of working memory[J]. *Nature*, 1993, 362:342—345.
- [35] Martino J, De Witt Hamer PC, Vergani F, et al. Cortex-sparing fiber dissection: An improved method for the study of white matter anatomy in the human brain[J]. *J Anat*, 2011, 219(4):531—541.
- [36] Price CJ, Devlin JT. The pro and cons of labelling a left occipitotemporal region: “the visual word form area”[J]. *NeuroImage*, 2004, 22(1):477—479.
- [37] Martino J, Brogna C, Robles SG, et al. Anatomic dissection of the inferior fronto-occipital fasciculus revisited in the lights of brain stimulation data[J]. *Cortex*, 2010, 46:691—699.
- [38] Han Z, Ma Y, Gong G, et al. White matter structural connectivity underlying semantic processing: evidence from brain damaged patients[J]. *Brain*, 2013, 136:2952—2965.
- [39] Sarubbo S, De Benedictis A, Maldonado IL, et al. Frontal terminations for the inferior fronto-occipital fascicle: anatomical dissection, DTI study and functional considerations on a multi-component bundle[J]. *Brain Struct Funct*, 2013, 218:21—37.
- [40] Epelbaum S, Pinel P, Gaillard R, et al. Pure alexia as a disconnection syndrome. New diffusion imaging evidence for an old concept[J]. *Cortex*, 2008, 44:962—974.
- [41] Price CJ, Devlin JT. The interactive account of ventral occipitotemporal contributions to reading[J]. *Trends Cogn Sci*, 2011, 15(6):246—253.
- [42] Ius T, Angelini E, Thiebaut de Schotten M, et al. Evidence for potentials and limitations of brain plasticity using an atlas of functional resectability of WHO grade II gliomas: Towards a minimal common brain[J]. *Neuroimage*, 2011, 56(3):992—1000.