

# 语言功能区定位技术及其在神经外科中的应用

徐秦岚 强峻 刘献增

**【摘要】** 神经外科手术的最终目的是在尽可能保留神经功能的前提下最大限度安全切除病灶,运动功能、感觉功能尤其是语言功能的保留意义重大,因此术前和术中功能区定位对手术具有重要指导意义。目前,侵袭性定位方法即术中直接电刺激仍是语言功能区定位和优势侧定位的“金标准”,fMRI、DTI、脑磁图和导航经颅磁刺激等非侵袭性定位方法操作简便,可用于术前定位、术后随访和复查,多模态功能评估可提高术前语言功能区定位的准确性。本文拟对语言功能区的定位方法进行概述,并比较各种方法的优缺点。

**【关键词】** 语言; 大脑皮质; 电刺激; 磁共振成像; 脑磁图描记术; 神经导航; 经颅磁刺激; 综述

## Language function areas mapping and its application in neurosurgery

XU Qin-lan<sup>1</sup>, QIANG Jun<sup>1</sup>, LIU Xian-zeng<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Department of Neurology, Peking University International Hospital, Beijing 102206, China

<sup>2</sup>Peking University Clinical Research Institute, Beijing 100191, China

Corresponding author: LIU Xian-zeng (Email: liuxianzeng@pkuih.edu.com)

**【Abstract】** The ultimate goal of neurosurgery is to remove the lesion to the greatest extent while retaining neurological function. The preservation of motor function, sensory function, especially language function is of great significance to patients. So preoperative and intraoperative functional mapping has important guidance for surgery. The current invasive method - intraoperative direct electrical stimulation (DES) is still the "gold standard" for language mapping and lateralization, while non-invasive method such as functional magnetic resonance (fMRI), diffusion tensor imaging (DTI), magnetoencephalography (MEG) and navigated transcranial magnetic stimulation (nTMS) are easy to operate and can be used for preoperative positioning, postoperative follow-up and review. Multimodal functional assessment can improve the accuracy of preoperative language mapping. This article intends to review the positioning methods of language function areas and compare the advantages and disadvantages of various methods.

**【Key words】** Language; Cerebral cortex; Electric stimulation; Magnetic resonance imaging; Magnetoencephalography; Neuronavigation; Transcranial magnetic stimulation; Review

**Conflicts of interest:** none declared

语言是人类特有的高级认知功能,与运动、感觉和视觉功能不同,语言功能区的分布范围相对广泛,且有较大的个体差异性。颅内肿瘤切除术、癫痫外科手术的最终目的是最大程度安全切除病灶,同时尽可能保留神经功能,包括运动功能、感觉功能,特别是语言功能的保留尤为重要。若颅内占位性病变或致痫灶等毗邻语言功能区,则有可能造成语

言功能区转移或移位<sup>[1]</sup>。因此,术前和术中语言功能区定位对手术具有关键性的指导意义。其定位方法分为侵袭性和非侵袭性,侵袭性定位方法包括术中直接电刺激(DES)和Wada试验;非侵袭性定位方法包括fMRI、DTI、脑磁图(MEG)和导航经颅磁刺激(nTMS)等。本文拟对语言功能区的定位方法进行综述,并比较各种方法的优缺点。

### 一、直接电刺激

1950年, Penfield和Rasmussen<sup>[2]</sup>率先在唤醒手术中定位语言功能区,认为其位于感觉和运动功能区的相邻区域。1979年, Ojemann<sup>[3]</sup>对10例难治性癫痫患者施行外科手术治疗时采用术中直接电刺激

doi: 10.3969/j.issn.1672-6731.2020.11.003

作者单位: 102206 北京大学国际医院神经内科(徐秦岚, 强峻, 刘献增); 100191 北京大学临床研究所(刘献增)

通讯作者: 刘献增, Email: liuxianzeng@pkuih.edu.com

定位语言功能区,至此才发现语言功能区是包含外侧裂周皮质及皮质下白质的较大脑网络结构。后续研究通过该项定位技术逐渐发现语言功能区存在明显的个体差异,并非固定的解剖区域<sup>[4]</sup>。目前,直接电刺激业已成为肿瘤切除术中定位运动和语言功能区的“金标准”<sup>[4]</sup>,但其作用机制仍存争议,其中以电刺激短暂性作用于局部较小皮质或轴突区域理论较具代表性<sup>[5]</sup>。Logothetis 等<sup>[6]</sup>经动物实验发现,当重复电刺激频率 < 200 Hz 时,中枢 $\alpha$ -氨基丁酸(GABA)相关抑制性突触则可阻止刺激向下一个突触传递。由此可见,直接电刺激通过抑制传导通路检测大脑关键功能和结构,包括白质纤维束和局部脑网络。术中直接电刺激可实时定位相应皮质功能区,如运动、感觉、记忆和语言功能区,以及确定手术切除边界,而且电刺激部位的脑组织无炎症改变及其他损害,随访期间亦无严重并发症发生,是一种安全、可信度较高的定位手段<sup>[7]</sup>。De Witt Hamer 等<sup>[8]</sup>经检索共获得 90 篇文献计 8091 例胶质瘤病例,分析结果显示,术中行直接电刺激者术后中远期严重神经功能缺损发生率约为 3.41%(110/3230),未应用者为 8.32%(144/1731)。此外,直接电刺激还可用于高级认知域的定位,如忽视、感性认识、音乐、计算力、记忆力和特定类别命名等<sup>[9]</sup>。

直接电刺激包括两种刺激模式:(1)传统 Penfield 模式,为双极电极刺激,其刺激电极直径为 1 mm、间距 5 mm,刺激波形为双相方波脉冲,脉冲波宽 0.30 ms,刺激频率 50~60 Hz、强度 1~20 mA、每次递增 0.50~1.00 mA,刺激持续 2~5 s。(2)单极高频串刺激<sup>[9-10]</sup>,为单极电极刺激,参考电极置于术区切口处;刺激皮质时刺激电极为正相、刺激皮质下时为负相,刺激频率为 250 或 500 Hz,刺激脉冲为 5~8 个串刺激,刺激强度 1~20 mA。无论采取何种刺激模式,均需连续记录皮质脑电图(ECoG),采样频率为 2048 Hz、带通 0.001~1500 Hz,监测临床下脑电发作和后放电,刺激强度取决于是否诱发脑电发作或后放电,以诱发脑电发作或后放电为最大刺激强度<sup>[9-10]</sup>。定位语言功能区时,通常采用传统 Penfield 模式,需行术中唤醒,嘱患者自数字 1 开始顺序数数,若出现停顿或延迟、构音障碍、错语、新语、赘语等语言障碍,该皮质区即被定位为语言功能区。术中实施语言功能监测时,患者须神志清楚,配合完成语言任务,如命名、重复、计数、词语流畅性测验(VFT)等,如果 3 次刺激中至少 2 次出现短

暂性语言障碍且不伴肢体活动、癫痫发作,刺激停止后语言功能即恢复正常,提示该刺激点为语言处理的关键区域,手术切除时应保留该区域及周围 1 cm 范围内的脑组织<sup>[10-11]</sup>。运动功能区的定位采取单极高频串刺激,皮下针电极置于需监测的相应肌肉处,借助多通道术中神经电生理监测记录肌电活动,根据是否出现运动诱发电位(MEP)判断该皮质是否为运动功能区。术中监测语言或运动功能时,若皮质脑电图出现后放电应停止电刺激;若出现头面部或肢体抽搐,应及时用冰盐水冲洗术区。对皮质下白质纤维束的监测采取同样的定位参数和方法。术中唤醒联合直接电刺激对术后语言功能的保留具有积极作用,虽然术后可能出现短暂性语言障碍,但大部分患者可于 3 个月内恢复正常,永久性语言障碍者较为少见<sup>[8]</sup>。Mandonnet 等<sup>[12]</sup>认为,正弦波电刺激可引起细胞膜的适应性调整,导致所需的刺激电流增大,易出现假阳性结果或诱发癫痫;而双相方波可减少细胞膜电流负荷,避免因电离水解和加热局部脑脊液导致的神经细胞损害,因此建议采用双相方波,以减少神经细胞损害。为了避免电刺激过程中诱发癫痫持续状态(SE),应避免应用刺激频率过高、刺激时间过长、刺激电流过大、出现后放电和连续的诱发语言障碍的刺激<sup>[9]</sup>。

直接电刺激具有无假阴性结果、敏感性和准确性较高的优点,相较于功能性检查如 fMRI,可辨别关键语言功能区 and 辅助语言功能区<sup>[13]</sup>,并可明确非侵袭性检查的定位准确度<sup>[12]</sup>;此外,直接电刺激还可定位皮质下语言传导通路。不足之处为:(1)敏感性较高但特异性尚有争议,患者配合度、疲劳感、局灶性癫痫发作、电刺激经髓鞘传播而影响范围扩大等均可造成假阳性结果<sup>[12]</sup>。(2)在空间和时间上均存在限制,空间上仅局限于局部定位,无法行全脑或对侧大脑半球定位;时间上仅限于术中实施,检查时间较短。(3)依赖患者配合方能完成语言任务,故定位效果受患者配合度的影响。(4)需神经外科、神经电生理科和麻醉科等多学科合作。(5)目前尚无统一、标准的语言功能评价方法确定语言功能区的定位。

## 二、Wada 试验

Wada 试验通常用于语言和记忆功能优势侧的定位,主要用于大脑半球切除术、颞叶切除术和致痫灶切除术前对患者术后语言和记忆障碍发生风险的评估。Wada 试验最早由 Juhn Atsushi Wada 于

1949 年引入临床,至 19 世纪 90 年代,全球约 95% 的癫痫中心开始采用 Wada 试验进行术前语言和记忆功能优势侧的定位<sup>[14]</sup>。该项试验主要包括四个方面,即脑电图、DSA、异戊巴比妥或异丙酚颈内动脉弹丸式注射,以及语言、记忆功能和肌力测定。术前置入记录电极,先测试手术侧大脑半球语言功能和同侧记忆功能,评估患者基线理解力、语言功能,然后再行复杂的图片测试,直至脑电图恢复至基线水平,以此判断异戊巴比妥或异丙酚的药物作用是否消失,45 min 后再行对侧大脑半球 Wada 试验,步骤同上<sup>[15]</sup>。

Wada 试验作为一项侵袭性检查技术,最大的缺点是并发症较多。根据 Loddenkemper 等<sup>[16]</sup>报告,Wada 试验的并发症发生率约为 10.93% (74/677),包括脑病、癫痫发作、缺血性卒中、短暂性脑缺血发作(TIA)、穿刺部位出血等,其中永久性神经功能损害占 0.59% (4/677)。其他缺点还包括:(1)测试时间较短,需在药物起效的 3~5 min 内完成测试,无法进行重复验证,结果的可信度有待增强。(2)大脑半球功能抑制程度、患者配合度等均可影响测试结果。(3)脑血管解剖结构变异可导致无法试验或结果偏差。(4)无法区分口头语言与非口头语言的优势侧。(5)无法检测整个语言传导环路<sup>[17]</sup>。一方面,Wada 试验的侵袭性限制了其在临床的应用,另一方面,非侵袭性检查技术如 fMRI 等的出现也使其在术前语言功能评估中的应用明显减少<sup>[18]</sup>,但 Wada 试验仍是术前判断语言功能优势侧的“金标准”,是非侵袭性检查技术无法取代的<sup>[19]</sup>。

### 三、功能影像学

1. fMRI 是一种非侵袭性的脑功能评估手段,操作简便,执行认知、语言和运动任务时,相应功能区神经元被激活、血流和血氧水平改变,通过记录这种变化信号明确相应功能区<sup>[20]</sup>。目前,fMRI 在临床应用广泛,常用于颅内肿瘤的术前功能区定位,旨在缩小手术切除范围、预测危险因素和减少术中功能区定位和手术时间<sup>[21]</sup>。fMRI 定位语言功能区与 Wada 试验具有高度一致性,Meta 分析显示二者一致性可达 81%,尤其当优势侧位于左侧大脑半球时其准确度高达 94%<sup>[22]</sup>。一项针对 fMRI 与直接电刺激的对比分析表明,fMRI 定位语言功能区的灵敏度为 59%~100%、特异度 0~97%<sup>[1]</sup>。然而,不同的语言任务,以及不同的 MRI 设备、软件、分析模式和计算方法,对术前语言功能区定位的敏感性和特异

性存在明显差异<sup>[20]</sup>。其不足之处为:(1)无法明确皮质下语言功能区活动。(2)无法区分关键语言功能区与调节性语言功能区<sup>[12]</sup>。(3)肿瘤及其周围脑组织因水肿、静脉回流障碍、神经元损害等导致的血流动力学改变,可影响 fMRI 信号<sup>[19]</sup>。(4)存在运动相关伪差,例如心跳、呼吸引起的运动、头部移动等<sup>[23]</sup>。(5)受语言任务、神经系统疾病、患者自身语言功能和配合度等因素的影响。

2. DTI 脑组织中水分子趋向沿白质纤维束扩散,DTI 通过检测水分子扩散方向以显示白质纤维束,适用于追踪皮质下语言通路,如上纵束、下额枕束、钩束、下纵束等,可鉴别正常脑白质、肿胀脑组织与肿瘤的界限,也可明确是否发生纤维移位、破坏或被肿瘤浸润<sup>[21]</sup>,对开展术中皮质下直接电刺激技术、预测手术风险有一定指导意义。对左侧大脑半球外侧裂周肿瘤患者手术前后的 DTI 研究显示,术后短暂性失语患者语言相关纤维束数目减少<sup>[24]</sup>,该项检查技术与术中直接电刺激定位语言功能区的一致性高达 81%<sup>[25]</sup>。DTI 的主要缺点源自其成像原理,颅内病变如肿瘤等可影响水分子的扩散特性,从而影响成像,其与 fMRI 的缺点相同,不同 MRI 设备、软件、分析模式和计算方法可导致成像差异。但 DTI 若与 fMRI 联合应用,则不仅能够定位皮质语言功能区,而且可确定与语言功能相关的皮质下白质纤维束的走行,使术前语言功能区的定位更加精准。

### 四、脑磁图

脑磁图可通过检测神经元兴奋产生的生物电流磁场直接反映大脑皮质兴奋性,如自发性或诱发的神经元电活动,目前主要用于中央沟、初级听觉皮质和视觉皮质、语言功能优势侧和运动皮质的定位<sup>[20]</sup>。该项电生理学技术定位运动皮质的可信度较高,但有关其定位语言皮质的研究较少。据 Tarapore 等<sup>[26]</sup>观察,在判断生成动词和物体命名语言任务时,脑磁图与直接电刺激的定位一致性为 2/12 例、与导航经颅磁刺激的定位一致性为 5/12 例。脑磁图亦可用于癫痫患儿语言功能区的定位,例如执行语言任务时可于额颞叶检测到  $\beta$  振荡衰减;用于定位语言优势侧,脑磁图与直接电刺激、fMRI 等的一致性高达 89%<sup>[27]</sup>。尽管脑磁图的精确性较低,但其对语言功能优势侧的分析更为全面,也适用于预测语言功能区胶质瘤切除术患者的预后<sup>[28]</sup>。与脑电图相比,脑磁图则具有更强的空间分辨力(2~

3 mm)<sup>[29]</sup>,且信号不受头皮、颅骨、硬脑膜以及其他中间组织的影响,也不会因肌肉或眼动而产生伪迹。脑磁图的信噪比(SNR)较高,但易受周围环境(如地球磁场)杂散磁场的影响,检查费用较高、经济效益较差,因此有关术前语言功能区定位的数据相对较少。

### 五、导航经颅磁刺激

经颅磁刺激(TMS)的原理是将置于头皮的线圈通电后产生磁场,在大脑皮质区域形成电场,从而诱发神经元兴奋或抑制。导航经颅磁刺激是将经颅磁刺激与导航系统进行整合,通过精确的皮质刺激或抑制以定位皮质功能区。单脉冲经颅磁刺激可刺激皮质兴奋,用于运动功能区的定位;重复经颅磁刺激(rTMS)则抑制皮质兴奋,用于语言功能区的定位。行经颅磁刺激时,应同时对双侧大脑半球进行运动和语言功能评估,先测定静息运动阈值(rMT),定义为可引起运动诱发电位的最低刺激强度;语言功能区定位时设定刺激强度为静息运动阈值的80%~120%、刺激频率5~7 Hz,记录患者基线物体命名情况,每张图片展示700 ms、间隔2500~3000 ms,以及是否出现构音障碍、失语、错语等<sup>[30]</sup>。

与直接电刺激相比,导航经颅磁刺激定位左侧大脑半球肿瘤患者语言功能区的总灵敏度为90.2%、特异度23.8%,阳性预测值为35.6%、阴性预测值83.9%;定位Broca区的灵敏度100%、特异度13%,阳性预测值56.5%、阴性预测值100%<sup>[31]</sup>。导航经颅磁刺激定位语言功能区的准确率与直接电刺激的一致性较高,高于fMRI<sup>[32]</sup>。因此,对于不宜行唤醒手术的患者,可联合重复经颅磁刺激和DTI,准确定位语言功能区,用于指导手术<sup>[33]</sup>。

导航经颅磁刺激检查费用较低、操作简便、精确性高,已越来越多的应用于胶质瘤患者术前语言功能区的定位。该项技术是唯一可于皮质诱发出短暂性功能改变的非侵袭性检查方法,对语言功能区的定位优于fMRI和脑磁图,虽不能完全替代术中直接电刺激,但可缩短术中唤醒刺激时间,对于无法行唤醒手术的患者可减少术后神经功能缺损的发生风险。其缺点是,无法定位皮质下白质纤维束,空间分辨力较低,存在诱发癫痫的潜在风险<sup>[34]</sup>。

综上所述,侵袭性定位方法仍是语言功能区定位的“金标准”;在非侵袭性定位方法中,导航经颅磁刺激定位语言功能区的敏感性较高,虽然其他检查技术的敏感性和特异性仍有待提高,但操作简

便、检查费用低、并发症少、患者易于接受等优点亦在术前语言功能评估中占据一席之地。多模态功能评估可以提高术前语言功能区定位的准确性,在某些特定情况下可替代侵袭性定位方法,是未来语言功能评估的发展方向。

利益冲突 无

### 参 考 文 献

- [1] Giussani C, Roux FE, Ojemann J, Sganzerla EP, Pirillo D, Papagno C. Is preoperative functional magnetic resonance imaging reliable for language areas mapping in brain tumor surgery: review of language functional magnetic resonance imaging and direct cortical stimulation correlation studies[J]? *Neurosurgery*, 2010, 66:113-120.
- [2] Penfield W, Rasmussen T. *The cerebral cortex of man* [M]. New York: The Macmillan Company, 1950: 441-444.
- [3] Ojemann GA. Individual variability in cortical localization of language[J]. *J Neurosurg*, 1979, 50:164-169.
- [4] Tonn JC. Awake craniotomy for monitoring of language function: benefits and limits[J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2007, 149:1197-1198.
- [5] Duffau H. Stimulation mapping of white matter tracts to study brain functional connectivity[J]. *Nat Rev Neurol*, 2015, 11:255-265.
- [6] Logothetis NK, Augath M, Murayama Y, Rauch A, Sultan F, Goense J, Oeltermann A, Merkle H. The effects of electrical microstimulation on cortical signal propagation [J]. *Nat Neurosci*, 2010, 13:1283-1291.
- [7] Krieg SM, Shiban E, Droese D, Gempt J, Buchmann N, Pape H, Ryang YM, Meyer B, Ringel F. Predictive value and safety of intraoperative neurophysiological monitoring with motor evoked potentials in glioma surgery [J]. *Neurosurgery*, 2012, 705:1060-1071.
- [8] De Witt Hamer PC, Robles SG, Zwinderman AH, Duffau H, Berger MS. Impact of intraoperative stimulation brain mapping on glioma surgery outcome: a Meta-analysis[J]. *J Clin Oncol*, 2012, 30:2559-2565.
- [9] Li T, Bai H, Wang G, Wang W, Lin J, Gao H, Wang L, Xia L, Xie X. Glioma localization and excision using direct electrical stimulation for language mapping during awake surgery[J]. *Exp Ther Med*, 2015, 9:1962-1966.
- [10] Southwell DG, Hervey - Jumper SL, Perry DW, Berger MS. Intraoperative mapping during repeat awake craniotomy reveals the functional plasticity of adult cortex[J]. *J Neurosurg*, 2016, 124:1460-1469.
- [11] Ille S, Sollmann N, Hauck T, Maurer S, Tanigawa N, Obermueller T, Negwer C, Droese D, Boeckh-Behrens T, Meyer B, Ringel F, Krieg SM. Impairment of preoperative language mapping by lesion location: a functional magnetic resonance imaging, navigated transcranial magnetic stimulation, and direct cortical stimulation study[J]. *J Neurosurg*, 2015, 123:314-324.
- [12] Mandonnet E, Winkler PA, Duffau H. Direct electrical stimulation as an input gate into brain functional networks: principles, advantages and limitations [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2010, 152:185-193.
- [13] Duffau H. Contribution of cortical and subcortical electrostimulation in brain glioma surgery: methodological and functional considerations[J]. *Neurophysiol Clin*, 2007, 37:373-382.
- [14] Baxendale S, Thompson PJ, Duncan JS. The role of the Wada

- test in the surgical treatment of temporal lobe epilepsy: an international survey[J]. *Epilepsia*, 2008, 49:715-720.
- [15] Kemp S, Prendergast G, Karapanagiotidis T, Baker G, Kelly TP, Patankar T, Keller SS. Concordance between the Wada test and neuroimaging lateralization: influence of imaging modality (fMRI and MEG) and patient experience[J]. *Epilepsy Behav*, 2018, 78:155-160.
- [16] Loddenkemper T, Morris HH, Möddel G. Complications during the Wada test[J]. *Epilepsy Behav*, 2008, 13:551-553.
- [17] Papanicolaou AC, Rezaie R, Simos PG. The auditory and association cortex and language evaluation methods[J]. *Handb Clin Neurol*, 2019, 160:465-479.
- [18] Kundu B, Rolston JD, Grandhi R. Mapping language dominance through the lens of the Wada test[J]. *Neurosurg Focus*, 2019, 47:e5.
- [19] Ishikawa T, Muragaki Y, Maruyama T, Abe K, Kawamata T. Roles of the Wada test and functional magnetic resonance imaging in identifying the language - dominant hemisphere among patients with gliomas located near speech areas [J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2017, 57:28-34.
- [20] Ottenhausen M, Krieg SM, Meyer B, Ringel F. Functional preoperative and intraoperative mapping and monitoring: increasing safety and efficacy in glioma surgery[J]. *Neurosurg Focus*, 2015, 38:e3.
- [21] De Witte E, Mariën P. The neurolinguistic approach to awake surgery reviewed[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2013, 115:127-145.
- [22] Bauer PR, Reitsma JB, Houweling BM, Ferrier CH, Ramsey NF. Can fMRI safely replace the Wada test for preoperative assessment of language lateralisation: a meta - analysis and systematic review[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2014, 85: 581-588.
- [23] Young RJ, Brennan N, Fraser JF, Brennan C. Advanced imaging in brain tumor surgery[J]. *Neuroimaging Clin N Am*, 2010, 20:311-335.
- [24] Negwer C, Beurskens E, Sollmann N, Maurer S, Ille S, Gighuber K, Kirschke JS, Ringel F, Meyer B, Krieg SM. Loss of subcortical language pathways correlates with surgery-related Aphasia in patients with brain tumor: an investigation via repetitive navigated transcranial magnetic stimulation - based diffusion tensor imaging fiber tracking [J]. *World Neurosurg*, 2018, 111:e806-818.
- [25] Leclercq D, Duffau H, Delmaire C, Capelle L, Gatignol P, Ducros M, Chiras J, Lehericy S. Comparison of diffusion tensor imaging tractography of language tracts and intraoperative subcortical stimulations[J]. *J Neurosurg*, 2010, 112:503-511.
- [26] Tarapore PE, Tate MC, Findlay AM, Honma SM, Mizuiri D, Berger MS, Nagarajan SS. Preoperative multimodal motor mapping: a comparison of magnetoencephalography imaging, navigated transcranial magnetic stimulation, and direct cortical stimulation[J]. *J Neurosurg*, 2012, 117:354-362.
- [27] Foley E, Cross JH, Thai NJ, Walsh AR, Bill P, Furlong P, Wood AG, Cerquiglini A, Seri S. MEG assessment of expressive language in children evaluated for epilepsy surgery [J]. *Brain Topogr*, 2019, 32:492-503.
- [28] Tarapore PE, Martino J, Guggisberg AG, Owen J, Honma SM, Findlay A, Berger MS, Kirsch HE, Nagarajan SS. Magnetoencephalographic imaging of resting - state functional connectivity predicts postsurgical neurological outcome in brain gliomas[J]. *Neurosurgery*, 2012, 71:1012-1022.
- [29] Sagar S, Rick J, Chandra A, Yagnik G, Aghi MK. Functional brain mapping: overview of techniques and their application to neurosurgery[J]. *Neurosurg Rev*, 2019, 42:639-647.
- [30] Sollmann N, Kelm A, Ille S, Schröder A, Zimmer C, Ringel F, Meyer B, Krieg SM. Setup presentation and clinical outcome analysis of treating highly language - eloquent gliomas via preoperative navigated transcranial magnetic stimulation and tractography[J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 44:e2.
- [31] Hernandez - Pavon JC, Mäkelä N, Lehtinen H, Lioumis P, Mäkelä JP. Effects of navigated TMS on object and action naming[J]. *Front Hum Neurosci*, 2014, 8:660.
- [32] Sollmann N, Picht T, Mäkelä JP, Meyer B, Ringel F, Krieg SM. Navigated transcranial magnetic stimulation for preoperative language mapping in a patient with a left frontoopercular glioblastoma[J]. *J Neurosurg*, 2013, 118:175-179.
- [33] Ille S, Sollmann N, Butenschoen VM, Meyer B, Ringel F, Krieg SM. Resection of highly language-eloquent brain lesions based purely on rTMS language mapping without awake surgery [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2016, 158:2265-2275.
- [34] Tarapore PE, Picht T, Bulubas L, Shin Y, Kulchytska N, Meyer B, Berger MS, Nagarajan SS, Krieg SM. Safety and tolerability of navigated TMS for preoperative mapping in neurosurgical patients[J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127:1895-1900.

(收稿日期:2020-11-07)

(本文编辑:彭一帆)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

## 《中国现代神经疾病杂志》编辑部关于稿件图表格式的要求

《中国现代神经疾病杂志》编辑部对来稿中的图表一律以其在正文中出现的先后次序连续编码。每帧图表应冠以图(表)题,并配以英文图(表)题目。图中内容采用中英文对照形式。说明性资料应以中英文对照格式置于图(表)下方注释中。

1. 表格 采用三横线表(顶线、表头线、底线)格式,如遇有合计和统计学处理内容(如 $t$ 值、 $P$ 值等),则在此行上面加一条分界横线;应使表中每一列数据的单位相同,有效位数一致。

2. 图片 (1)以计算机制图者应提供单张的原始图片(无箭头、无图号),以图形文件格式(.jpg)Email至编辑部(xdsjbbzz@263.net.cn)。(2)照片图要求有良好的清晰度和对比度,提供单张的原始图片(无箭头、无图号),以图形文件格式(.jpg)Email至编辑部。图中需标注的符号(包括箭头)请另纸标明,并注明图号及图的上下方向。(3)大体标本照片务必在图内有尺度标记。(4)病理图请提供单张的原始图片(无箭头、无图号),大小8 cm×6 cm,分辨率300 dpi,以图形文件格式(.tif)Email至编辑部,并请另纸注明染色方法和放大倍数。