

论 著

## 多模态磁共振成像联合术中超声在功能区脑胶质瘤手术中的应用研究\*

薛伟<sup>1</sup> 朱家宝<sup>2</sup> 安良良<sup>3</sup>  
徐涛<sup>4</sup> 王伟<sup>5</sup> 王晋君<sup>1</sup>  
郭兴华<sup>1</sup> 高磊<sup>6,\*</sup>

- 1.山西省运城市中心医院医学影像科  
(山西 运城 044000)
- 2.山西省运城市中心医院神经外科  
(山西 运城 044000)
- 3.山西省运城市中心医院超声医学科  
(山西 运城 044000)
- 4.山西省运城市中心医院病理科  
(山西 运城 044000)
- 5.山西省运城市中心医院放射治疗科  
(山西 运城 044000)
- 6.武汉大学中南医院医学影像科  
(湖北 武汉 430071)

**【摘要】目的** 研究多模态MRI联合术中超声在功能区胶质瘤手术中的脑功能保护价值。**方法** 实验组回顾性分析12例语言区和9例运动区胶质瘤患者临床资料, 术前行功能磁共振成像定位功能区、弥散张量成像显示重要白质纤维束规划手术路径, 术中联合超声探查作为病灶切除参考。对照组分析20例胶质瘤患者临床资料, 术前行MRI平扫及增强, 术中未采用超声探查。术后复查MRI及KPS评分。**结果** 实验组所有受试者术前成功定位功能区并重建出纤维束, 术中超声可有效区分肿瘤边界。实验组肿瘤影像全切率90.48%, 术前KPS评分 $86.19 \pm 6.69$ , 术后2周 $80.95 \pm 7.68$ 。对照组影像全切率70%, 术前KPS评分 $84.50 \pm 7.59$ , 术后2周KPS评分 $72.00 \pm 10.56$ 。两组差异具有统计学意义。**结论** 术前多模态fMRI可以准确定位功能区并了解胶质瘤周围纤维束的走行情况, 有助于术前规划, 术中超声可实时探查肿瘤边界, 引导病灶切除, 两者联合应用, 可以在保护重要脑功能的前提下, 最大程度切除肿瘤, 提高肿瘤影像全切率, 改善患者预后。

**【关键词】** 多模态磁共振成像; 术中超声; 功能区; 胶质瘤

**【中图分类号】** R445.2; R445.1; R615; R739.41  
**【文献标识码】** A

**【基金项目】** 国家自然科学基金(82001799)

**DOI:**10.3969/j.issn.1672-5131.2023.06.006

# Application of Multimodal Magnetic Resonance Imaging Combined with Intraoperative Ultrasound in The Operation of Gliomas at The Functional Area of The Brain\*

XUE Wei<sup>1</sup>, ZHU Jia-bao<sup>2</sup>, AN Liang-liang<sup>3</sup>, XU Tao<sup>4</sup>, WANG Wei<sup>5</sup>, WANG Jin-jun<sup>1</sup>, GUO Xing-hua<sup>1</sup>, GAO Lei<sup>6,\*</sup>.

1. Medical Imaging Department of Yuncheng Central Hospital, Yuncheng 044000, Shanxi Province, China
2. Neurosurgery Department of Shanxi Yuncheng Central Hospital, Yuncheng 044000, Shanxi Province, China
3. Ultrasound Medicine Department of Yuncheng Central Hospital, Yuncheng 044000, Shanxi Province, China
4. Pathology Department of Yuncheng Central Hospital, Yuncheng 044000, Shanxi Province, China
5. Department of Radiotherapy, Yuncheng Central Hospital, Yuncheng 044000, Shanxi Province, China
6. Medical Imaging Department of Central South Hospital of Wuhan University, Wuhan 430071, Hubei Province, China

### ABSTRACT

**Objective** To study the value of multimodal magnetic resonance imaging (MRI) combined with intraoperative ultrasound in the protection of brain function in the operation of gliomas in functional areas. **Method** The clinical data of 12 patients with gliomas in language area and 9 patients with gliomas in motor area in the experimental group were analyzed retrospectively. Before operation, functional areas were located by functional magnetic resonance imaging, diffusion tensor imaging showed important white matter fiber bundles, planned the surgical path, combined with intraoperative ultrasound exploration, and the lesions were removed as much as possible on the premise of protecting brain function. The clinical data of 20 patients with gliomas in the control group were analyzed, only plain and enhanced MRI were performed before operation, and ultrasonic exploration was not used during operation. MRI was reexamined in both groups after operation to evaluate the tumor resection, and KPS score was performed to evaluate the neurological function of the patients. The total tumor image resection rate and postoperative functional score were compared between the two groups. **Result** In the experimental group, the functional area of 12 gliomas in language area and 9 gliomas in motor area were successfully located, and important fiber bundles were reconstructed before operation. Intraoperative ultrasound can effectively detect and distinguish the tumor boundary. The total tumor resection rate was evaluated by MRI 48 hours after operation, and the postoperative quality of life was evaluated by Karnofsky score 2 weeks after operation. The total tumor image resection rate of the experimental group was 90.48%, the preoperative KPS score was  $86.19 \pm 6.69$ , and the postoperative two weeks was  $80.95 \pm 7.68$ . In the control group, the total image resection rate was 70%, the preoperative KPS score was  $84.50 \pm 7.59$ , and the postoperative KPS score was  $72.00 \pm 10.56$  2 weeks. The difference between the two groups was statistically significant ( $P < 0.01$ ). **Conclusion** Preoperative multimodal functional magnetic resonance imaging can accurately locate the functional area and understand the routing of important fiber bundles around gliomas, which is helpful for preoperative planning. Intraoperative ultrasound can detect the boundary of tumors in real time and guide lesion resection. The combined application of the two can remove the tumor to the greatest extent on the premise of protecting the important brain functional structure, improve the image total resection rate of the tumor, and greatly improve the prognosis of patients.

**Keywords:** Multimodal Magnetic Resonance Imaging; Intraoperative Ultrasound; Preoperative Functional Mapping; Glioma

脑胶质瘤是临床上常见的中枢神经系统恶性肿瘤, 目前首选的治疗方案是以手术为主、放化疗为辅, 目的是在保留正常神经功能的前提下, 最大范围地切除肿瘤<sup>[1-2]</sup>。如何精确判断肿瘤的组织边界以及肿瘤与邻近脑功能区的位置关系, 如何综合权衡肿瘤切除与脑功能保护, 是这些年神经外科治疗的棘手难题。

脑功能区的个体差异、病灶对功能区的推挤、功能区的重塑等多种因素, 使得功能区的定位较为困难, 仅凭术者的主观判断进行功能区定位和保护是不可靠的。因此, 客观准确地定位脑功能区, 是决定功能区胶质瘤手术效果的关键。

多模态磁共振成像技术, 包括基于血氧水平依赖(BOLD)信号的功能磁共振成像(fMRI)和基于弥散张量成像(DTI)的结构成像, 可以客观准确地定位脑功能区, 直观、清晰地显示肿瘤与邻近白质纤维束的解剖关系, 为手术方式的选择以及肿瘤的切除范围提供客观依据。加用术中超声, 可使术者实时明辨肿瘤的边界, 提高肿瘤全切率。二者联

**【第一作者】** 薛伟, 男, 主治医师, 主要研究方向: 中枢神经系统。E-mail: 18935091056@163.com

**【通讯作者】** 高磊, 男, 博士, 主要研究方向: 血管性认知损害的脑功能成像研究。E-mail: ncu6096@126.com

合运用于功能区胶质瘤,有助于医生找到胶质瘤切除与神经功能保护之间的平衡点,使患者获取最大的手术效益。

近3年以来,运城市中心医院胶质瘤MDT团队已经运用多模态MRI联合术中超声进行了多例脑胶质瘤患者的术前与术中定位及术后预判,本研究报道其中21例功能区胶质瘤患者,联合运用多模态磁共振成像技术和术中超声技术,在保留语言和运动功能的前提下最大程度地切除了肿瘤,取得了非常好的效果。现报告如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 实验组21例功能区胶质瘤患者(男12/女9例,9-65岁,平均45.1岁),累及语言区12例(左额叶7例,左额叶4例,左侧颞枕叶1例),累及运动区胶质瘤9例(左额叶5例、右额叶4例)。按WHO分级,高级别胶质瘤18例,低级别胶质瘤3例。对照组20例患者(男12例/女8例,13-69岁,平均46.8岁),其中累及语言区胶质瘤11例(左额叶7例、左额叶4例),累及运动区胶质瘤9例(左额叶5例、右额叶4例)。按照WHO分级,其中高级别胶质瘤17例、低级别3例。

**1.2 临床表现** 实验组语言区胶质瘤中,语言表达困难4例,语言理解困难5例,头痛2例,记忆力减退1例,运动区胶质瘤中,7例肌力减退,2例肌力无明显减退,其中部分患者有感觉减退、头晕、恶心、呕吐等症状。对照组语言区胶质瘤中,言语表达困难3例,理解语言困难4例,记忆力减退3例,癫痫发作1例,运动区胶质瘤中,6例肌力减退,3例肌力无明显减退,其中部分患者有感觉减退、头晕、恶心、呕吐等症状。

**1.3 实验设计** 实验组语言区胶质瘤患者,术前行自我简介任务进行语言区定位,使用30s默念、30秒静止重复循环9次的block设计,成功定位出以Broca区及Wernicke区为主要成分的语言网络(图1)。运动区胶质瘤患者,通过使用30秒双手手指张握、30秒静止重复循环9次的block设计,进行fMRI定位,可以定位中央前后回及辅助运动区构成的体感运动网络。实验组所有患者均行DTI扫描,重建出包括锥体束在内的重要纤维束。BOLD序列参数:TR 2000ms,TE 28ms,Averages 1,thickness 3mm,Slices 36,Base resolution 64,Flip angle 90 deg,Dist.factor 0%,Threshold 4.00,Paradigm size 20。DTI序列参数:TR 3700ms,TE 92ms,Averages 1-3,thickness 4.0mm,Slices 25,Base resolution 128,b-Value 0-1000,Diff.directions 30,Dist.factor 30%。T1-mprage序列参数:TR 2300ms,TE 2.98ms,Averages 1,thickness 1.1mm,Slabs 1,Base resolution 256,Flip angle 9 deg,TI 900ms,Dist.factor 50%。

**1.4 术前评估** 语言区及运动区胶质瘤患者术前均行KPS评分。

**1.5 手术与术中超声方法** 实验组患者参考术前多模态影像检查结果,确定病灶与脑功能区的位置关系,合理规划手术路径,确定手术入路。根据术前MRI、CT等影像资料确定肿瘤位置,开颅去骨瓣暴露硬膜,术者切开硬膜。

术中超声仪器选用PHILIPS CX50彩色多普勒超声仪,选用两把探头,一为C-85凸阵术中专用探头,探头频率5.0~8.0 MHz,选用颅脑条件,探查肿瘤全貌,二为矩阵术中专用探头L15-7io,探头频率7.0~15.0 MHz,探查肿瘤浅表情况。

超声探头涂以耦合剂,外面包上无菌的塑料套,置于脑组织表面,应用常规超声在骨窗范围内行冠状、矢状、水平或需要的切面进行多切面滑行检查,为术者提供肿瘤大致范围及其边界,并与术前影像资料相对应。

在二维灰阶模式下探查肿瘤病灶,观察其形态、位置、边界、内部情况、周围脑组织水肿情况,测量肿瘤大小及其距脑表面深度,为术者提供准确的距离;采用彩色多普勒模式(CDFI)显示胶质瘤及其邻近血管,观察其供血情况,频谱多普勒显示血流动力学,综合肿瘤数据情况为术者再次确定安全的手术入路方式。

在术中,术中超声可进行实时、不间断的探查,确定肿瘤是否切除干净、是否有残余肿瘤组织及其位置,可以为术者提供信息,从而进一步提高清除率,甚至完全清除。

**1.6 手术效果评估及统计分析** 实验组和对照组患者,手术后48小时内复查头颅MRI,评估肿瘤全切率,使用KPS评分表评估神经功能,记录术前和术后2周时的KPS评分。两组数据进行双样本t检验, $P<0.05$ 具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 两组患者** 在年龄、性别、胶质瘤级别上无显著统计学差异( $P>0.05$ )。

**2.2 多模态磁共振成像结果及术中超声情况** 我们共对17例语言区胶质瘤患者及12例运动区胶质瘤患者行任务态fMRI检查,其中有12例语言区胶质瘤患者(71%)及9例运动区胶质瘤患者(75%)可以定位显示功能区。本实验组21例脑胶质瘤患者,均为成功定位功能区的患者,其中运动区以受压推移为主,1例患者运动区域被肿瘤侵蚀、破坏,范围缩小,语言区胶质瘤患者中,与Wernicke区关系密切者6例,与Broca区关系密切者5例,位于Broca区与Wernicke区之间者1例,部分语言区受压移位。DTI白质纤维束显像可以三维显示出投射纤维与肿瘤之间的关系,实验组患者投射纤维在基底节区域大部分表现为受压移位,额顶叶区域部分纤维破坏稀疏。fMRI与DTI综合考虑,可以帮助神经外科医生设计出较好的手术路径,避免破坏功能区及主要纤维。术中超声应用于实验组21例患者,均成功实时显示出肿瘤的情况,胶质瘤的超声表现与正常脑组织不同。低级别胶质瘤呈局限性稍高回声,边界清,形态规则,回声较均匀,瘤周轻度水肿,部分有点状强回声钙化灶。而高级别胶质瘤则表现为弥漫性高回声区,边界欠清,形态多数欠规则,内部常伴有坏死囊变区,瘤周水肿多明显,肿瘤内部少有钙化。术中同时参考fMRI与DTI结果,较好的指导神经外科医生进行了胶质瘤切除手术。

**2.3 肿瘤切除程度** 术后48小时复查头部MRI平扫及增强。实验组肿瘤全切除19例(90.48%),次全切除1例(4.76%),部分切除1例(4.76%)。对照组肿瘤全切除14例(70%),次全切除4例(20%),部分切除2例(10%)。实验组切除率大于对照组,卡方检验组间差异具有统计学意义。

**2.4 KPS评分情况** 两组患者术前及术后2周KPS评分情况如表2、表3所示,两组患者术前KPS评分,无明显统计学差异,而术后2周,实验组患者KPS评分较高,两者差异具有统计学意义。

## 2.5 典型病例

**2.5.1 病例1** 患者女性,60岁,右利手,主因“头晕、左侧肢体麻木无力,间断加重2月”入院,查体:语言流利,左侧面部针刺觉减退,伸舌偏左,步态不稳,左上肢远端及左下肢远端4级,左侧病理征(Hoffmann征、Rossolimo征、Babinski征、Chaddock征)阳性。MRI平扫及增强示右侧额叶占位,增强扫描,不均匀强化,考虑高级别胶质瘤可能大。fMRI示运动区位于肿瘤内侧及前方,向前内侧推移,DTI显示右侧投射纤维推挤、移位,破坏不明显。选择方手术入路,术中在超声引导下,完整切除肿瘤,术后MRI复查显示肿瘤全切除,无残留,术后病理示:胶质母细胞瘤(WHO IV级),术后2周KPS评分为90分。

**2.5.2 病例2** 患者男性,9岁,右利手,主因“右侧肢体无力伴反应迟钝半月余”入院。查体:神志清楚,右侧鼻唇沟变浅,伸舌略偏右,左侧肢体肌力、肌张力正常,右侧肢体肌力4级,右手手指肌力3级,肌张力升高,腱反射亢进,右侧巴氏征阳性。MRI平扫及增强示左侧额叶囊实性占位,增强扫描,局部不均匀明显强化,MRS示NAA峰明显下降,Cho峰明显升高,考虑高级别胶质瘤可能大。fMRI示主要运动区位于肿瘤前方,DTI示左侧投射纤维被推挤,向内侧及前方移位,局部纤维稀疏,DTI与fMRI结果相吻合。选择经中央前沟入路,术中在超声引导下,发现肿瘤内侧缘残留组织,正好是受压推挤的投射纤维穿行区,所以无法完全清除,最终次全切除肿瘤,术后进入MDT放疗环节,术后病理示:(左侧额叶)儿童弥漫性胶质瘤,IDH野生型和H3野生型,WHO 4级。术后2周KPS评分为100分,患者未诉任何不适,没有任何症状。

表1 KPS评分表

| 计分  | 患者机能状态              | 计分 | 患者机能状态            |
|-----|---------------------|----|-------------------|
| 100 | 正常, 无疾病征象           | 50 | 常需要人照料            |
| 90  | 能进行正常活动, 有轻微症状和体征   | 40 | 生活不能自理, 需要特别照顾和帮助 |
| 80  | 勉强进行正常活动, 有一些症状或体征  | 30 | 生活严重不能自理          |
| 70  | 生活能自理, 但不能维持正常生活和工作 | 20 | 病重, 需要住院和积极的支持治疗  |
| 60  | 生活能大部分自理, 但偶尔需要别人帮助 | 10 | 重危, 临近死亡          |

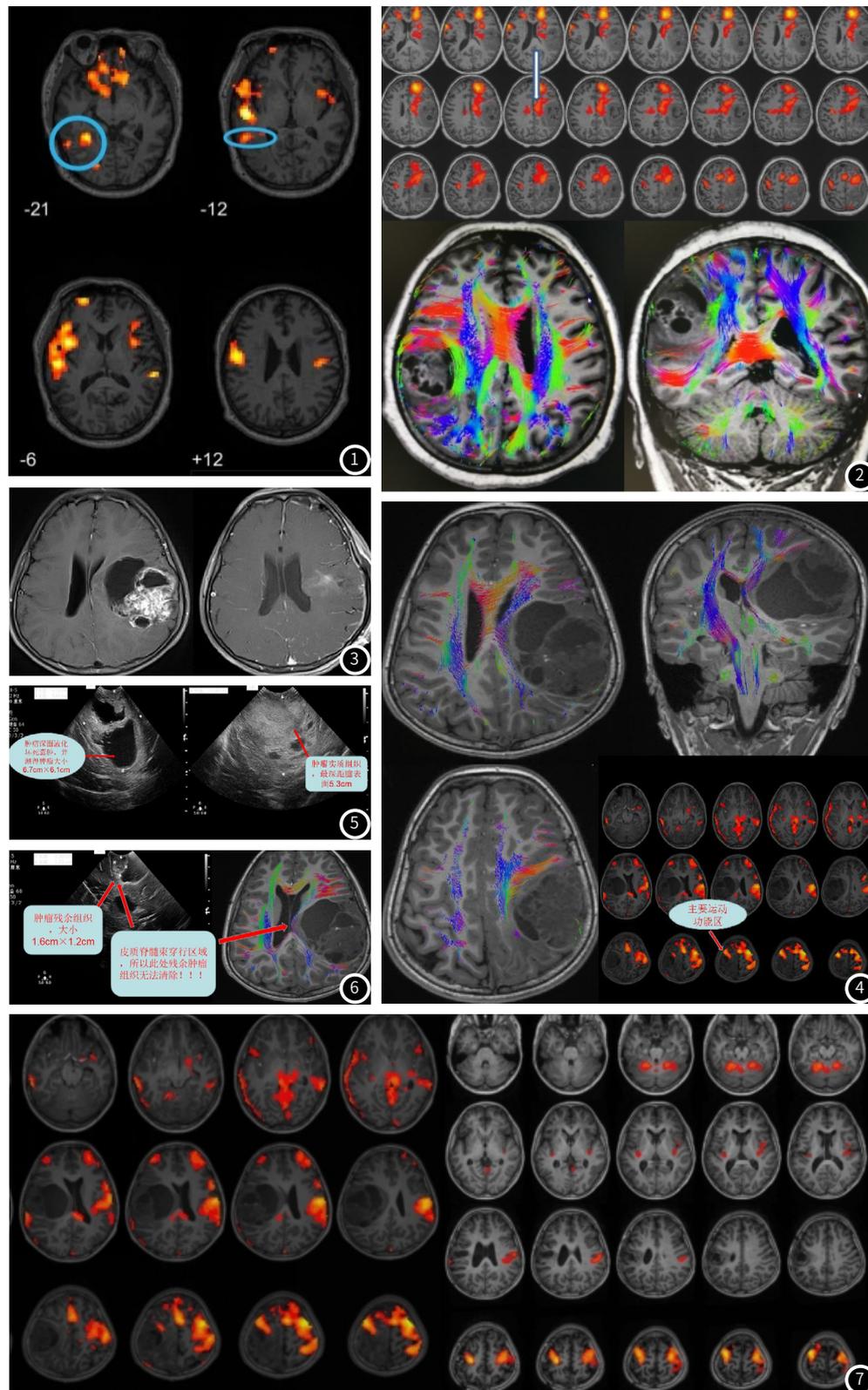


图1 病灶位于左侧颞叶, 与Wernicke区关系密切(本文fMRI图像, 左手边为左侧)。图2 运动区位于肿瘤内侧及前方, 推挤移位; 右侧投射纤维推挤、移位。图3 术前、术后核磁增强对比。图4 术前DTI及fMRI, 显示投射纤维, 定位运动区。图5 术中超声。图6 术中超声显示残留肿瘤组织, 正好为投射纤维穿行区, 次全切除。图7 术前、术后任务态脑功能成像对比。

表2 两组患者术前KPS评分

| 组别        | 非依赖级≥80分(n,%) | 60分≤半依赖级≤70分(n,%) | 依赖级≤50分(n,%) | 平均值及标准差    | P值     |
|-----------|---------------|-------------------|--------------|------------|--------|
| 实验组(n=21) | 19            | 2                 | 0            | 86.19±6.69 | 大于0.05 |
| 对照组(n=20) | 17            | 3                 | 0            | 84.50±7.59 |        |

表3 两组患者术后2周KPS评分

| 组别        | 非依赖级≥80分(n,%) | 60分≤半依赖级≤70分(n,%) | 依赖级≤50分(n,%) | 平均值及标准差     | P值     |
|-----------|---------------|-------------------|--------------|-------------|--------|
| 实验组(n=21) | 18            | 3                 | 0            | 80.95±7.68  | 小于0.01 |
| 对照组(n=20) | 9             | 9                 | 2            | 72.00±10.56 |        |

### 3 讨论

脑胶质瘤是神经外科常见病，约占所有颅内肿瘤的40%-60%，具有“三高一低”的特点，即发病率、死亡率、复发率高，治愈率低。尤其是高级别胶质瘤，生存率更低。胶质瘤的主要治疗方法为手术+术后放疗<sup>[1]</sup>，手术切除程度是患者预后的关键<sup>[3]</sup>。

然而，为追求全切率而扩大切除范围可能导致额外的瘤周脑损伤，增加术后神经功能障碍、并发症甚至死亡风险。例如，McGirt等<sup>[4]</sup>的研究表明，胶质瘤术后，如果患者出现语言或运动障碍，生存期较无功能障碍者会显著缩短(9.6个月vs 12.8个月)。因此，如何最大程度地切除功能区胶质瘤而又最小程度地损伤脑神经功能，提高患者术后生存质量，是神经外科医生面临的主要挑战<sup>[1]</sup>。

功能区的定位及白质纤维束的显示因此就尤为关键。实际工作中，受功能区分布的个体差异、胶质瘤占位以及皮层重塑等多种因素影响，神经外科医生仅凭传统解剖标志，很难准确定位<sup>[5]</sup>。

多模态磁共振成像正在逐渐成熟，为胶质瘤患者术前脑功能区的定位及主要纤维束的显示提供了技术支持，主要包括BOLD-fMRI和DTI两大关键技术。

1990年Ogawa等<sup>[6]</sup>提出了血氧水平依赖(即BOLD)信号的概念，开启了功能磁共振成像领域。基于BOLD信号的功能成像，利用血流氧耗耦合和脱氧/含氧血红蛋白磁性不同，已经能稳定地激活感觉、运动和高级认知活动脑区<sup>[7-9]</sup>。BOLD-fMRI具备安全、无创、成像清晰、重复使用、对功能区定位准确等优势，已通过FDA认证，推荐为脑肿瘤功能区术前定位技术<sup>[10]</sup>。

DTI是目前仅有的可以无创显示出大脑白质纤维束走行及位置的技术<sup>[11]</sup>，它根据人体组织中水分子在各个方向弥散距离不等的特性对白质纤维束进行显像<sup>[12]</sup>，因此联合常规MRI可明确脑内病变与白质纤维束的位置关系。

本次回顾性研究中，实验组患者术后KPS评分明显优于对照组。我们认为，DTI和BOLD-fMRI应该联合用于功能区胶质瘤患者，可以清晰地显示胶质瘤、白质纤维束、皮层功能区三者之间的位置关系，有助于神经外科医生全面熟悉肿瘤区域的情况，了解肿瘤对功能区、纤维束的影响，从而制定出最佳个体化手术路径及手术方案。其他学者也有类似推荐，例如刘强等<sup>[13]</sup>认为联合应用BOLD-fMRI与DTI技术，可以有效评估功能区胶质瘤的切除范围，预测患者预后，评估患者术后生存质量等。将这两种技术联合应用于胶质瘤手术，可以清晰显示出包括椎体束在内的白质纤维束，明确纤维束与肿瘤的关系，定位功能区，对肿瘤切除及改善患者预后大有裨益<sup>[14]</sup>。高万军等<sup>[15]</sup>应用联合成像对肿瘤的切除程度及皮质脊髓束和运动功能区的完整度和损伤度，进行了术前术后评估。余龙洋等<sup>[16]</sup>也有类似的运动区肿瘤的切除报道。

然而，BOLD-fMRI和DTI联合应用也有其不足之处，如术中脑移位导致肿瘤的定位偏移，再如不能评价术中肿瘤的切除程度，完全靠术者经验，存在一定的误差，因此我们又联合了术中超声技术，以便实时监测肿瘤切除程度。

术中超声具有多种优势，价格便宜、没有辐射、便于移动、随时检查等，术中能够实时探查，精准显示肿瘤的边界、范围，显示术区情况，还可以鉴别残留肿瘤且不受脑组织移位的干扰<sup>[17-19]</sup>。

本研究中，我们对21例胶质瘤患者均进行了术中超声监测，

实时确定胶质瘤的位置、边界、残留、血管毗邻等。10例高级别胶质瘤血运丰富或毗邻重要血管，我们在术中超声实时引导下及时调整了手术入路，避免了大血管损伤或引起大出血。在术中超声的帮助下，我们的神经外科医生较为准确地识别了残留肿瘤组织，结合术前多模态磁共振成像检查的结果，在保护脑功能的前提下，尽可能的切除肿瘤组织，实验组的肿瘤全切率及术后KPS评分均高于对照组，表明多模态磁共振成像与术中超声相结合在胶质瘤手术中具有较大价值。

综上所述，多模态磁共振成像与术中超声联合应用于功能区胶质瘤手术具有较大的价值，能在提高功能区胶质瘤全切率的同时改善患者术后生存质量，具有较好的推广应用价值。下一步，我们胶质瘤MDT团队还将不断提升胶质瘤手术水平，增加术中超声造影、神经导航、术中电生理检测等技术，持续提高胶质瘤患者肿瘤全切率，改善患者健康状况，减少术后残疾，提升患者生活质量。

### 参考文献

- [1]《中国中枢神经系统胶质瘤诊断和治疗指南》编写组.中国中枢神经系统胶质瘤诊断和治疗指南(2012)[J].中华医学杂志,2013,93(31):2418-2449.
- [2]Brem S S,Bierman P J,Black P,et al.Central nervous system cancers[J].J Natl Compr Canc Netw,2013,11(5):1114-51.
- [3]Ius T,Isola M,Budari R,et al.Low-grade glioma surgery in eloquent areas: volumetric analysis of extent of resection and its impact on overall survival. A single-institution experience in 190 patients: clinical article[J]. Journal of Neurosurgery,2012,117(6):1039-52.
- [4]McGirt M J,Mukherjee D,Chaichana K L,et al.Association of Surgically Acquired Motor and Language Deficits on Overall Survival after Resection of Glioblastoma Multiforme[J].Neurosurgery,2009,65(3):463-9; discussion 469-70.
- [5]王伟民,白红民,李天栋,等.脑功能区胶质瘤手术中的新技术[J].中华神经外科杂志,2007,23(6):428-431.
- [6]Ogawa S,Lee T M,Kay A R,et al.Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,1990,87(24):9868.
- [7]李德炯,钟平,张国平,等.1.5TMRIBOLD-fMRI与DTI在颅内肿瘤联合应用的价值[J].贵州医药,2015,39(006):517-519.
- [8]Tielman A,Deblaere K,Roost D V,et al.Preoperative fMRI in tumour surgery[J]. European Radiology,2009,19(10):2523-2534.
- [9]林超群(综述),曹作为(审校).BOLD-fMRI联合DTI在脑肿瘤临床应用中的研究进展[J].中国临床神经外科杂志,2012,17(2):122-125.
- [10]苏春秋,邱小红,马蔚吟,等.脑功能磁共振成像原理及其在神经外科学中的应用[J].中国医学装备,2015(3):57-60.
- [11]鲍得俊,牛朝诗,程伟,等.多模态MRI技术结合神经导航术中超声在枕叶视觉功能区胶质瘤手术中的应用[J].中华解剖与临床杂志,2015(4):310-315.
- [12]丁宛海,牛朝诗,程伟,等.BOLD-fMRI及DTI技术、术中超声辅助神经导航结合电生理监测在大脑运动区胶质瘤切除术中的应用[J].中华神经医学杂志,2016,15(8):803-809.
- [13]刘强,卢光明,张宗军,等.弥散张量成像与血氧水平依赖功能磁共振成像在脑肿瘤诊断中的联合应用[J].医学研究生学报,2010(5):58-64.
- [14]王宇博,陈晓雷,王飞,等.初级皮质运动区和锥体束的可视化研究及应用[J].解放军医学杂志,2011(07):694-696.
- [15]高万军,张云亭,张敬,等.手术前、后采用BOLD-fMRI与DTI融合技术对比观察脑瘤累及初级皮质运动区[J].中国医学影像学杂志,2009,025(1):46-49.
- [16]余龙洋,陈玉坤,汪剑,等.神经导航多模态融合在大脑运动区肿瘤手术中的应用[J].中华神经外科杂志,2016(32):447.
- [17]程伟,牛朝诗,丁宛海,等.术中超声辅助神经导航切除颅内胶质瘤的应用探讨[J].中华神经医学杂志,2014,13(7):663-666.
- [18]Dohrmann G J,Rubinn J M.History of intraoperative ultrasound in neurosurgery[J].Neurosurg Clin N Am,2001,12(1):155.
- [19]Moiyadi,Aliaagar V.Intraoperative Ultrasound Technology in Neuro-Oncology Practice—Current Role and Future Applications[J].World Neurosurgery,2016:81-93.

(收稿日期: 2021-09-25)

(校对编辑: 姚丽娜)