

多模态影像融合三维重建技术在颅内中央区脑膜瘤手术中的应用

马龙涛 张伟文 梅加明 牛朝诗

【摘要】 目的 探讨多模态影像融合三维重建技术在中央区脑膜瘤手术中的应用价值。方法与结果 纳入 2019 年 4 月至 2021 年 5 月中国科学技术大学附属第一医院收治的 46 例中央区脑膜瘤患者,采用 3D Slicer 软件处理原始影像学数据,重建出肿瘤、瘤周静脉、大脑皮质、颅骨、头皮等三维模型,术前采用手机 Sina 软件进行体表投影辅助皮瓣和骨窗设计,结合术中实际肿瘤部位及其毗邻结构,验证术前重建效果,于显微镜下切除肿瘤。所有患者均完成术前重建,术中验证肿瘤及其毗邻解剖结构与术前三维重建模型相吻合,均无因术前规划不当引起术中肿瘤显露不充分带来的损伤。46 例患者均全切除肿瘤,32 例未出现肢体功能障碍、8 例肢体功能明显改善、6 例肌力下降;均未发生癫痫发作,1 例出现术后感染;无一例死亡。结论 3D Slicer 三维重建技术应用于中央区脑膜瘤,可直观、多维度、动态、立体展示肿瘤及其毗邻解剖结构,指导术中最大程度地切除肿瘤及保护瘤周静脉和大脑皮质。手机 Sina 软件应用于中央区脑膜瘤术前定位具有精确、安全、无创性、方便等实用价值,值得进一步研究与推广。

【关键词】 脑膜瘤; 多模态成像; 成像,三维; 神经外科手术

Application of multi-modal image fusion three-dimensional reconstruction technology in operation of meningioma in the central area of the brain

MA Long-tao¹, ZHANG Wei-wen², MEI Jia-ming², NIU Chao-shi²

¹Grade 2019, Cheeloo College of Medicine, Shandong University, Ji'nan 250012, Shandong, China

²Department of Neurosurgery, The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei 230001, Anhui, China

Corresponding author: NIU Chao-shi (Email: niuchaoshi@163.com)

【Abstract】 **Objective** To explore the application value of multi-modal image fusion three-dimensional (3D) reconstruction technology in operation of meningioma in the central area. **Methods and Results** Using multi-modal image fusion 3D reconstruction technology to study 46 patients admitted to The First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China from April 2019 to May 2021. 3D Slicer software was used to process the original imaging data to reconstruct 3D models of tumor, peritumoral vein, cerebral cortex, skull, scalp, etc., and intraoperatively Sina software was used for projection assisted incision design to verify the actual tumor position and its adjacency structures preoperatively. To reconstruct the effect before surgery, the tumor was removed under microscopy. All patients completed the preoperative reconstruction. The intraoperative verification showed that the tumor and its adjacency structures were in good agreement with the preoperative 3D model. All patients did not cause unnecessary injury due to insufficient preoperative exposure caused by improper preoperative planning. Forty-six cases of meningioma in the central area were completely removed under the microscopy, 32 cases had no limb dysfunction, 8 cases had significant improvement in limb function, and 6 cases had decreased muscle strength. None of the patients had epileptic seizures. One patient had postoperative infection, after active anti-infection, he was cured and discharged. There was no death. **Conclusions** The 3D Slicer reconstruction technology applied to meningioma in the central area can display the tumor and its

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2022.03.011

基金项目:中央引导地方科技创新专项项目(项目编号:2019b07030001)

作者单位:250012 济南,山东大学齐鲁医学院 2019 级(马龙涛);230001 合肥,中国科学技术大学附属第一医院神经外科(张伟文,梅加明,牛朝诗)

通讯作者:牛朝诗,Email:niuchaoshi@163.com

adjacent structures in a intuitive, multi-dimensional and dynamic 3D manner, guide the maximum resection of the tumor and protect the peritumoral vein and cortex during the operation. Sina software has clinical and practical value in preoperative positioning of meningioma in the central area, such as accuracy, safety, non-invasiveness, and convenience, and it is worthy of further research and promotion.

【Key words】 Meningioma; Multimodal imaging; Imaging, three - dimensional; Neurosurgical procedures

This study was supported by the Special Fund Project of Central Government Guiding Local Science and Technology Innovation (No. 2019b07030001).

Conflicts of interest: none declared

脑膜瘤是起源于蛛网膜颗粒细胞的脑肿瘤^[1],约占中枢神经系统肿瘤的 1/3,好发于老年女性^[2]。中央区系指位于中央前沟与中央后沟之间及其邻近的区域,支配对侧肢体运动和感觉^[3]。中央区脑膜瘤系指肿瘤基底附着于中央区硬脑膜的脑膜瘤,包括上矢状窦旁、大脑镰旁、窦镰旁和大脑凸面脑膜瘤。由于肿瘤压迫中央前回或中央后回,导致对侧肢体运动或感觉障碍。最大程度切除肿瘤及保护瘤周组织,尤其是瘤周静脉和上矢状窦附近回流静脉是手术的最大难点。本研究采用 3D Slicer 软件处理影像学原始数据,立体直观显示肿瘤及其毗邻结构以指导手术方案,效果满意,现报道如下。

对象与方法

一、临床资料

1. 纳入与排除标准 (1)符合 2016 年 WHO 中枢神经系统肿瘤分类第四版修订版中脑膜瘤的诊断标准^[4]。(2)头部 MRI 增强扫描证实肿瘤位于中央区且为单个肿瘤。(3)瘤体位于一侧大脑半球中央区,肿瘤未突破大脑镰和上矢状窦。(4)均予手术切除肿瘤。(5)经术后病理证实为脑膜瘤。(6)既往无头部手术史。(7)排除肿瘤复发患者。

2. 一般资料 选择 2019 年 4 月至 2021 年 5 月在中国科学技术大学附属第一医院神经外科住院治疗并经术后病理证实为中央区脑膜瘤患者共 46 例,男性 8 例,女性 38 例;年龄 31 ~ 72 岁,平均(57.02 ± 10.04)岁;临床表现为偏身运动障碍 10 例(21.74%),偏身感觉障碍 6 例(13.04%),头痛 12 例(26.09%),头晕 8 例(17.39%),体检检出 10 例(21.74%);肿瘤部位为大脑镰旁 10 例(21.74%),上矢状窦旁 6 例(13.04%),窦镰旁 1 例(2.17%),单纯大脑凸面 29 例(63.04%);肿瘤位于左侧 16 例(34.78%),右侧 30 例(65.22%);肿瘤直径 2.00 ~

2.99 cm 13 例(28.26%), 3.00 ~ 3.99 cm 17 例(36.96%), 4.00 ~ 4.99 cm 13 例(28.26%), 5.00 ~ 5.99 cm 3 例(6.52%)。

二、研究方法

1. 影像学检查 所有患者均于术前完成头部 CT 平扫、MRI 平扫 + 增强、3D-T₁WI 和 MRV 检查。影像学原始数据采用 DICOM 格式,再导入 3D Slicer 软件(www.slicer.org/)进行后处理,通过配准模块 General Registration(Elastix)将原始数据进行配准融合,再通过 Segment Editor 模块、Swiss Skull Stripper 模块、Models 模块分别进行肿瘤、大脑皮质、血管、颅骨等模型的三维重建,调节透明度,显示肿瘤、血管、中央沟等重要解剖结构,旋转 3D 界面,充分展示肿瘤的毗邻关系,然后通过 scissors 等工具设计皮瓣和骨窗,进行手术方案的规划,并保存相关图片。采用手机 Sina 软件(apkfab.com/sina-neurosurgical-assist/sina.neurosurgical.assist)进行三维模型的体表投影。

2. 手术方法 患者气管插管全身麻醉,首先在仰卧位下通过 Sina 软件的虚拟现实模型与患者头部体表标记配准,标注出肿瘤部位;再根据肿瘤具体部位选择合适体位,对于肿瘤位于中央沟前的患者取头高仰卧位、肿瘤位于中央沟及其后的患者取头向对侧偏侧位(同侧肩部垫高使得头部既向对侧偏转满意、又不影响颈静脉回流),再以三钉头架固定头部。采用 BrainLab 神经导航系统再次验证肿瘤部位,设计头皮切口,切开头皮,钻铣磨形成骨瓣,悬吊硬脑膜,根据术前肿瘤与静脉的三维重建模型,于远离桥静脉和瘤周静脉处剪开硬脑膜,以免损伤瘤周静脉。验证肿瘤与其毗邻解剖结构的关系后,先阻断肿瘤基底部血供并逐步分离肿瘤,瘤内减压分块切除肿瘤,再分离切除瘤壁,分离瘤壁时应注意保护蛛网膜界面及瘤周血管,最后处理肿

瘤基底部,如果肿瘤位于大脑凸面,环绕肿瘤边界外 1 cm 扩大切除硬脑膜;若上矢状窦旁肿瘤侵犯窦内,先切除窦内肿瘤,再向肿瘤段两端切除直至正常矢状窦,取明胶海绵暂时堵塞阻断,待肿瘤处理完毕后取人工硬膜补片修补窦壁,封闭窦腔前取出明胶海绵;若上矢状窦旁肿瘤仅侵犯窦壁,沿窦壁切除肿瘤,为保持上矢状窦的完整性不切除窦壁,而电凝上矢状窦侧壁;若肿瘤位于大脑镰旁,可扩大切除受累的大脑镰,为避免损伤上矢状窦和瘤周静脉,可保留近上矢状窦 5 mm 处大脑镰,予低功率电凝碳化处理。若硬脑膜有缺损,对位缝合困难,取人工硬膜修补硬脑膜,留置硬膜外引流管;若颅骨有侵蚀,磨除侵蚀的颅骨,颅骨固定,缝合头皮。

3. 术后处理 术后 24 h 内复查头部 CT 明确有无颅内出血,术后 72 h 内复查头部 MRI 和 MRV 明确有无肿瘤残留和静脉损伤。术后常规应用抗癫痫药物预防癫痫发作。术后 24 h 根据肌力分级评估肢体功能情况。术后 1、3、6、12、24 和 36 个月复查头部 MRI 明确有无肿瘤复发。

结 果

本组患者术前头部 CT 显示多数病灶呈圆形或类圆形等或稍高密度;MRI 显示病灶呈稍长 T_1 、稍长 T_2 信号,增强扫描呈明显均匀强化,部分可见脑膜尾征。均经 3D Slicer 软件顺利完成影像学数据采集和处理,术前三维重建均清晰显示肿瘤与毗邻解剖结构的关系。

根据 Sina 软件,肿瘤定位准确,皮瓣和骨窗设计合理,肿瘤均位于骨窗中央,肿瘤边缘距骨窗边缘约 2 cm,显露充分,瘤周毗邻解剖结构与三维重建模型吻合度较高,均于显微镜下全切除肿瘤,未出现因显露不充分引起的肿瘤切除困难和不完全情况,未出现瘤周大静脉损伤。本组 40 例完成 Simpson 分级 1 级切除,6 例因肿瘤基底部与大脑镰广泛相连且靠近上矢状窦壁,扩大切除受累的大脑镰,为避免损伤上矢状窦,影响静脉回流,保留近上矢状窦 5 mm 处大脑镰,予以热凝碳化处理,完成 Simpson 分级 2 级切除。

术后病理证实纤维型脑膜瘤(WHO I 级)7 例,非典型性脑膜瘤(WHO II 级)3 例,脑膜皮型脑膜瘤(WHO I 级)13 例,过渡型脑膜瘤(WHO I 级)15 例,血管瘤型脑膜瘤(WHO I 级)1 例,分泌型脑膜瘤(WHO I 级)1 例,微囊型脑膜瘤(WHO I 级)1 例,血

管瘤型 + 微囊型脑膜瘤(WHO I 级)1 例,横纹肌样型 1 例(WHO II 级),间变性脑膜瘤(WHO III 级)1 例,砂粒体型脑膜瘤(WHO I 级)1 例,脑膜皮型 + 血管瘤型脑膜瘤(WHO I 级)1 例。术后 24 h 内复查 CT 均未见瘤腔内出血,术后 72 h 内复查 MRI 和 MRV 提示肿瘤全切除,静脉重建通畅,无损伤。

本组有 32 例术前肢体功能正常,术后亦未出现肢体功能障碍;8 例术后肢体功能明显改善;4 例术后出现短暂性肌力下降,出院时恢复至术前水平,其术前三维重建的肿瘤与其毗邻模型与术中所见相吻合,瘤周静脉显示佳,术中对皮质和静脉保护好,术后出现局灶性脑水肿和短暂性肌力下降,且随着脑水肿的消退,术后 1 周内肌力恢复至术前水平;余 2 例术后肌力较术前下降,经康复锻炼 3 个月,肌力恢复至术前水平,其术前三维重建模型与术中所见相吻合,但瘤周微小静脉分支显示欠佳,术中可见肿瘤与中央前回皮质粘连紧密,突破蛛网膜界面,边界不清,分离过程中对微小静脉分支造成一定损伤,术后出现局灶性脑水肿,且随着脑水肿消退,经康复锻炼后肌力恢复至术前水平。6 例术后出现肌力下降患者的临床资料参见表 1。本组患者术后均无癫痫发作,有 1 例出现术后感染,经静脉滴注美罗培南(2 g/次、3 次/d) + 万古霉素(1 g/次、2 次/d)抗感染治疗 10 d 后治愈出院,无一例死亡。本组患者住院 9 ~ 21 d,平均为(15.78 ± 2.83) d。出院后随访 2 ~ 26 个月,中位时间 13 个月,45 例无复发,1 例间变性脑膜瘤(WHO III 级)术后 3 个月复发,至外院再次手术。

典型病例

患者 男性,46 岁。体检时发现左侧中央区占位性病变,于 2020 年 5 月 9 日入院。入院后体格检查:神志清楚,对答切题,言语清晰;双侧瞳孔等大、等圆,直径为 3 mm,对光反射灵敏,四肢肌力 5 级、肌张力正常,深浅感觉正常。自述既往史、个人史及家族史无特殊。外院头部 CT 提示左侧中央区占位性病变,脑膜瘤可能。入院后完善影像学检查:CT 显示左侧额顶部团块状稍高密度影;MRI 增强扫描显示左侧窦镰旁病灶呈明显均匀强化,可见“脑膜尾征”(图 1)。临床诊断为脑膜瘤。采用 3D Slicer 软件将术前影像学资料进行三维重建,发现肿瘤主要位于左侧中央前回(图 2a),部分跨越中央沟延伸至中央后回,肿瘤后方压迫中央沟静脉(图 2b,

表 1 6 例术后肌力下降患者的临床资料

Table 1. Data of 6 patients with decreased muscle strength after operation

序号	年龄 (岁)	肿瘤部位	肿瘤大小	三维重建模型显示的静脉与术中所见对比		手术损伤			术后肌力 恢复时间 (d)
				主干	分支	大脑皮质	大静脉	静脉分支	
1	53	大脑凸面	3.65 cm × 3.10 cm	吻合	吻合	无	无	无	5
2	50	上矢状窦旁	3.00 cm × 2.30 cm	吻合	吻合	无	无	无	6
3	49	大脑凸面	4.10 cm × 3.20 cm	吻合	吻合	无	无	无	6
4	58	大脑镰旁	4.55 cm × 3.50 cm	吻合	吻合	无	无	无	7
5	51	上矢状窦旁	3.55 cm × 3.40 cm	吻合	欠佳	无	无	有	60
6	71	大脑凸面	4.85 cm × 3.40 cm	吻合	欠佳	无	无	有	72

2c), 向前推挤中央前静脉, 内侧附着于上矢状窦。采用 scissors 等工具进行皮瓣和骨窗设计, Sina 软件进行三维重建模型的体表投影(图 2d)。于 2020 年 5 月 12 日行颅内占位性病变切除术, 患者仰卧位, 气管插管全身麻醉, 通过 Sina 软件增强现实技术将 3D Slicer 所建三维模型投影, 于头皮标注肿瘤部位, 再通过神经导航系统验证肿瘤部位的准确性, 导航所示肿瘤边界与 Sina 软件投影相吻合, 设计 U 形头皮切口, 钻铣磨形成 6 cm × 7 cm 大小骨瓣, 术中可见肿瘤起源于中央区硬脑膜和同侧上矢状窦壁, 侵蚀硬脑膜, 悬吊硬脑膜后, 先电凝肿瘤基底部分切断肿瘤血供, 避开静脉沿骨窗前外侧剪开硬脑膜(图 3a), 分块切除肿瘤, 肿瘤质地中等, 血供一般, 包膜与蛛网膜界面粘连, 沿肿瘤周围小心分离瘤壁, 保护蛛网膜界面完整, 术中所见肿瘤部位及其毗邻解剖结构与术前三维重建模型相一致, 肿瘤侵犯上矢状窦壁, 予以电凝后分块切除肿瘤, 一并切除受累的上矢状窦壁, 再以明胶海绵和脑棉压迫上矢状窦壁残端, 取人工硬膜与上矢状窦壁缝合, 在缝合封闭前取出明胶海绵和脑棉, 重建上矢状窦。手术全切除肿瘤, 大小约 4.50 cm × 5.00 cm, 可见中央区皮质、中央沟前静脉、中央沟静脉保护完好(图 3b)。术后 24 小时查体, 对答切题, 四肢肌力 5 级, 深浅感觉无异常; 复查头部 CT, 无瘤腔内出血(图 4a)。术后 48 小时复查 MRI 提示肿瘤全切除(图 4b~4d), MRV 重建显示瘤周静脉保护完好, 上矢状窦通畅(图 4e)。术后病理证实为脑膜皮型 + 血管瘤型脑膜瘤(图 5)。术后随访 6 个月, 言语清晰, 四肢肌力正常, 无癫痫发作, 复查 MRI 未见肿瘤复发。

讨 论

中央区包括中央前回和中央后回, 该区域直接

或间接损伤均造成相应神经功能障碍, 因此, 对于中央区脑膜瘤尤其是窦镰旁脑膜瘤, 显微镜下全切除肿瘤的同时应最大程度保护中央区功能^[5]。术前定位是手术的重要步骤, 常规肿瘤定位依靠神经导航系统, 手术体位、重力作用、手术过程中脑脊液丢失和肿瘤组织切除等均可导致脑组织漂移, 继而导致术中导航偏差^[6]。目前, 术中超声^[7-8]和术中荧光显影^[9]等技术用于纠正术中脑漂移造成的偏差。中央前沟、中央沟、中央后沟、中央前静脉、中央静脉这些解剖结构术中易辨认, 随着肿瘤的切除, 脑沟、脑回和静脉发生同步移位, 术中充分利用上述结构的解剖关系校正脑漂移带来的误差。本研究采用 3D Slicer 软件分割出脑皮质, 可清晰显示中央沟、中央前回和中央后回, 重建头皮、颅骨、肿瘤、瘤周静脉等, 并将其融合进行三维重建, 术前即可立体观察肿瘤与大脑皮质、中央沟、中央前回、中央后回、瘤周静脉的关系, 即使术中出现脑脊液丢失等致脑漂移, 也可以根据解剖结构确认肿瘤边界, 从而有目的地分离瘤周血管, 使其得以保护。

目前, 主要通过术前二维 CTV 或 MRV 图像了解肿瘤与静脉的关系, 但是由于常规 CTV 或 MRV 图像无法充分显示肿瘤与毗邻静脉的空间结构关系, 术中易损伤静脉而产生严重并发症^[10]。术前采用 3D 打印技术、虚拟现实技术等先进现代影像学技术充分评估肿瘤与重要结构的三维解剖关系, 对指导手术入路和手术策略具有重要意义, 现已广泛用于临床^[11-12]。3D Slicer 软件是美国哈佛医学院和美国麻省理工学院牵头全球开发者共同参与研发的一款免费的医学影像后处理软件, 不仅可以重建皮肤、颅骨、肿瘤、血管、神经等三维解剖结构模型^[13], 为术者提供丰富的解剖学信息, 还可以辅助制定手术方案、评估手术效果。Sina 软件是一款应用于安卓

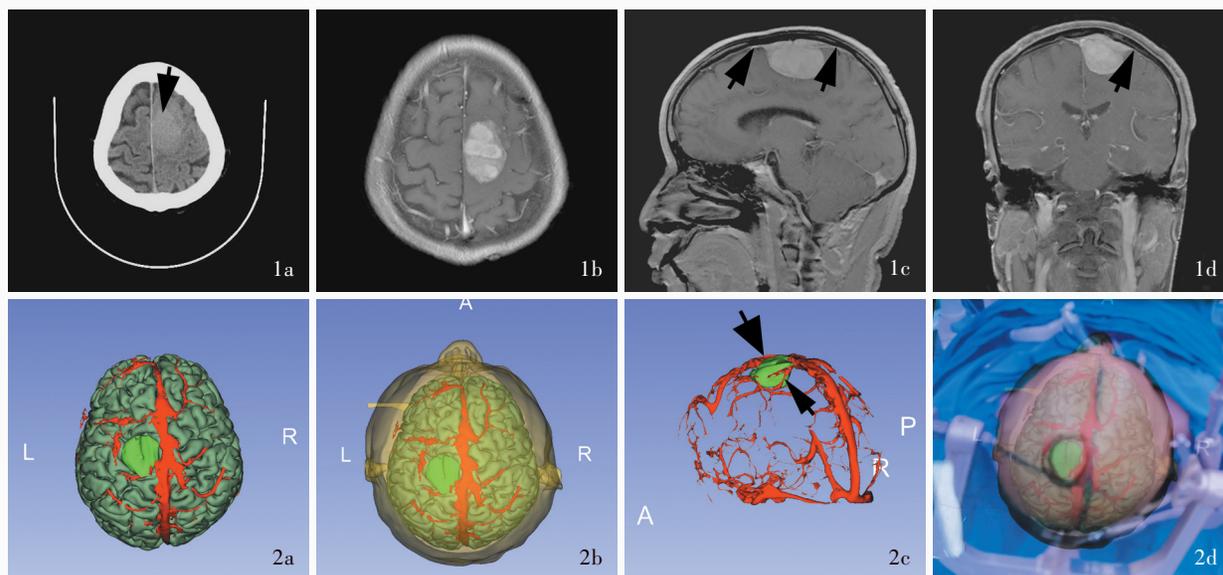


图1 术前头部影像学检查所见 1a 横断面CT显示,左侧额顶交界处团块状稍高密度影(箭头所示) 1b~1d 横断面、矢状位和冠状位增强T₁WI显示,左侧窦镰旁病灶呈明显均匀强化,可见“脑膜尾征”(箭头所示) **图2** 术前三维重建及增强现实投影(L,左侧;R,右侧;A,前部;P,后部) 2a 显示肿瘤及其周围毗邻解剖结构 2b 透明化头皮和颅骨,显示肿瘤位置 2c 可见肿瘤及其毗邻静脉和静脉窦的关系,中央沟静脉(细箭头所示)和中央前沟静脉(粗箭头所示) 2d 增强现实投影后确定肿瘤部位,并设计头皮切口

Figure 1 Preoperative head imaging findings Axial CT showed a mass like slightly high density shadow in left frontal and parietal junction (arrow indicates, Panel 1a). Axial (Panel 1b), sagittal (Panel 1c) and coronal (Panel 1d) enhanced T₁WI showed the lesions near the left sinus falx were significantly and evenly enhanced, and the "meningeal tail sign" was seen (arrows indicate). **Figure 2** Preoperative 3D-reconstruction and augmented reality findings Tumors and its surrounding adjacent (Panel 2a). Visify the scalp and skull to show the location of the tumor (Panel 2b). The relationship between tumor and its adjacent veins and sinuses, the central sulcus vein (thin arrow indicates) and the central anterior sulcus vein (thick arrow indicates, Panel 2c). Using Sina software to perform augmented reality projection, in order to determine the position of the tumor according to the projection, and then design the scalp incision (Panel 2d).

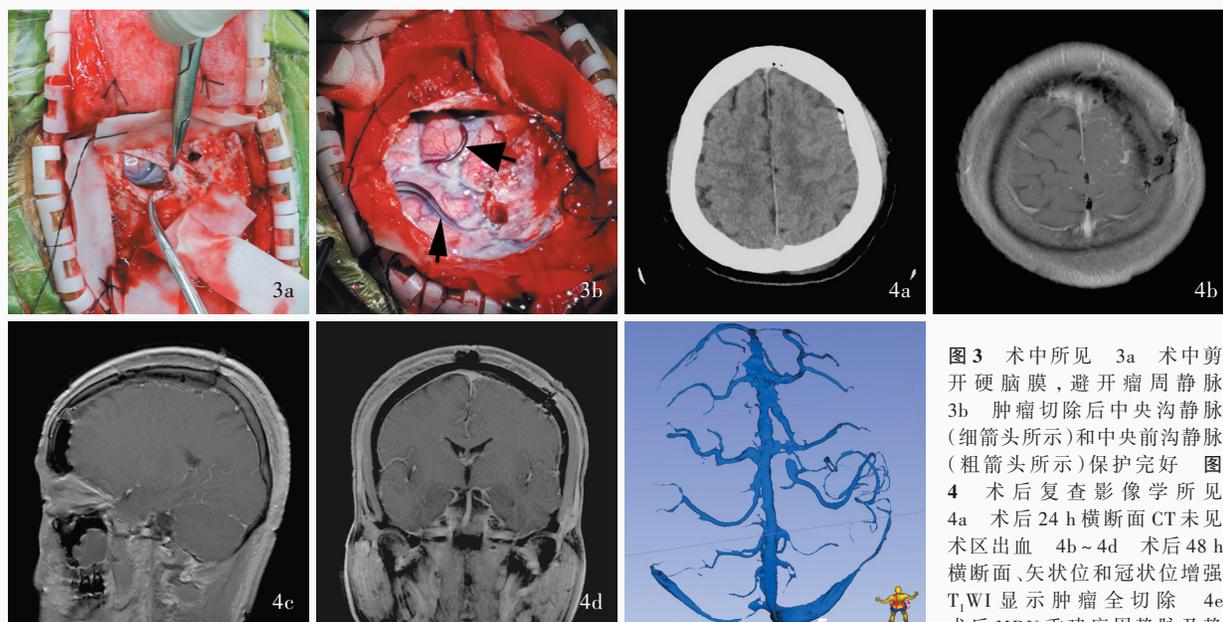


图3 术中所见 3a 术中剪开硬脑膜,避开瘤周静脉 3b 肿瘤切除后中央沟静脉(细箭头所示)和中央前沟静脉(粗箭头所示)保护完好 **图4** 术后复查影像学所见 4a 术后24 h横断面CT未见术区出血 4b~4d 术后48 h横断面、矢状位和冠状位增强T₁WI显示肿瘤全切除 4e 术后MRV重建瘤周静脉及静脉窦,可见瘤周静脉保护完好,上矢状窦重建后血流通畅

Figure 3 Intraoperative findings Cut the dura mater during the operation, avoiding the peritumoral vein (Panel 3a). After tumor resection, the central sulcus vein (thin arrow indicates) and the central anterior sulcus vein (thick arrow indicates) were well protected (Panel 3b). **Figure 4** Postoperative reexamination and reconstruction findings Postoperative axial CT (24 h after operation) showed no hemorrhage in the tumor cavity (Panel 4a). Postoperative (48 h after operation) axial (Panel 4b), sagittal (Panel 4c) and coronal (Panel 4d) enhanced T₁WI showed no residual tumor. Postoperative MRV reconstructed the peritumoral veins and venous sinuses, showing that the peritumoral veins were well protected and the blood flow of superior sagittal sinus was unobstructed (Panel 4e).

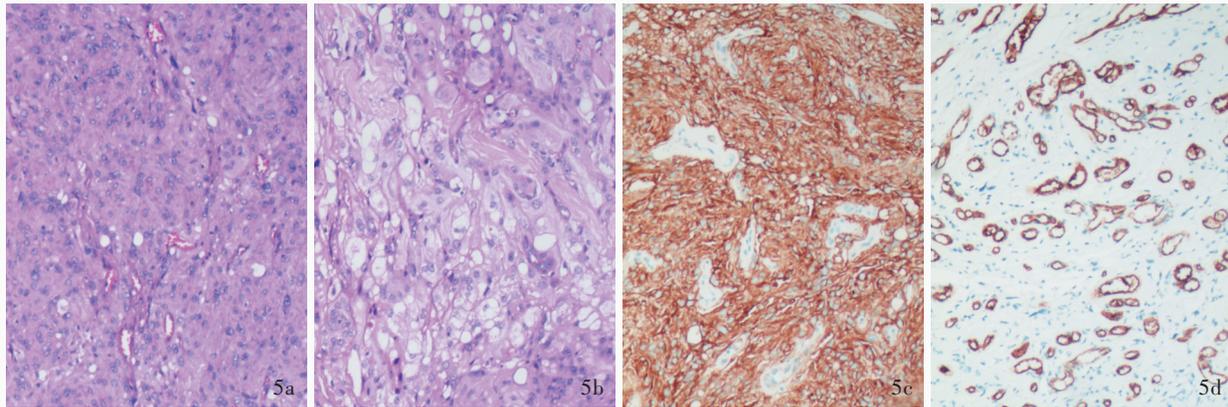


图 5 术后病理学检查所见 5a 肿瘤细胞呈圆形、卵圆形和上皮样,呈巢团状、漩涡状排列,胞质淡染,胞核圆形、卵圆形,轻度异形性,核分裂象罕见 HE 染色 低倍放大 5b 部分区域血管丰富、充血,呈血管瘤样增生,伴管壁玻璃样变性 HE 染色 低倍放大 5c 肿瘤细胞胞质和胞膜生长抑素受体 2(SSTR2)呈弥漫性强阳性 免疫组化染色(EnVision 二步法) 高倍放大 5d 血管 CD34 呈阳性 免疫组化染色(EnVision 二步法) 高倍放大

Figure 5 Postoperative pathological findings The tumor cells were round, oval and epithelioid, arranged in nest and vortex shape, the cytoplasm was lightly stained, the nucleus was round, oval and slightly abnormal, and the mitotic image was rare (Panel 5a). HE staining low power magnified Some areas were rich in blood vessels, hyperemia, hemangioma like hyperplasia and hyaline degeneration of the tube wall (Panel 5b). HE staining low power magnified The cytoplasm and membrane of tumor cells showed diffuse strong positive expression of somatostatin receptor 2 (SSTR2, Panel 5c). Immunohistochemistry staining (EnVision) high power magnified CD34 was positive in blood vessel (Panel 5d). Immunohistochemistry staining (EnVision) high power magnified

手机系统可定位颅内幕上病变的应用软件^[14],目前已广泛应用于高血压脑出血、肿瘤等的术前定位投影^[15-17],并取得满意效果。本研究采用 Sina 软件进行体表投影,肿瘤定位准确,术中验证肿瘤位于骨窗中央,骨窗边缘距肿瘤边界约 2 cm,显露充分,定位时间约 10 分钟,较神经导航系统(15~20 分钟)明显缩短。

中央区脑膜瘤术后出血和脑水肿是严重并发症,可导致严重的神经功能障碍^[18]。蔡伦等^[19]认为,术中损伤中央沟静脉和瘤周静脉可能是中央区脑膜瘤术后出血和脑水肿的主要原因,术中须仔细保护中央沟静脉和瘤周静脉,以免损伤后发生严重的脑水肿和静脉性出血,造成严重神经功能障碍,增加术后病残率和病死率。研究显示,运动区大脑浅静脉变异较大^[20],且肿瘤可产生部分病理性增生血管,与周围引流静脉相通,构成代偿性静脉侧支循环,参与脑循环的平衡,若术中损伤这些侧支循环,有可能导致术中或术后出血或发生严重的脑水肿^[21],因此,术中保护中央区静脉意义重大^[22]。本研究采用 3D Slicer 软件三维重建肿瘤及瘤周静脉模型,效果较理想,可清晰、全面显示肿瘤与瘤周的毗邻关系,通过旋转模型,可立体全面观察瘤周静脉走行,对术中硬脑膜剪开方向和瘤周静脉保护具有指导作用。当静脉横跨瘤体时,沿静脉两侧游离松解,分块切除肿瘤,降低静脉张力,术中减少对血

管的牵拉和电凝热刺激,以免影响术后血管的通畅性,肿瘤切除后残腔应垫长条明胶海绵,以免中央沟静脉失去支撑下陷成角而致血栓形成或破裂出血^[23];当中央沟静脉位于肿瘤浅表时,沿静脉间隙游离,并在中央沟静脉下分块切除肿瘤;当中央沟静脉位于瘤内时,先分块切除肿瘤,再分离中央沟静脉^[24]。术中切除肿瘤时须在血管周围软脑膜外进行操作,以保护静脉^[25],术中若发现静脉与肿瘤粘连紧密,无需强行切除,宁可残留少许以免损伤血管。本研究根据术前三维重建,在肿瘤周围保持血管周围软脑膜外操作,术中静脉保护良好,术后未出现瘤腔内出血和严重脑水肿,有 2 例患者因肿瘤突破蛛网膜界面,肿瘤边界不清,在分离过程中对微小静脉分支造成小灶损伤,术后出现短暂性肢体肌力下降,随着脑水肿的消退,肌力逐渐恢复,远期功能恢复良好。

本研究采用 3D Slicer 软件重建肿瘤与瘤周静脉有以下优势:(1)可重建出头皮、颅骨、肿瘤、静脉及静脉窦、大脑皮质,通过配准后可清晰显示解剖关系。(2)可将头皮和颅骨透明化,用于肿瘤体表投影。(3)应用重建虚拟模型,与患者家属沟通,患者及家属更易理解,对手术的接受程度更高。采用 3D Slicer 软件重建三维模型,通过 Sina 软件增强现实技术定位肿瘤,对提高手术的精确度具有一定的辅助作用。采用 3D Slicer 软件重建模型时应注意

以下几点:(1)头部CT扫描须包括全脑组织,且头部居中,双侧耳廓不受压。(2)三维重建时须先将CT、3D-T₁WI、MRV 进行配准,使其位于同一空间坐标内,再依次重建出肿瘤、大脑皮质、瘤周静脉、颅骨和头皮。(3)由于强化的硬脑膜可能影响瘤周静脉的显示,应结合矢状位和冠状位MRI增强扫描结果进行多层面重建。(4)通过Models模块使头皮和颅骨透明化,选取矢状位,保留投影图片,以减少投影时的角度误差。采用Sina软件进行体表投影时应注意以下几点:(1)患者仰卧位,使冠状位与地面平行,标出正中矢状线和冠状缝,选取双侧耳廓和鼻尖进行投影配准。(2)投影时先手动配准基本吻合后,再将智能手机固定于三脚架上进行微调,完全配准后再行肿瘤轮廓描记,以减少误差。

综上所述,本研究通过对中央区脑膜瘤患者术前多模态影像学数据进行三维重建,结合手机Sina软件指导手术方案,并根据术中所见进行验证,证实多模态影像融合三维重建技术有助于术前充分规划,减少术前定位时间,提高肿瘤全切除率,保护神经功能,减少术后并发症。本研究亦存在不足之处,虽然通过多模态配准融合能够重建大脑皮质、肿瘤与血供的位置关系,但无法显示出肿瘤与大脑皮质及周围血管之间的粘连程度以及肿瘤的质地,在术前无法判断术中切除及分离肿瘤的难易程度;在术前规则中也应考虑到误差的存在,可能出现皮质小静脉分支无法显示的可能,需要在后续研究中进一步细化三维重建操作,多方面验证其临床实用价值。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Kotecha RS, Pascoe EM, Rushing EJ, Rorke - Adams LB, Zwerdling T, Gao X, Li X, Greene S, Amirjamshidi A, Kim SK, Lima MA, Hung PC, Lakhdar F, Mehta N, Liu Y, Devi BI, Sudhir BJ, Lund-Johansen M, Gjerris F, Cole CH, Gottardo NG. Meningiomas in children and adolescents: a meta-analysis of individual patient data[J]. *Lancet Oncol*, 2011, 12:1229-1239.
- [2] Wang ZC, Zhang YQ. *Neurosurgery* [M]. 2nd. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2015: 575-581. [王忠诚, 张玉琪. 神经外科学[M]. 2版. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2015: 575-581.]
- [3] Winn HR, Kliot M, Brem H, Sawaya R. *Youmans Neurological Surgery* [M]. Wang RZ, trans. 5th. Beijing: People's Medical Publishing House, 2009: 874-876. [Winn HR, Kliot M, Brem H, Sawaya R. 尤曼斯神经外科学[M]. 王任直译. 5版. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 874-876.]
- [4] Louis DN, Perry A, Reifenberger G, von Deimling A, Figarella-Branger D, Cavenee WK, Ohgaki H, Wiestler OD, Kleihues P, Ellison DW. The 2016 World Health Organization Classification of Tumors of the central nervous system: a summary [J]. *Acta Neuropathol*, 2016, 131:803-820.
- [5] Li JF, Zhang YQ, He L, Zuo HC. The application of multimodal image fusion and BOLD-fMRI in operations of brain tumors in the central region [J]. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2017, 33:255-259. [李杰飞, 张玉琪, 何乐, 左焕琮. 多模态影像融合技术联合BOLD-fMRI在中央区脑肿瘤手术中的应用[J]. 中华神经外科杂志, 2017, 33:255-259.]
- [6] Gerard IJ, Kersten-Oertel M, Petrecca K, Sirhan D, Hall JA, Collins DL. Brain shift in neuronavigation of brain tumors: a review [J]. *Med Image Anal*, 2017, 35:403-420.
- [7] Prada F, Perin A, Martegani A, Aiani L, Solbiati L, Lamperti M, Casali C, Legnani F, Mattei L, Saladino A, Saini M, DiMeco F. Intraoperative contrast-enhanced ultrasound for brain tumor surgery [J]. *Neurosurgery*, 2014, 74:542-552.
- [8] Sastry R, Bi WL, Pieper S, Frisken S, Kapur T, Wells W 3rd, Golby AJ. Applications of ultrasound in the resection of brain tumors [J]. *J Neuroimaging*, 2017, 27:5-15.
- [9] Rey - Dios R, Cohen - Gadol AA. Technical principles and neurosurgical applications of fluorescein fluorescence using a microscope-integrated fluorescence module [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2013, 155:701-706.
- [10] Wei D, Lin K, Su YP, Lu F, Hong WY, Zheng PF, Jiang XH. Study on 3D visualization model for central region falxine meningiomas surgery [J]. *Lin Chuang Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2018, 15:440-443. [魏德, 林堃, 苏云萍, 卢峰, 洪文瑶, 郑鹏锋, 江晓航. 三维可视化模型指导中央区镰旁脑膜瘤手术的研究[J]. 临床神经外科杂志, 2018, 15:440-443.]
- [11] Jiang S, Huo XH, Sun MR, Hou Q, Liu MT, Tian JH. Application of augmented reality-assisted three-dimensional CT in retrosigmoid craniotomy [J]. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2018, 34:619-622. [蒋帅, 霍显浩, 孙美蓉, 侯乾, 刘茂唐, 田继辉. 增强现实技术辅助CT三维重建在经乙状窦后入路开颅手术中的应用[J]. 中华神经外科杂志, 2018, 34:619-622.]
- [12] Chen SH, Yang J, Ma SC, Qi JF, Chang YK, Cun EH, Shi XE. Application of virtual reality technique in operations of lesions in craniocervical junction [J]. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2018, 34:591-595. [陈素华, 杨军, 马顺昌, 齐建发, 常永凯, 寸恩浩, 石祥恩. 虚拟现实技术在颅颈交界区病变手术中的应用[J]. 中华神经外科杂志, 2018, 34:591-595.]
- [13] Fedorov A, Beichel R, Kalpathy - Cramer J, Finet J, Fillion - Robin JC, Pujol S, Bauer C, Jennings D, Fennessy F, Sonka M, Buatti J, Aylward S, Miller JV, Pieper S, Kikinis R. 3D slicer as an image computing platform for the quantitative imaging network [J]. *Magn Reson Imaging*, 2012, 30:1323-1341.
- [14] Eftekhar B. A smartphone app to assist scalp localization of superficial supratentorial lesions: technical note [J]. *World Neurosurg*, 2016, 85:359-363.
- [15] Sun GC, Chen XL, Hou YZ, Liu L, Zhang JS, Tang H, Li C, Wang P, Xu XH. Endoscopic surgery of spontaneous supratentorial intracerebral hematoma assisted by virtual reality and augmented reality [J]. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2017, 33:15-18. [孙国臣, 陈晓雷, 侯远征, 刘磊, 张家壁, 汤浩, 李翀, 王鹏, 徐兴华. 基于简易虚拟现实和增强现实定位的内镜辅助下清除幕上自发性脑内血肿[J]. 中华神经外科杂志, 2017, 33:15-18.]
- [16] Han YF, Yang J. A preliminary study on the application of augmented reality technique based on Sina in the localization of spinal canal tumors [J]. *Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2020, 36:1126-1129. [韩芸峰, 杨军. 基于Sina的增强现实技术在椎管肿瘤手术定位中应用的初步探讨[J]. 中华神经外科杂志, 2020, 36:1126-1129.]

- [17] Wu XB, Kang Q, Li M, Zeng ST, Peng YQ, Weng ZP, Chen H. Effect of 3D - Slicer combined with sina software assisted minimally invasive neuroendoscopic surgery for hypertensive intracerebral hemorrhage[J]. Zhongguo Nao Xue Guan Bing Za Zhi, 2018, 15:134-139.[伍学斌, 康强, 李敏, 曾胜田, 彭远强, 翁志蓬, 陈洪. 3D-Slicer联合 sina 软件辅助神经内镜微创手术治疗高血压脑出血的疗效观察[J]. 中国脑血管病杂志, 2018, 15:134-139.]
- [18] Ottenhausen M, Rumalla K, Younus I, Minkowitz S, Tsiouris AJ, Schwartz TH. Predictors of postoperative motor function in rolandic meningiomas [J]. J Neurosurg, 2018. [Epub ahead of print]
- [19] Cai L, Xiong ZJ, Xing B, Li J, Cai Q. Analysis and treatment of cerebral hemorrhage and cerebral edema in patients with parasagittal meningeal after surgery [J]. Zhongguo Lin Chuang Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2020, 25:759-760.[蔡伦, 熊左隽, 幸标, 李俊, 蔡琴. 矢状窦旁脑膜术后脑出血及脑水肿原因分析及治疗[J]. 中国临床神经外科杂志, 2020, 25:759-760.]
- [20] Xiao HB, Zou P, Zhao P, Zhao L, Xu HT, Lu AL. The classification and clinical significance of the superficial vein group in the motor cortex region [J]. Jiangsu Yi Yao, 2012, 38: 2676-2678.[肖红波, 邹鹏, 赵鹏, 赵琳, 徐海涛, 鲁艾林. 大脑运动区浅静脉组的分型与临床意义[J]. 江苏医药, 2012, 38: 2676-2678.]
- [21] Ying JB, Li J, Zhao L, Li SQ, Wang SS. Clinical value of collateral venous circulation assessment in operations of parasagittal meningiomas [J]. Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2017, 33:377-382.[应建彬, 李军, 赵琳, 李世清, 王守森. 静脉侧支循环分级在上矢状窦旁脑膜瘤手术中的应用价值[J]. 中华神经外科杂志, 2017, 33:377-382.]
- [22] Sughrue ME, Rutkowski MJ, Shangari G, Parsa AT, Berger MS, McDermott MW. Results with judicious modern neurosurgical management of parasagittal and falcine meningiomas: clinical article [J]. J Neurosurg, 2011, 114:731-737.
- [23] Gui C, Deng WK, Liu XG. Microsurgical treatment of 36 cases of paranasal and falcine meningioma [J]. Zhongguo Lin Chuang Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2019, 24:692-693.[桂超, 邓万凯, 刘细国. 36 例窦旁脑膜瘤的显微手术治疗[J]. 中国临床神经外科杂志, 2019, 24:692-693.]
- [24] Deng WS, Zhou XY, Li ZJ, Xie HW, Fan MC, Sun P. Microsurgical treatment for central gyrus region meningioma with epilepsy as primary symptom [J]. J Craniofac Surg, 2014, 25:1773-1775.
- [25] Nowak A, Dziedzic T, Czernicki T, Kunert P, Marchel A. Surgical treatment of parasagittal and falcine meningiomas invading the superior sagittal sinus [J]. Neurol Neurochir Pol, 2014, 48:174-180.

(收稿日期: 2022-01-29)
(本文编辑: 袁云)

· 小词典 ·

中英文对照名词词汇 (五)

美国典藏中心 American Type Culture Collection (ATCC)
美国医学遗传学和基因组学会
American College of Medical Genetics and Genomics (ACMG)
蒙特利尔认知评价量表
Montreal Cognitive Assessment (MoCA)
脑默认网络 default mode network (DMN)
脑默认网络后部 posterior default mode network (pDMN)
脑默认网络前部 anterior default mode network (aDMN)
脑桥-外侧膝状体-枕叶锋电位
ponto-geniculo-occipital spike (PGO Spike)
脑源性神经营养因子
brain-derived neurotrophic factor (BDNF)
脑组织铁沉积神经变性病
neurodegeneration with brain iron accumulation (NBIA)
帕金森病 Parkinson's disease (PD)
帕金森病痴呆 Parkinson's disease dementia (PDD)
帕金森病睡眠量表 Parkinson's Disease Sleep Scale (PDSS)
前蛋白转化酶枯草杆菌蛋白酶/Kexin9 型
proprotein convertase subtilisin/Kexin type 9 (PCSK9)
轻度认知损害 mild cognitive impairment (MCI)
丘脑底核 subthalamic nucleus (STN)
丘脑底核脑深部电刺激术
subthalamic nucleus deep brain stimulation (STN-DBS)

全基因组关联分析 genome-wide association study (GWAS)
全面性强直-阵挛发作
generalized tonic-clonic seizure (GTCS)
全外显子组测序 whole exome sequencing (WES)
人工智能 artificial intelligence (AI)
任务态功能磁共振成像
task-state functional magnetic resonance imaging (ts-fMRI)
肉芽肿性脑膜脑炎
granulomatous meningoencephalomyelitis (GME)
乳酸脱氢酶 lactate dehydrogenase (LDH)
噻唑蓝 methyl thiazolyl tetrazolium (MTT)
3,4,5-三甲氧基苯甲醛
3,4,5-trimethoxyl-benzaldehyde (TMB)
神经干细胞 neural stem cells (NSCs)
神经生长因子 nerve growth factor (NGF)
神经丝蛋白轻链 neurofilament light chain (NFL)
神经炎性斑 neuritic plaques (NPs)
[老年斑 senile plaques (SPs)]
神经原纤维缠结 neurofibrillary tangles (NFTs)
生长抑素受体 2 somatostatin receptor 2 (SSTR2)
十二烷基磺酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳
sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)