引用格式：钟晓绯，王翔，聂玲，等. 术中双功超声在 7 例脑少突胶质细胞瘤的应用[J]. 声学技术, 2021, **40**(5): 639-644. [ZHONG Xiaofei, WANG Xiang, NIE Ling, et al. Application of intraoperative duplex ultrasound in 7 cases of Oligodendroglioma[J]. Technical Acoustics, 2021, **40**(5): 639-644.]
DOI: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2021.05.008

术中双功超声在 7 例脑少突胶质细胞瘤的应用

钟晓绯[1]，王 翔[2]，聂 玲[3]，邓莉萍[4]，张静漪[1]，卢 强[1]
(1. 四川大学华西医院(超声医学科)，四川成都 610041；2. 四川大学华西医院(神经外科)，四川成都 610041；
3. 四川大学华西医院(病理科)，四川成都，610041；4. 四川大学华西医院(放射科)，四川成都 610041)

摘要：研究目的：探讨术中双功超声在脑少突胶质细胞瘤的应用价值。方法：回顾分析 7 例经病理证实的少突胶质细胞瘤的术中双功超声图像。术中超声(Intraoperative Ultrasound, IOUS)由同一检查者按照统一图像质量标准存储、分析。B 模式评估病灶位置、大小、回声、边界、形态、其他征象，D 模式评估病灶多普勒血流信号。结果：7 例少突胶质瘤的最大径线平均值为 5.2 cm，病灶边缘距脑膜＜1 cm 者占 71.4%。85.7%为稍强回声团块，85.7%边界清晰，57.1%形态不规则，71.4%伴有不同形状的高回声，71.4%Adler 血流分级为 3 级。结论：IOUS 的 B 模式可用于脑少突胶质细胞瘤的实时定位及术中监测，D 模式血流信息有助于定位脑部重要血管，进行术中预警。声像图中出现不同形状的高回声，后方不伴声影，提示钙化可能性大，对胶质瘤的影像学分级有一定帮助。

关键词：术中超声；双功超声；低级别胶质瘤；少突胶质细胞瘤
中图分类号：R445.1 R739.41 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630(2021)-05-0639-06

Application of intraoperative duplex ultrasound in 7 cases of Oligodendroglioma

ZHONG Xiaofei[1], WANG Xiang[2], NIE Ling[3], DENG Liping[4], ZHANG Jingyi[1], LU Qiang[1]
(1. *West China Hospital of Si Chuan University (Department of Ultrasonography), Chengdu* 610041, *Sichuan*, *China*;
2.*West China Hospital of Si Chuan University (Department of Neurosurgery), Chengdu* 610041, *Sichuan*, *China*;
3. *West China Hospital of Si Chuan University (Department of Pathology), Chengdu* 610041, *Sichuan, China*;
4. *West China Hospital of Si Chuan University (Department of Radiology), Chengdu* 610041, *Sichuan*, *China*)

Abstract: Objective: To explore the value of intraoperative ultrasound (IOUS) in oligodendroglioma. Methods: The intraoperative ultrasound images of 7 patients with supratentorial oligodendroglioma confirmed by pathology were analyzed. IOUS images are stored and analyzed by the same examiner according to the unified image quality standard. B mode is used to evaluate the location, size, echo, boundary, shape and other signs of the lesions, and D mode is used to evaluate the Doppler blood flow signals of the lesions. Results: The mean maximum diameter of 7 oligodendrogliomas is 5.2 cm, and 71.4% of the lesions are less than 1 cm from the edge of the lesion to the meninges. 85.7% has slightly hyperechoic mass, 85.7% has clear boundary, 57.1% has irregular shape, 71.4% has different shapes of hyperechoic and 71.4% has Adler blood flow classification of Grade 3. Conclusions: The B mode of IOUS can be used for real-time locating and intraoperative monitoring of oligodendroglioma. The D mode of blood flow information can help locate the important blood vessels in the brain and carry out intraoperative early warning. There are different hyperechoic patterns, such as spot, slice, arc, linear and nodular, in the brain lesion images without acoustic shadow at the back, indicating the high possibility of calcification, which is helpful to the imaging classification of glioma.
Key words: intraoperative ultrasound; duplex ultrasound; low grade glioma; oligodendroglioma

0 引 言

常规超声因其物理性质受限于人体骨骼、气体，对深面的组织结构无法进行成像。在术中，通过切除、牵拉、铣开颅骨等可以避开气体及骨骼，为术中超声(Intraoperative Ultrasound, IOUS)创造声窗，从而提升超声在脑、脊髓的诊断效能。IOUS 的使用可以贯穿于整个神经外科手术过程，尤其适用于经皮质深窄隧道的脑肿瘤切除术，并且能通过多普勒成像技术显影颅内重要血管[1]。

神经外科的手术原则是保证正常脑结构受损最小而尽可能完整切除病变[2]。脑胶质瘤的外科目标是安全切除病变及减少肿瘤负荷，术中使用多模

收稿日期：2020-04-08；**修回日期**：2020-05-03
基金项目：四川省科技厅重点研发项目(2018FZ0044)
作者简介：钟晓绯(1982－)，女，四川成都人，硕士，研究方向为术中超声。
通讯作者：卢强, E-mail: wsluqiang@126.com

态技术定位病灶、定量切除是其有力保障。脑胶质瘤的影像学切除有利于后续其他治疗[3]。外科切除低级别胶质瘤(Low Grade Glioma, LGG)可以改善患者的无进展生存期(Progression-Free Survival, PFS)、总生存期(Overall Survival Time, OS)，并对控制癫痫、提升病理准确性有益。而术中影像技术的应用有助于手术进程的监测[4]。本文旨在探讨 IOUS 双功超声成像技术在少突胶质细胞瘤术中的价值。

1 资料与方法

1.1 IOUS 设备、参数及材料

超声仪器机型及探头：(1) PHILIPS CX 50：C5-1 探头(曲率半径 45 mm，频率 1～5 MHz)和 L12-3 探头(尺寸 38 mm，频率 3～12 MHz)；(2) PHILIPS IU-22：C5-1 探头(曲率半径 45 mm，频率 1～5MHz)和 L12-5 探头(尺寸 50 mm，频率 3～12MHz)；(3) Sonoscape S50Pro，12LT 探头(尺寸 37 mm，频率 4～16 MHz)和 C613 探头(曲率半径 14 mm，频率 4～13 MHz)。

IOUS 预设参数选择低频腹部条件和高频浅表条件。成像深度 4～15cm，机械指数(Mechanical Index, MI)0.4～1.2。使用 B 型(Brightness mode)、D 型(Doppler mode)两种模式，即双功超声(Duplex ultrasound)。

材料包括：无菌超声耦合剂，无菌探头套，无菌橡皮筋，无菌生理盐水。

1.2 IOUS 流程及方法

在消毒铺巾前熟悉患者体位(仰卧、斜卧、侧卧、俯卧位等)、头位(左偏、右偏、正中位)。检查前明确探头标识，掌握探头方位与脑的解剖横断面(轴位)、冠状面、矢状面的对应关系，了解外科医师手术目的及策略。熟悉患者的病史及术前影像学资料。

IOUS 扫查时机包括：(1) 切除前：铣开颅骨骨瓣，暴露脑膜；(2) 切除中：根据手术进程的实际情况判断；(3) 病灶切除后。遵循医学超声 ALARA (As Low As Reasonable Achievable)辐照原则，运用最小压力使探头紧贴脑膜，避免铣开的颅骨划破无菌套。

根据骨窗大小、病灶位置选择不同尺寸、频率、形态的超声探头。严格遵守无菌操作原则，穿手术隔离衣、戴无菌手套。超声探头使用无菌套包裹，探头端无菌套必须与探头晶体面紧密贴合，确保晶体面和无菌套之间的耦合剂无气泡存在后使用无菌橡皮筋固定探头套。将探头及部分电缆线置于手术台上并用巾钳固定，保证电缆线长度可使探头放入待探查区进行自由扫查。无菌生理盐水作为润滑及填充手术残腔/隧道的媒介。

B 模式下轻柔、连续、重叠、缓慢地滑动探头，在声窗允许的扫查范围内寻找病灶。在骨窗边缘定点多角度扫查以增加成像范围，确认病灶后通过十字交叉法定位术中实际最大截面的位置。病灶放置于图像中央，根据探头与脑组织贴合状态、声能衰减等调节增益；成像术中、术后的隧道或残腔区域时，在确认止血状态后移除脑棉片，使用无菌生理盐水灌注剜除空腔并在连续滴注状态下进行 IOUS 成像，根据情况调节时间增益补偿(Time Gain Compensation, TGC)。定位病灶最大截面后使用 D 模式，探头相对静止时存储图像，在病灶区及周围动态寻找作为正常解剖标志的脑血管。适当降低 B 型增益，降低血流速度量程(＜10 $cm \cdot s^{-1}$)，以无彩色斑点伪像出现为前提增加 D 型增益。根据术中情况，实时调节深度、焦点、视野，实时优化图像增益、脉冲重复频率(Pulse Repetition Frequency, PRF)、彩色取样框大小等，观察图像细节使用局部放大功能。

定位病灶并优化 IOUS 图像后，存储图像或者动态视频，包括：(1) 病灶最大截面的 B 型图像，低限为 2 张相交断面图像；(2) 病灶最大截面的 D 型图像，低限为 1 张血流信号最优图像；(3) 病灶与周围毗邻的空间关系，低限为 1 张宽视野图像；(4) 根据手术进程，例如切除中、切除后的图像。

1.3 IOUS 图像记录、分析

调取存储的 IOUS 图像，观察病灶与脑中线、脑室、小脑幕、大脑镰、脑部大血管、丘脑等结构的关系。记录、分析包括：(1) 测量病灶最大截面的两个径线；(2) 病灶回声：稍强回声，混合回声；(3) 边界：清楚，不清楚；(4) 形态：规则，不规则；(5) 彩色血流 Adler 分级(0-3 级)[5]：①0 级，无血流信号显示；②1 级，1～2 处血流信号；③2 级，3～4 处血流信号或者成像 1 条管壁清晰的血管；④多处血流信号或者血流信号呈网状；(6) 病灶内部、边缘有无高回声结构出现，并记录数量、形态：无，有；(7) 团块浅面及深面距离脑膜的距离。

2 结 果

2.1 临床资料

2012 年 8 月—2019 年 12 月共 7 例患者的 7 个

病变，经术后病理诊断为少突胶质细胞瘤。IOUS 由同一检查者按照统一图像标准调节、存储、分析记录图像。

7 例患者中，男性 5 例，女性 2 例，平均年龄 45.7 岁，术前 MRI 病灶最大径线平均值为 5.5 cm。5 例临床症状为头晕、头痛、肢体感觉运动异常(5/7，71.4%)，1 例因外伤后检查发现颅内占位(1/7，14.3%)，1 例有 LGG 切除史及伽马刀治疗史(1/7，14.3%)。71.4%(5/7)的病灶位置以额叶为主，28.6%(2/7)以顶叶为主。57.1%(4/7)位于左侧大脑，42.9%(3/7)位于右侧大脑。

2.2　术中双功超声

少突胶质细胞瘤的 IOUS 声像图特征如表 1 所示。7 例少突胶质细胞瘤的最大径线平均值为 5.2 cm，病灶边缘距脑膜＜1 cm 者占 71.4%(5/7，71.4%)。7 例中，85.7%(6/7)的病灶为稍强回声团块，14.3%(1/7)为混合回声团块；85.7%(6/7)边界清晰，14.3%(1/7)边界不清；57.1%(4/7)形态不规则，42.9%(3/7)形态规则；71.4%(5/7)的病灶内部、边缘伴有不同形状的高回声，后方不伴声影(见图 1)，28.6%(2/7)不伴高回声；71.4%(5/7)Adler 血流分级为 3 级，28.6%(2/7)为 2 级(见图 2)。

其中 2 例在手术进程中进行了≥3 次的 IOUS 成像(见图 3)。最后一次 IOUS 成像，残腔周围未见厚度＞5 mm 的稍强回声存在。

表 1　少突胶质细胞瘤的 IOUS 声像图特征
Table 1　Sonographic features of Oligodendroglioma

声像图	征象 1	征象 2
回声	稍强回声 85.7%(6/7)	混合回声 14.3%(1/7)
边界	清晰 85.7%(6/7)	不清晰 14.3%(1/7)
形态	规则 42.9%(3/7)	不规则 57.1%(4/7)
伴发高回声	伴发 71.4%(5/7)	不伴发 28.6%(2/7)

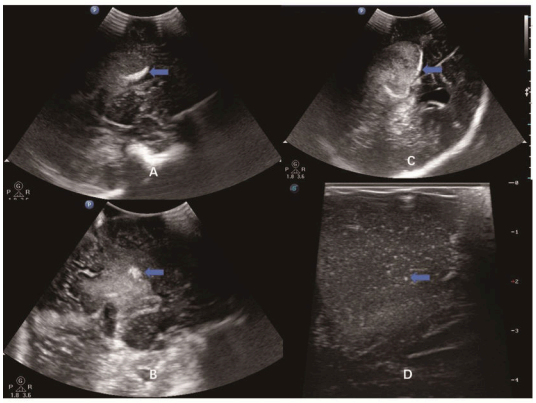
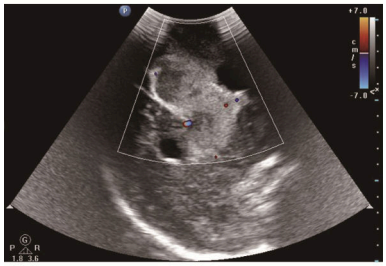


图 1　少突胶质细胞瘤 IOUS B 模式声像图
Fig.1　IOUS B mode image of oligodendroglioma

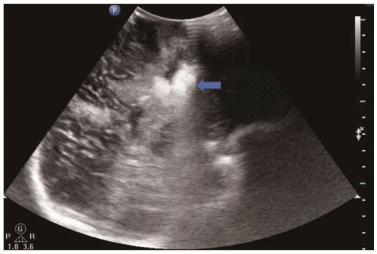
图 1 中，A～D 内蓝色箭头所指高回声的形态分别为弧形、片状或结节状、线状、点状。A～C 图像浅面存在混响伪像、声能衰减伪像，宽视野和增加成像深度的代价是大尺寸低频探头与骨窗不匹配，超声波声窗受限。



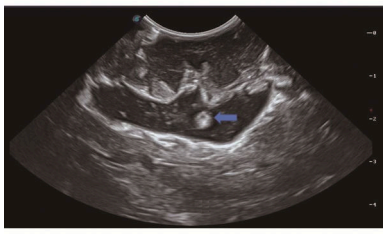
(a) 2 级

(b) 3 级

图 2　两例少突胶质细胞瘤 IOUS D 模式的 Adler 血流分级
Fig.2　Adler blood flow classification of oligodendroglioma in IOUS D mode



(a) 蓝色箭头所示为残腔脑棉片的混响伪像



(b) 剜除肿瘤后在残腔填充无菌生理盐水的 IOUS 图像，蓝色箭头所示为保留的脑部正常血管

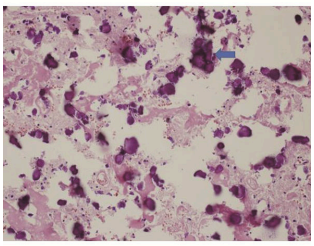
图 3　两例少突胶质细胞瘤 IOUS 术中监测
Fig.3　Intraoperative monitoring of oligodendroglioma in two cases

图 2 中图像右上方的速度量程，均＜10 cm·s^{-1}。

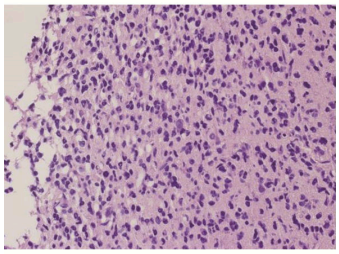
2.3　病理及放射学影像

标本经 4%甲醛固定、石蜡包埋后切片(5 um)，HE(苏木素-伊红)染色，不同倍数光镜下(40、100、200、400 倍)观察病变组织学形态，图 4 中是 200

倍和 400 倍时的光镜图像。肿瘤采取免疫组化特殊染色、FISH 检查、IDH1/2 突变检测等。患者在围手术期内行放射影像学检查。图 4、图 5 为同一例患者的病理图像及放射学影像。



(a) 200 倍时的光镜图像



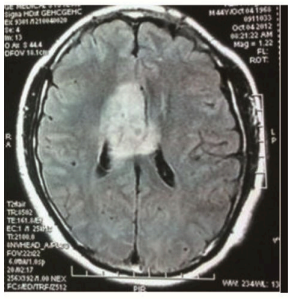
(b) 400 倍时的光镜图像

图 4 一例少突胶质细胞瘤的 HE 染色光镜图像

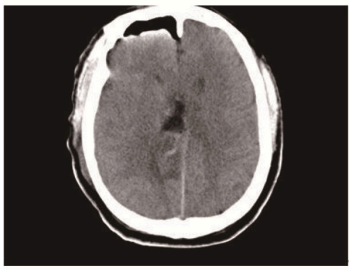
Fig.4 The 200 times (a) and 400 times (b) photoscope images of HE staining in the same oligodendroglioma

图 4(a)的蓝色箭头所示沙砾体，即钙化灶；图 4(b)内可见圆形、椭圆形的肿瘤细胞核，核染色质均匀深染，没有核仁。该例与图 1(a)为同一患者。

图 5(a)显示胼胝体偏右侧的高信号病灶，大小约 5.8 cm×3.4 cm；图 5(b)显示术后胼胝体偏右侧少许积液，原肿块区域未见肿瘤样病灶。



(a) 术前 MRI 图像



(b) 术后 1 天 CT 图像

图 5 与图 4 为同一患者

Fig.5 This is the same patient as Fig 4.

3 讨 论

超声波诊断应用于临床是由奥地利的精神病学家、神经学家 Karl Theodore Dussik 于 1942 年开启[6]。近年，以改善脑肿瘤切除的多种术中成像技术得以推广应用，神经外科医师可根据个体化原则和资源评估其可能选择的术中成像技术[7]。IOUS 能实时定位、分析颅内病灶，确保最大程度且安全的切除肿瘤(Gross Total Resection, GTR)。一项 2017 年对 310 名欧洲神经外科医师协会(EANS)成员进行的问卷调查发现，对胶质母细胞瘤和 LGG 切除术中使用的 5 种成像技术即术中 MRI、5-氨基乙酰丙酸(5-ALA)、IOUS、钠荧光素和术中 CT 进行 Likert 量表评分，5-ALA、IOUS 分值排名第二[8]。IOUS 通常用于颅内及脊髓病变的定位及分析，中枢神经系统的穿刺引导、肿瘤定位、残瘤探测、脓肿引流等均为 IOUS 的适应症。IOUS 的实时医学影像信息利于术中决策优化调整, 可实时监测整个手术进程，弥补由于开颅、药物使用、术中牵拉、重力因素等引起的解剖偏移[9]。IOUS 的优点包括便捷、无电离辐射、易重复性，同时可与其他术中成像技术相结合[10]。IOUS 图像视野小，且通常是倾斜断面而非解剖学和放射影像的轴向、冠状、矢状图像。由于在小范围内成像，视野内缺乏易于识别的解剖定位标志，使得颅脑 IOUS 在图像释意、方位辨识方面存在困难，对操作人员的技术、经验有一定依赖性[11]。

脑主要由各类神经上皮细胞构成，包括神经元和各类胶质细胞。由少突胶质细胞来源的肿瘤称为少突胶质细胞瘤[12]。少突胶质细胞瘤约占原发性脑肿瘤的 4%，占成人胶质瘤的 9.5%，每年发病率约 0.27～0.37/1 万人，高峰年龄 35～40 岁[13]。2016 年世界卫生组织(WHO)分类更新了少突胶质细胞瘤的定义，其属于弥漫性浸润性 LGG 中的一类，通常是基于皮质的肿瘤[14]。

胶质瘤的手术切除程度是影响患者的预后因素，运用术中影像技术旨在实现这一目标。就脑胶质瘤切除术的整体有效性、安全性、经济性而言，需要权衡更广泛的肿瘤切除带来的潜在益处与术后引起新的神经功能缺损和生活质量降低间的风险[10]。一项关于 409 例弥漫性胶质瘤外科切除术的系统回顾和 Meta 分析研究发现，IOUS 的敏感性为 72.2%，特异性为 93.5%[15]。一项 33 例 LGG 的术前 CT、术前 MRI 和 IOUS 影像学研究发现，病

灶的 CT 表现以低密度为主，MRI 以 T1 低信号、T2 高信号为主，IOUS 均表现为稍强回声[16]。本研究中，85.7%的少突胶质细胞瘤为稍强回声团块，14.3%为混合回声团块。该例混合回声病灶的患者有一次 LGG 手术史及放疗史，稍强回声肿瘤周边出现的散在无回声区域可能与既往治疗史有关。

一项 154 例弥漫性幕上神经胶质瘤使用 IOUS 探测残瘤的前瞻性研究发现，IOUS 探测残瘤的特异性为 85%，敏感性为 46%，IOUS 在 LGG 的特异性可达 94%[17]。但随着手术进程的发展，IOUS 的图像质量、诊断灵敏性和特异性等指标会下降，从而高估手术切除的程度[11]。本研究中有 2 例对术后残腔区域进行了残瘤探测，图 3(a)因脑棉片的混响伪像影响残腔深面结构显示，干扰辨识呈稍强回声的残瘤；图 3(b)在确认止血后移除脑棉片，并使用生理盐水连续灌注残腔，无回声的液体与术后保留的脑部正常血管、周围脑组织对比清晰，IOUS 未发现残腔周边存在厚度＞5 mm的稍强回声区域。在手术进程后期切缘可能出现回声增强，同时残腔或隧道内注入的生理盐水会加重超声波后方回声增强伪像，导致 IOUS 图像质量下降。已有研究尝试通过使用与正常脑组织相似阻尼效应的特殊无菌超声耦合剂，以减轻超声伪像，从而提升图像质量[1]。值得注意的一点，本研究发现 71.4%的瘤内及周边出现孤立的或多发的弧形、片状或结节状、线状、点状的高回声，后方不伴回声衰减。颅内病灶 IOUS 声像图出现这种征象提示钙化可能性大，对 LGG 的影像学分级有一定帮助。需要与正常成人颅脑生理性钙化相鉴别，而后者的发生几率可达 74.6%，例如常见于侧脑室三角区的脉络丛钙化[18]。

近年来，多模态 IOUS 成像技术的引入为临床带来了更多影像监测、评估手段，例如 IOUS 融合 MRI 术中导航、超声增强(Contrast-enhanced Ultrasonography, CEUS)、超声弹性(Ultrasound elastography, UE)技术等。CEUS 可以提供除双功超声以外的微循环灌注信息，在成像无血流灌注的坏死区及 D 型无法显示的微循环区域有优势，有助引导术中活检取材、显示残瘤等。一项 49 例脑胶质瘤术中 CEUS 的研究中，不同等级的脑胶质瘤具有不同的超声增强特征，峰值时间(T_{max})、峰值强度(Peak Intensity, PI)等参数可定量分析肿瘤微循环灌注[19]。随着分子影像学的发展,未来的超声造影剂将不再局限于提供组织血流灌注信息，纳米级的超声微泡可能在肿瘤的早期诊断、基因治疗等方面发挥作用。生物组织间存在弹性模量的差异，UE 技术通过测量不同组织的弹性应变参数从而定性、定量判断组织硬度。一项术中 UE 的研究发现，UE 成像在显示脑肿瘤边缘方面较 B 型超声更清晰[20]。中枢神经系统特殊的生理构造及病理改变不同于目前常规开展 UE 技术的其他器官，例如肝脏、乳腺、甲状腺、肌腱，UE 在中枢神经系统的诊断效能、安全性等方面仍有待更多研究。

4　结 论

IOUS 凭借其高效、便捷、经济、实时、手术室配置要求低等特点已广泛应用于中枢神经系统的术中成像。双功超声的 B 模式是 D 模式的基础，可用于寻找定位病灶、分析病灶、判断残瘤。D 模式能够成像正常血管(如 Willis 环)，利于超声颅脑解剖定位，定量分析病灶多普勒血流信号有助于影像分级。对于某些位于大脑侧裂附近的病灶，D 模式可以在手术进程中探测病灶与大脑中动脉的距离，实时预警，有助手术策略及时调整。近年随着超声图像质量控制的提倡，自动图像匹配、去噪等医学图像处理技术的进步[21]，以及 CEUS、UE 等技术在脑胶质瘤术中的尝试，IOUS 在神经外科的运用将得到进一步拓展。

参 考 文 献

[1] UNSGÅRD G, LINDSETH F. 3D ultrasound-guided resection of low-grade gliomas: principles and clinical examples[J]. Neurosurgical Focus, 2019, **47**(6): E9.

[2] 王寅千, 于书卿. 术中超声造影在神经外科的应用[J]. 国际神经病学神经外科学杂志, 2011, **38**(1): 39-42.

[3] 吴劲松, 周良辅. 脑胶质瘤的外科手术近代观点[J]. 复旦学报(医学版), 2017, **44**(6): 724-732.
WU Jinsong, ZHOU Liangfu. Up-to-date viewpoint of cerebral glioma surgery[J]. Fudan University Journal of Medical Sciences, 2017, **44**(6): 724-732.

[4] AGHI M K, NAHED B V, SLOAN A E, et al. The role of surgery in the management of patients with diffuse low grade glioma: a systematic review and evidence-based clinical practice guideline[J]. Journal of Neuro-Oncology, 2015, **125**(3): 503-530.

[5] KONG Q F, LV B, WANG B, et al. Association of von Willebrand factor (vWF) expression with lymph node metastasis and hemodynamics in papillary thyroid carcinoma[J]. European Review for Medical and Pharmacological Sciences, 2020, **24**(5): 2564-2571.

[6] SHAMPO M A, KYLE R A. Karl theodore dussik—pioneer in ultrasound[J]. Mayo Clinic Proceedings, 1995, **70**(12): 1136.

[7] TEJADA SOLÍS S, DE QUINTANA SCHMIDT C, GONZALEZ SÁNCHEZ J, et al. Intraoperative imaging in the neurosurgery operating theatre: a review of the most commonly used techniques for brain tumour surgery[J]. Neurocirugía (English Edition), 2020, **31**(4): 184-194.

[8] COBURGER J, NABAVI A, KÖNIG R, et al. Contemporary use of intraoperative imaging in glioma surgery: a survey among

EANS members[J]. Clinical Neurology and Neurosurgery, 2017, **163**: 133-141.

[9] 郭韬, 郭非, 刘倩薇. 神经导航联合超声切除伴发癫痫的脑胶质瘤[J]. 癫痫杂志, 2019, **5**(3): 176-181.
GUO Tao, GUO Fei, LIU Qianwei. Neuronavigation combined with intraoperative ultrasound in the resection of gliomas with epilepsy[J]. Journal of Epilepsy, 2019, **5**(3): 176-181.

[10] JENKINSON M D, BARONE D G, BRYANT A, et al. Intraoperative imaging technology to maximise extent of resection for glioma[J]. The Cochrane Database of Systematic Reviews, 2018(1): CD012788.

[11] MAHBOOB S, MCPHILLIPS R, QIU Z, et al. Intraoperative ultrasound-guided resection of gliomas: a meta-analysis and review of the literature[J]. World Neurosurgery, 2016, **92**: 255-263.

[12] ROSAI J 著. 罗塞阿克曼外科病理学 第 10 版[M]. 郑杰, 沈丹华, 薛卫成, 译. 北京: 北京大学医学出版社, 2014. 01: 2308.

[13] FLETCHER C D M. 肿瘤组织病理学诊断[M]. 回允中, 译. 北京: 北京大学医学出版社, 2009: 1673.

[14] SEPÚLVEDA-SÁNCHEZ J M, MUÑOZ LANGA J, ARRÁEZ M Á, et al. SEOM clinical guideline of diagnosis and management of low-grade glioma (2017)[J]. Clinical and Translational Oncology, 2018, **20**(1): 3-15.

[15] TREVISI G, BARBONE P, TREGLIA G, et al. Reliability of intraoperative ultrasound in detecting tumor residual after brain diffuse glioma surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. Neurosurgical Review, 2020, **43**(5): 1221-1233.

[16] ROUX P D, BERGER M S, WANG K, et al. Low grade gliomas: comparison of intraoperative ultrasound characteristics with preoperative imaging studies[J]. Journal of Neuro-Oncology, 1992, **13**(2): 189-198.

[17] MUNKVOLD B K R, JAKOLA A S, REINERTSEN I, et al. The diagnostic properties of intraoperative ultrasound in glioma surgery and factors associated with gross total tumor resection[J]. World Neurosurgery, 2018, **115**: 129-136.

[18] 于同, 徐玉振, 王茜, 等. 颅内钙化的病因、临床及影像学表现的研究进展[J]. 中国医学工程, 2019, **27**(7): 13-15.
YU Tong, XU Yuzhen, WANG Qian, et al. Advances in research on etiology, clinical and imaging findings of intracranial calcification[J]. China Medical Engineering, 2019, **27**(7): 13-15.

[19] WANG J, YANG Y L, LIU X, et al. Intraoperative contrast-enhanced ultrasound for cerebral glioma resection and the relationship between microvascular perfusion and microvessel density[J]. Clinical Neurology and Neurosurgery, 2019, **186**: 105512.

[20] PRADA F, DEL BENE M, RAMPINI A, et al. Intraoperative strain elastosonography in brain tumor surgery[J]. Operative Neurosurgery, 2019, **17**(2): 227-236.

[21] XIAO Y M, FORTIN M, UNSGÅRD G, et al. REtroSpective Evaluation of Cerebral Tumors (RESECT): A clinical database of pre-operative MRI and intra-operative ultrasound in low-grade glioma surgeries[J]. Medical Physics, 2017, **44**(7): 3875-3882.