

## Nomogram model based on clinical indexes and intraoperative ultrasound features for differentiating intramedullary ependymoma and astrocytoma of spinal cord

XU Linyu<sup>1</sup>, HOU Chao<sup>2</sup>, JI Kai<sup>3</sup>, CHE Yujie<sup>1</sup>, ZHANG Wei<sup>1</sup>, JIA Wenqing<sup>3</sup>, HE Wen<sup>1\*</sup>

(1. Department of Ultrasound, 3. Department of Neurosurgery, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100070, China; 2. Department of Ultrasound, the Affiliated Hospital of Southwest Medical University, Luzhou 646000, China)

**[Abstract]** **Objective** To construct a nomogram model based on clinical index and intraoperative ultrasound features, and to explore its performance for differentiating intramedullary ependymoma and astrocytoma of the spinal cord. **Methods** Totally 58 cases with ependymoma and 20 with astrocytoma confirmed by surgical pathology were retrospectively enrolled. Univariate analysis, least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) regression analysis were performed to screen influencing factors based on clinical data and ultrasound features. Logistic regression was used to construct a nomogram model based on independent influencing factors. Internal validation of the model was performed using Bootstrap method, and receiver operating characteristic (ROC) curve, calibration curve and decision curve analysis (DCA) were plotted to evaluate the diagnostic efficacy, accuracy and clinical net benefit of the nomogram. **Results** Univariate analysis showed that there were significant differences of patients' age, tumor border, calcification, cystic degeneration, syringomyelia, as well as Adler blood flow grading between intramedullary ependymoma and astrocytoma (all  $P < 0.05$ ). LASSO regression and logistic regression analysis identified patients' age, tumor border and Adler blood flow grading as the independent influencing factors for distinguishing intramedullary ependymoma and astrocytoma (all  $P < 0.05$ ). Then a nomogram model was constructed, with an area under the ROC curve (AUC) of 0.909 for distinguishing ependymoma and astrocytoma, and of 0.880 for internal validation of the model using Bootstrap method. The model exhibited good goodness of fit and high clinical net benefit. **Conclusion** The nomogram based on clinical index and intraoperative ultrasound features demonstrated good efficacy for differentiating intramedullary ependymoma and astrocytoma of spinal cord.

**[Keywords]** spinal cord neoplasms; ependymoma; astrocytoma; ultrasonography; nomograms

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2026.01.008

## 基于临床参数及术中超声声像图特征列线图模型 鉴别脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤

许琳钰<sup>1</sup>, 侯超<sup>2</sup>, 季凯<sup>3</sup>, 车煜洁<sup>1</sup>, 张巍<sup>1</sup>, 贾文清<sup>3</sup>, 何文<sup>1\*</sup>

(1. 首都医科大学附属北京天坛医院超声科, 3. 神经外科, 北京 100070;  
2. 西南医科大学附属泸州医院超声科, 四川 泸州 646000)

**[摘要]** **目的** 基于临床参数和术中超声声像图特征构建列线图模型, 评估其鉴别脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤的效能。 **方法** 回顾性纳入经手术病理证实的 58 例室管膜瘤和 20 例星形细胞瘤, 针对临床参数和声像图特征进行单因素

**[基金项目]** 国家自然科学基金(82271995)。

**[第一作者]** 许琳钰(2000—), 女, 四川绵阳人, 在读硕士。研究方向: 术中超声。E-mail: kylin\_xu0813@163.com

**[通信作者]** 何文, 首都医科大学附属北京天坛医院超声科, 100070。E-mail: ttyus\_hewen@163.com

**[收稿日期]** 2025-05-30 **[修回日期]** 2025-10-22

分析,以最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归分析筛选影响因素,并基于独立影响因素以 logistic 回归构建列线图模型。利用 Bootstrap 法进行内部验证;绘制受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线及决策曲线分析(DCA),评估列线图鉴别诊断效能、准确度及临床净收益。**结果** 单因素分析结果显示,2 种肿瘤之间,患者年龄、肿瘤边界、钙化、囊变、脊髓空洞、Adler 血流分级差异均有统计学意义( $P$ 均 $<0.05$ )。LASSO 回归及 logistic 回归分析结果显示,患者年龄、肿瘤边界和 Adler 血流分级均为鉴别二者的独立影响因素( $P$ 均 $<0.05$ ),基于此构建的列线图模型鉴别室管膜瘤与星形细胞瘤的 ROC 曲线下面积(AUC)为 0.909;以 Bootstrap 法对模型进行内部验证的 AUC 为 0.880。模型拟合优度良好、临床净获益较高。**结论** 基于临床参数和术中超声声像图特征构建的列线图模型鉴别脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤效能良好。

**[关键词]** 脊髓肿瘤;室管膜瘤;星形细胞瘤;超声检查;列线图

**[中图分类号]** R739.42; R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2026)01-0040-05

脊髓髓内肿瘤(intramedullary spinal cord tumor, IMSCT)占中枢神经系统肿瘤的 2%~4%,致残率和致死率均较高<sup>[1]</sup>。室管膜瘤和星形细胞瘤均为 IMSCT 的主要病理类型,其鉴别对于选择治疗方案、判断肿瘤生物学行为及评估疗效和预后非常重要<sup>[2]</sup>,但术后病理具有滞后性,而术前 MRI 和术中冰冻切片常遇鉴别困难<sup>[3-4]</sup>。术中超声有助于术中定位和定性肿瘤。本研究观察基于临床参数和术中超声声像图特征构建的列线图模型鉴别脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤的效能。

## 1 资料与方法

1.1 研究对象 回顾性分析 2021 年 1 月—2024 年 10 月首都医科大学附属北京天坛医院经手术病理证实的 78 例 IMSCT 患者,男 37 例、女 41 例,年龄 8~71 岁,平均(42.5±14.7)岁;其中室管膜瘤 58 例,男 25 例、女 33 例,年龄 14~71 岁、平均(44.8±13.7)岁;星形细胞瘤 20 例,男 12 例、女 8 例,年龄 8~61 岁、平均(35.7±15.7)岁;主要症状包括疼痛、进行性神经功能障碍、四肢无力、行走障碍及大小便失禁等。纳入标准:①以脊髓髓内占位就诊,术前影像学可见异常;②接受外科手术治疗,术中于超声辅助下切除病灶;③临床及影像学资料完整;④术后病理明确诊断室管膜瘤或星形细胞瘤。排除术中声像图质量不佳者。本研究获院伦理委员会批准(KY2018-097-02),术前患者及家属均签署知情同意书。

1.2 MR 检查 术前采用 GE Discovery MR750 3.0T/Siemens Magnetom Trio 3.0T/Siemens Verio 3.0T MR 仪采集脊髓轴位和矢状位 T1WI、T2WI 及钆增强矢状位 T1WI,记录肿瘤大小(以受累椎体数量表示)及其位置。

1.3 术中超声 采用 Supersonic Imagine Aixplorer 超声诊断仪、频率 2~10 MHz 的 SL10-2 线阵探头,以及 Hitachi Aloka ARIETTA 70 超声诊断仪、频率 4~10 MHz 的 C22K 凸阵探头。术中于切除椎板后进行

B 型超声扫查,确定 IMSCT 位置和硬脊膜切开范围,并与术前 MRI 所见进行对比,必要时扩大椎板切除范围至显露术野满意。切开硬脊膜后再次进行超声扫查,将无菌探头轻置于脊髓表面,获得肿瘤矢状位图像,全面扫查并记录 IMSCT 位置和边缘,存储灰阶图及 CDFI。

1.4 图像分析 由 2 名具有 3 年以上术中超声经验、不知晓肿瘤组织病理学结果的医师判读图像,独立评估肿瘤回声、边界、钙化、囊变、有无脊髓空洞及血供。采用 Adler 血流分级<sup>[5]</sup>评价病灶血供:0 级为无血流信号;I 级为少量血流信号,可见 1~2 处点状或细棒状彩色血流信号;II 级为中量血流信号,可见 3~4 处点线状彩色血流信号或 1 条重要血管;III 级为血流信号丰富,可见片状、条状或树杈状血流信号。意见不一致时经商议后决定。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 27.0 统计分析软件和 R 语言 4.5.0 软件。以  $\bar{x} \pm s$  表示符合正态分布的计量资料,以中位数(上下四分位数)表示非正态分布者,行 Mann-Whitney U 检验。采用  $\chi^2$  检验比较计数资料。对单因素分析显示差异有统计学意义的参数进行最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)回归分析,以二元 logistic 回归分析筛选独立影响因素并构建列线图模型。利用 1 000 次 Bootstrap 重抽样法对模型进行内部验证。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC);利用 Hosmer-Lemeshow 拟合优度检验、校准曲线、决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)对模型进行评价。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

58 例室管膜瘤中,WHO 分级 II 级 55 例、II~III 级(间变性)3 例;20 例星形细胞瘤中,WHO I~II 级(低级别)9 例、III~IV 级(高级别)11 例。

2.1 单因素分析 脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤之间,患者年龄、肿瘤边界、钙化、囊变、脊髓空洞及 Adler 血流分级差异均有统计学意义( $P$  均 $<0.05$ )。室管膜瘤患者年龄偏大,肿瘤边界清晰、常伴钙化及囊变、瘤周多见脊髓空洞,Adler 血流分级均为 0~I 级;星形细胞瘤患者年龄相对较小,肿瘤边界模糊,钙化、囊变、脊髓空洞少见,血流信号较室管膜瘤丰富。室管膜瘤女性较多、星形细胞瘤男性较多;均多位于颈胸段、尤其颈段,肿瘤大小无明显区别。2 种肿瘤术中超声表现均以高回声及混合回声多见,其余差异均无统计学意义( $P$  均 $>0.05$ ),见表 1 和图 1、2。

2.2 筛选变量及构建模型 通过 LASSO 回归 10 折

交叉验证法筛选得到年龄、肿瘤边界和 Adler 血流分级 3 个预测变量,见图 3。logistic 回归分析结果显示,患者年龄、肿瘤边界及 Adler 血流分级均为鉴别室管膜瘤和星形细胞瘤的独立影响因素( $P$  均 $<0.05$ ),见表 2;基于上述参数构建的列线图模型见图 4。

2.3 评估模型效能 上述模型鉴别脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤的敏感度为 87.93%,特异度为 85.00%,AUC 为 0.909,见图 5;以 Bootstrap 法重采样后的 AUC 为 0.880。校准曲线及 Hosmer-Lemeshow 检验显示模型预测概率与实际概率的一致性较好( $\chi^2 = 5.144, P = 0.525$ );DCA 表明其临床净收益良好,见图 6、7。

表 1 脊髓髓内室管膜瘤和星形细胞瘤患者临床资料及术中超声特征的单因素分析结果

病理类型	年龄(例)				性别(例)		肿瘤主要位置(例)			受累椎体数量
	0~17 岁	18~44 岁	45~59 岁	≥60 岁	男	女	颈段	胸段	腰段	
室管膜瘤( $n=58$ )	1	26	20	11	25	33	42	15	1	3.00(2.00,6.00)
星形细胞瘤( $n=20$ )	3	12	4	1	12	8	11	8	1	4.00(2.00,5.00)
Z/ $\chi^2$ 值	7.664				1.703		2.750			0.484
P 值	0.038				0.192		0.245			0.628

病理类型	回声强度(例)			回声均匀(例)	边界清晰(例)	钙化(例)	囊变(例)	脊髓空洞(例)	Adler 血流分级(例)		
	高回声	低回声	混合回声						0	I	II
室管膜瘤( $n=58$ )	32	3	23	19	48	24	31	35	26	32	0
星形细胞瘤( $n=20$ )	14	2	4	10	5	3	5	5	4	9	7
Z/ $\chi^2$ 值	2.963			1.893	22.781	4.572	4.843	7.436	22.976		
P 值	0.231			0.169	$<0.001$	0.032	0.028	0.006	$<0.001$		

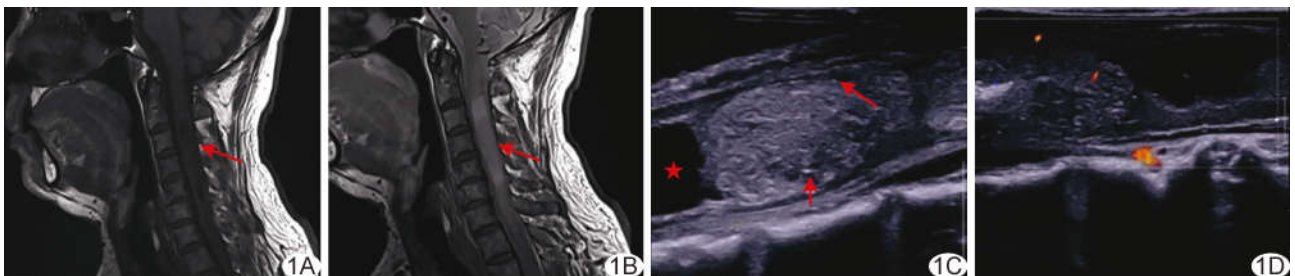


图 1 患者男,58 岁,C3~C6 室管膜瘤 A. 脊髓矢状位 MR T1WI 示病灶边界清晰,实性部分呈等信号、囊性部分呈低信号(箭); B. 脊髓矢状位 MR T2WI 示病灶实性部分呈等高信号、囊性部分呈高信号(箭); C. 声像图示高回声病灶,边界清晰,可见脊髓空洞(星号),内部回声不均,可见小囊变(长箭)及点状强回声钙化(短箭); D. CDFI 示病灶内部少许血流信号,Adler 血流分级 I 级

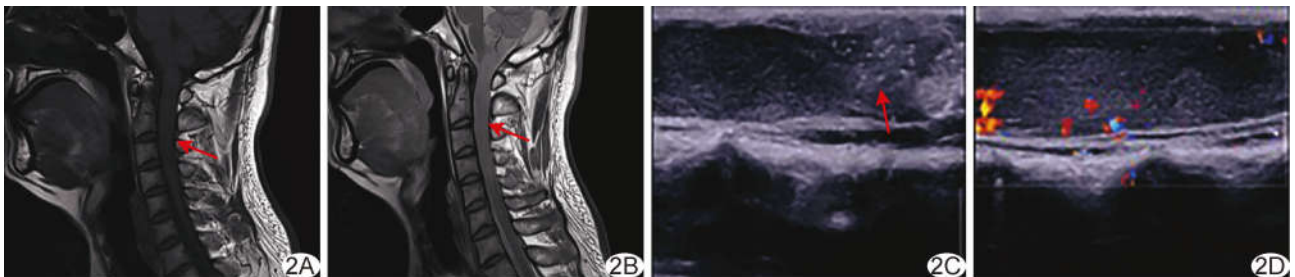


图 2 患者男,40 岁,延髓~C5 星形细胞瘤 A. 脊髓矢状位 MR T1WI 示病灶边界不清,近等信号(箭); B. 脊髓矢状位 MR T2WI 示病灶呈高信号(箭); C. 声像图示病灶边界模糊,回声偏高,内部回声不均匀(箭); D. CDFI 示病灶内部稍丰富血流信号,Adler 血流分级 II 级

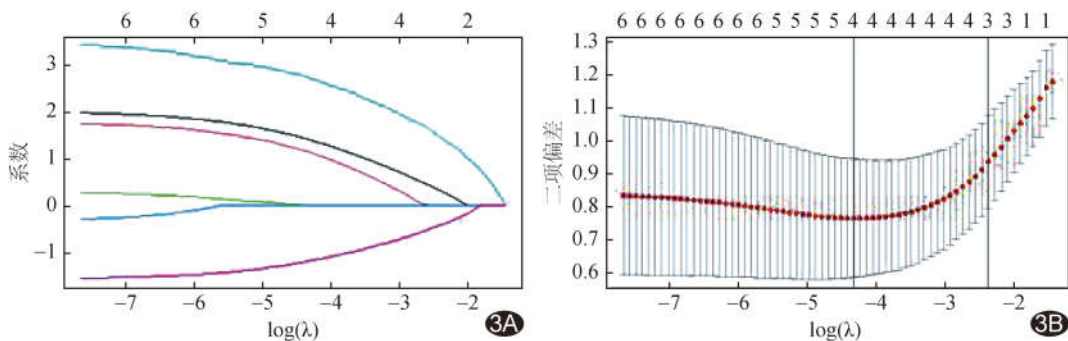


图 3 LASSO 回归系数收敛路径图(A)及 10 折交叉验证图(B)

表 2 脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤患者临床参数及术中超声声像图特征的多因素分析结果

参数	B 值	OR 值(95%CI)	P 值
年龄(岁)	1.65	5.19(1.68,16.04)	0.004
肿瘤边界(以模糊为参照)	3.36	28.66(5.17,158.91)	<0.001
Adler 血流分级	-1.44	0.24(0.06,0.89)	0.033

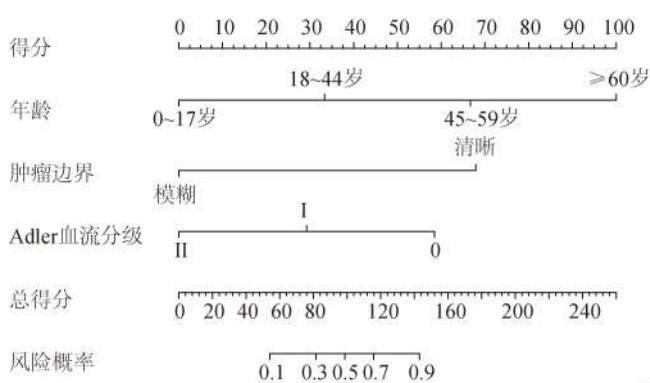


图 4 基于临床参数和术中超声声像图特征鉴别脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤的列线图

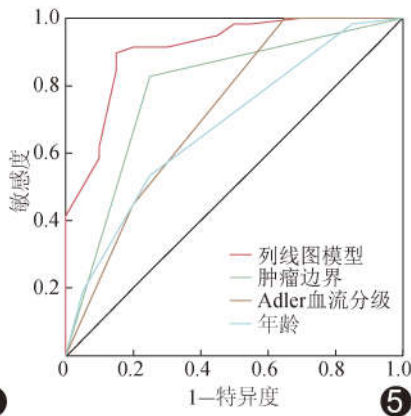


图 5 列线图模型 ROC 曲线

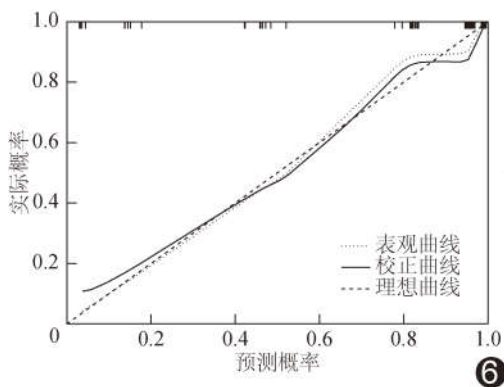


图 6 列线图模型校准曲线

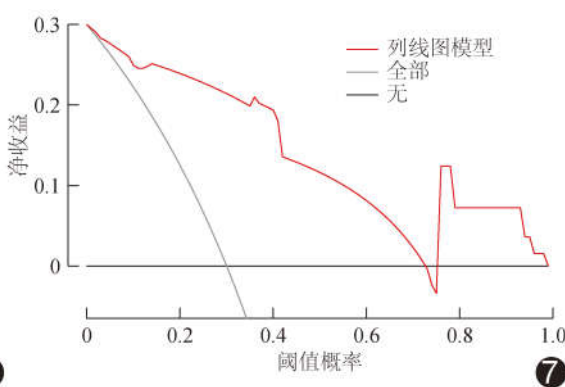


图 7 列线图模型 DCA 图

### 3 讨论

脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤生物学行为差异较大。肿瘤大体全切除(gross total resection, GTR)可有效延长室管膜瘤患者无进展生存期,但星形细胞

瘤未见明显获益<sup>[6]</sup>;室管膜瘤 GTR 率与患者预后密切相关,倾向于室管膜瘤时,应可能地进行 GTR;而星形细胞瘤预后与肿瘤切除程度未见显著相关,为避免神经损伤,可仅进行部分切除并在术后进行放射与化学治疗<sup>[6]</sup>。

本课题组前期研究<sup>[7]</sup>发现术中声像图可协助鉴别脊髓不同肿瘤性病变并进行精确定位,但因样本量较小,未能明确术中超声对于脊髓肿瘤的诊断效能。本研究结果显示,患者年龄、肿瘤边界及 Adler 血流分级均为鉴别室管膜瘤与星形细胞瘤的独立影响因素。本研究 20 例星形细胞瘤中,术前 MRI 诊断仅 9 例符合术后病理结果,8 例误诊为室管膜瘤,符合文献<sup>[3]</sup>中有关神经放射科医师倾向于将星形细胞瘤误诊为室管膜瘤的描述。既往研究<sup>[4]</sup>认为术中冰冻切片对于 IMSCT 的诊断准确性低于颅脑肿瘤,尤其是当冰冻活检结果为室管膜瘤或星形细胞瘤时,其敏感性和特异性均低于预期。本研究所获列线图模型鉴别二者的 AUC 为 0.909,经 Bootstrap 内部验证后 AUC 为 0.880,具有较高鉴别诊断效能,预测概

率

率与实际概率的一致性较好,临床净收益较高,术中超声可在一定程度上弥补 MRI 及术中冰冻切片鉴别的不足。

本研究发现星形细胞瘤患者小于较室管膜瘤患者,与 KIM 等<sup>[8]</sup>所见一致。室管膜瘤往往具有良性病理行为,虽无明确包膜,但其邻近脊髓表现为受压而非浸润, MRI 常表现为边界清楚、同心、扩张的 T2 高信号病变;而星形细胞瘤起源于星形细胞,主要呈浸润性生长,边界模糊为其特征性表现, MRI 常表现为弥漫性浸润性膨胀性肿块<sup>[9]</sup>。胶质瘤的生长取决于新血管形成;血管生成致微血管数量增加和异常新血管结构形成,并随恶性程度加重而增加<sup>[10]</sup>。本研究中的室管膜瘤多为低级别肿瘤,而星形细胞瘤多为高级别肿瘤,其新生血管形成较多,可见较丰富血流信号。术中超声能即时观察肿瘤边界形态及内部特征,作用类似术前 MRI,还能同时获得肿瘤血供情况。

综上所述,基于临床参数和术中超声声像图特征构建的列线图鉴别脊髓髓内室管膜瘤与星形细胞瘤效能良好。但本研究为单中心、回顾性分析,图像由多名神经外科医师采集,难以保证图像质量一致性,且仅纳入常规灰阶及 CDFI 声像图特征;有待后续联合超声造影、剪切波弹性成像、超微血流成像等多模态超声技术进行深入观察。

(致谢:感谢参与研究的所有医护人员及研究过程中提供帮助的同学们。)

利益冲突:全体作者声明无利益冲突。

作者贡献:许琳钰研究设计、统计分析、撰写文章;侯超修改文章;季凯查阅文献、研究实施、数据分析;车煜洁图像分析和处理;张巍指导;贾文清研究实施;何文审阅文章。

## [参考文献]

- [1] OSTROM Q T, PRICE M, NEFF C, et al. CBTRUS statistical report: Primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2015—2019 [J]. *Neuro Oncology*, 2022, 24(Suppl 5):v1-v95.
- [2] MA C, WANG L, SONG D, et al. Multimodal-based machine learning strategy for accurate and non-invasive prediction of intramedullary glioma grade and mutation status of molecular markers: A retrospective study [J]. *BMC Med*, 2023, 21(1):198.
- [3] WON Y I, CHOI Y, YUH W T, et al. Validity of magnetic resonance imaging (MRI) in the primary spinal cord tumors in routine clinical setting [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1):10151.
- [4] HONGO H, TAKAI K, KOMORI T, et al. Intramedullary spinal cord ependymoma and astrocytoma: Intraoperative frozen-section diagnosis, extent of resection, and outcomes [J]. *J Neurosurg Spine*, 2019, 30(1):133-139.
- [5] 张文恺, 张巍, 程令刚, 等. 术中超声辅助切除胚胎发育不良性神经上皮瘤 [J]. *中国医学影像技术*, 2023, 39(10):1488-1491.
- [6] HERSH A M, ANTAR A, PENNINGTON Z, et al. Predictors of survival and time to progression following operative management of intramedullary spinal cord astrocytomas [J]. *J Neurooncol*, 2022, 158(1):117-127.
- [7] 何文, 刘会昭, 姜笑千, 等. 超声在脊髓肿瘤手术中的应用价值 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2008, 17(2):120-123.
- [8] KIM D H, KIM J H, CHOI S H, et al. Differentiation between intramedullary spinal ependymoma and astrocytoma: Comparative MRI analysis [J]. *Clin Radiol*, 2014, 69(1):29-35.
- [9] SASIADEK M, ROMANOWSKI C, JACKÓW-NOWICKA J. Imaging of intramedullary tumours of the spinal cord [J]. *Pol J Radiol*, 2024, 89:e531-e540.
- [10] AHIR B K, ENGELHARD H H, LAKKA S S. Tumor development and angiogenesis in adult brain tumor: Glioblastoma [J]. *Mol Neurobiol*, 2020, 57(5):2461-2478.