

• 血管介入 Vascular intervention •

基于 MR T2 加权成像影像组学预测子宫动脉栓塞术治疗子宫腺肌病中近期效果初步研究

李 兵, 袁冬存

【摘要】目的 探讨基于 MR T2 加权成像(T2WI)影像组学方法预测子宫动脉栓塞术(uterine artery embolization,UAE)治疗子宫腺肌病的中近期效果。**方法** 回顾性分析 140 例初次接受 UAE 术治疗的子宫腺肌病患者。术前 1 周内行盆腔 MR 检查,术后 6、12 个月随访盆腔 MR。根据子宫腺肌病病情缓解标准评价 UAE 术后疗效。采用分层抽样法按 7:3 比例将患者分成训练组($n=98$)和测试组($n=42$)。根据治疗反应将患者分为治疗有效组($n=101$)和无效组($n=39$)。使用 ITK-SNAP 软件在术前 T2WI 图像上勾画病变区域,提取影像组学特征。采用单因素分析、最小绝对收缩和选择算子回归法筛选影像组学特征并建立影像组学模型。采用受试者工作特征曲线(ROC)评估影像组学模型对子宫腺肌病 UAE 治疗后无效的预测效能,并计算曲线下面积(AUC)。采用决策曲线分析评价模型的临床实用价值。**结果** 9 个最优影像组学特征纳入预测模型。模型预测训练组、测试组患者 UAE 治疗后无效的 AUC 分别为 0.838(95%CI=0.751~0.924)、0.817(95%CI=0.677~0.954)。决策曲线分析显示,影像组学模型具有较高的临床净效益。**结论** 基于 MR T2WI 影像组学模型可有效预测 UAE 治疗子宫腺肌病中近期效果,有助于早期识别治疗无效风险,及时调整治疗策略。

【关键词】 子宫腺肌病;子宫动脉栓塞术;疗效预测;磁共振 T2 影像组学

中图分类号:R711.74 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2025)-011-1191-06

Prediction of the short-term efficacy of uterine artery embolization for the treatment of uterus adenomyosis based on MR T2 weighted imaging radiomics: a preliminary study LI Bing, YUAN Dongcun. Department of Interventional Radiology, Anhui Provincial Women and Children Medical Center, Hefei, Anhui Province 230001, China

Corresponding author:LI Bing,E-mail:zgfyjr@163.com

【Abstract】 Objective To explore the clinical value of preoperative MR T2 weighted imaging (T2WI) radiomics in predicting the short-term efficacy of uterine artery embolization (UAE) for the treatment of uterus adenomyosis. **Methods** The clinical data of 140 patients with uterus adenomyosis, who received initial UAE treatment, were retrospectively analyzed. Pelvic MRI examination was performed within one week before treatment, and the patients were followed up with pelvic MRI at 6 months and 12 months after treatment. The efficacy of UAE was evaluated according to the criteria for remission of adenomyosis. Using stratified sampling, patients were divided into a training group ($n=98$) and a testing group ($n=42$) at a 7:3 ratio. According to the treatment response, patients were divided into an effective group ($n=101$) and an ineffective group ($n=39$). ITK-SNAP software was used to delineate the lesion area on preoperative MR T2WI and the radiomics features were extracted. Using univariate analysis, the minimum absolute shrinkage and selection operator regression method to screen out the radiomics features and to establish an radiomics model. By using receiver operating characteristic (ROC) curve the predictive efficacy of radiomics model for ineffective treatment of adenomyosis after UAE was evaluated, and the area under the curve (AUC) was calculated. Decision curve analysis was adopted to evaluate the clinical practical value of the model. **Results** Nine most valuable radiomics

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2025.11.005

作者单位:230001 安徽合肥 安徽省妇女儿童医学中心放射介入科

通信作者:李 兵 E-mail:zgfyjr@163.com

features were enrolled in the predictive model. The AUC of the radiomics model for predicting ineffective treatment after UAE in patients with uterus adenomyosis was 0.838 (95% CI: 0.751-0.924) in the training group and 0.817 (95% CI: 0.677-0.954) in the testing group. Decision curve analysis showed that the radiomics model had a high clinical net benefit. **Conclusion** The model constructed based on MR T2WI radiomics can effectively predict the short-term effect of UAE treatment for adenomyosis, which helps to identify the risk of ineffective treatment early, and the treatment strategy can be timely adjusted.

【Key words】 adenomyosis; uterine arterial embolization; curative effect prediction; MR T2 weighted imaging radiomics

子宫腺肌病是育龄期妇女常见病,发病率约 7%,在接受子宫切除术女性中发病率为 8.8%~61.5%,最常见临床表现为痛经和月经量增加,治疗方式包括非甾体类药物、孕激素、避孕药、保守手术及子宫切除术等^[1]。子宫动脉栓塞术(uterine artery embolization, UAE)、高强度聚焦超声(high intensity focused ultrasound, HIFU)、微波消融、射频消融等介入治疗方式近年逐步应用于临床,其中 UAE 术后 83%~93% 患者获得近期症状缓解,65% 患者远期(5 年左右)症状缓解^[2]。但如何预测疗效尚未解决。MR 评估子宫腺肌病病变范围、活性及相关合并症具有较高准确度,其影像组学则通过高通量数据分析将医学图像转化为深层次特征空间数据,可量化分析病灶内潜在的病理生理学异质性,用于定性诊断、病情分级及治疗预后分析等。本研究通过开发并验证基于 T2 加权成像(T2WI)影像组学模型,预测 UAE 术治疗子宫腺肌病中近期效果,以期及早识别、治疗无效风险,为个性化治疗策略提供参考。现报道如下。

1 材料与方法

1.1 研究对象

收集 2020 年 1 月至 2023 年 12 月在安徽省妇女儿童医学中心接受介入治疗的子宫腺肌病患者。纳入标准:①年龄 20~55 岁,根据病史、临床症状、体征以及相关辅助检查结果诊断为子宫腺肌病^[3-4];②初次治疗并行 UAE 术;③术前 1 周内行盆腔 MR 检查;④无盆腔恶性肿瘤病史。排除标准:①绝经妇女;②接受过其他介入治疗手术;③随访时间 < 6 个月;④影像质量欠佳,不能用于定量分析。

1.2 随访

术后 6 个月、1 年随访实验室检查(血常规、CA125)及盆腔 MR 检查。对照子宫腺肌病病情缓解标准对 UAE 术后疗效进行评估,采用分层抽样法按 7:3 比例将患者分成训练组和测试组。根据

国内专家共识^[5]中治疗反应将患者分为治疗有效组和无效组。主要评估指标:①月经量临床评估——UAE 术后月经量明显或有所减少为有效,月经量减少不明显为无效。②病灶及子宫体积变化评估——病灶或子宫体积缩小 $\geq 20\%$ 为有效,缩小 $< 20\%$ 为无效。③痛经症状临床评估——采用疼痛视觉模拟评分(VAS)评估术前、术后痛经程度, VAS 加权算法评价 UAE 治疗子宫腺肌病痛经效果。术后痛经消失或痛经症状存在但慢性疼痛 VAS 评分降低 2 个级别或以上,或 VAS 评分 < 3 分为有效;痛经症状存在,慢性疼痛 VAS 评分仅降低 1 个级别或痛经无缓解甚至继续加重,或 VAS 评分 ≥ 3 分为无效。满足以上 3 项评估指标中任意 2 项有效,即归入有效,反之归为无效。

1.3 MR 扫描方法

采用 Philips Ingenia 1.5 T MRI 扫描仪及腹部相控阵线圈。检查前患者禁食 6 h 以上,饮水 300~600 mL 适度充盈膀胱。扫描范围:轴位自双侧髂骨上缘至耻骨下缘,矢状位依据病变具体位置和范围进一步确定。扫描参数:层厚 4 mm,回波链长 9.6,矩阵 320×320,视野 28 cm×28 cm,层距 1 mm。

1.4 数据采集

子宫腺肌病病灶在 T2WI 序列上显示最佳,因此以医学数字成像和通信(DICOM)格式导出 MR 影像 T2WI 序列。影像组学研究流程见图 1。由两名分别有 5 年、8 年影像学诊断经验的放射科医师,使用 ITK-SNAP 3.8.0 软件(www.itksnap.org)在 MR 图像上逐层勾画病灶轮廓,以获得对病灶的感兴趣体积(volume of interest, VOI),并随机选择 20 例患者(12 例有效和 8 例无效)分别进行图像分割,以评估组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC),1 周后由 1 名医师重复图像分割以复评 ICC,保留 ICC ≥ 0.75 特征进行进一步分析。采用线性插值法对 MR 图像重采样,使其各向同性体素尺寸为 $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ 。利用开源的 Python 软件包 PyRadiomics 提取影像组学特征,包括形状特

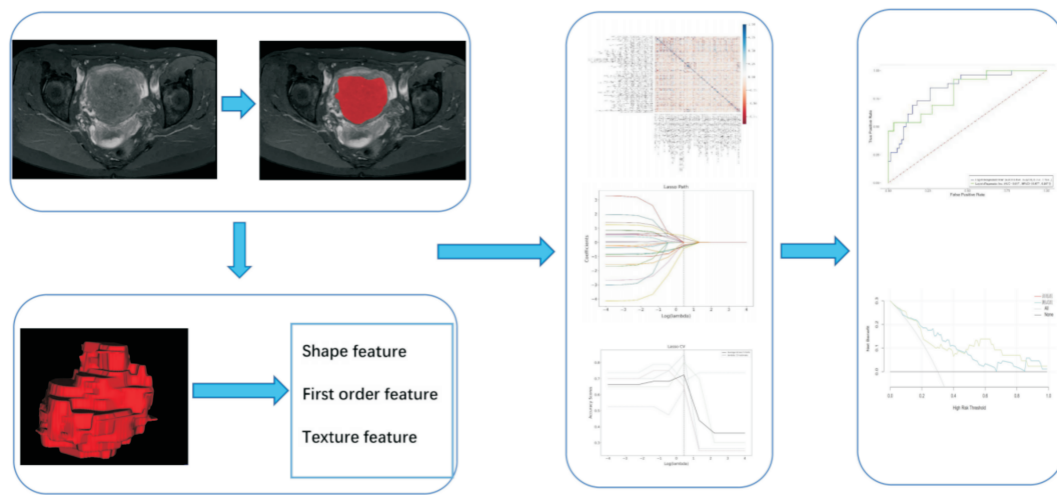


图 1 影像组学研究流程

Figure 1 Flowchart of radiomics research process

征、一阶特征、灰度共生矩阵(GLCM)、灰度行程长度矩阵(GLRLM)、灰度大小区域矩阵(GLSZM)及灰度依赖矩阵(GLDM)等共 1 874 个。

1.5 特征筛选

对提取的特征进行 Z 分数(Z-score)标准化处理,以消除数据间维度差异。由于样本数远少于特征数,用过多的特征训练模型易造成过拟合并增加计算负担和冗余性。本研究进行多步特征选择:①保留 $ICC \geq 0.75$ 特征,以确保再现性;②利用 Pearson 相关分析剔除相关系数为 >0.9 特征;③采用单因素分析,保留 P 值 ≤ 0.05 特征;④采用最小绝对收缩和选择算子(LASSO)回归算法,选择最优放射学特征,并计算影像组学分数。

1.6 模型建立

在最优特征基础上,通过 logistic 回归构建影像组学机器学习模型,进行受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析,通过计算 ROC 曲线下面积(AUC)评估模型预测效能,并计算模型准确度、灵敏度、特异度,阳性预测值、阴性预测值及 F1 分数(F1-score)。

1.7 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件进行统计学分析。连续变量非正态分布以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较用 Mann-Whitney U 检验。分类变量以例(%)表示,组间比较用 Fisher 精确检验或卡方检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床特征

共纳入 140 例子宫肌瘤病患者,其中训练组 98

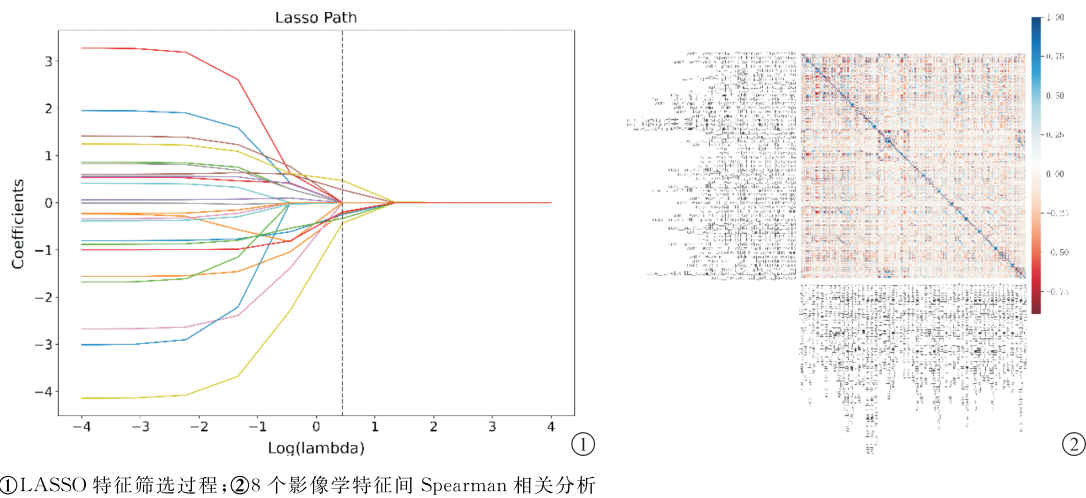
例,测试组 42 例;UAE 术后无效 39 例,有效 101 例。训练组中无效 26 例,有效 72 例;测试组中无效 13 例,有效 29 例。两组患者临床特征间比较差异无统计学意义(均 $P > 0.05$),见表 1。

表 1 两组患者临床特征 [$M(P_{25}, P_{75})$]

特征	训练组	测试组	P 值
年龄(岁)	40(36,44)	38(34,42)	0.223
病程(月)	34(17,46)	36(18,50)	0.331
子宫大小(cm^3)	299.36(85.96,577.21)	212.16(153.99,462.07)	0.284
CA125(mmol/L)	78.97(44.90,120.03)	71.74(42.09,121.01)	0.610
血红蛋白(g/L)	108.00(90.00,126.25)	112.00(96.00,128.00)	0.454
术前 VAS 评分	6(5,6)	5(5,7)	0.724

2.2 模型建立及评价

使用 PyRadiomics 工具箱对每例患者 VOI 提取 1 874 个影像组学特征,剔除 $ICC < 0.75$ 特征后减少至 1 762 个,经 Pearson 相关系数分析保留了 $ICC > 0.9$ 特征 325 个,进一步进行单因素分析保留 $P \leq 0.05$ 特征 136 个,最后进行 LASSO 回归分析确定 9 个最优影像组学特征(GLRLM 4 个、GLSZM 4 个、GLDM 1 个),并开发出 logistic 回归模型(图 2)。影像组学模型预测训练组、测试组患者治疗后无效的 AUC 分别为 0.838 ($95\% \text{ CI} = 0.751 \sim 0.924$)、0.817 ($95\% \text{ CI} = 0.677 \sim 0.954$),见图 3、表 2,校准曲线显示影像组学模型预测无效准确率与实际情况呈良好一致性(图 4),测试组决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)表明影像组学模型具有较高的临床净效益(图 5)。



①LASSO 特征筛选过程;②8 个影像学特征间 Spearman 相关分析
图 2 Logistic 回归构建影像组学模型
Figure 2 Lasso feature selection process spearman correlation analysis among 8 imaging features

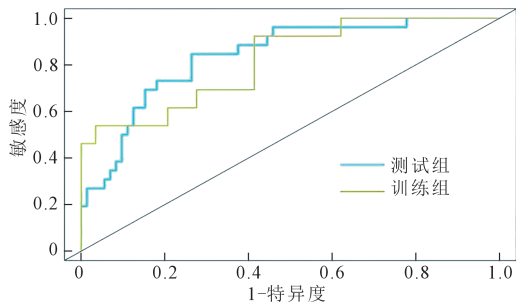


图 3 两组影像组学模型 ROC 曲线
Figure 3 ROC of the radiomics model in the training and test groups

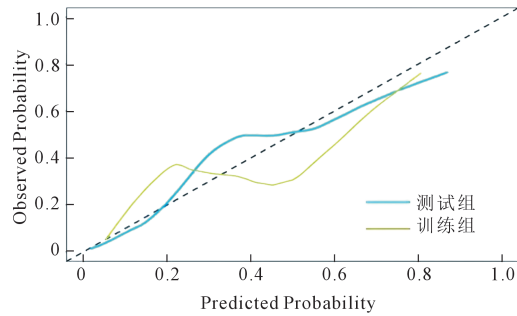


图 5 两组影像组学模型 DCA 分析
Figure 5 DCA of the radiomics model in the training and test groups

表 2 两组影像组学模型评估指标

Table 2 Evaluation indicators of radiomics model in training set and test set

组别	AUC	准确度	灵敏度	特异度	阳性预测值	阴性预测值	F1 分数
训练组	0.837	0.765	0.846	0.736	0.536	0.929	0.656
测试组	0.817	0.642	0.692	0.620	0.450	0.818	0.545

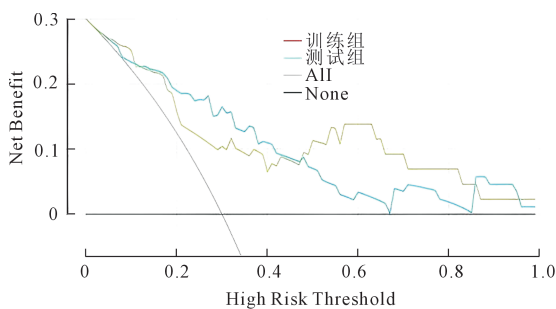


图 4 两组影像组学模型校准曲线
Figure 4 Calibration curves of the radiomics model in the training and test groups

3 讨论

子宫腺肌病病因不清,目前仍无良好的临床分型,治疗手段有限,除子宫切除术外,保守治疗效果尚存诸多争议。UAE 治疗子宫腺肌病的原理是利用栓塞物质栓塞双侧子宫动脉,使病灶缺血缺氧,发生坏死、吸收,从而缩小病灶及子宫体积,减轻临床症状。UAE 优势在于微创、保留子宫,然而仅能缩小病灶、改善症状而不能切除病灶,无法获取病变组织进行病理检查,因此其术前疗效评价至关重要。

郑睿等^[6]报道采用 UAE 治疗 59 例子宫腺肌病患者,术后 12 个月随访显示,56 例术前有痛经症状患者中 45 例症状缓解,总缓解率为 80.36%;40 例术前有月经量过多症状患者中 33 例症状缓解,总缓解率为 82.50%。Liu 等^[7]探讨 CA125 水平与宫腺肌病 UAE 治疗失败的关系,结果显示术后 24 个月随访期间 224 例患者中 50 例(22.3%)治疗失败,术后 CA125 水平恢复正常与 UAE 术后有效显著

相关。本研究中 27.9% 患者治疗无效,略高于上述研究。鲁景元等^[8]报道对 UAE 术后症状性子官腺肌病患者随访 5 年,1 年、5 年有效率分别为 67.00%、55.36%,术后 2~3 年出现复发趋势;强调术中操作及术后中远期管理有助于推迟复发时间。本研究中 1 年有效率与该研究相当。此外,有研究表明是否伴发卵巢子宫内膜异位症、CA125 高低、年龄等因素可能影响 UAE 术有效率^[9]。但混杂因素过多,尚无定论。

MRI 在子宫腺肌病评估中越来越受到重视。尽管 MRI 分型尚存在争议,但 MRI 表现为弥漫性子官腺肌病和内在性子官腺肌病可能与月经出血相关,而外在性子官腺肌病和深部浸润型子宫内膜异位症存在则与盆腔疼痛相关^[10-12]。有研究根据 T1WI 及 T2WI 信号不同,将子宫腺肌病分为 3 型,但分型与 UAE 术后症状缓解无显著关联^[13]。术后早期应用增强 MRI 可评价病灶不完全坏死范围,有利于症状评估^[14],而术前 MRI 提示子宫结合带(JZ)厚度、表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值、T2 序列信号强度比(T2SR)是子宫腺肌病患者介入治疗后病灶完全坏死的独立影响因素,有助于预测术后临床成功率^[15-16]。

基于 MR 影像特征进行组学研究在恶性肿瘤中报道较多^[17-18],在子宫腺肌病介入治疗评价中报道相对少见。有两项针对子宫腺肌病 HIFU 治疗的影像组学研究,分别发现 5 个、10 个影像组学特征并建立影像组学模型及影像-临床联合模型,后者测试集 AUC 分别达到 0.810、0.831,体现了联合模型的准确度和临床适用性^[19-20]。既往关于子宫腺肌病 UAE 影像组学研究罕见。一项列线图研究通过识别痛经评分、T2 信号类型、CA125、ADC、伴随子宫内膜异位囊肿或伴随子宫肌瘤为相关因素进行分析,结果显示预测模型 AUC 在测试集为 0.798^[21]。稍低于本研究之 0.817。本研究中发现 9 个影像组学特征,与上述 HIFU 研究中差异较大,可能与两种不同介入治疗方式差异有关。近期一项影像组学分析得出的预测 AUC 达到 0.921,结果中出现 10 个 T2WI 影像组学特征^[22]。本研究与之基本相同,提示影像组学技术可复制性。

本研究存在不足:①作为回顾性分析,可能存在选择性偏倚;②样本量小,病例构成较单一、未包含伴发子宫内膜异位囊肿或子宫肌瘤患者;③仅分析术前 T2 序列图像,T1 和弥散加权成像(DWI)序列未纳入。下一步将扩大病例数加以进一步验证,同

时融合多模态图像并联合更多临床有效信息,建立稳定疗效预测标准。

总之,基于 MR T2WI 影像组学模型可有效预测 UAE 治疗子宫腺肌病效果,结合 DWI、T1WI 是否能获得更好的预测价值,有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] Kho KA, Chen JS, Halvorson LM. Diagnosis, evaluation, and treatment of adenomyosis[J]. JAMA, 2021, 326: 177-178.
- [2] Chen J, Porter AE, Kho KA. Current and future surgical and interventional management options for adenomyosis[J]. Semin Reprod Med, 2020, 38: 157-167.
- [3] 王世宣, 崔鹏飞, 张金金. 子宫腺肌病三级管理专家共识[J]. 实用妇产科杂志, 2024, 40: 106-111.
Wang SX, Cui PF, Zhang JJ. Expert Consensus on the Three-level Management of Adenomyosis [J]. JPOG, 2024, 40: 106-111.
- [4] 中国医师协会妇产科医师分会子宫内膜异位症专业委员会. 子宫腺肌病诊治中国专家共识[J]. 中华妇产科杂志, 2020, 55: 376-383.
Endometriosis Professional Committee of Obstetricians and Gynecologists Branch of Chinese Medical Doctor Association [J]. Chin J Obstet Gynecol, 2020, 55: 376-383.
- [5] 郎景和, 陈春林, 向阳, 等. 子宫肌瘤及子宫腺肌病子宫动脉栓塞术治疗专家共识[J]. 中华妇产科杂志, 2018, 53: 289-293.
Lang JH, Chen CL, Xiang Y, et al. Expert consensus on the treatment of uterine artery embolization of uterine fibroids and adenomyosis[J]. Chin J Obstet Gynecol, 2018, 53: 289-293.
- [6] 郑睿, 曾丹, 万婷婷, 等. 预测子宫腺肌症动脉栓塞后病灶治疗应答的多因素 logistic 回归分析[J]. 影像诊断与介入放射学, 2018, 27: 96-102.
Zheng R, Zeng D, Wan TT, et al. Multivariate logistic return analysis for predicting the treatment response of lesions after adenomyosis arterial embolization [J]. Imaging Diagn Interv Radiol, 2018, 27: 96-102.
- [7] Liu S, Peng C, Wang Z, et al. Association of normalization of postoperative carbohydrate antigen 125 levels with treatment failure following uterine artery embolization for adenomyosis [J]. J Obstet Gynaecol Res, 2023, 49: 2753-2760.
- [8] 鲁景元, 刘畅, 徐文健. 子宫动脉栓塞治疗症状性子官腺肌病中长期疗效[J]. 中国介入影像与治疗学, 2022, 19: 683-686.
Lu JY, Liu Y, Xu WJ. Medium and long-term efficacy of uterine artery embolization in the treatment of symptomatic adenomyosis [J]. Chin J Intervent Imaging Ther, 2022, 19: 683-686.
- [9] Guo W, Hu S, Zeng D, et al. The prognostic role of ovarian endometriosis in symptomatic adenomyosis patients underwent uterine artery embolization [J]. Ann Palliat Med, 2021, 10: 2577-2583.
- [10] Kobayashi H, Matsubara S, Imanaka S. Relationship between

- magnetic resonance imaging-based classification of adenomyosis and disease severity[J]. J Obstet Gynaecol Res, 2021,47:2251-2260.
- [11] Pausch AM, Fillebock V, Benli M, Witzel I, Hötter AM. MRI of pelvic endometriosis: evaluation of the mr # Enzian classification and the importance of adenomyosis subtypes[J]. Abdom Radiol(NY), 2024,49:3241-3250.
- [12] Zhang M, Bazot M, Tsatoumas M, et al. MRI of adenomyosis: where are we today? [J]. Can Assoc Radiol J, 2023, 74: 58-68.
- [13] Guo WB, Hu SQ, Wan TT, et al. Preoperative MRI classification may not predict symptom relief after uterine artery embolization in patients with adenomyosis [J]. Curr Med Sci, 2021, 41:1252-1256.
- [14] 刘臻, 刘笑默. MRI 在不同栓塞策略 UAE 治疗子宫腺肌症术后效果的评价 [J]. 中国临床医学影像杂志, 2023, 34: 741-744.
- Liu Z, Liu XM. Evaluation of the postoperative effect of MRI in the treatment of adenomyosis with UAE with different embolization strategies [J]. Chin J Clin Med Imaging, 2023, 34:741-744.
- [15] 高兴波, 丁锋, 吴明. MRI 用于子宫腺肌病患者微球介入治疗后疗效评价的价值 [J]. 临床放射学杂志, 2021, 40: 2371-2378.
- Gao XB, Ding F, Wu M. The value of MRI for the evaluation of the efficacy of microsphere intervention in patients with adenomyosis [J]. J Clin Radiol, 2021, 40:2371-2378.
- [16] Turtoczek K, Cho H, Dastaran S, et al. Evaluation of junctional zone differential and ratio as possible markers of clinical efficacy in uterine artery embolisation of adenomyosis [J]. CVIR Endovasc, 2024;7:55.
- [17] 王申, 李红, 王曦, 等. 影像组学在肝细胞癌 TACE 中的应用进展 [J]. 介入放射学杂志, 2022, 31:829-832.
- Wang S, Li H, Wang X, et al. Advances in the application of radiomics in TACE of hepatocellular carcinoma [J]. J Interv Radiol, 2022, 31:829-832.
- [18] 朱帆东, 杨晨, 赵振华. 影像组学对评估肿瘤微波/射频消融疗效预后的研究进展 [J]. 介入放射学杂志, 2024, 33:693-696.
- Zhu Fd, Yang C, Zhao Zh. Research progress of radiomics on evaluating the efficacy and prognosis of tumor microwave/radiofrequency ablation [J]. J Interv Radiol, 2024, 33:693-696.
- [19] Li Z, Zhang J, Song Y, et al. Utilization of radiomics to predict long-term outcome of magnetic resonance-guided focused ultrasound ablation therapy in adenomyosis [J]. Eur Radiol, 2021, 31:392-402.
- [20] Liu Z, Liu Z, Wan X, et al. Predicting high-intensity focused ultrasound efficacy in adenomyosis treatment based on magnetic resonance (MR) radiomics and clinical-imaging features [J]. Clin Radiol, 2025, 81:106778.
- [21] Jin W, Wang S, Wang T, et al. Multi-machine learning model based on habitat subregions for outcome prediction in adenomyosis treated by uterine artery embolization [J]. Acad Radiol, 2024, 31:4985-4995.
- [22] Jin WT, Zhang GF, Wang TP, et al. Nomogram for predicting the long-term outcomes of uterine artery embolization for adenomyosis [J]. Eur J Radiol, 2022, 148:110183.

(收稿日期:2025-02-09)

(本文编辑:谷珂)