

宫腔粘连术后复发风险预测模型构建与验证

贾淑晴, 郭琦*

郑州大学第五附属医院超声科, 河南 郑州

收稿日期: 2026年6月24日; 录用日期: 2026年7月18日; 发布日期: 2026年7月28日

摘要

目的: 探讨宫腔粘连术后复发的相关影响因素, 构建并评价基于临床资料及术前超声特征的术后复发风险预测模型。方法: 回顾性纳入2023年2月至2025年6月在郑州大学第五附属医院接受宫腔粘连分离术且术后6个月复发结局可判定的患者348例, 其中复发143例、未复发205例。收集临床资料及术前超声特征, 对缺失比例较低的候选预测变量采用多重插补处理, 采用单因素和多因素Logistic回归分析构建预测模型, 进行1000次bootstrap内部验证, 并进一步比较完整模型与去除术前子宫内膜厚度后的简化模型性能。结果: 复发组在粘连持续时间、宫腔粘连分离术次数、美国生育学会(American Fertility Society, AFS)评分、术前子宫内膜厚度及子宫内膜连续性方面与未复发组差异有统计学意义。多因素分析显示, AFS评分、术前子宫内膜连续性和宫腔粘连分离术次数为独立预测因素, 术前子宫内膜厚度与复发风险呈负向关联趋势。Bootstrap内部验证显示, 模型AUC为0.777 (95%CI: 0.774~0.780), 敏感度为0.648, 特异度为0.829, 校准斜率为0.930。完整模型与简化模型比较显示, 完整模型在AUC和AIC方面略优。结论: 基于AFS评分、术前子宫内膜连续性、宫腔粘连分离术次数和术前子宫内膜厚度构建的预测模型经内部验证显示在本中心回顾性数据中显示出一定区分度和校准度, 可为宫腔粘连术后复发风险评估及个体化随访管理提供初步参考。与简化模型相比, 完整模型在区分度和拟合优度方面略占优势, 且术前子宫内膜厚度具有一定临床可解释性, 故最终予以保留。

关键词

宫腔粘连, 术后复发, 超声检查, 预测模型, 列线图

Development and Validation of a Prediction Model for Postoperative Recurrence Risk of Intrauterine Adhesions

Shuqing Jia, Qi Guo*

Department of Ultrasound, The Fifth Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou Henan

Received: June 24, 2026; accepted: July 18, 2026; published: July 28, 2026

*通讯作者。

文章引用: 贾淑晴, 郭琦. 宫腔粘连术后复发风险预测模型构建与验证[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 2223-2234.
DOI: 10.12677/acm.2026.1672752

Abstract

Objective: To investigate factors associated with postoperative recurrence of intrauterine adhesions and to construct and evaluate a postoperative recurrence risk prediction model based on clinical data and preoperative ultrasound features. **Methods:** A total of 348 patients who underwent transcervical resection of adhesions between February 2023 and June 2025 and had evaluable 6-month postoperative recurrence outcomes were retrospectively included, comprising 143 patients with recurrence and 205 without recurrence. Clinical data and preoperative ultrasound features were collected. Candidate predictors with a low proportion of missing data were handled using multiple imputation. Univariate and multivariate Logistic regression analyses were performed to construct the prediction model, followed by internal validation using 1000 bootstrap resamples. The performance of the full model was further compared with that of a simplified model excluding preoperative endometrial thickness. **Results:** Significant differences were observed between the recurrence and non-recurrence groups in adhesion duration, number of TCRA procedures, American Fertility Society (AFS) score, preoperative endometrial thickness, and endometrial continuity. Multivariate analysis showed that AFS score, poor preoperative endometrial continuity, and number of TCRA procedures were independent predictors, while preoperative endometrial thickness showed a negative association with recurrence risk. Bootstrap internal validation yielded an AUC of 0.777 (95% CI: 0.774~0.780), a sensitivity of 0.648, a specificity of 0.829, and a calibration slope of 0.930. Comparison between the full and simplified models showed that the full model performed slightly better in terms of AUC and AIC. **Conclusion:** The prediction model incorporating AFS score, poor preoperative endometrial continuity, number of TCRA procedures, and preoperative endometrial thickness demonstrated a certain degree of discrimination and calibration after internal validation using retrospective data from this center and may provide a preliminary reference for postoperative recurrence risk assessment and individualized follow-up management in patients with intrauterine adhesions. Compared with the simplified model, the full model showed slightly better discrimination and goodness of fit. Preoperative endometrial thickness was therefore retained because of its clinical interpretability.

Keywords

Intrauterine Adhesions, Postoperative Recurrence, Ultrasonography, Prediction Model, Nomogram

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

宫腔粘连(intrauterine adhesions, IUA)是指子宫内膜基底层损伤后宫腔部分或全部闭塞、宫壁相互粘连的一类疾病, 又称 Asherman 综合征, 是妇科常见的宫腔疾病[1] [2]。其发生多与宫腔操作、妊娠相关宫腔损伤及子宫内膜基底层修复异常有关[3] [4]。宫腔粘连可引起月经量减少、闭经、不孕、复发性流产及妊娠并发症等, 严重影响患者生殖健康和生活质量[5]。经宫颈宫腔粘连分离术(transcervical resection of adhesions, TCRA)是目前治疗宫腔粘连的重要方法, 但受粘连严重程度、内膜损伤范围及术后修复能力等因素影响, 部分患者术后仍可发生再粘连, 尤以中重度粘连患者更为突出[6] [7]。因此, 基于术前可获得信息识别复发高风险患者, 并指导术后个体化随访管理具有重要临床意义。

既往研究多从宫腔粘连严重程度、既往宫腔操作史、粘连范围以及术后辅助治疗等方面探讨术后复

发或预后的相关因素[8] [9]。这些研究能够反映患者的疾病基础和治疗背景[10] [11]。但对术后宫腔形态能否稳定恢复、子宫内膜是否具备良好修复条件的评估仍相对有限[12] [13]。术前经阴道超声可在手术前观察子宫内膜厚度、连续性、均匀性及宫腔积液等表现, 从形态学角度补充评估内膜受损程度和宫腔局部环境, 且具有无创、可重复、临床可及性强等优势[14] [15]。因此, 将临床资料与术前超声特征结合, 可能较单一指标更全面地反映宫腔粘连术后复发风险[16] [17]。

目前, 针对宫腔粘连术后复发的风险评估仍以单项因素判断为主, 能够同时整合临床因素和术前超声特征的个体化预测工具相对不足[16] [17]。基于多因素 Logistic 回归构建可视化预测模型, 有助于量化患者术后复发概率, 提高风险分层的直观性和临床可操作性。本研究基于宫腔粘连患者的临床资料及术前超声特征, 筛选术后复发相关因素, 构建并评价宫腔粘连术后复发风险预测模型, 以期临床随访和干预决策提供参考。

2. 资料与方法

2.1. 一般资料

选取 2023 年 2 月至 2025 年 6 月于郑州大学第五附属医院因宫腔粘接受宫腔镜下分离术的宫腔粘连患者 348 例。根据术后 6 个月宫腔镜复查结果, 将其分为复发组(143 例)和未复发组(205 例)。

2.2. 纳入与排除标准

2.2.1. 纳入标准

(1) 年龄 20~45 岁; (2) 经宫腔镜诊断为宫腔粘连并完成宫腔粘连分离术; (3) 术前经阴道超声图像清晰, 可评价子宫内膜相关指标; (4) 具有术后 6 个月宫腔镜复查记录并可判定复发结局。

2.2.2. 排除标准

(1) 术前接受激素治疗; (2) 合并可能影响子宫内膜修复或复发评估的疾病, 包括恶性肿瘤、子宫畸形、宫内节育器残留、生殖道结核、严重盆腔炎症性疾病或宫腔占位性病变等; (3) 超声图像因明显伪影导致关键特征无法判读; (4) 术后追加干预导致难以区分宫腔粘连分离术本身效果者; (5) 关键资料缺失或重复记录者。

2.3. 结局定义

主要结局为术后 6 个月宫腔镜复查所确定的宫腔粘连复发。术后 6 个月宫腔镜检查提示再次出现宫腔粘连者定义为复发; 宫腔形态恢复且未见再次粘连者定义为未复发。该时间点用于评价术后短期宫腔再粘连情况。

2.4. 方法

2.4.1. 术前超声检查

使用 SAMSUNG WS80A 彩色超声诊断仪, 腔内探头频率为 5.0~9.0 MHz。患者排空膀胱后取仰卧截石位, 行经阴道超声检查, 重点观察子宫及宫腔形态, 记录术前子宫内膜厚度、子宫内膜连续性、子宫内膜均匀性及有无宫腔积液[18] [19]。子宫内膜厚度在子宫最大矢状切面测量, 取 3 次测量平均值。超声检查及图像复核由 2 名具有 10 年以上妇科超声工作经验的医师完成, 若结果存在分歧, 则由另 1 名高年资妇科超声医师最终判定[20] [21]。

2.4.2. 候选变量及赋值

通过电子病历系统收集患者临床资料, 并与术前超声报告进行匹配。根据既往研究及临床实际可获

取情况,选取可能与宫腔粘连术后复发相关的临床资料及术前超声指标作为候选变量,包括年龄、BMI、血糖、月经量异常、停经、粘连持续时间、TCRA 次数、流产次数、刮宫次数、美国生育学会(American Fertility Society, AFS)总分、术前子宫内膜厚度、术前子宫内膜均匀性、术前子宫内膜连续性、术前宫腔积液、中性粒细胞与淋巴细胞比值(neutrophil-to-lymphocyte ratio, NLR)、血小板与淋巴细胞比值(platelet-to-lymphocyte ratio, PLR)及单核细胞与淋巴细胞比值(monocyte-to-lymphocyte ratio, MLR)。AFS 总分用于评价宫腔粘连严重程度。AFS 总分、TCRA 次数及术前子宫内膜厚度作为连续变量纳入分析;术前子宫内膜连续性由两名具有 10 年以上妇科超声工作经验的医师在经阴道二维灰阶超声获得的子宫正中矢状切面上独立判读,以子宫内膜显示最清晰、最完整的切面为准。若子宫内膜线连续完整、显示清楚,则记为 0;若可见子宫内膜线中断、缺损、不连续或不完整,则记为 1,定义为连续性差。术前子宫内膜均匀性异常及宫腔积液均根据原始超声记录整理为二分类变量,其中无异常或无积液赋值为 0,有异常或有积液赋值为 1。若两名医师判读结果不一致,则由第三名高年资妇科超声医师最终裁定。

2.4.3. 缺失值处理

原始记录共 367 例,其中 19 例因术后 6 个月复发结局缺失予以排除,最终纳入 348 例进行建模分析。对候选预测变量缺失值采用多重插补处理,生成 20 个插补数据集,并根据 Rubin 法则合并回归系数、标准误、OR 值及 95%置信区间。

2.4.4. 预测模型构建与评价

以术后 6 个月宫腔粘连是否复发为因变量,复发赋值为 1,未复发赋值为 0。以临床资料及术前超声特征作为候选自变量,首先采用单因素 Logistic 回归分析初步评估各候选变量与术后复发的关系。随后结合单因素分析结果、临床可解释性、变量间相关性 & 模型简洁性,将相关变量纳入多因素 Logistic 回归分析,并最终确定 AFS 总分、术前子宫内膜连续性差、TCRA 次数及术前子宫内膜厚度构建预测模型。建模前,对进入模型的连续变量(AFS 总分、TCRA 次数及术前子宫内膜厚度)采用限制性立方样条检验其与结局 logit 转换值之间的线性关系;若未发现明显非线性关系,则保留原始连续形式纳入模型,并根据回归系数绘制列线图。模型区分度采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线及曲线下面积(area under the curve, AUC)评价[22][23]。校准度采用校准曲线、校准斜率、截距及 Hosmer-Lemeshow 检验评价。临床适用性采用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)评价,并进行 1000 次 bootstrap 重采样内部验证,绘制 ROC、校准曲线、DCA 及精确率-召回率(precision-recall, PR)曲线作为结局比例不均衡情况下的补充评价[24][25]。为评估术前子宫内膜厚度对模型性能的影响,进一步构建去除该变量的简化模型,并在多重插补后的数据集上对完整模型与简化模型的区分度(AUC)及拟合优度(AIC、BIC)进行比较。

2.5. 统计学方法

数据分析采用 SPSS 26.0 和 Python 3.9.6 完成。连续变量以 M(P25,P75)表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验;分类变量以例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。描述性分析及组间比较按实际有效例数进行。采用单因素和多因素 Logistic 回归分析宫腔粘连术后复发的影响因素,并以比值比(OR)及其 95%置信区间表示效应量。模型区分度采用受试者工作特征曲线下面积(AUC)评价,AUC 的 95%置信区间通过 1000 次 bootstrap 重采样获得。双侧 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 两组临床资料及术前超声特征比较

本研究共纳入术后 6 个月复发结局可判定病例 348 例,其中复发 143 例,未复发 205 例,复发率为

41.1%。两组在年龄、BMI、血糖、月经量异常、停经、流产次数、刮宫次数、术前宫腔积液及炎症相关指标方面差异无统计学意义。复发组粘连持续时间、TCRA 次数及 AFS 总分高于未复发组，术前子宫内膜厚度低于未复发组，术前子宫内膜连续性差的比例高于未复发组，差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。见表 1。

Table 1. Comparison of clinical data and preoperative ultrasound features between the recurrence and non-recurrence groups
表 1. 复发组与未复发组临床资料及术前超声特征比较

项目	复发组(143 例)	未复发组(205 例)	Z/ χ^2 值	P 值
年龄(岁)	36 (33, 39)	35 (32, 38)	1.91	0.056
BMI (kg/m ²)	23 (20.76, 25.08)	23 (21.31, 24.35)	0.17	0.863
血糖(mmol/L)	4.67 (4.31, 4.99)	4.49 (4.17, 4.87)	1.79	0.074
月经量异常[n (%)]			1.00	0.318
否	10 (7.0)	22 (10.7)		
是	133 (93.0)	183 (89.3)		
停经[n (%)]			1.68	0.195
否	125 (87.4)	189 (92.2)		
是	18 (12.6)	16 (7.8)		
粘连持续时间(月)	24 (6, 60)	12 (6, 36)	3.05	0.002
TCRA 次数(次)	1 (0, 2)	0 (0, 1)	3.35	<0.001
流产次数(次)	2 (1, 3)	2 (1, 3)	-0.58	0.554
刮宫次数(次)	2 (1, 3)	2 (1, 2)	0.36	0.708
AFS 总分(分)	8 (8, 10)	6 (6, 8)	8.17	<0.001
术前子宫内膜厚度(mm)	2.90 (2.30, 3.76)	3.60 (2.88, 4.80)	-5.00	<0.001
术前子宫内膜均匀性异常[n (%)]			2.41	0.120
否	29 (20.6)	58 (28.6)		
是	112 (79.4)	145 (71.4)		
术前子宫内膜连续性差[n (%)]			10.55	0.001
否	73 (51.8)	142 (69.6)		
是	68 (48.2)	62 (30.4)		
术前宫腔积液[n (%)]			0.00	1.000
无	118 (83.7)	171 (84.2)		
有	23 (16.3)	32 (15.8)		
NLR	2.25 (1.73, 3.52)	2.39 (1.88, 3.50)	-1.23	0.217
PLR	127.27 (100.56, 157.76)	123.39 (101.82, 151.63)	0.48	0.630
MLR	0.18 (0.14, 0.24)	0.19 (0.16, 0.25)	-1.81	0.070

注：计量资料以 $M(Q1, Q3)$ 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验；计数资料以 $n (%)$ 表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法；二分类变量以“否”或“无”为参照；部分变量存在缺失，百分比按该变量实际有效例数计算。

3.2. 单因素 Logistic 回归分析

以术后复发为因变量, 将 17 个候选变量分别进行单因素 Logistic 回归分析。结果显示, 粘持续持续时间($OR = 1.013$, 95% CI : 1.006~1.020)、TCRA 次数($OR = 1.360$, 95% CI : 1.135~1.629)、AFS 总分($OR = 1.692$, 95% CI : 1.474~1.943)及术前子宫内膜连续性差($OR = 2.092$, 95% CI : 1.335~3.279)与术后复发风险增加相关; 术前子宫内膜厚度与术后复发风险降低相关($OR = 0.950$, 95% CI : 0.878~1.028)。见表 2。

Table 2. Univariate Logistic regression analysis of factors associated with postoperative recurrence of intrauterine adhesions
表 2. 宫腔粘连术后复发影响因素的单因素 Logistic 回归分析

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	OR 值及其 95%置信区间	P 值
年龄(岁)	0.038	0.025	2.25	1.039 (0.989~1.090)	0.140
BMI (kg/m ²)	0.018	0.034	0.29	1.019 (0.953~1.088)	0.591
血糖(mmol/L)	0.120	0.165	0.53	1.128 (0.816~1.556)	0.467
月经量异常	0.474	0.398	1.42	1.606 (0.736~3.507)	0.234
停经	0.552	0.373	2.18	1.736 (0.835~3.609)	0.140
粘持续时间(月)	0.012	0.003	13.48	1.013 (1.006~1.020)	<0.001
TCRA 次数(次)	0.307	0.092	11.78	1.360 (1.135~1.629)	<0.001
流产次数(次)	-0.004	0.071	0.00	0.996 (0.868~1.144)	0.958
刮宫次数(次)	0.052	0.073	0.51	1.053 (0.913~1.216)	0.477
AFS 总分(分)	0.526	0.070	56.59	1.692 (1.474~1.943)	<0.001
术前子宫内膜厚度(mm)	-0.051	0.040	1.62	0.950 (0.878~1.028)	0.202
术前子宫内膜均匀性异常	0.408	0.261	2.45	1.503 (0.902~2.505)	0.118
术前子宫内膜连续性差	0.738	0.229	10.39	2.092 (1.335~3.279)	0.001
术宫腔积液	0.031	0.294	0.01	1.032 (0.579~1.837)	0.916
NLR	0.025	0.044	0.31	1.025 (0.939~1.118)	0.581
PLR	0.002	0.002	0.91	1.002 (0.998~1.007)	0.307
MLR	-0.894	1.150	0.60	0.409 (0.043~3.897)	0.437

注: 二分类变量以“否”或“无”为参照。

3.3. 多因素 Logistic 回归模型构建

结合单因素分析结果、临床可解释性、变量间相关性及模型简洁性, 最终确定 AFS 总分、术前子宫内膜连续性差、TCRA 次数及术前子宫内膜厚度构建多因素 Logistic 回归模型, 各变量赋值情况见表 3。多重插补后根据 Rubin 法则合并参数估计结果, 结果显示, AFS 总分($OR = 1.638$, 95% CI : 1.416~1.895, $P < 0.001$)、术前子宫内膜连续性差($OR = 1.931$, 95% CI : 1.158~3.220, $P = 0.012$)及 TCRA 次数($OR = 1.218$, 95% CI : 1.012~1.467, $P = 0.037$)为术后复发的独立预测因素。术前子宫内膜厚度在多重插补合并模型中呈负向趋势但未达统计学显著($OR = 0.841$, 95% CI : 0.695~1.017, $P = 0.074$), 仍作为临床可解释且易获得的术前超声指标保留于预测模型。见表 4。

最终模型回归方程为: $\text{logit}(P) = -3.912503 + 0.493658 \times \text{AFS 总分} + 0.657971 \times \text{术前子宫内膜连续性差} + 0.197613 \times \text{TCRA 次数} - 0.173114 \times \text{术前子宫内膜厚度}$ 。其中, P 为术后复发预测概率, 术前子宫内膜连续性差按是 = 1、否 = 0 赋值。

Table 3. Variable assignments for the prediction model of postoperative recurrence of intrauterine adhesions
表 3. 宫腔粘连术后复发风险预测模型变量赋值

变量	赋值说明
AFS 总分(分)	按原始连续数值纳入分析
术前子宫内膜连续性差	否 = 0; 是 = 1
TCRA 次数(次)	按原始连续数值纳入分析
术前子宫内膜厚度(mm)	按原始连续数值纳入分析，单位为 mm

Table 4. Multivariate Logistic regression analysis of factors associated with postoperative recurrence of intrauterine adhesions
表 4. 宫腔粘连术后复发影响因素的多因素 Logistic 回归分析

变量	回归系数	标准误	Wald χ^2 值	OR 值及其 95% 置信区间	P 值
常数项	-3.913	0.740	27.95		<0.001
AFS 总分(分)	0.494	0.074	44.23	1.638 (1.416~1.895)	<0.001
术前子宫内膜连续性差	0.658	0.261	6.36	1.931 (1.158~3.220)	0.012
TCRA 次数(次)	0.198	0.095	4.35	1.218 (1.012~1.467)	0.037
术前子宫内膜厚度(mm)	-0.173	0.097	3.18	0.841 (0.695~1.017)	0.074

注：二分类变量以“否”为参照。

3.4. 模型评价及列线图构建

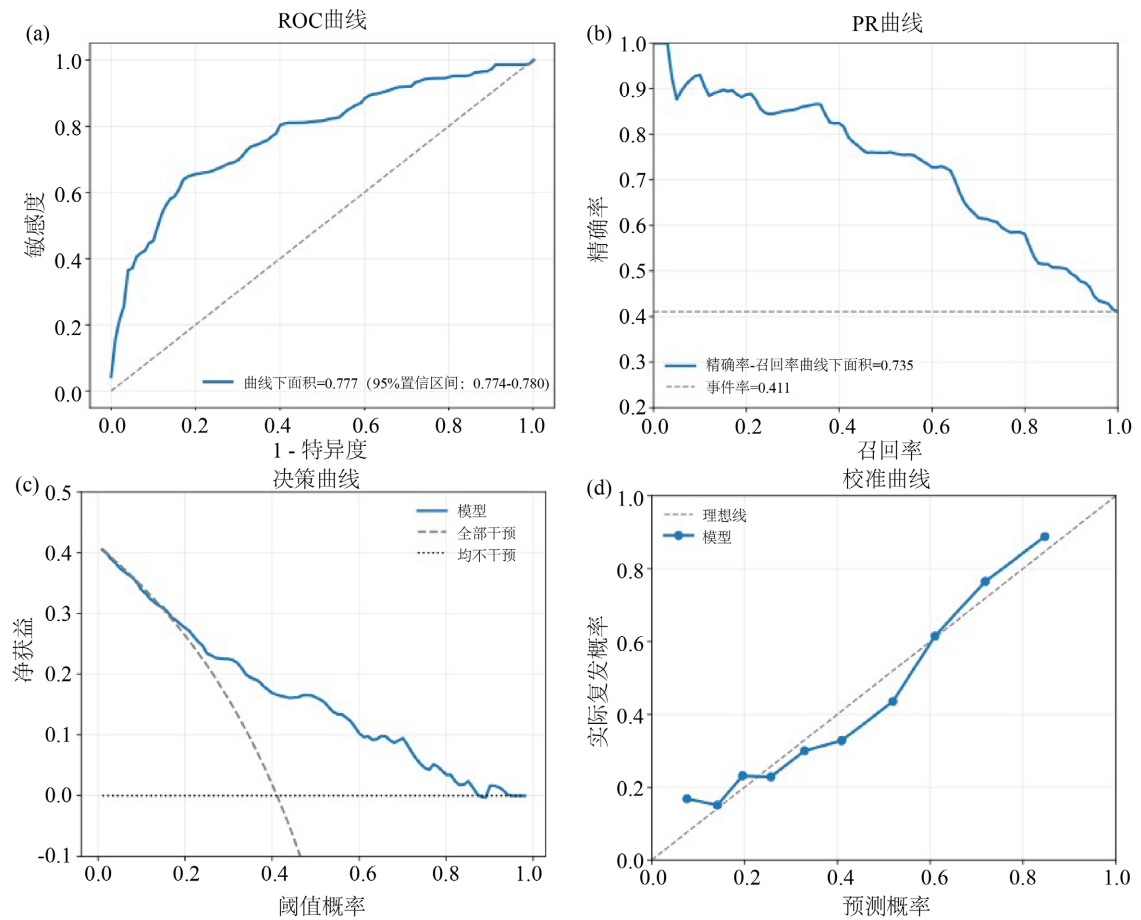
基于最终多因素 Logistic 回归模型计算预测概率并评价模型性能。在 348 例术后 6 个月复发结局可判定样本中，1000 次 bootstrap 内部验证显示模型 AUC 为 0.777 (95%CI: 0.774~0.780)，最佳截断值为 0.499，敏感度为 0.648，特异度为 0.829，提示模型具有一定区分能力，其中特异度较好而敏感度处于中等水平，见图 1(A)。校准曲线显示模型预测概率与实际复发概率趋势基本一致，校准截距为-0.019，校准斜率为 0.930，Brier 评分为 0.184，Hosmer-Lemeshow 检验 $P=0.393$ ，提示模型校准度尚可，见图 1(B)。决策曲线分析显示，在阈值概率 0.15~0.87 范围内，模型的净获益均优于“全部干预”和“均不干预”策略。以代表性阈值为例，当阈值概率分别为 0.20、0.50 和 0.70 时，模型净获益分别为 0.276、0.162 和 0.095，均高于对应的“全部干预”策略，提示该模型在不同风险偏好下均具有一定临床应用价值，见图 1(C)。PR 曲线下面积为 0.735，进一步提示模型对复发结局具有一定识别能力，见图 1(D)。见图 1。基于最终多因素 Logistic 回归模型构建术后复发风险预测列线图，根据各预测变量的回归系数赋予相应评分，并通过总分估计个体术后复发概率，见图 2。

3.5. 完整模型与简化模型比较

为评估术前子宫内膜厚度对模型性能的影响，进一步构建去除该变量的简化模型，并与完整模型进行比较。结果显示，完整模型与简化模型的整体性能差异较小。完整模型的交叉验证 AUC 为 0.782，AIC 为 386.21，BIC 为 405.47；简化模型的交叉验证 AUC 为 0.778，AIC 为 387.68，BIC 为 403.09。完整模型 AUC 略高、AIC 略低，而简化模型 BIC 略低，但两者总体差异有限，未见明确优势。综合模型区分度、拟合优度及临床可解释性，最终保留术前子宫内膜厚度纳入最终模型，具体比较结果见表 5。

Table 5. Comparison between the full model and the simplified model
表 5. 完整模型与简化模型比较

模型	变量数	AUC	AIC	BIC
完整模型	4	0.782	386.21	405.47
简化模型	3	0.778	387.68	403.09



A 为 ROC 曲线, B 为精确率 - 召回率曲线, C 为决策曲线分析, D 为校准曲线。DCA 显示模型在阈值概率 0.15~0.87 范围内具有稳定净获益。

Figure 1. Bootstrap internal validation of the postoperative recurrence prediction model for intrauterine adhesions
图 1. Bootstrap 内部验证宫腔粘连术后复发风险预测模型评价

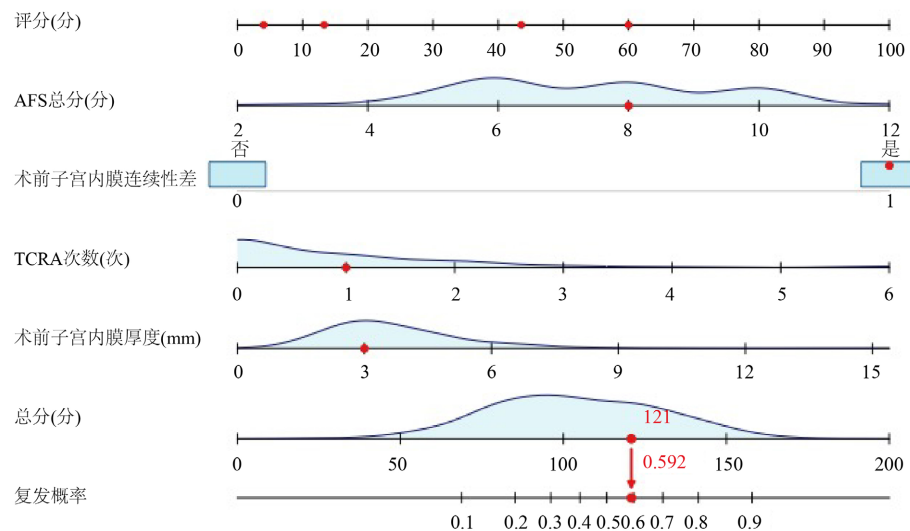


Figure 2. Nomogram for predicting postoperative recurrence of intrauterine adhesions
图 2. 宫腔粘连术后复发风险预测列线图

4. 讨论

本研究基于宫腔粘连患者的临床资料及术前超声特征, 对候选预测变量缺失值采用多重插补处理, 并构建术后复发风险预测模型。经 1000 次 bootstrap 内部验证后, 模型 AUC 为 0.777 (95%CI: 0.774–0.780), 校准截距为 -0.019, 校准斜率为 0.930, Brier 评分为 0.184, Hosmer-Lemeshow 检验 $P=0.393$, 提示模型在本中心回顾性样本中具有一定区分度和校准度。上述结果提示, 宫腔粘连术后复发并非由单一因素决定, 而是与粘连严重程度、既往宫腔损伤背景及术前子宫内膜形态状态共同相关。将临床因素与术前超声特征进行整合, 可为术后复发风险评估提供量化依据。

AFS 总分反映宫腔粘连范围、性质及月经情况等综合严重程度, 是宫腔粘连评估中常用的严重程度指标[26][27]。本研究显示, AFS 总分越高, 术后复发风险越高, 与既往研究结果基本一致。可能原因在于, AFS 评分较高者通常提示粘连范围更广、粘连质地更致密或月经受影响更明显, 反映子宫内膜基层损伤程度较重。此类患者即使完成宫腔粘连分离, 术后仍可能因内膜再生能力不足、创面重新贴附及宫腔形态恢复不充分而发生再粘连。因此, AFS 总分不仅可用于术前严重程度评估, 也可作为术后复发风险分层的重要依据。对于 AFS 评分较高患者, 临床上应重视术后宫腔形态恢复和内膜修复情况, 适当加强随访频率及复发预防管理。

术前子宫内膜连续性差是本研究最终模型中的重要超声变量。子宫内膜连续性反映内膜线显示是否完整及宫腔局部形态是否规则。连续性差提示内膜显示中断、局部结构受牵拉或宫腔轮廓受粘连影响, 可能代表内膜基层损伤较重或局部修复基础较差。与宫腔镜直接观察相比, 经阴道超声虽不能完全替代宫腔镜诊断, 但其可在术前无创、重复地评估内膜形态及宫腔局部环境。本研究将术前子宫内膜连续性整理为二分类变量后纳入模型, 结果显示连续性差与术后复发风险增加相关, 提示常规术前超声中较易获得的形态学信息具有一定预测价值。对于术前即表现为内膜连续性差的患者, 术后应更加关注内膜修复、月经恢复及宫腔复查情况。

TCRA 次数进入最终模型, 提示既往宫腔粘连分离或相关宫腔操作次数越多, 复发风险越高。TCRA 次数较多可能反映患者原发病情较重、既往复发倾向明显, 或提示子宫内膜经历反复机械损伤和修复过程。反复手术虽可解除粘连、恢复宫腔形态, 但也可能增加局部创面形成和内膜再生负担, 使术后再次粘连的风险升高。既往研究亦显示, 宫腔粘连术后结局与粘连严重程度、粘连部位范围、宫腔损伤背景及 TCRA 术后再粘连风险密切相关。因此, TCRA 次数不仅是既往治疗史的记录, 也可视为疾病复杂程度和复发倾向的综合提示。对于既往 TCRA 次数较多者, 术前即应充分评估复发风险, 并在术后制定更密集的随访计划。

术前子宫内膜厚度在单因素分析中与复发显著相关, 但在多重插补合并后的多因素模型中未显示独立预测作用。内膜厚度可能受到月经周期、激素水平、测量时点及既往宫腔操作等多种因素影响, 其与术后复发之间的关系可能并非简单线性。对于宫腔粘连患者而言, 术前子宫内膜厚度仍可在一定程度上反映内膜生长状态和修复潜能, 且是经阴道超声最易获得、重复性较好的定量指标。因此, 本研究在综合临床可解释性、变量可获得性及模型完整性的基础上将其保留于预测模型中, 但其独立预测价值仍需更大样本及外部队列中进一步验证。本研究进一步比较了完整模型与去除术前子宫内膜厚度后的简化模型。结果提示, 删除该变量后模型区分度并未改善, 整体性能与完整模型接近, 且未显示出明确优势。考虑到术前子宫内膜厚度是经阴道超声中较易获得且具有一定临床解释价值的定量指标, 尽管其在多因素分析中未达统计学显著, 但在模型性能未受明显影响的前提下, 最终仍予以保留, 以兼顾模型的临床可操作性与解释性。

本研究的临床意义在于将临床严重程度、既往手术史及术前超声特征整合为可视化预测工具。传统

风险判断多依赖单项指标或医师经验, 难以直观呈现个体患者的复发概率。列线图能够将 AFS 总分、术前子宫内膜连续性差、TCRA 次数及术前子宫内膜厚度转换为相应评分, 并通过总分估计个体术后复发风险, 有助于临床快速识别高风险患者。对于预测风险较高者, 可考虑加强术后宫腔镜或超声随访, 关注月经恢复及内膜生长情况, 并结合患者生育需求制定个体化管理方案。预测模型研究不仅应关注区分度, 还应重视校准度和临床净获益。本研究同时采用 ROC 曲线、校准曲线、Hosmer-Lemeshow 检验、决策曲线及 PR 曲线对模型进行评价, 使模型性能评估相对完整。

需要指出的是, 本研究模型在最佳截断值处的敏感度为 0.648, 提示其对复发病例的识别能力尚属中等, 更适合作为风险分层和辅助决策工具, 而不宜单独作为筛查手段。临床应用, 若更强调减少漏诊, 可适当下调风险阈值以提高敏感度, 但同时可能增加假阳性和过度干预; 若更强调避免不必要干预, 则可采用相对较高的阈值, 以维持较好的特异度和净获益。结合决策曲线分析, 本研究模型在 0.15~0.87 的阈值概率范围内均表现出稳定的净获益, 说明其可为不同临床场景下的风险管理提供参考。

本研究仍存在一定局限性。首先, 本研究为单中心回顾性研究, 可能存在选择偏倚, 模型适用性仍需在不同中心和不同人群中进一步验证。其次, 部分候选预测变量存在缺失, 虽采用多重插补并根据 Rubin 法则合并参数估计结果, 但插补模型仍依赖缺失机制假设, 可能带来统计不确定性。第三, 模型目前虽已完成 1000 次 bootstrap 内部验证, 但尚缺乏独立外部验证, 后续需开展多中心、大样本、前瞻性研究进一步验证和优化模型; 这也是预测模型研究报告规范所强调的重要环节。第四, 术后辅助治疗方案、宫腔屏障或支架使用、透明质酸凝胶应用等信息未能以结构化形式稳定提取, 可能存在残余混杂; 既往研究显示不同屏障或辅助措施可能影响术后再粘连风险。第五, 本研究主要基于常规临床资料和术前超声特征, 未纳入病理学、免疫组化或子宫内膜微环境相关指标。未来可结合慢性子宫内膜炎、内膜容受性、三维超声或影像组学特征等进一步完善预测模型。

综上所述, AFS 总分、术前子宫内膜连续性差及 TCRA 次数是宫腔粘连术后复发的独立预测因素, 术前子宫内膜厚度未显示独立预测作用。基于上述变量构建的多因素 Logistic 回归预测模型在本中心回顾性样本中经内部验证后显示出一定区分度和校准度, 可为宫腔粘连术后复发风险评估及个体化随访管理提供初步参考, 但其临床推广价值仍需多中心外部验证进一步确认。

声 明

本文所有作者均声明不存在利益冲突。本研究遵循《赫尔辛基宣言》相关原则, 经郑州大学第五附属医院伦理委员会批准(伦理批号: YJ2026040-K02)。本研究为回顾性研究, 免除患者知情同意。

参考文献

- [1] Yu, D., Wong, Y.M., Cheong, Y., *et al.* (2008) Asherman Syndrome—One Century Later. *Fertility and Sterility*, **89**, 759-779. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2008.02.096>
- [2] 中华医学会妇产科学分会. 宫腔粘连临床诊疗中国专家共识[J]. 中华妇产科杂志, 2015, 50(12): 881-887.
- [3] AAGL Elevating Gynecologic Surgery (2017) AAGL Practice Report: Practice Guidelines on Intrauterine Adhesions Developed in Collaboration with the European Society of Gynaecological Endoscopy (ESGE). *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, **24**, 695-705.
- [4] March, C.M. (2011) Management of Asherman's Syndrome. *Reproductive BioMedicine Online*, **23**, 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.rbmo.2010.11.018>
- [5] Khan, Z. (2023) Etiology, Risk Factors, and Management of Asherman Syndrome. *Obstetrics & Gynecology*, **142**, 543-554. <https://doi.org/10.1097/aog.0000000000005309>
- [6] Yu, D., Li, T., Xia, E., Huang, X., Liu, Y. and Peng, X. (2008) Factors Affecting Reproductive Outcome of Hysteroscopic Adhesiolysis for Asherman's Syndrome. *Fertility and Sterility*, **89**, 715-722. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2007.03.070>

- [7] Chen, L., Zhang, H., Wang, Q., Xie, F., Gao, S., Song, Y., *et al.* (2017) Reproductive Outcomes in Patients with Intrauterine Adhesions Following Hysteroscopic Adhesiolysis: Experience from the Largest Women's Hospital in China. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, **24**, 299-304. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2016.10.018>
- [8] Yang, J.H., Chen, C.D., Chen, S.U., *et al.* (2016) The Influence of the Location and Extent of Intrauterine Adhesions on Recurrence after Hysteroscopic Adhesiolysis. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, **123**, 618-623. <https://doi.org/10.1111/1471-0528.13353>
- [9] Zhang, J., Shi, C., Sun, J. and Niu, J. (2024) Analysis of Factors Affecting the Prognosis of Patients with Intrauterine Adhesions after Transcervical Resection of Adhesions. *Fertility and Sterility*, **122**, 365-372. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2024.03.016>
- [10] Vitale, S.G., Riemma, G., Carugno, J., Perez-Medina, T., Alonso Pacheco, L., Haimovich, S., *et al.* (2022) Postsurgical Barrier Strategies to Avoid the Recurrence of Intrauterine Adhesion Formation after Hysteroscopic Adhesiolysis: A Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **226**, 487-498.e8. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2021.09.015>
- [11] Tang, R., Zhang, W., Xiao, X., Li, W., Chen, X. and Wang, X. (2024) Intrauterine Interventions Options for Preventing Recurrence after Hysteroscopic Adhesiolysis: A Systematic Review and Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, **309**, 1847-1861. <https://doi.org/10.1007/s00404-024-07460-y>
- [12] Luo, Y., Liu, Y., Xiao, Y., Zhou, Q., Zhang, Z. and Li, X. (2025) Extended Intrauterine Balloon Stent Use to Prevent Adhesion Reformation after Hysteroscopic Adhesiolysis: A Randomized Trial. *Fertility and Sterility*, **124**, 144-152. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2025.01.024>
- [13] 沈海燕, 胡林义, 樊莉琳, 等. 宫腔粘连分离术后患者复发现状及其相关影响因素分析[J]. 中国妇产科临床杂志, 2021, 22(5): 520-521.
- [14] 朱淑嫔, 姚锐, 林一禾, 等. 三维超声自由解剖成像联合断层超声成像对宫腔粘连的诊断价值[J]. 临床超声医学杂志, 2023, 25(6): 492-495.
- [15] Zhu, R., Duan, H., Wang, S., Gan, L., Xu, Q. and Li, J. (2019) Decision Tree Analysis: A Retrospective Analysis of Postoperative Recurrence of Adhesions in Patients with Moderate-to-Severe Intrauterine. *BioMed Research International*, **2019**, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2019/7391965>
- [16] Wan, Q., Zhou, M., Qian, C. and Zhang, X. (2026) Retrospective Study on Constructing a Nomogram Model Based on Clinical Data to Predict the Recurrence Probability of Patients with Intrauterine Adhesions after Separation Surgery. *Frontiers in Medicine*, **13**, Article 1654189. <https://doi.org/10.3389/fmed.2026.1654189>
- [17] Wang, L., Liu, Y., Huang, M., Wang, B., He, C., Ai, Q., *et al.* (2025) Ultrasound Radiomics and Peripheral Blood Indices Model for Predicting Pregnancy and Recurrence after TCRA in Intrauterine Adhesion. *International Journal of General Medicine*, **18**, 7483-7499. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s551666>
- [18] Ding, C., Wei, W., Ding, F., Ding, J., Li, B. and Ma, Q. (2024) Ultrasound Diagnostic of Intrauterine Adhesions: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Research*, **50**, 1681-1686. <https://doi.org/10.1111/jog.16027>
- [19] Lei, L., Zou, L., Yu, Y., Li, W., Zhang, A. and Xu, D. (2022) A Novel Nomogram Based on 3-Dimensional Transvaginal Ultrasound for Differential Diagnosis between Severe and Mild-to-Moderate Intrauterine Adhesions. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, **29**, 862-870. <https://doi.org/10.1016/j.jmig.2022.04.002>
- [20] Zhao, X., Yang, Y., Liao, D., Traoré, A., He, S. and Xu, D. (2022) Correlative Study of Preoperative Three-Dimensional Transvaginal Ultrasound Findings and Ongoing Pregnancy/Live Birth in Patients with Intrauterine Adhesions Following Hysteroscopic Adhesiolysis: A Retrospective Study. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **12**, 2441-2453. <https://doi.org/10.21037/qims-21-727>
- [21] 向小珍, 胡兵, 陈思略, 等. 三维断层超声成像联合宫腔声学造影评估宫腔粘连的临床价值探讨[J]. 中国超声医学杂志, 2022, 38(9): 1051-1053.
- [22] Collins, G.S., Reitsma, J.B., Altman, D.G. and Moons, K.G.M. (2015) Transparent Reporting of a Multivariable Prediction Model for Individual Prognosis or Diagnosis (TRIPOD): The TRIPOD Statement. *Annals of Internal Medicine*, **162**, 55-63. <https://doi.org/10.7326/m14-0697>
- [23] Steyerberg, E.W., Vickers, A.J., Cook, N.R., *et al.* (2010) Assessing the Performance of Prediction Models: A Framework for Traditional and Novel Measures. *Epidemiology*, **21**, 128-138. <https://doi.org/10.1097/ede.0b013e3181c30fb2>
- [24] Vickers, A.J. and Elkin, E.B. (2006) Decision Curve Analysis: A Novel Method for Evaluating Prediction Models. *Medical Decision Making*, **26**, 565-574. <https://doi.org/10.1177/0272989x06295361>
- [25] Saito, T. and Rehmsmeier, M. (2015) The Precision-Recall Plot Is More Informative than the ROC Plot When Evaluating Binary Classifiers on Imbalanced Datasets. *PLOS ONE*, **10**, e0118432. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118432>

- [26] Valle, R.F. and Sciarra, J.J. (1988) Intrauterine Adhesions: Hysteroscopic Diagnosis, Classification, Treatment, and Reproductive Outcome. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **158**, 1459-1470. [https://doi.org/10.1016/0002-9378\(88\)90382-1](https://doi.org/10.1016/0002-9378(88)90382-1)
- [27] Hooker, A.B., Lemmers, M., Thurkow, A.L., Heymans, M.W., Opmeer, B.C., Brolmann, H.A.M., *et al.* (2014) Systematic Review and Meta-Analysis of Intrauterine Adhesions after Miscarriage: Prevalence, Risk Factors and Long-Term Reproductive Outcome. *Human Reproduction Update*, **20**, 262-278. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmt045>