

临床研究

宫颈环扎术后子宫内膜血流参数联合术前指标对宫颈机能不全孕妇妊娠结局的预测价值

刘影诺, 刘学静, 蒋红清

(北京市海淀区妇幼保健院 产科, 北京 100084)

[摘要] **目的** 探究宫颈机能不全孕妇宫颈环扎术后的子宫内膜特点及其联合术前指标与妊娠结局的关系。**方法** 选取2020年1月至2025年1月于北京市海淀区妇幼保健院行宫颈环扎术的108例宫颈机能不全孕妇(成功组75例、失败组33例),比较两组基线资料、围术期指标及术后子宫内膜特点, Logistic回归分析妊娠结局的独立影响因素并建立预测模型。**结果** 失败组年龄、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白-胆固醇(LDL-C)、术前宫口扩张程度、术中出血量、术后并发症及子宫内膜血流参数[搏动指数(PI)、阻力指数(RI)、收缩峰值血流速度与舒张末期血流速度比值(S/D)]显著高于成功组,术前宫颈长度显著缩短,血流分型差异显著(成功组以Ⅲ型为主,失败组以Ⅰ型为主, $P < 0.05$)。术前宫口扩张、术前宫颈长度、血流分型、PI、RI、S/D为妊娠结局的独立影响因素($P < 0.05$)。预测模型AUC为0.937(95% CI: 0.901 ~ 0.962),特异度0.804,灵敏度0.782,校准度良好(Brier = 0.096),在阈概率0.1 ~ 0.9内有较高净收益。**结论** 宫颈环扎术后子宫内膜不良血流参数(Ⅰ型血流、PI、RI、S/D升高)与不良妊娠结局独立相关,联合术前宫口扩张及宫颈长度可有效预测结局。高龄可能通过影响血流参数增加流产风险,术后需加强血流监测。

[关键词] 宫颈机能不全;宫颈环扎术;子宫内膜;妊娠结局

[中图分类号] R714.21 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2096-8159(2026)07-0790-07

Study on the predictive value of uterine endometrial blood flow parameters after cervical ring ligation for pregnant women with cervical insufficiency on pregnancy outcomes

Liu Yingnuo, Liu Xuejing, Jiang Hongqing

(Department of Obstetrics, Haidian District Maternal and Child Health Hospital, Beijing 100084, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the relationship between endometrial characteristics and pregnancy outcomes in pregnant women with cervical insufficiency after cervical cerclage. **Methods** A total of 108 pregnant women with cervical insufficiency who underwent cervical cerclage at Haidian District Maternal and Child Health Hospital from January 2020 to January 2025 were selected (75 cases in the success group and 33 cases in the failure group). Baseline data, perioperative indicators, and postoperative endometrial characteristics were compared between the two groups. Logistic regression was used to identify independent influencing factors of pregnancy outcomes and to establish a prediction model. **Results** The failure group had significantly higher values in age, triglycerides (TG), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), preoperative cervical dilation, intraoperative blood loss, postoperative complications, and endometrial blood flow parameters [pulsatility index (PI), resistance index (RI), and systolic/diastolic ratio (S/D)] compared to the success group. Preoperative cervical length was significantly shorter, and there was a significant difference in blood flow classification (type III predominated in the success group, while type I predominated in the failure group, $P < 0.05$). Preoperative cervical dilation, preoperative cervical length, blood flow classification, PI, RI, and S/D were independent influen-

[基金项目] 北京市海淀区卫生健康系统高层次人才发展计划项目(NO:2022HDXD006)。

[通信作者] 蒋红清,女,主任医师,研究方向:妇产科学,E-mail:drjhq91@qq.com。

cing factors of pregnancy outcomes ($P < 0.05$). The prediction model had an AUC of 0.937 (95% CI: 0.901 – 0.962), with a specificity of 0.804 and sensitivity of 0.782, and showed good calibration (Brier = 0.096). It had a high net benefit within the threshold probability range of 0.1 – 0.9. **Conclusion** Abnormal endometrial blood flow parameters (type I blood flow, elevated PI, RI, and S/D) after cervical cerclage are independently associated with adverse pregnancy outcomes. Combining these with preoperative cervical dilation and cervical length can effectively predict outcomes. Advanced age may increase the risk of miscarriage by affecting blood flow parameters, highlighting the need for enhanced postoperative blood flow monitoring.

[Key words] cervical insufficiency; cervical cerclage; endometrium; pregnancy outcome

宫颈机能不全患者无法维持妊娠至足月,是引发中晚期流产和早产的重要病因之一^[1]。宫颈环扎术作为目前治疗宫颈机能不全的主要手段,能够在一定程度上通过机械性加固宫颈内口,延长孕周、降低早产风险,已广泛应用于临床^[2]。目前,针对宫颈环扎术的研究多集中于手术时机、术式选择及围手术期管理等方面,但针对宫颈机能不全孕妇环扎术后子宫内膜血流参数的变化与妊娠结局是否存在关联,目前尚无系统性研究结论^[3-5]。子宫内膜容受性和生物学特性在整个妊娠过程中发挥着至关重要的作用^[6]。宫颈机能不全常伴随宫颈局部炎症,炎症因子可能上行影响子宫内膜,导致内膜炎性反应增强、血流灌注减少;而宫颈环扎术作为有创操作,也可能短暂影响子宫内膜血流动力学,进而间接影响妊娠维持。已有研究证实,在辅助生殖技术中,子宫内膜容受性异常是妊娠失败的重要原因^[7]。但针对宫颈机能不全孕妇环扎术后,子宫内膜特点的改变与妊娠结局是否存在关联,目前尚无系统性研究结论。基于此,本研究以宫颈机能不全孕妇为研究对象,探究宫颈环扎术后子宫内膜特点及其联合术前指标与妊娠结局的关系,有助于揭示宫颈环扎术影响妊娠维持的潜在机制,并为优化宫颈机能不全的临床管理策略提供新的理论依据。

1 对象与方法

1.1 对象 选择2020年1月至2025年1月于北京市海淀区妇幼保健院行宫颈环扎术的宫颈机能不全孕妇108例为研究对象,年龄为20~40岁,平均年龄为(33.43±4.26)岁,孕周为12~24周,平均孕周为(22.29±3.10)周。其中75例分娩孕周≥28周,新生儿存活,纳入成功组,33例分娩孕周<28周,或≥28周但新生儿未存活,纳入失败组。本研究通过北京市海淀区妇幼保健院医学伦理委

员会审批(NO:2025LW-35)。

纳入标准:单胎妊娠;宫颈机能不全诊断明确^[8];符合宫颈环扎术指征^[8];临床资料完整。排除标准:胎儿畸形;子宫畸形;合并严重心脑血管疾病;合并严重妊娠疾病。

1.2 方法

1.2.1 临床资料收集 收集患者年龄、孕前体质质量指数(body mass index, BMI)、宫颈环扎术孕周、孕次、产次、人工流产史、宫颈手术史、术前宫颈长度、术前宫口扩张等资料。收集患者围术期指标包括手术指征、术中出血量、手术时长、是否应用孕激素。记录患者术后并发症,包括宫颈局部出血:术后24 h内阴道流血量>50 mL或需额外止血处理;宫颈及生殖道感染:符合以下任意两项:阴道脓性分泌物、宫颈举痛、外周血白细胞>15×10⁹/L、C反应蛋白>10 mg/L,或宫颈分泌物培养阳性;宫颈损伤:术中或术后超声/检查发现宫颈撕裂或缝线切割;膀胱/直肠损伤:术中肉眼可见或术后导尿/排便异常证实。于术前24~48 h采集患者空腹静脉血,检测血清指标,包括总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglycerides, TG)、低密度脂蛋白-胆固醇(low density lipoprotein-cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白-胆固醇(high density lipoprotein-cholesterol, HDL-C)、总胆红素(total bilirubin, TBIL)、直接胆红素(direct bilirubin, DBIL)、间接胆红素(indirect bilirubin, IBIL)、谷丙转氨酶(alanine transaminase, ALT)、谷草转氨酶(aspartate transaminase, AST)。

1.2.2 子宫内膜超声检查 所有患者术后48~72 h采用GE Voluson E8彩色多普勒超声诊断仪经阴道超声检查,三维容积阴道探头型号为RIC6-12-D,频率6~12 MHz。患者取膀胱截石位,铺无菌检查单,经阴道探头外套含耦合剂的一次性无菌探头套,缓慢置入阴道穹窿处,调整探头角度以获得子宫矢状面及横切面清晰图像。切换至彩色多

普勒模式,重点观察子宫内膜及内膜下 1/3 区域)的血流信号分布,Applebaum 分型法分为 I 型、II 型、III 型。在显示清晰的内膜下血流信号处,将脉冲多普勒取样容积置于螺旋动脉血管中央,调整多普勒角度 $\leq 30^{\circ}$,确保频谱显示为单向动脉血流频谱,测量计算子宫动脉血流参数:搏动指数(pulsatility index,PI)、阻力指数(resistance index,RI)、收缩峰值血流速度与舒张末期血流速度比值(ratio of peak systolic flow velocity to end-diastolic flow velocity,S/D)。所有参数均测量 3 次,取平均值。

所有超声检查由 2 名具有 5 年以上产科超声经验的医师共同完成。正式研究前,2 名操作者对 10 例宫颈环扎术后患者进行独立测量,每名操作者分别对每个参数测量 3 次。采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient,ICC)评估操作者间一致性,结果显示 PI、RI、S/D 的 ICC 值分别为 0.921、0.894、0.912。操作者内一致性,即同一操作者间隔 48 h 再次测量的 ICC 值分别为 0.943、0.904、0.932,提示本研究的超声测量具有良好的可重复性。血流分型由 2 名操作者独立判读,不一致时协商达成共识。Kappa 系数评估分型一致性:

操作者间 Kappa =0.864,操作者内 Kappa =0.892,表明一致性强。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 27.0 进行统计学分析,计量资料组间比较行 t 检验;计数资料组间比较行 χ^2 检验。将单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量纳入多因素 Logistic 回归模型,采用向后逐步回归法(backward stepwise,剔除标准 $\alpha = 0.05$)筛选独立影响因素。受试者工作特征(receiver operating characteristics,ROC)曲线评估模型区分度,Bootstrap 重抽样法进行内部验证,校准曲线评估其预测精度,Hosmer-Lemeshow 检验评估模型校准度,决策曲线分析评估其临床价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组基线资料比较 与成功组相比,失败组年龄更大,术前宫口扩张程度、血清 TG 及 LDL-C 水平均显著升高,而术前宫颈长度显著缩短($P < 0.05$,表 1)。

2.2 两组围术期指标比较 与成功组比较,失败组术中出血量、术后并发症显著增加($P < 0.05$,表 2)。

表 1 两组基线资料比较[n(%), $\bar{x} \pm s$]

指标	成功组(n=75)	失败组(n=33)	χ^2/t	P
年龄/岁	32.66 $\pm$ 4.16	35.18 $\pm$ 4.57	2.813	0.006
孕前 BMI/(kg/m ²)	24.38 $\pm$ 3.85	24.52 $\pm$ 3.81	0.175	0.862
宫颈环扎术孕周/周	20.61 $\pm$ 3.15	20.57 $\pm$ 3.06	1.594	0.114
孕次/次			0.059	0.807
≥ 2	21(28.00)	10(30.30)		
< 2	54(72.00)	23(69.70)		
产次/次			0.032	0.858
≥ 2	17(22.67)	8(24.24)		
< 2	58(77.33)	25(75.76)		
人工流产史			0.429	0.512
有	12(16.00)	7(21.21)		
无	63(84.00)	26(78.79)		
宫颈手术史			0.369	0.543
有	25(33.33)	13(39.39)		
无	50(66.67)	20(60.61)		
术前宫颈长度/mm	20.62 $\pm$ 2.37	18.58 $\pm$ 1.71	4.456	< 0.001
术前宫口扩/mm	4.52 $\pm$ 1.12	6.34 $\pm$ 2.26	5.603	< 0.001
TC/(mmol/L)	1.65 $\pm$ 0.28	1.71 $\pm$ 0.32	0.981	0.329
TG/(mmol/L)	3.61 $\pm$ 0.42	3.83 $\pm$ 0.56	2.257	0.026
LDL-C/(mmol/L)	2.54 $\pm$ 0.41	2.76 $\pm$ 0.55	2.305	0.023
HDL-C/(mmol/L)	1.32 $\pm$ 0.22	1.25 $\pm$ 0.27	1.419	0.159
TBIL/(μ mol/L)	15.35 $\pm$ 2.15	15.62 $\pm$ 2.43	0.577	0.565
DBIL/(μ mol/L)	2.87 $\pm$ 0.32	2.91 $\pm$ 0.36	0.576	0.566
IBIL/(μ mol/L)	12.35 $\pm$ 2.18	12.44 $\pm$ 2.12	0.199	0.842
ALT/(U/L)	33.65 $\pm$ 4.16	35.24 $\pm$ 4.58	1.774	0.079
AST/(U/L)	24.38 $\pm$ 3.25	25.34 $\pm$ 3.86	1.334	0.185

表 2 两组围术期指标比较[$n(\%)$, $\bar{x} \pm s$]

项目	成功组($n=75$)	失败组($n=33$)	χ^2/t	P
术中出血量/mL	4.56 ± 0.76	5.08 ± 0.81	3.210	0.002
手术时长/min	21.03 ± 3.62	20.55 ± 3.59	0.636	0.526
手术指征			0.028	0.867
病史指征	58(77.33)	26(78.79)		
超声指征	17(22.67)	7(21.21)		
应用孕激素	34(45.33)	16(48.48)	0.092	0.762
术后并发症	5(6.67)	7(21.21)	4.909	0.027

2.3 两组术后子宫内膜特点的比较 两组血流分型比较,失败组 PI、RI、S/D 显著增加,差异有统计学意义($P < 0.05$);与成功组比较,失败组 PI、RI、S/D 显著增加,差异有统计学意义($P < 0.05$,表 3)。

表 3 两组术后子宫内膜特点的比较[$n(\%)$, $\bar{x} \pm s$]

项目	成功组($n=75$)	失败组($n=33$)	χ^2/t	P
血流分型			35.039	<0.001
I 型	5(6.67)	18(54.55)		
II 型	24(32.00)	10(30.30)		
III 型	46(61.33)	5(15.15)		
血流动力学参数				
PI	1.22 ± 0.26	1.87 ± 0.35	10.73	<0.001
RI	0.72 ± 0.08	0.89 ± 0.10	9.405	<0.001
S/D	2.62 ± 0.63	3.23 ± 0.71	4.457	<0.001

2.4 多因素 logistic 回归分析妊娠结局的影响因素 对组间比较有统计学意义的变量:年龄、术前宫颈长度、术前宫口扩张、TG、LDL-C、术中出血量、术后并发症、血流分型、PI、RI、S/D 进行整理,分类变量赋值情况见表 4,计量资料均采用原始实测值纳入模型,进行了单因素回归分析,将其中 $P < 0.05$ 的变量纳入候选。单因素分析结果显示,年龄是妊娠结局的显著影响因素($OR = 1.15$, $95\% CI: 1.04 \sim 1.27$, $P = 0.006$),提示高龄孕妇环扎失败风险增加。随后采用后退逐步回归法,剔除标准 $\alpha = 0.05$,进行多因素变量筛选。结果显示,年龄、TG、LDL-C、术中出血量、术后并发症在逐步回归过程中被剔除($P > 0.05$)。年龄被剔除的原因可能在于其效应被子宫内膜血流参数部分介导或解释——高龄可能通过影响子宫动脉血流阻力间接导

致不良妊娠结局,而非独立于血流动力学之外发挥作用。最终保留术前宫颈长度、术前宫口扩张、血流分型、PI、RI、S/D 共 6 个独立影响因素。术前宫口扩张、术前宫颈长度、血流分型、PI、RI、S/D 与妊娠结局存在独立相关性($P < 0.05$,表 5)。Logistic 回归方程为: $\text{logit}(P) = 8.642 - 0.282X_1 + 0.752X_2 - 0.516X_3 + 1.017X_4 + 1.094X_5 + 0.856X_6$,其中 X_1 为术前宫颈长度, X_2 为术前宫口扩张, X_3 为血流分型, X_4 为 PI, X_5 为 RI, X_6 为 S/D。

表 4 变量赋值情况

变量	赋值
术后并发症	“无”=0,“有”=1
血流分型	“I 型”=0,“II 型”=1,“III 型”=2

表 5 多因素 Logistic 回归分析

变量	β	SE	Wald χ^2	OR(95% CI)	P
术前宫颈长度	-0.282	0.184	2.355	0.754(0.541 ~ 0.894)	0.012
术前宫口扩张	0.752	0.199	14.276	2.121(1.654 ~ 2.589)	0.015
血流分型	-0.516	0.215	5.756	0.597(0.476 ~ 0.792)	0.004
PI	1.017	0.234	18.877	2.764(2.214 ~ 3.128)	0.008
RI	1.094	0.206	28.217	2.987(2.431 ~ 3.312)	0.005
S/D	0.856	0.192	19.882	2.354(1.892 ~ 2.874)	0.012

2.5 模型的诊断评价

2.5.1 强影响点分析 为评估单个样本是否对模型回归系数的估计产生过度影响,采用 Cook 距离进行强影响点诊断。结果显示,所有纳入建模的 108 例样本的 Cook 距离值均小于 1 (最大值为 0.852),低于常规判断阈值 (Cook 距离 >1 视为强影响点),表明数据中不存在对模型参数估计具有支配作用的异常样本,模型回归系数的估计结果稳健、可靠 (图 1)。

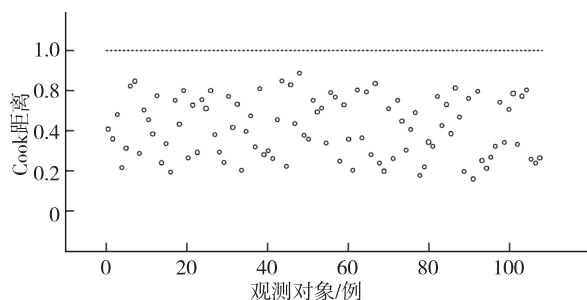


图 1 强影响点分析

2.5.2 多重共线性检验 为避免自变量间高度相关所导致的回归系数膨胀、显著性检验失真等问题,采用方差膨胀因子 (variance inflation factor, VIF) 进行多重共线性诊断。结果显示,术前子宫颈长度 (VIF = 1.525)、术前宫口扩张 (VIF = 1.286)、血流分型 (VIF = 1.474)、PI (VIF = 1.086)、RI (VIF = 1.138)、S/D (VIF = 1.451), VIF 值均 <5 ,表明模型中所包含的自变量之间不存在明显的线性相关关系,各影响因素对妊娠结局的回归系数及其显著性水平均具有良好的可解释性与可信度,无需对变量进行合并或剔除处理。

2.5.3 评价模型区分度 以妊娠结局为状态变量,以模型得分为检验变量,绘制 ROC 曲线,得到 AUC 为 0.937 (95% CI: 0.901 ~ 0.962),特异度为 0.804,灵敏度为 0.782 (图 2)。抽取 1 000 个 Bootstrap 样本,在每个样本中重新拟合逐步回归模型,校正后 AUC 为 0.925 (95% CI: 0.886 ~ 0.954)。

2.5.4 预测精度评价 绘制模型的校准曲线,结果显示预测概率近似等于实际概率, Brier 值 = 0.096,说明模型有较好的预测能力 (图 3)。Hosmer-Lemeshow 检验结果为 $\chi^2 = 8.34$, $P = 0.401$,提示模型预测概率与实际观察值无显著差异。

2.5.5 临床可用性评价 为评估所构建的预测模型在实际临床决策中的应用价值,本研究绘制了决策曲线,并在不同阈概率范围内比较模型的净收

益。结果显示,在阈概率为 0.1 ~ 0.9 的较宽区间内,预测模型的决策曲线始终位于 2 条极端曲线之上,即始终高于“全部干预”曲线和“全部不干预”曲线,说明无论是对于风险较低还是较高的患者,采用本模型进行妊娠结局预测并据此制定临床干预策略,均能为患者带来正向的净临床收益 (图 4)。

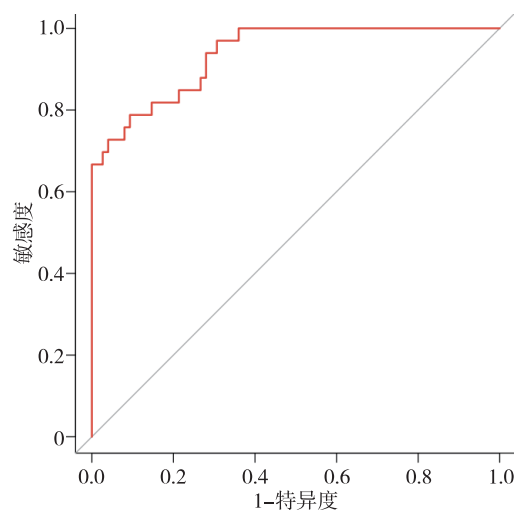


图 2 预测模型的 ROC 曲线

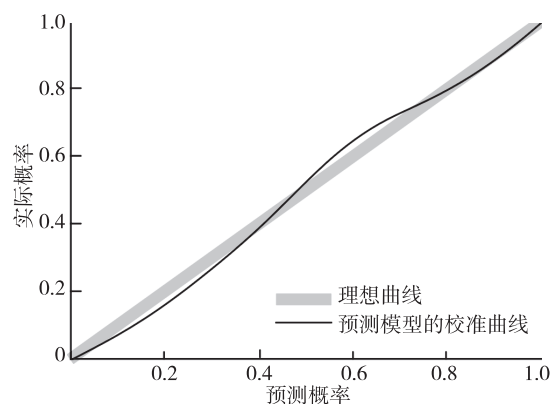


图 3 预测模型的校准曲线

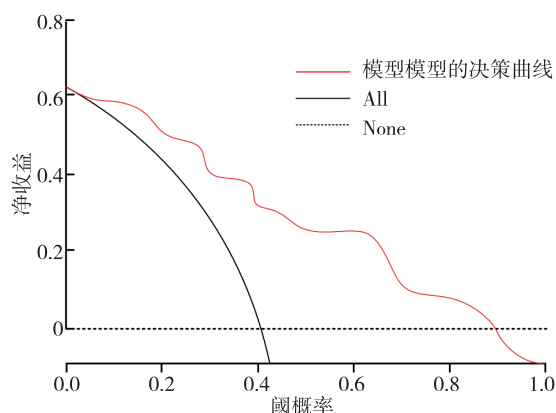


图 4 决策曲线

3 讨论

宫颈机能不全是导致妊娠中晚期流产的重要原因之一^[9]。宫颈环扎术虽被广泛认可为有效的治疗手段,但仍有部分患者术后发生不良妊娠结局^[2]。而子宫内膜结构与功能的完整性直接影响妊娠结局^[6]。然而,宫颈环扎术对子宫内膜的影响及其与妊娠结局的关联机制尚未完全明确。本研究以 108 例宫颈机能不全孕妇为研究对象,系统探讨宫颈环扎术后子宫内膜的病理生理特点,揭示其与晚期流产的关联机制。

本研究中,失败组患者年龄更高、术前宫口扩张更明显、宫颈更短,且存在更显著的脂代谢异常(TG、LDL-C 升高)。年龄增长可导致宫颈组织弹性下降、胶原合成减少,削弱环扎后的机械支撑效果;同时,高龄常伴随子宫动脉血流阻力升高,影响子宫内膜血供与修复能力^[10]。术前宫口扩张程度较大提示宫颈机能损害严重,环扎手术难度增加,术后缝线稳定性差^[11]。术前宫颈长度显著缩短则直观反映宫颈结构薄弱,可供环扎的有效组织减少,是环扎失败的独立危险因素^[12]。TG、LDL-C 升高可能通过损伤血管内皮、减少子宫胎盘血流灌注及诱发局部炎症反应,进一步削弱子宫内膜容受性^[13-14]。围术期指标方面,失败组术中出血量及术后并发症显著增加。其原因在于:严重宫颈机能不全导致组织脆性增加、解剖结构紊乱,手术操作难度大,易引起组织损伤和出血^[15];术后感染风险随之升高,而感染可影响环扎部位愈合并诱发宫缩,最终导致环扎失败^[16-17]。

子宫内膜血流分型的差异,直观反映出失败组子宫内膜对妊娠的支持能力不足^[18]。本研究两组子宫内膜血流分型差异显著,失败组以 I 型(血流信号稀疏)为主,成功组以 III 型为主。I 型血流提示内膜血流灌注不佳、发育迟缓,难以提供适宜的妊娠环境,即使宫颈环扎术机械性加固宫颈,仍无法维持良好妊娠结局^[19]。Cavoretto 等^[20]的前瞻性纵向队列研究显示,正常单胎妊娠孕中期子宫动脉平均 PI 为(1.07 ± 0.38),其中孕 20 ~ 24 周 PI 的 50th 百分位数约 0.95 ~ 1.05,95th 百分位数约 1.65 ~ 1.75。在 RI 方面,临床常用的参考标准为:孕中期 RI 正常应低于 0.73,孕 24 周后通常低于 0.58;在子痫前期等高风险人群中,RI > 0.58 已被证实与胎儿生长受限风险增加 4.2 倍相关。S/D 方面,孕中期的正常参考值为 < 3.6。与之对比,本研究失败组 PI 为(1.87 ± 0.35)、RI 为(0.89 ±

0.10)、S/D 为(3.23 ± 0.71),均显著高于成功组。与正常妊娠参考值相比(孕中期 PI 均值约 1.07,95th 百分位数约 1.70;RI 正常 < 0.73;S/D 正常 < 3.6),成功组 PI(1.22 ± 0.26)略高于均值但仍在正常变异范围内;而失败组 PI 已超过 95th 百分位数,RI 远高于正常上限,S/D 接近正常上限。提示失败组患者子宫胎盘循环处于明显的高阻力状态。子宫动脉持续高阻导致内膜血管灌注减少,影响子宫内膜及胎盘的营养和氧气供应,影响胎儿生长发育。同时,血流灌注不足可诱发局部缺血缺氧,激活氧化应激和炎症反应,进一步损害子宫内膜容受性,增加中晚期流产、早产风险^[21-22]。这些因素共同作用,使得失败组孕妇的子宫内膜难以维持正常妊娠,即使进行宫颈环扎术,也无法弥补内膜功能缺陷对妊娠结局的负面影响。

年龄未进入多因素回归模型,提示其对妊娠结局的影响可能被血流参数(PI、RI、S/D)部分介导,即高龄并非直接导致环扎失败,而是通过加重子宫动脉高阻力状态间接影响妊娠维持。因此,高龄患者术后应重点监测子宫内膜血流动力学变化。多因素回归分析显示,术前宫口扩张、术前宫颈长度、血流分型、PI、RI、S/D 为妊娠结局的独立影响因素。年龄、TG、LDL-C、术中出血量及术后并发症在单因素分析中虽与结局相关,但在多因素回归中未达显著水平,可能原因包括:中介效应(年龄、血脂异常通过血流参数间接影响结局)、统计效能不足(阳性事件仅 33 例)及变量异质性。提示血流参数整合了多个危险因素的病理生理效应,更具预测优势。基于上述关键因素构建的预测模型区分度良好(AUC = 0.937),校准度佳(Brier = 0.096),能有效识别环扎失败高危患者,辅助临床制定个性化诊疗方案。决策曲线显示模型在阈概率 0.1 ~ 0.9 内具有净收益,但需注意过拟合风险,未来应在外部验证队列中重新评估。

本研究于术后 48 ~ 72 h 测量血流参数,满足预测模型时间顺序要求。虽手术创伤可能短暂影响局部血流,但多因素校正后血流参数仍独立进入模型,提示其反映的是综合的子宫环境信息,而非单纯创伤程度。未测量术前血流是本研究局限之一,未来需动态监测以阐明因果关系。本研究样本量较小(阳性事件 33 例),模型纳入 6 个自变量,存在过拟合风险,且为单中心研究,未进行外部验证,模型泛化能力尚不明确。后续计划联合 2 ~ 3 家合作医院开展前瞻性外部验证。

综上所述,年龄是导致宫颈机能不全孕妇环扎失败的重要危险因素,但其效应可能部分经由子宫内膜血流参数介导。宫颈机能不全孕妇宫颈环扎术后子宫内膜的 PI、RI、S/D 为妊娠结局的独立危险因素,血流分型为保护因素,结合术前宫口扩张和子宫颈长度所构建的风险预测模型有良好的区分度、校准度和临床价值,可准确识别环扎失败患者,为其后续的干预治疗提供参考。

[参考文献]

- [1] Huang Y, Li Q, Zhang W, et al. Predicting cervical insufficiency in twin pregnancies using ultrasound cervical measurements and elastography[J]. *Int J Med Sci*, 2024, 21(15): 3010-3017.
- [2] Giouleka S, Boureka E, Tsakiridis I, et al. Cervical cerclage: a comprehensive review of major guidelines[J]. *Obstet Gynecol Surv*, 2023, 78(9): 544-553.
- [3] Gulersen M, Lenchner E, Nicolaides K H, et al. Cervical cerclage for short cervix at 24 to 26 weeks of gestation: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials using individual patient-level data[J]. *Am J Obstet Gynecol MFM*, 2023, 5(6): 100930.
- [4] Hulshoff C C, Bosgraaf R P, Spaanderman M E A, et al. The efficacy of emergency cervical cerclage in singleton and twin pregnancies: a systematic review with meta-analysis[J]. *Am J Obstet Gynecol MFM*, 2023, 5(7): 100971.
- [5] Aubin A M, McAuliffe L, Williams K, et al. Combined vaginal progesterone and cervical cerclage in the prevention of preterm birth: a systematic review and meta-analysis[J]. *Am J Obstet Gynecol MFM*, 2023, 5(8): 101024.
- [6] Oluborode B, Burks H, Craig L B, et al. Does the ultrasound appearance of the endometrium during treatment with assisted reproductive technologies influence pregnancy outcomes? [J]. *Hum Fertil (Camb)*, 2022, 25(1): 166-175.
- [7] Cappas P, Milani N, Wilkinson J, et al. Endometrial receptivity testing for assisted reproductive technologies[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2025, 7(7): CD016209.
- [8] 王伟伟, 段华, 汪沙, 等. 2019 年 SOGC《宫颈机能不全与宫颈环扎术临床实践指南》解读[J]. *中国实用妇科与产科杂志*, 2019, 35(8): 880-884.
- [9] Jiang H, Bo Z. Application value of ultrasound elastography for screening of early pregnancy cervical insufficiency: a retrospective case-control study[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2024, 37(1): 2299111.
- [10] 任雪丽, 陈震宇, 孙静莉, 等. 不同时机宫颈环扎术后妊娠结局及其影响因素分析[J]. *现代妇产科进展*, 2025, 34(2): 123-130.
- [11] 吴琳祥, 包琳, 祝丽琼, 等. 羊水炎症因子与紧急子宫颈环扎术孕妇妊娠结局的关系[J]. *中华妇产科杂志*, 2024, 59(7): 522-529.
- [12] Zhang Y Y, Zhao Z H, Xu J Q, et al. Cervical length of preoperative cervical cerclage prognostic impacted the effect of cervical insufficiency[J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2025, 25(1): 12.
- [13] Zhang Y, Alzahrani M, Dambaeva S, et al. Dyslipidemia and female reproductive failures: perspectives on lipid metabolism and endometrial immune dysregulation[J]. *Semin Immunopathol*, 2025, 47(1): 18.
- [14] Vassiliou E, Farias-Pereira R. Impact of lipid metabolism on macrophage polarization: implications for inflammation and tumor immunity[J]. *Int J Mol Sci*, 2023, 24(15): 12032.
- [15] 何雪梅, 梁慧. 改良式腹腔镜下子宫颈环扎术临床分析[J]. *中国妇产科临床杂志*, 2022, 23(2): 181-182.
- [16] Alani S, Wang J, Suarathana E, et al. Complications associated with cervical cerclage: a systematic review[J]. *Gynecol Minim Invasive Ther*, 2023, 12(1): 4-9.
- [17] Huang J, Tan Z, Wu W, et al. Effect of robotic versus laparoscopic surgery on postoperative wound infection in patients with cervical cancer: a meta-analysis[J]. *Int Wound J*, 2023, 21(2): 14437.
- [18] Yang J, Lu Y, Zhang Y, et al. Acupuncture combined with gonadotropin-releasing hormone agonists improves endometrial receptivity and pregnancy outcome in patients with recurrent implantation failure of in vitro fertilization-embryo transfer[J]. *J Assist Reprod Genet*, 2024, 41(8): 2185-2192.
- [19] Sun K, Xiu Y, Wang Y, et al. Predictive value of 3D ultrasound assessment of endometrial receptivity for PGD/PGS for transfer pregnancy outcome[J]. *BMC Pregnancy Childbirth*, 2023, 23(1): 213.
- [20] Cavoretto P I, Salmeri N, Candiani M, et al. Reference ranges of uterine artery pulsatility index from first to third trimester based on serial Doppler measurements: longitudinal cohort study[J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2023, 61(4): 474-480.
- [21] 严宝妹, 蔡款, 刘韬, 等. 妊娠早期子宫动脉血流动力学参数对抗磷脂综合征患者妊娠结局的预测价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2022, 38(5): 554-557.
- [22] Kayar İ, Birge Ö, Çetin F. Effect of internal iliac artery ligation on sonographic blood changes in the uterine arteries: a case-control study in women with postpartum hemorrhage in sub-Saharan Africa[J]. *J Int Med Res*, 2025, 53(4): 3000605251335796.

[收稿 2026-03-26;修回 2026-06-11]

(编辑:王先恒)