

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.03.019

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241128.1734.017\(2024-11-29\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241128.1734.017(2024-11-29))

基于决策树模型建立宫颈机能不全患者术后不良妊娠结局的风险预警模型

戈晶晶,李兴亭,蒲春容,陈 蕾[△]
(德阳市人民医院产科,四川德阳 618000)

[摘要] **目的** 探讨宫颈机能不全(CI)患者术后不良妊娠结局的危险因素,并基于决策树模型建立 CI 患者术后不良妊娠结局的风险预警模型。**方法** 回顾性分析 2022 年 2 月至 2023 年 4 月该院收治的 159 例 CI 患者的临床资料,筛选不良妊娠结局的危险因素并构建术后不良妊娠结局的决策树模型,内部验证方法为 5 折交叉验证。**结果** 不良妊娠结局发生率为 22.64%。宫颈环扎时间、羊膜囊膨出、多次环扎、术前宫颈长度、羊水沉积物均为不良妊娠结局发生的影响因素($P<0.05$)。羊水沉积物是 CI 患者术后发生不良妊娠结局最为重要的影响因素,术前宫颈长度对 CI 患者术后发生不良妊娠结局的影响较小。logistic 回归模型的曲线下面积(AUC)值稍高于决策树模型。5 折交叉验证的模型正确率为 78.3%。**结论** 临床治疗期间可结合上述两种模型从不同层面发现 CI 患者术后不良妊娠结局的影响因素,为临床医务人员对 CI 患者的病情评估及干预方案制订提供参考。

[关键词] 宫颈机能不全;宫颈环扎手术;不良妊娠结局;影响因素
[中图法分类号] R714.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2025)03-0668-05

Risk warning model of postoperative adverse pregnancy outcome in patients with cervical incompetence based on decision tree algorithm

YI Jingjing,LI Xingting,PU Chunrong,CHEN Lei[△]
(Department of Obstetrics,Deyang People's Hospital,
Deyang,Sichuan 618000,China)

[Abstract] **Objective** To explore the risk factors of adverse pregnancy outcomes in the patients with cervical incompetence (CI),and to establish a risk warning model of adverse pregnancy outcomes in CI patients based on decision tree model. **Methods** The clinical data of 159 patients with CI admitted and treated in this hospital from February 2022 to April 2023 were retrospectively analyzed,and the risk factors for adverse pregnancy outcomes were screened and the decision tree model for postoperative adverse pregnancy outcomes was constructed. The internal verification method was 5-fold cross-validation. **Results** The incidence rate of adverse pregnancy outcome was 22.64%. The pregnant weeks of cervical cerclage,amniotic cystocele,multiple cervical cerclage,preoperative cervical length and amniotic fluid sediment were all influential factors for adverse pregnancy outcome occurrence ($P<0.05$). The amniotic fluid sediment was the most important factor affecting the postoperative adverse pregnancy outcome in CI patients,and the preoperative cervical length had little influence on the postoperative adverse pregnancy outcomes in CI patients. The area under the curve (AUC) value of logistic regression model was slightly higher than that of the decision tree model. The accuracy rate of the 5-fold cross-validation model was 78.3%. **Conclusion** During clinical treatment,the above two models can be combined to find the influencing factors of postoperative adverse pregnancy outcomes in CI patients from different aspects,and provide references for clinical medical staff to evaluate the disease condition of CI patients and formulate the intervention plans.

[Key words] cervical incompetence;cervical cerclage;adverse pregnancy outcome;influencing factor

宫颈机能不全(CI)主要是由宫颈结缔组织松弛或弱化所致的宫颈闭合异常^[1-2]。CI在普通人群中的患病率约为1%,而在伴有早产史或妊娠中期流产群体中的患病率相对更高^[3]。CI不仅会增加早产、流产

[△] 通信作者,E-mail:377160726@qq.com。

等并发症风险,严重者亦会导致母婴死亡^[4]。目前手术可有效降低母婴风险提高分娩安全性,其中宫颈环扎术凭借其成功率高及可逆性等优点逐渐于临床广泛应用,但术后仍有部分患者出现早产、流产等不良妊娠结局^[5]。另有研究^[6]发现,单胎 CI 术后不良妊娠结局可达 56.7%。因此探究影响 CI 患者术后不良妊娠结局的相关因素,甄别高危人群,同时制订相应的防治措施对改善母婴结局尤为重要^[7]。目前有关不良妊娠结局的相关研究多以传统的多因素 logistic 回归模型为主,但其无法给予针对性的决策建议,存在一定局限性^[8]。决策树属于一种机器学习算法,其在面对大量数据和复杂问题时可快速做出决策并以树形结构展示决策路径,为临床决策提供参考^[9]。既往也有研究^[10]表明,通过构建中青年重度抑郁症患者发生非自杀性自伤行为的决策树模型可有效预测患者非自杀性自伤行为风险,有助于临床识别非自杀性自伤行为高危患者并予以早期防治。本研究现通过收集并分析 159 例 CI 患者的临床资料,并基于决策树构建 CI 患者术后发生不良妊娠结局的风险预警模型,为高危人群综合干预方案的制订提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择 2022 年 2 月至 2023 年 4 月在本院行 McDonald 宫颈环扎手术并分娩的 159 例 CI 患者作为研究对象,根据术后不良妊娠结局发生情况将 159 例患者分为不良妊娠结局组和非不良妊娠结局组。纳入标准:(1)单胎妊娠且年龄≥18 岁者;(2)符合《宫颈机能不全与宫颈环扎术临床实践指南》中相关诊断标准^[11],且通过检查确诊者;(3)临床资料齐全,与医务人员沟通交流无障碍。排除标准:(1)存在严重合并症者;(2)已出现胎膜早破者;(3)伴有凝血功能障碍或肝肾功能不全者。样本量验证采用样本量计算公式:

$$n=[Z_{\alpha/2}^2 \times P \times (1-P)]/(\delta^2 \times deff) \quad \text{①}$$

其中 n 为样本量,在 90%置信度下 $Z_{\alpha/2}$ 取 1.64, P 为阳性率估计值, $P \times (1-P)$ 最大为 0.25, δ 为最大允许误差, $def f$ 为设计效应值。在 90%置信度下,绝对误差为 10%,取总比例为 50%,则抽样估算样本量为 135 例,考虑 10%的脱落率,则应接触样本量为 149 例,故此次纳入样本量充足。本研究已通过本院伦理委员会审批(审批号:2021-12-127-K01),患者均知情同意参与本研究。

1.2 资料收集

通过查阅既往文献和咨询院内专家建议后,收集患者临床一般资料,包括年龄、居住地、孕前 BMI、孕次、流产史、剖宫产史、先天性子宫畸形情况、宫颈环扎时间、羊膜囊膨出情况、多次环扎情况、生殖道感染情况、术前宫颈长度、术后住院时间、分娩方式、分娩

孕周、羊水沉积物、尿白细胞阳性情况、WBC、RBC、血红蛋白、中性粒细胞计数共计 21 项临床资料。

1.3 不良结局判定

不良结局包括未足月胎膜早破、绒毛膜羊膜炎、新生儿死亡、早产及流产^[12-13]。

1.4 统计学处理

采用 SPSS24.0 软件分析数据,计数资料采用例数或百分数表示,组间比较采用 χ^2 检验。运用多因素 logistic 回归分析筛选 CI 患者术后发生不良妊娠结局的危险因素。采用 R4.1.3 软件构建预测 CI 患者术后发生不良妊娠结局的决策树模型,并绘制受试者工作特征(ROC)曲线,计算受试者工作特征曲线下面积(AUC)。另对搭建完成的模型进行 Omnibus 检验,通过 R4.1.3 进行 5 折交叉验证。将 159 例数据按比例均分成 5 份,分为训练组和验证组后构建循环,依次使用其中的 4 份做训练组,1 份做验证组,共重复 5 次运算,最终得出模型预测正确率。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 CI 患者术后不良妊娠结局发生情况

159 例 CI 患者中术后有 36 例患者发生了不良妊娠结局,有 123 例患者术后未发生不良妊娠结局,不良妊娠结局发生率为 22.64%。

2.2 CI 患者术后不良妊娠结局的单因素分析

不良妊娠结局组和非不良妊娠结局组患者年龄、居住地、孕前 BMI、孕次、流产史、剖宫产史、先天性子宫畸形情况、生殖道感染情况、术后住院时间、分娩方式、分娩孕周、尿白细胞阳性情况、WBC、RBC、血红蛋白、中性粒细胞计数比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),而宫颈环扎时间、羊膜囊膨出情况、多次环扎情况、术前宫颈长度、羊水沉积物比较,差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

2.3 CI 患者术后不良妊娠结局发生的多因素 logistic 回归分析

将表 1 中 $P < 0.05$ 的项目:宫颈环扎时间(<140 d=0, ≥ 140 d=1)、羊膜囊膨出(否=0,是=1)、多次环扎(否=0,是=1)、术前宫颈长度(≥ 25 mm=0, < 25 mm=1)、羊水沉积物(否=0,是=1)作为自变量,以 CI 患者术后是否发生不良妊娠结局作为因变量(否=0;是=1),进行多因素 logistic 回归分析,结果显示,宫颈环扎时间 ≥ 140 d、羊膜囊膨出、多次环扎、术前宫颈长度 < 25 mm、羊水沉积物均是 CI 患者术后发生不良妊娠结局的影响因素($P < 0.05$)。概率预测模型预测总体正确性为 88.1%。Omnibus 检验的结果显示 $P < 0.001$ 。经过 5 折交叉验证,预测正确率为 78.3%,见表 2。该模型 ROC 曲线的 AUC 为 0.816(95%CI:0.747~0.873),见图 1。

表 1 CI 患者术后发生不良妊娠结局的单因素分析				
项目	不良妊娠结局组(<i>n</i> = 36)	非不良妊娠结局组(<i>n</i> = 123)	<i>t</i> / <i>χ</i> ²	<i>P</i>
年龄($\bar{x}\pm s$, 岁)	31.28±3.43	32.05±4.17	1.046	0.297
居住地(<i>n</i>)			0.786	0.375
农村	16	65		
城镇	20	58		
孕前 BMI($\bar{x}\pm s$, kg/m ²)	22.54±4.71	21.35±5.04	1.305	0.194
孕次($\bar{x}\pm s$, 次)	3.46±1.24	3.57±1.37	0.447	0.656
流产史(<i>n</i>)				
是	20	66	0.040	0.841
否	16	57		
剖宫产史(<i>n</i>)				
有	7	21	0.108	0.743
无	27	102		
先天性子宫畸形(<i>n</i>)				
是	2	5	0.147	0.701
否	34	118		
宫颈环扎时间(<i>n</i>)				
≥140 d	26	54	8.934	0.003
<140 d	10	69		
羊膜囊膨出(<i>n</i>)				
是	11	12	9.737	0.002
否	25	111		
多次环扎(<i>n</i>)				
是	9	8	9.977	0.002
否	27	115		
生殖道感染(<i>n</i>)				
是	16	46	0.581	0.446
否	20	77		
术前宫颈长度(<i>n</i>)			9.455	0.002
≥25 mm	10	70		
<25 mm	26	53		
术后住院时间($\bar{x}\pm s$, d)	11.26±5.71	10.98±5.34	0.281	0.779
分娩方式(<i>n</i>)			3.408	0.065
剖宫产	7	44		
阴道分娩	29	79		
分娩孕周($\bar{x}\pm s$, 周)	37.14±3.26	36.42±3.13	1.239	0.217
羊水沉积物(<i>n</i>)			10.557	0.001
是	6	3		
否	30	120		
尿白细胞阳性(<i>n</i>)			0.009	0.926
是	4	13		
否	32	110		
WBC($\bar{x}\pm s$, ×10 ⁹ /L)	11.23±2.53	11.76±2.21	1.259	0.210
RBC($\bar{x}\pm s$, ×10 ⁹ /L)	3.80±0.52	3.92±0.54	1.220	0.224
血红蛋白($\bar{x}\pm s$, g/L)	115.36±9.86	113.45±11.53	0.932	0.353
中性粒细胞计数($\bar{x}\pm s$, ×10 ⁹ /L)	7.93±2.31	8.12±2.19	0.466	0.642

表 2 CI 患者术后不良妊娠结局发生的多因素 logistic 回归分析

项目	<i>B</i>	<i>SE</i>	<i>Wald</i>	<i>P</i>	<i>OR</i>	95% <i>CI</i>
宫颈环扎孕周	1.573	0.498	9.957	0.002	4.819	1.814~12.800
羊膜囊膨出	1.524	0.580	6.913	0.009	4.592	1.474~14.307
多次环扎	2.032	0.664	9.353	0.002	7.628	2.074~28.048
术前宫颈长度	1.254	0.471	7.079	0.008	3.505	1.391~8.828
羊水沉积物	1.809	0.883	4.199	0.040	6.103	1.082~34.426
常数	-3.589	0.570	39.659	<0.001	0.028	

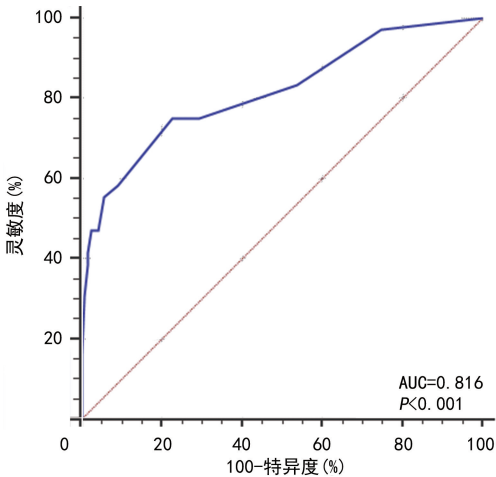


图 1 多因素 logistic 回归模型的 ROC 曲线

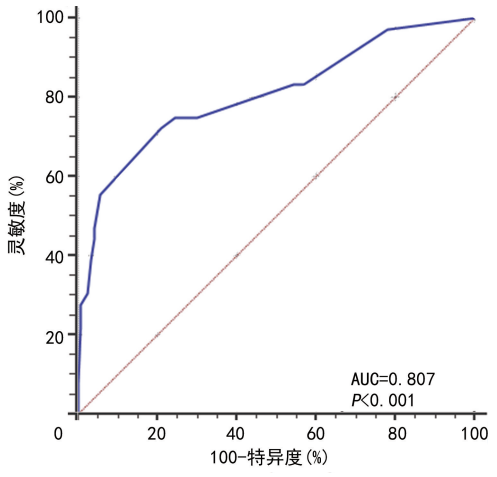


图 2 决策树模型的 ROC 曲线

2.4 CI 患者术后不良妊娠结局发生的决策树模型

将单因素分析($P<0.05$)的项目(宫颈环扎时间、羊膜囊膨出、多次环扎、术前宫颈长度、羊水沉积物)纳入决策树模型。决策树生长:生长“枝条”分割显著性水准 $\alpha=0.05$;参数设置:采用预修剪方法,停止规则为 $\alpha=0.05$,母节点最小样本量为 100,子节点为 50,如果决策树结点上的样本量达不到此要求,则该结点为终末结点,不再进行分割。本研究决策树生长共 4 层,首层变量为羊水沉积物,第二层为多次环扎,第三层为羊膜囊膨出、宫颈环扎时间,第四层为术前宫颈长度;共 12 个节点,其中终末节点 7 个,筛选 5 个解释变量,即宫颈环扎时间、羊膜囊膨出、多次环扎、术前宫颈长度、羊水沉积物,其中羊水沉积物是 CI 患者术后发生不良妊娠结局最为重要的影响因素,术前宫颈长度对 CI 患者术后发生不良妊娠结局的影响较小。其中羊水沉积物的患者占节点的 33.33%,无羊水沉积物、未多次环扎、术前宫颈长度 $<25\text{ mm}$ 的患者占节点的 19.64%,无羊水沉积物、未多次环扎、术前宫颈长度 $\geq 25\text{ mm}$ 的患者占节点的 6.56%,无羊水沉积物、未多次环扎、有羊水沉积物、宫颈环扎时间 $<140\text{ d}$ 和 $\geq 140\text{ d}$ 的患者分别占节点的 12.50%和 66.67%,无羊水沉积物、多次环扎、宫颈环扎时间 $<140\text{ d}$ 和 $\geq 140\text{ d}$ 的患者分别占节点的 0 和 80.00%。该模型 ROC 曲线的 AUC 为 0.807(95%CI:0.737~0.865),见图 2。

3 讨 论

本研究 159 例 CI 患者术后不良妊娠结局发生率为 22.64%,说明 CI 患者术后不良妊娠结局发生率较高,因此分析 CI 患者术后发生不良妊娠结局的相关因素,并建立风险预警模型具有重要的临床意义^[14-16]。本研究结果显示,宫颈环扎时间、羊膜囊膨出、多次环扎、术前宫颈长度、羊水沉积物是影响 CI 患者术后不良妊娠结局发生的危险因素。胡敏等^[17]研究发现,宫颈环扎时间越长的患者发生不良妊娠结局的风险更高,宫颈环扎时间是影响 CI 患者术后不良妊娠结局发生的危险因素。宫颈环扎时间延长可增加胎儿重量和子宫压力,当压力上升至宫颈口无法承受时亦可导致宫颈松弛,从而增加了不良妊娠结局的发生风险。NAMOUZ 等^[18]研究发现,羊膜囊膨出是 CI 患者术后不良妊娠结局发生的独立危险因素。本研究结果与上述报道相符。羊膜囊膨出会对宫颈口施加额外张力,进而导致术后宫颈口松弛,胎儿侵入羊膜囊,继而导致早产、胎膜早破等不良妊娠结局发生。彭丽等^[19]研究发现,术前宫颈长度是影响 CI 术后不良妊娠结局发生的危险因素,术前宫颈长度 $<25\text{ mm}$ 者更易发生不良妊娠结局。这可解释为术前宫颈缩短多提示患者 CI 程度较为严重,同时宫颈长度也会影响宫颈的承载能力,尤其是在妊娠期间,在宫颈承载重量的不断增加下更易导致宫颈口松弛、胎膜早破、早产甚至流产等不良妊娠结局发生。此外,本研究结果发现,羊水沉积物也会导致 CI 术后不良

妊娠结局的发生风险增加,这与彭丽等^[19]的研究结果具有一致性。羊水沉积物可能含有细菌、病毒等致病微生物或有害毒素,手术期间残留的部分羊水沉积物可引起感染、炎症等,继而导致早产、胎膜早破、胎盘剥离等不良妊娠结局发生。此外,多次环扎可能会导致宫颈狭窄和闭锁,导致难以自然分娩和人工流产困难,从而增加了不良妊娠结局的发生风险。

本研究结果还发现,多因素 logistic 回归和决策树模型的预测效能相接近且均为中等,说明模型的预测效能较好。既往研究^[20]报道也显示,logistic 回归和决策树模型在预测老年住院患者肌少症风险方面均具有良好的效能。此外,也有研究^[21]表明,上述模型相结合可充分解释不同变量间的作用关系。就本研究结果而言,虽然多因素 logistic 回归模型能够有效反映不良妊娠结局与各变量的依存关系,但在决策建议方面不如决策树模型^[22]。而决策树模型在决策建议方面相比 logistic 回归的优势主要在于其模型的可解释性和易于理解^[23-24]。如本研究决策树首层的变量为羊水沉积物,其为不良妊娠结局最为重要的影响因素,有羊水沉积物的患者更易发生不良妊娠结局;第二层显示不同变量间的相互作用,如没有羊水沉积物的患者则需要进一步考虑多次环扎才能判断不良妊娠结局的风险性,且决策树模型生成树形结构易于决策者查看和理解,从而将模型结果转化为决策建议,临床人员可以根据决策树结构快速推断出患者发生不良妊娠结局风险,并制订个体化的医疗决策,继而让更多的 CI 患者从手术方案中获益^[25-26]。

综上所述,宫颈环扎时间 ≥ 140 d、羊膜囊膨出、多次环扎、术前宫颈长度 < 25 mm、羊水沉积物均是 CI 患者术后发生不良妊娠结局的影响因素,基于上述因素构建的决策树模型具有较好的预测价值,有助于医务人员尽早识别术后不良妊娠结局高危患者。但本研究为单中心回顾性研究,且样本量较少可能会影响模型效能,同时可能存在纳入因素不全,未进行外部验证等不足,后续将加大样本行多中心前瞻性研究对本研究结论进行验证。

参考文献

[1] 冯娟,李坪芬,宋飞,等.多囊卵巢综合征患者发生宫颈机能不全高危因素的研究进展[J].中国计划生育和妇产科,2022,14(6):34-37.

[2] OH K J,ROMERO R,PARK J Y,et al. Evidence that antibiotic administration is effective in the treatment of a subset of patients with intra-amniotic infection/inflammation presenting with cervical insufficiency[J]. Am J Obstet Gynecol,2019,221(2):140.

[3] HAN Y,LI M,MA H,et al. Cervical insuffi-

ciency:a noteworthy disease with controversies [J]. J Perinat Med,2020,48(7):648-655.

[4] 高媛媛,郑旭,刘宏健,等.改良 Shirodkar 宫颈环扎术影响孕周延长的多因素分析[J].中国计划生育和妇产科,2019,11(11):77-80.

[5] 曹静,应小燕.腹腔镜下子宫颈环扎术治疗妊娠 16~21 周子宫颈机能不全的临床效果观察[J].中国实用妇科与产科杂志,2023,39(1):111-114.

[6] 殷红宇,陈悦. McDonald 宫颈环扎术后不良妊娠结局预测模型的建立[J].现代妇产科进展,2022,31(12):915-920.

[7] HSIAO C H,CHEN C H,CHANG Y F,et al. Retrospective analysis of stillbirth and induced termination of pregnancies:factors affecting determination [J]. Taiwan J Obstet Gynecol,2022,61(4):626-629.

[8] 安然,李丽. logistic 回归分析瘢痕子宫再次妊娠产妇产阴道分娩妊娠结局的影响因素[J].中国性科学,2020,29(8):39-41.

[9] 张燕,彭伶俐,张磊,等.基于 logistic 回归和决策树法预测颅脑肿瘤患者术后病情恶化风险[J].护理学杂志,2022,37(7):15-19.

[10] 刘浩,周小艳,向桢玉,等.基于决策树算法构建中青年重度抑郁症患者发生非自杀性自伤行为风险的预测模型[J].重庆医学,2024,53(10):1484-1490.

[11] 王祎祎,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.

[12] CAI S,WU Y,ZENG L,et al. Effects of vaginal microecology and immunity on the pregnancy outcome of cervical cerclage[J]. BMC Womens Health,2022,22(1):167.

[13] BEN-ZVI M,HERMAN H G,BAR J,et al. Are women with cervical incompetence at a higher risk of experiencing urinary and pelvic organ prolapse symptoms? [J]. Int Urogynecol J,2020,31(2):385-389.

[14] 徐晓艳,吉婷,滕炜,等. McDonald 宫颈环扎术在双胎与单胎妊娠合并宫颈机能不全患者中的应用[J].海南医学,2023,34(5):709-712.

[15] KIM S,PARK H S,KWON H,et al. Korean society of ultrasound in obstetrics and gynecology research group. Effect of cervical cerclage on the risk of recurrent preterm birth after a twin spontaneous preterm birth[J]. J Korean Med Sci,2020,35(11):66.

[16] DIAMANT H,MASTROLIA S(下转第 677 页)