

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.20.016
文章编号: 1005-8982 (2026) 20-0104-09

临床研究·论著

基于Lasso-logistic回归模型构建高龄妊娠期 高血压疾病患者不良妊娠结局的列线图模型*

杨雯¹, 唐媛¹, 李鑫¹, 叶琴¹, 马玥²

(攀枝花市中心医院 1. 产科, 2. 教务科, 四川 攀枝花 617000)

摘要: **目的** 探讨基于Lasso-logistic多因素模型构建预测模型对高龄妊娠期高血压疾病(HDP)患者不良妊娠结局的预测价值。**方法** 选取2021年1月—2025年6月攀枝花市中心医院收治的342例高龄HDP患者, 记录妊娠不良结局发生率。按7:3的比例将342例患者随机分为训练集(240例)和验证集(102例), 将连续变量Z-score标准化, 采用Lasso-logistic多因素模型分析训练集数据, 分析高龄HDP患者不良妊娠结局的相关因素, 构建风险预测模型。采用验证集数据对模型进行验证, 以10折交叉验证、 $\lambda_{\min}/\lambda_{1se}$ 双参数报告、多重插补($m=5$)、Box-Tidwell线性检验、方差膨胀因子多重共线性检验、H-L检验10分组、校准曲线、临床决策曲线(DCA)阈值净收益进行分析。**结果** 训练集和验证集患者中, 分别有62例和24例发生不良妊娠结局, 发生率分别为25.83%和23.53%。Lasso回归分析筛选产次、糖尿病、前置胎盘、活化部分凝血活酶时间(APTT)、白蛋白(Alb)、胰岛素抵抗指数(HOMA-IR)共6项, 将上述因子纳入多因素一般logistic回归分析, 结果显示, 合并糖尿病[OR=4.408 (95% CI: 2.507, 7.750)]、前置胎盘[OR=3.238 (95% CI: 1.647, 6.366)]及HOMA-IR水平高[OR=2.617, 95%CI: 1.511, 4.533]均为高龄HDP患者不良妊娠结局的危险因素($P<0.05$), Alb水平高[OR=0.814 (95% CI: 0.698, 0.949)]为高龄HDP患者不良妊娠结局的保护因素($P<0.05$)。基于上述因素构建风险预测模型, 构建预测方程: $1.247+1.483\times\text{合并糖尿病}+1.175\times\text{前置胎盘}-0.206\times\text{Alb}+0.962\times\text{HOMA-IR}$ 。Hosmer-Lemeshow检验显示, 训练集与验证集的预测概率、实际结局比较, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。分别以训练集和验证集数据绘制校准曲线, 结果显示, 训练集与验证集中实际概率与预测概率的平均绝对误差分别为0.019和0.036, DCA分析结果提示训练集和验证集在0.12~0.84和0.05~0.90中, 预测模型的临床净收益高。ROC曲线结果显示, 该预测模型预测训练集与验证集高龄HDP患者不良妊娠结局的截断值分别为230.0和225.5, 敏感性分别为88.7% (95% CI: 0.704, 0.912)和87.5% (95% CI: 0.743, 0.965), 特异性分别为74.2% (95% CI: 0.718, 0.901)和73.1% (95% CI: 0.725, 0.920)。**结论** 高龄HDP患者存在不良妊娠结局风险, 其发生与患者合并糖尿病、前置胎盘、Alb及HOMA-IR水平有关, 临床据此构建的风险预测模型有助于不良妊娠结局高危人群的早期筛查。

关键词: 妊娠期高血压疾病; 高龄孕产妇; 不良妊娠结局; Lasso回归; 列线图; 内部验证

中图分类号: R714.24

文献标识码: A

Development of a nomogram for adverse pregnancy outcomes in pregnant women of advanced maternal age with hypertensive disorders of pregnancy using Lasso-logistic regression*

Yang Wen¹, Tang Yuan¹, Li Xin¹, Ye Qin¹, Ma Yue²

(1. Department of Obstetrics; 2. Academic Affairs Office, Panzhihua Central Hospital, Panzhihua, Sichuan 617000, China)

收稿日期: 2026-06-03

* 基金项目: 四川省科技计划项目 (2023JDR0342)

[通信作者] 马玥, E-mail: 43810262@qq.com

Abstract: Objective To evaluate the predictive value of a model based on multivariable Lasso-logistic regression for adverse pregnancy outcomes in pregnant women of advanced maternal age with hypertensive disorders of pregnancy (HDP). **Methods** A total of 342 pregnant women of advanced maternal age with HDP treated at Panzhuhua Central Hospital between January 2021 and June 2025 were enrolled, and adverse pregnancy outcomes were recorded. The patients were randomly divided 7:3 into a training set ($n = 240$) and a validation set ($n = 102$). Continuous variables were standardized using Z scores. A multivariable Lasso-logistic model was used to analyze the training-set data, identify factors associated with adverse pregnancy outcomes, and construct a risk prediction model. The validation set was used to validate the model. Analyses included 10-fold cross-validation, dual reporting of lambda-minimum/lambda-1-standard-error parameters, multiple imputation ($m = 5$), the Box-Tidwell linearity test, variance inflation factor assessment of multicollinearity, the 10-group Hosmer-Lemeshow test, calibration curves, and decision curve analysis (DCA) of threshold net benefit. **Results** Adverse pregnancy outcomes occurred in 62 patients in the training set and 24 in the validation set, corresponding to incidences of 25.83% and 23.53%, respectively. Lasso regression selected six variables: parity, diabetes, placenta previa, activated partial thromboplastin time, albumin (Alb), and the homeostatic model assessment of insulin resistance (HOMA-IR). Multivariable logistic regression showed that diabetes [$\hat{OR} = 4.408$ (95% CI: 2.507, 7.750)], placenta previa [$\hat{OR} = 3.238$ (95% CI: 1.647, 6.366)], and higher HOMA-IR [$\hat{OR} = 2.617$ (95% CI: 1.511, 4.533)] were risk factors for adverse pregnancy outcomes ($P < 0.05$), whereas higher Alb [$\hat{OR} = 0.814$ (95% CI: 0.698, 0.949)] was a protective factor ($P < 0.05$). The prediction equation was $\text{Logit}(P) = 1.247 + 1.483 \times \text{diabetes} + 1.175 \times \text{placenta previa} - 0.206 \times \text{Alb} + 0.962 \times \text{HOMA-IR}$. The Hosmer-Lemeshow test showed no significant differences between predicted probabilities and observed outcomes in either the training or validation set ($P > 0.05$). Calibration curves showed mean absolute errors of 0.019 and 0.036 in the training and validation sets, respectively. DCA indicated high clinical net benefit at threshold probabilities of 0.12-0.84 in the training set and 0.05-0.90 in the validation set. The model cutoff values were 230.0 and 225.5 in the training and validation sets, respectively; sensitivities were 88.7% (95% CI: 0.704, 0.912) and 87.5% (95% CI: 0.743, 0.965), and specificities were 74.2% (95% CI: 0.718, 0.901) and 73.1% (95% CI: 0.725, 0.920), respectively. **Conclusion** Pregnant women of advanced maternal age with HDP are at risk of adverse pregnancy outcomes associated with diabetes, placenta previa, Alb, and HOMA-IR. A risk prediction model based on these factors may facilitate early identification of high-risk patients.

Keywords: hypertensive disorders of pregnancy; pregnant women of advanced maternal age; adverse pregnancy outcomes; Lasso regression; nomogram; internal validation

妊娠期高血压疾病 (hypertensive disorders of pregnancy, HDP) 是妊娠与高血压并存的一组疾病, 以血压异常升高为主要表现, 伴有蛋白尿、水肿, 随着病情进展, 可引起多器官损伤、子痫, 为胎儿窘迫、早产、生长受限等不良妊娠结局的诱发因素^[1]。近年来, 随着生育政策调整及社会观念转变, 高龄妊娠发生率有上升趋势^[2-3], 高龄 HDP 指年龄 >35 岁的 HDP 患者, 其生理机能衰退, 血管弹性降低, 卵巢功能退化, 且孕前可能合并多种基础疾病, 病情进展更快, 更易导致孕期死亡、弥散性血管内凝血 (disseminated intravascular coagulation, DIC)、子痫等不良妊娠结局, 部分患者甚至可能合并多项不良结局, 即复合不良妊娠结局, 威胁母婴健康^[4]。

目前, 临床对于高龄 HDP 患者的管理主要为孕期动态监测和对症治疗, 有关 HDP 不良妊娠结

局相关因素的报道也逐渐增多^[5], 但临床对此尚未形成共识, 且有关高龄 HDP 患者不良妊娠结局风险预测模型的研究也较少, 现有预测模型的相关研究较少纳入胰岛素抵抗指数 (homeostatic model assessment for insulin resistance, HOMA-IR)、白蛋白 (Albumin, Alb) 等^[6-7], 缺乏基层常规检验构建的简易预测工具和针对高龄 HDP 人群的个体化风险评估体系, 早期针对性干预措施尚不完善, 难以实现对不良妊娠结局的早期预判、动态监测及提前干预^[8]。

本研究通过回顾性分析, 调查高龄 HDP 患者不良妊娠结局情况, 并纳入 HOMA-IR、Alb 等常规生化/病史指标, 进行相关因素分析, 构建可视化列线图风险预测模型, 为临床早期识别不良妊娠结局的高危患者、实施精准干预提供指导, 弥补既往研究的不足, 以改善 HDP 患者妊娠结局。且

本研究纳入的参数指标较为简便，无须胎盘生长因子、可溶性血管内皮生长因子等特殊高价胎盘标志物，基层卫生院可无成本普及，具有重要的临床价值。现将结果报道如下。

1 资料与方法

1.1 病例资料

选取 2021 年 1 月—2025 年 6 月于攀枝花市中心医院就诊的 342 例高龄 HDP 患者，对临床资料进行回顾性分析。在样本纳入时，患者均为连续入院，采用年份分层比例随机抽样，各年度病例层内使用 SPSS 28.0 随机数字生成器生成均匀分布随机数，依据随机数字升序完成每层简单随机抽样；抽样时固定随机种子以保证抽样过程可重复验证，以控制时间混杂因素，最终确定 2021 年 56 例，2022 年 64 例，2023 年 78 例，2024 年 86 例，2025 年 1 月—2025 年 6 月 58 例。每年按 7:3 的比例随机将 342 例高龄 HDP 患者分为训练集（240 例）和验证集（102 例）。训练集与验证集孕妇年龄构成、产次构成、孕期用药情况、孕妇文化程度构成、糖尿病患病率、冠心病患病率、前置胎盘率、胎盘早剥率及各实验室参数水平比较，经 χ^2/t 检验，差异均无统计学意义($P>0.05$)，具有可比性(见表 1)。本

研究经医院伦理委员会审批（攀科伦审第〔2026-030〕号）。

1.2 纳入与排除标准

1.2.1 纳入标准 ①患者符合《妊娠期高血压疾病血压管理专家共识（2019）》^[9]中 HDP 诊断标准，且年龄 ≥ 35 岁；②单胎妊娠；③孕 28 ~ 36 周入院，临床资料完整，且接受定期复诊和产检。

1.2.2 排除标准 ①孕前合并先心病、甲亢、干燥综合征、系统性红斑狼疮者；②子宫畸形、肝硬化、肝肾综合征等严重肝、肾功能不全；③孕期终止妊娠或随访失访；④合并恶性肿瘤。

1.3 研究方法

1.3.1 不良妊娠结局调查 患者入院确诊 HDP 后，均根据《妊娠期高血压疾病血压管理专家共识（2019）》^[9]接受规范产检与治疗，记录妊娠不良结局发生情况。孕产妇不良结局：孕期出现新发肝肾功能严重损伤、孕期死亡、DIC、子痫、心血管或呼吸系统疾病需行强心干预，高浓度氧疗者，格拉斯哥昏迷评分 <13 分者。围产儿复合不良结局：早产、胎儿生长受限、宫内死亡，胎儿呼吸窘迫、新生儿窒息。患者出现任意一项母体或围产期不良妊娠结局即为阳性，同一患者多发不良结局仅计 1 例。

表 1 两组基线数据比较

组别	n	孕妇年龄 例(%)		产次 例(%)		孕期用药 例(%)		孕妇文化程度 例(%)			孕前基础疾病 例(%)	
		≤ 40 岁	> 40 岁	经产妇	初产妇	降压药	阿司匹林	高中以下	高中	高中以上	糖尿病	冠心病
训练集	240	168(70.00)	72(30.00)	124(51.67)	116(48.33)	52(21.67)	38(15.83)	52(21.67)	86(35.83)	102(42.50)	48(20.00)	36(15.00)
验证集	102	68(66.67)	34(33.33)	62(60.78)	40(39.22)	16(15.69)	13(12.75)	15(14.71)	50(49.02)	37(36.27)	17(16.67)	14(13.73)
χ^2/t 值		0.372		2.399		1.607	0.538	5.583			0.517	0.093
P 值		0.542		0.121		0.205	0.463	0.061			0.472	0.760

组别	孕期并发症 例(%)		APTT/(s,	Fib/(g/L,	Alb/(g/L,	Ser/(μ mol/L,	TG/(mmol/L,	TC/(mmol/L,	HOMA-IR
	前置胎盘	胎盘早剥	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	($\bar{x} \pm s$)
训练集	30(12.50)	22(9.17)	27.58 $\pm$ 3.39	3.05 $\pm$ 0.62	26.51 $\pm$ 4.92	78.65 $\pm$ 16.57	1.56 $\pm$ 0.42	5.09 $\pm$ 1.54	2.49 $\pm$ 0.62
验证集	8(7.84)	6(5.88)	28.02 $\pm$ 4.26	2.96 $\pm$ 0.57	27.01 $\pm$ 5.33	80.14 $\pm$ 21.28	1.62 $\pm$ 0.57	4.98 $\pm$ 1.48	2.52 $\pm$ 0.68
χ^2/t 值	1.572	1.027	1.014	1.257	0.838	0.697	1.081	0.611	0.398
P 值	0.210	0.311	0.311	0.210	0.402	0.487	0.281	0.541	0.691

1.3.2 临床资料收集 收集 HDP 患者一般资料、临床特征及实验室检查参数。一般资料包括孕妇年龄、产次、孕妇文化程度，临床特征参数包括合并症情况、孕期并发症、分娩方式，实验室参

数包括孕妇活化部分凝血活酶时间（activated partial thromboplastin time, APTT）、纤维蛋白原（Fibrinogen, Fib）、Alb、血肌酐（serum creatinine, Scr）、HOMA-IR 及血清甘油三酯（Triglyceride,

TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)水平。实验室参数均为患者入院确诊后首次检查结果,取孕28~36周患者入院当日空腹下肘静脉血3.0 mL,抗凝后留取血浆,采用全自动凝血分析仪(北京倍肯恒业科技发展股份有限公司,京械注准20182220238,型号:MRX-auto400)检测血浆APTT、Fib,采用全自动生化分析仪(武汉尚宜康健科技有限公司,鄂械注准20182222359,型号:KEA-TR100)检测血清Alb(正常值35~55 g/L)、Scr(正常值<70 $\mu\text{mol/L}$)、血清TG(正常值<1.70 mmol/L)及TC(<5.2 mmol/L)水平,计算HOMA-IR, $\text{HOMA-IR} = (\text{空腹血糖} \times \text{空腹胰岛素}) / 22.5$, HOMA-IR正常值0.5~2.0,空腹血糖与空腹胰岛素试剂盒均由合肥万物生物科技有限公司提供。

1.4 统计学方法

数据分析采用SPSS 28.0和R 4.5.1统计软件,计数资料以构成比或率(%)表示,比较用 χ^2 检验,计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较 t 检验;筛选 $P < 0.05$ 的变量作为候选变量,采用方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)检验候选变量间的多重共线性,以 $\text{VIF} \geq 5$ 为存在共线性,为规避变量多重共线性并实现变量自动筛选,全部连续预测因子完成Box-Tidwell检验,采用多因素Lasso-logistic回归模型进行影响因素分析,全部连续预测因子Z-score标准化;使用R 4.5.1glmnet包,10折交叉验证set.seed(123),同步报告 $\lambda_{\min}$ 、 λ_{1se} 两组模型变量与效能,说明本研究以预测精准度为核心目标,故选用 $\lambda_{\min}$ 建模。Lasso筛选6个候选变量纳入多因素Logistic回归,产次($P=0.197$)、APTT($P=0.125$),均无统计学独立预测意义予以剔除,最终保留4项构建预测模型。交互项均 $P > 0.05$,满足logit线性假设,可直接纳入回归模型;确定独立影响因素后,纳入R包,用于构建Nomogram预测模型,进行Hosmer-Lemeshow检验,并绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线、校准曲线及临床决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)对模型进行验证,H-L统一10分组;校准曲线平均绝对误差<0.05判定为校准良好;DCA补充两组阈值区间净收益量化差值;明确多重插补5次,列出存在缺失的

指标及缺失占比。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不良妊娠结局情况

训练集240例患者中,62例不良妊娠结局,发生率为25.83%,其中26例孕妇孕期发生心血管疾病(其中5例合并DIC,2例合并早产),均接受高浓度氧疗,14例宫内死亡,10例DIC,3例胎儿生长受限(其中1例伴有新生儿窒息),4例早产,3例新生儿窒息,2例胎儿呼吸窘迫。验证集102例患者中,24例不良妊娠结局,发生率为23.53%,其中10例发生心血管疾病(其中2例合并DIC,1例合并胎儿生长受限),接受高浓度氧疗,5例宫内死亡,4例DIC,3例胎儿生长受限,2例新生儿窒息。训练集与验证集不良妊娠结局发生率比较,经 χ^2 检验,差异无统计学意义($\chi^2=0.202$, $P=0.653$)。

2.2 训练集不同患者临床参数比较

训练集240例患者中62例发生妊娠不良结局为观察组,其余178例为对照组。观察组与对照组孕妇年龄构成、孕前用药情况、孕妇文化程度构成、Fib及TC水平比较,经 χ^2/t 检验,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。观察组与对照组糖尿病患病率、冠心病患病率、前置胎盘率、胎盘早剥率、APTT、Alb、Scr、TG及HOMA-IR水平比较,经 χ^2/t 检验,差异均有统计学意义($P < 0.05$);观察组产次、糖尿病患病率、冠心病患病率、前置胎盘率、胎盘早剥率、APTT、Scr、TG及HOMA-IR水平均高于对照组,Alb水平低于对照组($P < 0.05$)。见表2。

2.3 高龄HDP患者不良妊娠结局的相关因素分析

以0.05为引入水准,共线性检验显示所有候选变量VIF均<5(VIF值:产次2.5,合并糖尿病1.8,合并冠心病2.2,前置胎盘2.5,胎盘早剥3.0,APTT水平2.8,Alb水平3.5,Scr水平2.6,TG水平3.2,HOMA-IR水平2.0),不存在明显多重共线性。采用Box-Tidwell检验验证APTT、Alb及HOMA-IR与logit值的线性关系,结果显示交互项回归系数无统计学意义($P > 0.05$),提示APTT、Alb及HOMA-IR满足单因素一般Logistic回归logit线性假设,标准化处理后直接纳入回归模型。见图1。

表2 训练集两组患者的临床参数比较

组别	n	孕妇年龄 例(%)		产次 例(%)		孕期用药 例(%)		孕妇文化程度 例(%)			孕前基础疾病 例(%)	
		≤40岁	>40岁	经产妇	初产妇	降压药	阿司匹林	高中以下	高中	高中以上	糖尿病	冠心病
观察组	62	45(72.58)	17(27.42)	24(38.71)	38(61.29)	12(19.35)	8(12.90)	8(12.90)	22(35.48)	32(51.61)	29(46.77)	16(25.81)
对照组	178	112(62.92)	66(37.08)	108(60.67)	70(39.33)	40(22.47)	30(16.85)	30(16.85)	62(34.83)	86(48.31)	26(14.61)	17(9.55)
χ ² /t 值		1.896		8.963		0.263	0.539		0.561		26.935	10.246
P 值		0.168		0.003		0.608	0.463		0.756		0.000	0.001

组别	孕期合并症 例(%)		APTT/(s,	Fib/(g/L,	Alb/(g/L,	Scr/(μmol/L,	TG/(mmol/L,	TC/(mmol/L,	HOMA-IR
	前置胎盘	胎盘早剥	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	$\bar{x} \pm s$)	($\bar{x} \pm s$)
观察组	15(24.19)	14(22.58)	28.95 ± 3.62	3.09 ± 0.74	25.35 ± 4.80	89.13 ± 20.06	1.72 ± 0.44	5.13 ± 1.66	2.62 ± 0.78
对照组	14(7.87)	10(5.62)	26.32 ± 2.80	2.91 ± 0.83	27.62 ± 5.18	64.52 ± 17.76	1.39 ± 0.38	4.94 ± 1.29	2.31 ± 0.54
χ ² /t 值	11.541	14.701	5.883	1.511	3.027	9.081	5.647	0.924	3.443
P 值	0.001	0.000	0.000	0.132	0.003	0.000	0.000	0.356	0.001

注：本表数据经5次多重插补合并处理,缺失值插补后的数据来源于攀枝花市中心医院收集的临床病历数据。

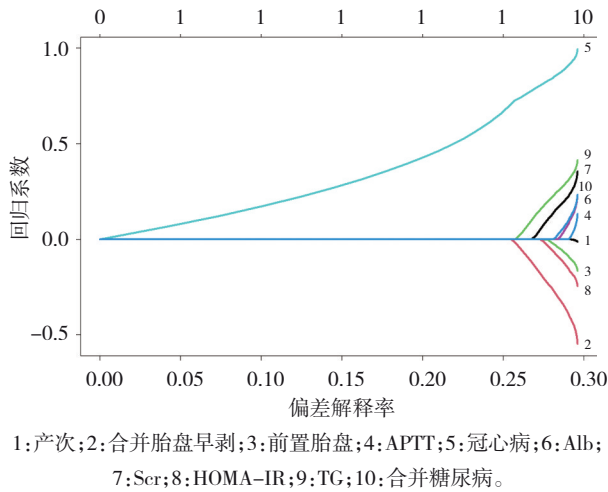


图1 高龄HDP患者不良妊娠结局相关因素λ的变化趋势

以是否发生不良妊娠结局(否=0,是=1)为因变量,表2中差异有统计学意义的产次(经产妇=0,初产妇=1)、糖尿病(否=0,是=1)、冠心病(否=0,是=1)、前置胎盘(否=0,是=1)、胎盘早剥(否=0,是=1)、APTT水平(实测值)、Alb水平(实测值)、Scr水平(实测值)、TG水平(实测值)及HOMA-IR水平(实测值)为自变

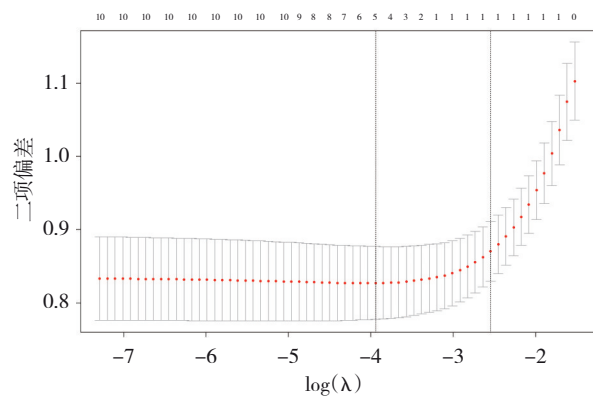
量,纳入多因素 Lasso 回归模型,将样本随机分为10个互不重叠的子集,通过10折交叉验证法,以最小交叉验证均方误差确定最优值λ=0.06,预测效果好,筛选出产次、合并糖尿病、前置胎盘、APTT、Alb及HOMA-IR共6个变量。以是否发生不良妊娠结局(否=0,是=1)为因变量,产次、合并糖尿病、前置胎盘、APTT水平、Alb水平及HOMA-IR水平为自变量进行多因素一般 Logistic 回归分析,结果显示:合并糖尿病[OR=4.408(95% CI:2.507,7.750)]、前置胎盘[OR=3.238(95% CI:1.647,6.366)]及HOMA-IR水平高[OR=2.617,95% CI:1.511,4.533)]均为高龄HDP患者不良妊娠结局的危险因素($P<0.05$),Alb水平高[OR=0.814(95% CI:0.698,0.949)]为高龄HDP患者不良妊娠结局的保护因素($P<0.05$)。见图2和表3、4。

2.4 高龄HDP患者不良妊娠结局的预测模型

根据多因素分析结果,剔除产次、APTT两项 $P>0.05$ 的因子,将合并糖尿病、前置胎盘、Alb及HOMA-IR纳入R包,构建风险预测模型(见图3)。

表3 高龄HDP患者不良妊娠结局的单因素一般 Logistic 回归分析参数

自变量	b	S _b	Wald χ ² 值	P 值	OR	95% CI	
						下限	上限
初产妇	1.339	0.405	10.929	0.001	3.816	1.725	8.442
合并糖尿病	1.926	0.334	33.176	0.000	6.859	3.562	13.208
前置胎盘	1.741	0.407	18.318	0.001	5.701	2.569	12.651
APTT	1.342	0.564	5.663	0.017	3.826	1.267	11.553
Alb	-0.155	0.028	31.847	0.000	0.856	0.811	0.903
HOMA-IR	1.337	0.412	10.504	0.001	3.806	1.696	8.541



左侧虚线($\log\lambda=-4.0$),右侧虚线($\log\lambda=-2.7$)。

图2 lasso 回归模型的 10 折交叉验证

预测方程为： $1.247+1.483 \times \text{合并糖尿病}+1.175 \times \text{前置胎盘}-0.206 \times \text{Alb}+0.962 \times \text{HOMA-IR}$ 。将样本分为 10 组，行 Hosmer-Lemeshow 检验，结果显示，训练集与验证集的预测概率、实际结局比较，差异均

无统计学意义 ($\chi^2=0.112$ 和 0.145 ; $P=0.738$ 和 0.703)。分别以训练集和验证集数据，绘制校准曲线，结果显示，训练集与验证集中实际概率与预测概率的平均绝对误差分别为 0.019 和 0.036 (见图 4)，进行 DCA 分析，结果提示训练集和验证集在 $0.12 \sim 0.84$ 和 $0.05 \sim 0.90$ 中，预测模型的临床净收益高，净收益差值为 0.029 和 0.024 (见图 5)。根据预测模型，计算训练集与验证集患者得分作为检验变量，以是否发生不良妊娠结局为状态变量，绘制 ROC 曲线，结果显示该预测模型预测训练集与验证集高龄 HDP 患者不良妊娠结局的截断值分别为 230.0 和 225.5 ，敏感性分别为 88.7% ($95\% \text{ CI}: 0.704, 0.912$) 和 87.5% ($95\% \text{ CI}: 0.743, 0.965$)，特异性分别为 74.2% ($95\% \text{ CI}: 0.718, 0.901$) 和 73.1% ($95\% \text{ CI}: 0.725, 0.920$) (见图 6 和表 5)。

表 4 高龄 HDP 患者不良妊娠结局的多因素一般 Logistic 回归分析参数

自变量	b	S_b	Wald χ^2 值	P 值	$\hat{OR}$	95% CI	
						下限	上限
初产妇	1.644	1.274	1.665	0.197	5.174	0.426	62.841
合并糖尿病	1.483	0.288	26.544	0.000	4.408	2.507	7.750
前置胎盘	1.175	0.345	11.605	0.001	3.238	1.647	6.366
APTT	1.132	0.737	2.357	0.125	3.102	0.731	13.163
Alb	-0.206	0.078	6.883	0.009	0.814	0.698	0.949
HOMA-IR	0.962	0.280	11.785	0.001	2.617	1.511	4.533

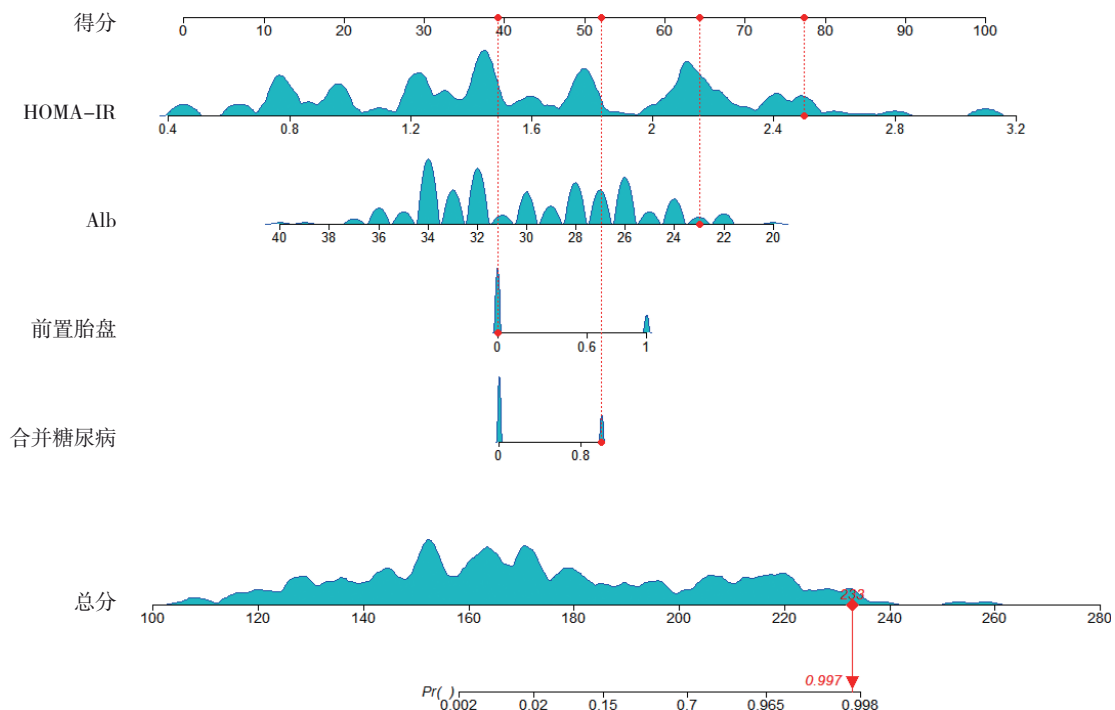


图3 高龄 HDP 患者不良妊娠结局的风险预测模型

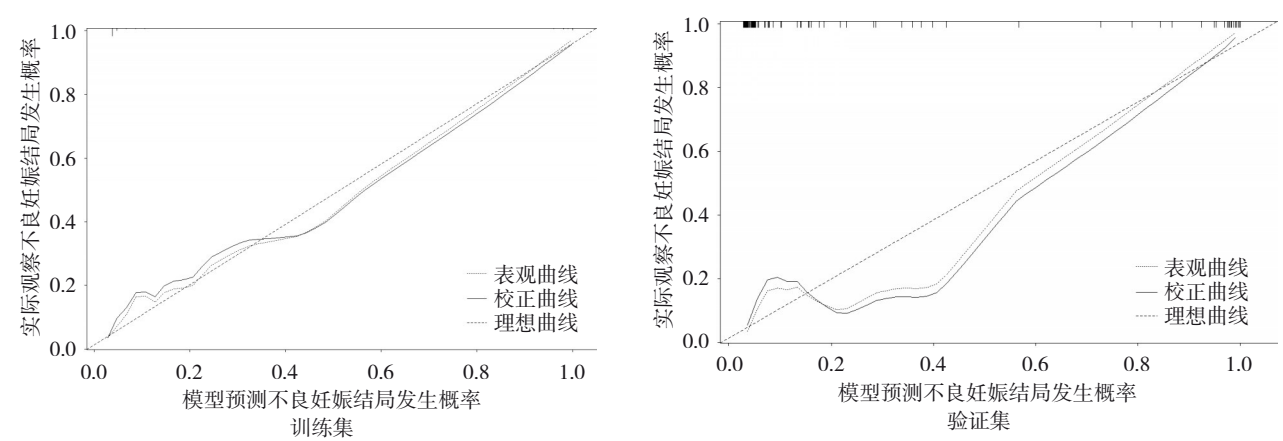


图4 模型预测高龄HDP患者不良妊娠结局的校准曲线

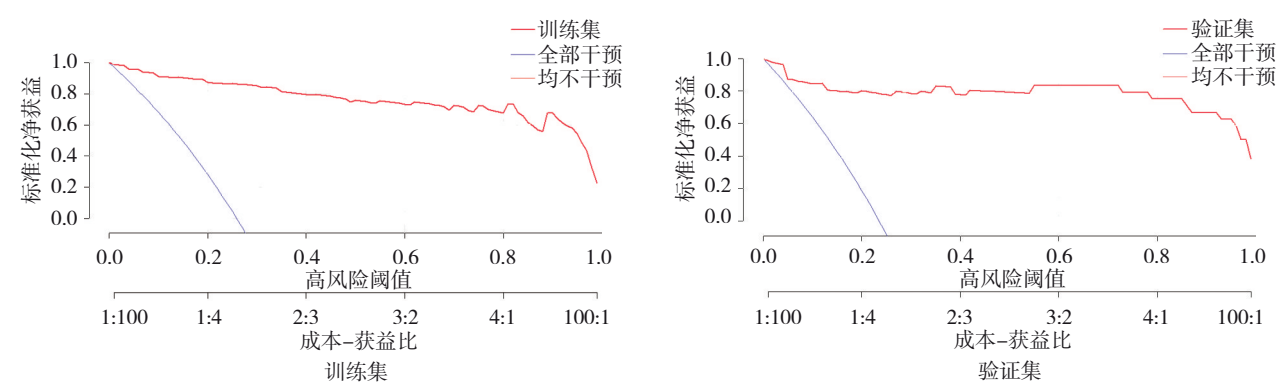


图5 模型预测高龄HDP患者不良妊娠结局的DCA分析

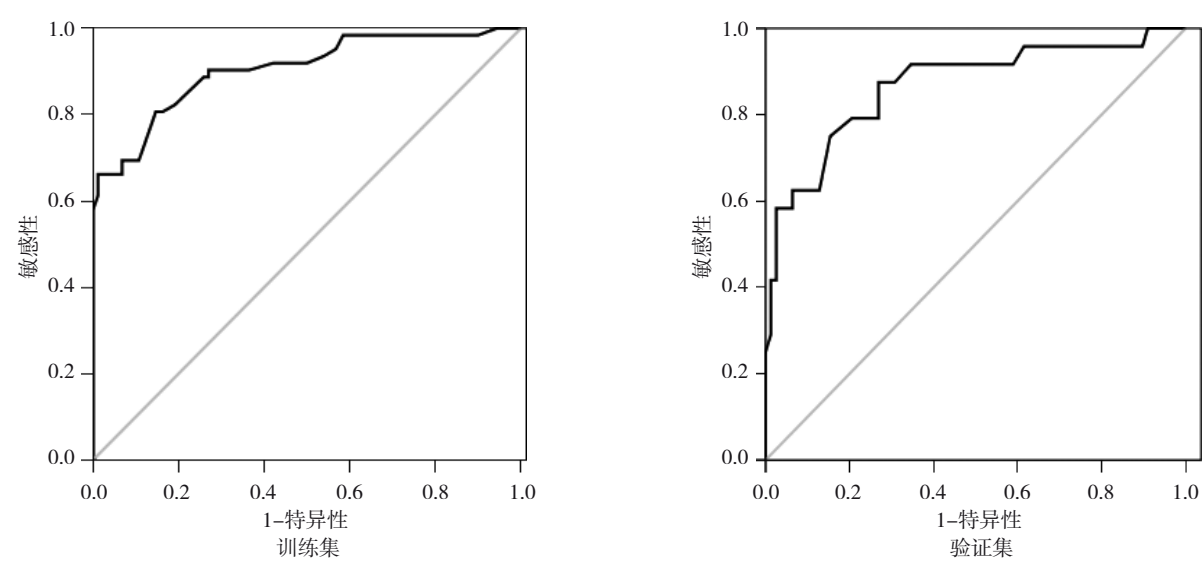


图6 模型预测高龄HDP患者不良妊娠结局的ROC曲线

表5 预测模型预测高龄HDP患者不良妊娠结局的效能分析

组别	截断值	AUC	95% CI		敏感性/%	95% CI		特异性/%	95% CI	
			下限	上限		下限	上限		下限	上限
训练集	230.0	0.904	0.856	0.952	88.7	0.704	0.912	74.2	0.718	0.901
验证集	225.5	0.867	0.775	0.959	87.5	0.743	0.965	73.1	0.725	0.920

注：同一患者多发结局去重统计。

3 讨论

高龄孕妇具有血管弹性下降、血管内皮细胞损伤的生理特点,高龄 HDP 患者可进一步加重血管痉挛,影响胎盘血流灌注,成为不良妊娠结局的诱因^[10]。本研究通过回顾性分析发现,合并糖尿病将显著增加高龄 HDP 患者不良妊娠结局风险,与普通育龄女性相比,高龄 HDP 患者合并糖尿病后,血管抗氧化能力下降,胰岛素抵抗明显,易激活凝血系统,更易诱发和加重血管内皮损伤,增加血压控制难度,影响胎盘功能,导致胎儿营养供应不足,增加胎儿生长受限、早产等不良妊娠结局风险^[11-12]。既往研究还认为,长期高血糖环境使高龄 HDP 患者血管弹性下降,内皮功能衰退,胎盘滋养细胞浸润不足,造成胎盘血流灌注不足,影响胎儿营养物质供应,增加早产、胎儿生长受限等不良妊娠结局发生率^[13],这与本研究结果一致,因而临床应注意早期糖尿病的筛查和防控,严格控制血糖,并指导孕妇合理运动,改善饮食。

HOMA-IR 作为评估胰岛素抵抗的核心指标,其升高提示机体胰岛素敏感性下降,除诱发或加重糖尿病外,还可通过影响血管内皮功能、促进炎症反应,进一步加重 HDP 的病情,增加不良妊娠结局风险^[14-16]。另外,高龄 HDP 患者胎盘滋养细胞增殖能力下降,胎盘灌注持续不足,前置胎盘会直接影响胎盘供血,增加产后出血风险,同时因胎盘位置异常,易引发子宫收缩不良^[17],促使病情进展,形成恶性循环,增加不良妊娠结局风险。此外,高龄 HDP 患者 Alb 水平降低提示孕妇营养状况不佳,不仅影响自身血管壁稳定性,还会导致胎盘营养供应不足,增加胎儿生长受限、低出生体重儿的发生风险,同时低 Alb 可能加重高龄 HDP 患者的水肿症状,间接升高子痫前期风险^[18-19]。因而,对于 HOMA-IR 与 Alb 水平异常的高龄 HDP 患者,应加强动态监测,规律产检,必要时在专科医师指导下进行阶梯式降糖干预和营养分层管理,纠正糖代谢紊乱与营养不良状态。

本研究基于多因素一般 Logistic 回归分析结果,将合并糖尿病、前置胎盘、Alb 及 HOMA-IR 纳入预测模型,通过列线图实现模型的可视化呈现,对不良妊娠结局风险进行预测,为临床分层管理提供依据,避免盲目干预^[20-21]。4 项参数中,Alb 和

HOMA-IR 可通过实验室检测快速获取,能够为早期识别高危个体提供客观依据,而合并糖尿病、前置胎盘作为临床可明确诊断的并发症,可为干预措施的制订提供明确方向^[22-24],4 项因素的联合监测与干预,从不同角度反映高龄 HDP 患者不良妊娠结局的诱因,较单项参数可覆盖不良妊娠结局的更多机制,进而提高不良妊娠结局患者的早期检出率,为高龄 HDP 患者的精准管理提供重要靶点。与既往研究相比,本研究重点关注高龄 HDP 患者,ROC 曲线分析发现,预测模型预测训练集与验证集患者发生妊娠不良结局的 AUC 达 0.904 和 0.867,也证实以合并糖尿病、前置胎盘、Alb 及 HOMA-IR 构建的风险预测模型预测高龄 HDP 患者妊娠不良结局风险具有较高准确性^[25]。

本研究也具有一定局限性,本研究为单中心、回顾性研究,EPV 偏低,样本量偏小,数据选择可能存在偏倚,且本研究未考虑基因多态性、炎症因子、血管内皮功能指标等潜在影响因素,这可能影响模型稳定性,Lasso 分析可能存在过度拟合,今后应扩大样本量,通过多中心、前瞻性研究,对模型进行外部验证,提高模型的适用性,为临床推广提供更多依据。

综上所述,高龄 HDP 患者存在不良妊娠结局风险,其发生与是否合并糖尿病、前置胎盘、Alb 及 HOMA-IR 水平相关,临床据此构建的预测模型有助于预测不良妊娠结局,值得进一步验证。

参考文献:

- [1] Shi M, Liu Y, Wang S, et al. Blood pressure control and antihypertensive medication use after discharge and prognosis of ischemic stroke[J]. J Hypertens, 2023, 41(11): 1730-1737.
- [2] 陈曼曼,王万州,陆取,等. 1990-2021 年中国妊娠期高血压疾病发生率及疾病负担趋势[J]. 中华妇产科杂志, 2025, 60(9): 723-731.
- [3] 郑芳慧,张阳,邹丽. 高龄肥胖女性再次妊娠代谢性疾病的预防和管理[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2023, 39(6): 593-597.
- [4] 陈玉婷,高绚,韦丽杰,等. 妊娠期糖尿病合并妊娠期高血压疾病高龄产妇的临床特征及妊娠结局[J]. 华中科技大学学报(医学版), 2022, 51(6): 835-839.
- [5] Wang M, Zhu S, Long J, et al. Efficacy of immediate anti-hypertensive treatment in patients with acute ischaemic stroke stratified by mean arterial pressure and pulse pressure: a secondary analysis of the China Antihypertensive Trial in Acute Ischemic Stroke trial[J]. Stroke Vasc Neurol, 2025, 10(6): 743-751.

- [6] 李延荣, 刘雪妮, 冯晶, 等. GDM 孕妇孕晚期脐动脉超声参数联合 HOMA-IR 评估不良妊娠结局价值[J]. 中国计划生育学杂志, 2025, 33(6): 1405-1409.
- [7] 杜瑞娟, 袁乐, 黄娜, 等. 不同体重指数对妊娠糖尿病合并高血压患者妊娠结局的影响及胰岛功能的变化[J]. 临床和实验医学杂志, 2024, 23(9): 968-972.
- [8] 代莉, 周容. 高龄孕妇妊娠期高血压疾病再发的预测和预防[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2023, 39(6): 588-593.
- [9] 中华医学会心血管病学分会女性心脏健康学组, 中华医学会心血管病学分会高血压学组. 妊娠期高血压疾病血压管理专家共识(2019)[J]. 中华心血管病杂志, 2020, 48(3): 195-204.
- [10] 刘畅, 时冬冬, 李婷婷, 等. 妊娠期高血糖合并妊娠期高血压疾病的危险因素与妊娠结局[J]. 中华围产医学杂志, 2025, 28(9): 732-738.
- [11] 谭洪斐, 庞文文, 张建军. 胰岛素抵抗、血脂水平变化相关性及其对妊娠并发症发生率的影响研究[J]. 临床和实验医学杂志, 2025, 24(20): 2188-2192.
- [12] 胡玉霞, 邓冉冉, 薛洁. 血清 PGC-1 α 、GATA-3、IGFBP-3 对妊娠期高血压疾病患者并发 HELLP 综合征的预测价值[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(8): 79-85.
- [13] 兰雪丽, 邹丽颖, 赵越. 妊娠期高血压疾病合并妊娠期糖尿病初产妇不良妊娠结局风险列线图预测模型的构建与验证[J]. 首都医科大学学报, 2026, 47(1): 93-101.
- [14] Ye Y, Xiong Y, Zhou Q, et al. Early-pregnancy intermediate Hyperglycemia and adverse pregnancy outcomes among women without Gestational diabetes[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2022, 107(4): 1541-1548.
- [15] 吴寰雨, 王燕燕, 章小东, 等. 基于凝血因子的妊娠期高血压疾病预测模型构建及验证[J]. 中华全科医学, 2026, 24(5): 730-734.
- [16] 李聪先, 孙广宇, 宋艳敏, 等. 凶险性前置胎盘发生的危险因素及妊娠结局分析[J]. 中国临床医生杂志, 2025, 53(5): 634-637.
- [17] 魏君香, 米阳, 罗肖, 等. 单纯空腹血糖升高妊娠期糖尿病孕妇不良妊娠结局及其影响因素研究[J]. 中国全科医学, 2022, 25(26): 3270-3274.
- [18] Ivanisevic J, Ardalic D, Banjac G, et al. Antioxidant status in hypertensive disorders of pregnancy[J]. Hypertens Pregnancy, 2022, 41(1): 31-38.
- [19] 陈一源, 王海燕, 王小艳, 等. 反复妊娠丢失患者不良妊娠结局的影响因素分析及风险预测模型构建[J]. 实用妇产科杂志, 2026, 42(1): 70-75.
- [20] 孙芳臻, 韩冰, 陈友国, 等. 妊娠期高血压疾病不良结局预测模型的构建及验证[J]. 中华围产医学杂志, 2022, 25(3): 169-178.
- [21] Becking E C, Henneman L, Crombag N M T H, et al. Perspectives of pregnant women on broadening the scope of noninvasive prenatal testing from screening for foetal aneuploidies to prediction of adverse pregnancy outcomes: A qualitative study[J]. Prenat Diagn, 2024, 44(9): 1033-1042.
- [22] 孟兴, 祝善祥, 林玲, 等. 高龄孕妇孕早期血清 Hcy、Cys-C 水平与不良妊娠结局的相关性[J]. 中国计划生育学杂志, 2025, 33(12): 2858-2862.
- [23] 李威, 童龙霞, 曾悦, 等. 妊娠期高血压疾病患者胎盘微循环参数与不良妊娠结局的关系[J]. 现代妇产科进展, 2026, 35(1): 30-34.
- [24] 代莉, 周容. 高龄孕妇妊娠期高血压疾病再发的预测和预防[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2023, 39(6): 588-593.
- [25] 李丹妍, 刘琴, 谢莉莉. 基于血清同型半胱氨酸构建和验证妊娠期高血压疾病不良妊娠结局的列线图模型[J]. 生殖医学杂志, 2025, 34(8): 1056-1062.

(童颖丹 编辑)

本文引用格式: 杨雯, 唐媛, 李鑫, 等. 基于 Lasso-logistic 回归模型构建高龄妊娠期高血压疾病患者不良妊娠结局的列线图模型[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(20): 104-112.

Cite this article as: Yang W, Tang Y, Li X, et al. Development of a nomogram for adverse pregnancy outcomes in pregnant women of advanced maternal age with hypertensive disorders of pregnancy using Lasso-logistic regression[J]. China Journal of Modern Medicine, 2026, 36(20): 104-112.