

硬膜外分娩镇痛产妇产时发热风险预测模型的构建与内部验证

陶雨辰^{1*}, 程雨梅¹, 洪平涛¹, 桑琳^{1,2#}

¹安徽医科大学附属合肥医院, 安徽 合肥

²合肥市第二人民医院妇产科, 安徽 合肥

收稿日期: 2026年7月6日; 录用日期: 2026年7月29日; 发布日期: 2026年8月12日

摘要

目的: 构建并内部验证硬膜外分娩镇痛产妇产时发热风险预测候选模型, 为产程中发热高风险产妇的早期识别、动态监测和分层管理提供依据, 并进一步明确模型在不同产程时点中的适用边界。方法: 选取2025年1~12月合肥市第二人民医院接受硬膜外分娩镇痛的足月单胎头位产妇为研究对象, 开展单中心回顾性队列研究。研究对象按7:3比例分层随机分为建模集与内部验证集, 主要结局为镇痛启动至胎儿娩出期间体温 $\geq 38.0^{\circ}\text{C}$ 。仅纳入风险评估前可获取的临床、产科、镇痛、炎症及产程干预相关指标, 排除结局相关后续变量。通过LASSO回归筛选变量, 结合多因素Logistic回归构建预测模型, 采用AUC、校准曲线、Brier评分及决策曲线评估模型效能。按预测变量可获得时间, 将入院及镇痛前可获得指标用于早期风险识别, 将第一产程进展、阴道检查次数和镇痛持续时间等产程中获得指标用于相应节点后的动态风险更新。结果: 本研究共纳入480例产妇, 产时发热发生率为16.2% (78/480), 其中建模集336例(发热55例)、验证集144例(发热23例)。模型最终纳入入院体温 $\geq 37.2^{\circ}\text{C}$ 、胎膜早破、缩宫素使用、阴道检查 ≥ 4 次、第一产程 ≥ 8 h、镇痛时长 ≥ 6 h、SII ≥ 850 、NLR ≥ 4.0 八项预测因子。建模集与验证集AUC分别为0.860、0.817, Brier评分分别为0.095、0.099, 且产时发热发生率随模型预测风险等级升高逐步递增。结论: 基于常规临床资料、产程变量和炎症指标构建的联合模型对硬膜外分娩镇痛后产时发热显示出可接受的内部验证性能, 可为体温监测强化、感染风险再评估和多学科分层管理提供量化参考; 该模型目前可作为候选风险分层工具, 暂不单独用于临床决策, 需经多中心外部验证、模型校准及前瞻性研究后再推广应用。

关键词

硬膜外分娩镇痛, 产时发热, 风险预测模型, Logistic回归, 内部验证

*第一作者。

#通讯作者。

Development and Internal Validation of a Risk Prediction Model for Intrapartum Fever in Parturients Receiving Epidural Labor Analgesia

Yuchen Tao^{1*}, Yumei Cheng¹, Pingtao Hong¹, Lin Sang^{1,2#}

¹Hefei Hospital Affiliated to Anhui Medical University, Hefei Anhui

²Department of Obstetrics and Gynecology, Hefei Second People's Hospital, Hefei Anhui

Received: July 6, 2026; accepted: July 29, 2026; published: August 12, 2026

Abstract

Objective: To develop and internally validate a risk prediction model for intrapartum fever among parturients receiving epidural labor analgesia, and to support early identification, dynamic surveillance and stratified intrapartum management. The model is positioned as a candidate tool with explicitly defined timing of predictor availability. **Methods:** This single-center retrospective cohort study was conducted, enrolling term singleton cephalic presentation parturients who received epidural labor analgesia at Hefei Second People's Hospital from January to December 2025. Subjects were divided into a development set and an internal validation set via stratified random sampling at a 7:3 ratio. The primary outcome was intrapartum fever defined as core temperature $\geq 38.0^{\circ}\text{C}$ from epidural analgesia initiation to fetal delivery. Only clinical, obstetric, analgesic, inflammatory and labor intervention indicators available prior to risk assessment were included, while post-outcome variables were excluded. LASSO regression was adopted for variable screening, followed by multivariate Logistic regression to construct the prediction model. Model performance was evaluated via the area under the receiver operating characteristic curve (AUC), calibration curves, Brier score and decision curve analysis (DCA). According to the availability timeline of predictive variables, indicators accessible upon admission and before epidural analgesia were used for early risk stratification; parameters obtained mid-labor, including progression of the first stage of labor, frequency of vaginal examinations and duration of epidural analgesia, were applied to dynamically update risk assessment after corresponding labor timepoints. **Results:** A total of 480 parturients were enrolled, with an overall intrapartum fever incidence of 16.2% (78/480). The development set included 336 women (55 febrile cases), and the validation set included 144 women (23 febrile cases). Eight predictors were finally incorporated into the model: admission body temperature $\geq 37.2^{\circ}\text{C}$, premature rupture of membranes (PROM), oxytocin administration, ≥ 4 vaginal examinations, first stage of labor ≥ 8 hours, epidural analgesia duration ≥ 6 hours, systemic immune-inflammation index (SII) ≥ 850 , and neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR) ≥ 4.0 . The AUC values of the development set and validation set were 0.860 and 0.817 respectively, with corresponding Brier scores of 0.095 and 0.099. The incidence of intrapartum fever increased progressively with ascending predicted risk strata generated by the model. **Conclusions:** The combined model constructed based on routine clinical data, labor-related variables and inflammatory indicators exhibited acceptable internal validation performance for predicting intrapartum fever after epidural labor analgesia. It can provide quantitative references for intensified temperature surveillance, re-evaluation of infectious risks and multidisciplinary stratified management. As a candidate risk stratification tool, this model shall not be independently applied to guide clinical decision-making at present. Multicenter external validation, model recalibration and prospective clinical trials are required

prior to its widespread clinical implementation.

Keywords

Epidural Labor Analgesia, Intrapartum Fever, Risk Prediction Model, Logistic Regression, Internal Validation

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

硬膜外分娩镇痛是目前临床应用最广泛的分娩镇痛方式之一，可显著减轻分娩疼痛、降低疼痛相关应激反应，并改善产妇分娩体验。随着分娩镇痛覆盖率持续提高，镇痛后产时发热逐渐成为产科、麻醉科和新生儿科共同关注的问题。既往综述指出，硬膜外相关母体发热并非单纯感染性事件，其发生可能与无菌性炎症、体温调节改变、产程延长和产科干预等因素共同相关[1]。低危足月产妇接受椎管内分娩镇痛后，产时发热相关因素包括初产、产程延长、镇痛暴露时间增加、胎膜早破、阴道检查次数增多以及炎症指标升高等[2]。

已有研究提示，椎管内分娩镇痛与产时体温升高存在时间相关性，发热还可能影响抗菌药物使用、新生儿感染筛查和产程管理策略[3]。围产结局研究也显示，硬膜外镇痛相关产时发热与多种产程因素及新生儿管理结局存在关联[4]。近期综述进一步强调，产时发热需要在感染性与非感染性机制之间进行综合判断[5]。

针对硬膜外分娩镇痛后产时发热影响因素的研究提示，产程干预、胎膜情况和镇痛相关变量在风险识别中具有临床价值[6]。已有产时发热预测模型研究将产科因素、镇痛暴露、实验室炎症指标和动态产程变量纳入建模框架，说明多维度联合预测具有现实基础[7]。

然而，预测模型研究容易出现结局后变量误入模型、样本量不足、内部验证不充分、校准度报告缺失以及临床实用性解释过度等问题。TRIPOD + AI 报告规范强调，应清楚说明预测时点、候选变量可获得性、缺失值处理、模型性能和验证过程[8]。因此，本研究在模型构建阶段限定候选变量的时间可得性，并避免将剖宫产中转、新生儿结局等结局后变量纳入预测模型。

基于此，本研究采用合肥市第二人民医院妇产科硬膜外分娩镇痛产妇资料，构建并内部验证产时发热风险预测模型。本研究目的并非证明硬膜外镇痛导致发热，而是在镇痛后产程管理场景中，利用临床可及变量、炎症指标和产程干预因素建立具有临床可解释性的风险分层工具。具体应用场景上，本研究将模型界定为产程管理中的动态风险更新工具：入院体温、胎膜情况和炎症指标可用于早期预警；第一产程时长、阴道检查次数和镇痛持续时间等变量仅在达到相应评估节点后用于再次评估。

2. 资料与方法

2.1. 研究设计与数据来源

本研究为单中心回顾性队列研究。资料来源包括医院电子病历系统、产程图、麻醉信息系统、护理体温单、检验信息系统和新生儿交接记录。研究对象为 2025 年 1 月至 12 月在合肥市第二人民医院产科住院、符合筛选条件并接受硬膜外分娩镇痛的产妇。

本研究使用去标识化病历资料，数据提取和分析过程遵循最小必要原则。本研究已获得医院伦理委

员会的批准(2025-科研-182),并豁免了患者的知情同意。所有预测变量的时间戳均早于结局发生或风险评估时点,以降低信息泄露和因果倒置风险。

2.2. 研究对象

纳入标准:①孕周37~42周,年龄20~35岁;②单胎、头位、拟阴道试产;③无硬膜外阻滞麻醉禁忌证及麻醉药物过敏史;④接受硬膜外分娩镇痛并有完整产程与体温记录。

排除标准:①分娩镇痛开始前体温 $\geq 38.0^{\circ}\text{C}$,或已有临床感染/绒毛膜羊膜炎明确诊断;②分娩镇痛前1个月内使用可能影响体温或炎症指标解释的抗菌药物、糖皮质激素或非甾体类镇痛药物;③多胎、非头位、严重胎儿畸形或死胎;④合并严重内外科疾病或免疫系统疾病,导致体温和炎症指标不可解释;⑤关键结局或核心预测变量缺失。胎膜早破作为候选预测变量保留,不作为排除条件。

2.3. 分娩镇痛方案

所有纳入对象均由麻醉医师根据院内分娩镇痛规范实施硬膜外镇痛。常规选择L2~3或L3~4间隙穿刺,置入硬膜外导管后给予试验剂量,确认无蛛网膜下腔或血管内误入后开始镇痛。维持方式以低浓度罗哌卡因联合阿片类药物为主,可采用患者自控硬膜外镇痛或程序化间歇硬膜外给药。镇痛开始时间、宫口扩张程度、镇痛持续时间、追加给药次数、镇痛后缩宫素使用、人工破膜、羊水性状和产程进展均按预设数据字典记录。

2.4. 结局定义

主要结局为产时发热,定义为硬膜外分娩镇痛开始后至胎儿娩出前,任一次腋温或耳温 $\geq 38.0^{\circ}\text{C}$ 。若同一时点存在多处体温记录,以产程记录单和护理体温单共同确认值为准;仅出现 $37.5^{\circ}\text{C}\sim 37.9^{\circ}\text{C}$ 体温升高但未达到 38.0°C 者不归入主要结局。该阈值与连续体温监测下分娩镇痛产妇发热特征研究中采用的发热判定标准一致[9]。

2.5. 候选预测变量与定义

候选预测变量限定为结局发生前或动态风险评估时点前可获得的变量,分为四类。第一类为一般资料,包括年龄、孕前体质指数、入院体温、孕周、初产妇、妊娠期糖尿病、妊娠期高血压和贫血。第二类为产科因素,包括胎膜早破、入院宫口扩张、第一产程进展、第二产程进展、阴道检查次数、缩宫素使用、人工破膜和羊水污染。第三类为镇痛相关变量,包括镇痛开始时宫口扩张、镇痛持续时间、追加给药次数和镇痛后低血压。第四类为实验室指标,包括白细胞计数、中性粒细胞比例、淋巴细胞计数、血小板计数、C反应蛋白、NLR和SII。NLR按中性粒细胞绝对值/淋巴细胞计数计算;SII按血小板计数 $\times$ 中性粒细胞绝对值/淋巴细胞计数计算。既往研究提示,NLR与硬膜外分娩镇痛相关产时发热具有预测价值[10]。另有前瞻性队列研究指出,炎症细胞比值变化可能与硬膜外相关体温升高速度有关[11]。剖宫产中转、产后出血、新生儿发热和新生儿转入监护病房属于结局或结局后事件,仅用于描述母婴结局,不纳入预测模型。第一产程 $\geq 8\text{ h}$ 和镇痛持续 $\geq 6\text{ h}$ 属于动态产程变量,模型解释应限于产程中达到相应评估时点后的风险分层,不应误用于镇痛刚开始时的一次性预测。为避免临床应用场景混淆,早期预警模型与动态风险更新模型应根据变量可获得时点分别解释;含有第一产程 $\geq 8\text{ h}$ 或镇痛持续 $\geq 6\text{ h}$ 的模型仅适用于相应时间阈值已经出现后的产程中评估。

2.6. 统计学方法

连续变量根据分布特征以均数 $\pm$ 标准差或中位数(四分位数)表示,分类变量以例数和百分比表示。

组间比较采用 t 检验、Mann-Whitney U 检验、 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。组间比较仅用于描述变量分布差异，不作为因果效应证据。建模集和内部验证集按 7:3 比例、以产时发热结局分层随机划分。候选变量先经临床合理性审查，再在建模集中采用 LASSO 回归进行变量筛选；变量筛选、阈值确定和模型系数估计均不使用验证集信息。最终模型采用多因素 Logistic 回归建立，报告回归系数、标准误、OR 值、95% 置信区间和 P 值。模型区分度采用 AUC 及 95% 置信区间评价；校准度采用校准曲线和 Brier 评分评价。临床实用性采用决策曲线分析评价，该方法可在不同阈值概率下比较模型的净获益[12]。决策曲线结果的临床解释参考了临床研究中关于阈值概率和净获益报告的建议[13]。本研究在模型开发阶段控制候选变量数量和事件数，解释时参考预测模型开发样本量研究中关于过拟合控制的建议[14]。AUC 置信区间采用 bootstrap 法估计，联合模型与单一指标模型的 AUC 差异采用配对 bootstrap 法比较。所有检验均为双侧检验，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。鉴于研究事件数有限，模型结果主要用于候选预测框架探索；变量筛选结果在解释时同时结合临床合理性、事件数与过拟合风险进行审慎判断。

3. 结果

3.1. 研究对象纳入流程

按预设条件初筛 612 例，排除 132 例后最终纳入 480 例，其中产时发热 78 例、未发热 402 例。按结局状态分层后随机分为建模集 336 例和内部验证集 144 例；建模集产时发热 55 例，内部验证集产时发热 23 例。纳入流程见图 1。

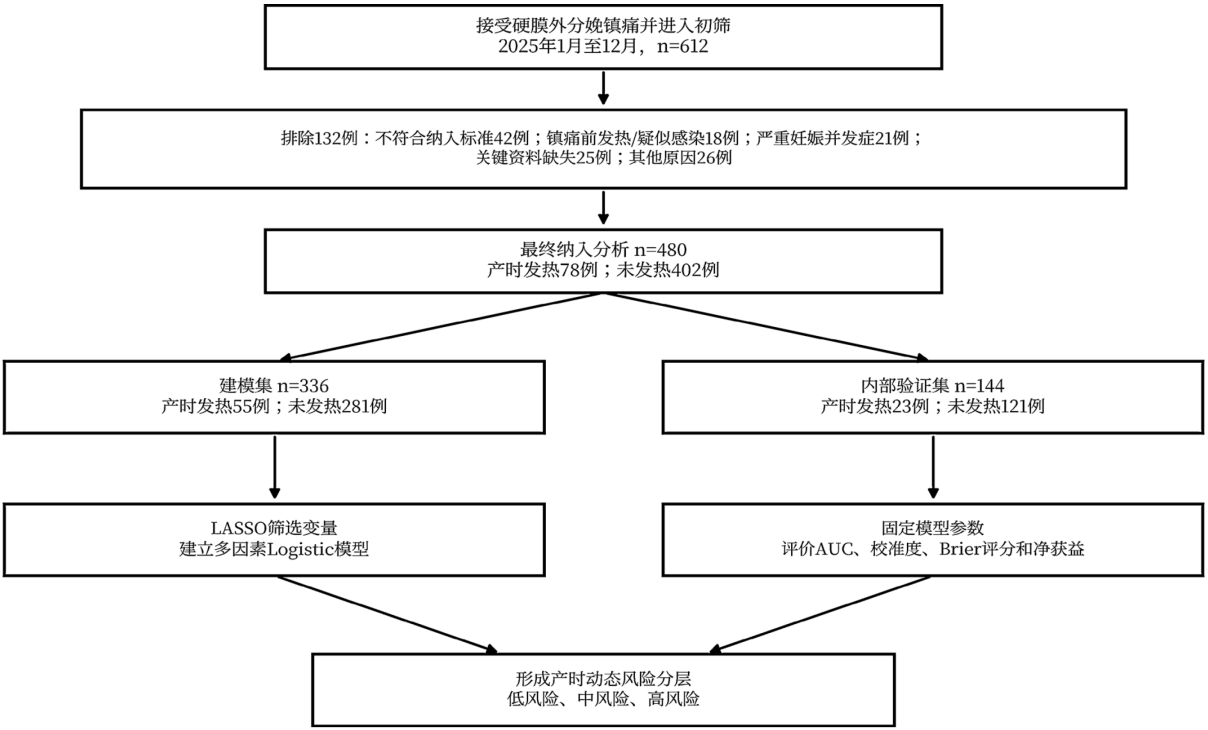


Figure 1. Flowchart of Study Subject Screening and Modeling

图 1. 研究对象筛选与建模流程

3.2. 产时发热组与未发热组临床资料比较

产时发热组与未发热组在部分一般资料、产程因素、镇痛相关指标及实验室炎症指标方面存在差异。

表 1 为描述性比较，主要用于说明候选变量分布，不用于因果推断。

Table 1. Comparison of clinical data, labor factors and inflammatory markers between fever and afebrile groups during delivery
表 1. 产时发热组与未发热组临床资料、产程因素及炎症指标比较

变量	未发热组(n = 402)	发热组(n = 78)	统计量	P 值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	29.54 $\pm$ 3.12	30.08 $\pm$ 2.66	t = 1.60	0.113
孕前 BMI (kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	23.68 $\pm$ 2.70	24.77 $\pm$ 2.79	t = 3.16	0.002
孕周(周, $\bar{x} \pm s$)	39.09 $\pm$ 0.87	38.80 $\pm$ 0.78	t = 2.96	0.004
初产妇	219 (54.5)	61 (78.2)	$\chi^2 = 15.13$	<0.001
妊娠期糖尿病	41 (10.2)	10 (12.8)	$\chi^2 = 0.47$	0.492
妊娠期高血压	14 (3.5)	9 (11.5)	$\chi^2 = 9.29$	0.002
贫血	56 (13.9)	18 (23.1)	$\chi^2 = 4.19$	0.041
入院体温(°C, $\bar{x} \pm s$)	36.76 $\pm$ 0.29	37.05 $\pm$ 0.28	t = 8.20	<0.001
入院体温 $\geq 37.2^\circ\text{C}$	61 (15.2)	30 (38.5)	$\chi^2 = 23.06$	<0.001
胎膜早破	76 (18.9)	25 (32.1)	$\chi^2 = 6.79$	0.009
入院宫口扩张(cm, $\bar{x} \pm s$)	2.62 $\pm$ 0.69	2.34 $\pm$ 0.72	t = 3.18	0.002
镇痛开始时宫口扩张(cm, $\bar{x} \pm s$)	3.15 $\pm$ 0.72	2.89 $\pm$ 0.74	t = 2.83	0.006
缩宫素使用	211 (52.5)	54 (69.2)	$\chi^2 = 7.41$	0.007
人工破膜	140 (34.8)	30 (38.5)	$\chi^2 = 0.38$	0.539
羊水污染	22 (5.5)	15 (19.2)	$\chi^2 = 17.38$	<0.001
阴道检查次数 ≥ 4 次	115 (28.6)	36 (46.2)	$\chi^2 = 9.33$	0.002
第一产程时间[h, M (P25, P75)]	7.8 (6.3~8.8)	9.4 (8.6~10.2)	Z = 8.88	<0.001
第二产程时间[min, M (P25, P75)]	64 (52~82)	85 (72~104)	Z = 6.99	<0.001
镇痛持续时间[h, M (P25, P75)]	5.6 (4.4~6.5)	6.9 (6.3~7.7)	Z = 8.18	<0.001
追加给药次数 ≥ 2 次	59 (14.7)	14 (17.9)	$\chi^2 = 0.54$	0.461
镇痛后低血压	20 (5.0)	9 (11.5)	$\chi^2 = 4.96$	0.026
白细胞计数($\times 10^9/\text{L}$, $\bar{x} \pm s$)	10.47 $\pm$ 1.73	12.08 $\pm$ 1.92	t = 6.92	<0.001
中性粒细胞比例(% , $\bar{x} \pm s$)	76.20 $\pm$ 5.86	80.48 $\pm$ 6.09	t = 5.71	<0.001
淋巴细胞计数($\times 10^9/\text{L}$, $\bar{x} \pm s$)	1.62 $\pm$ 0.34	1.30 $\pm$ 0.26	t = 9.37	<0.001
血小板计数($\times 10^9/\text{L}$, $\bar{x} \pm s$)	224.27 $\pm$ 40.60	239.15 $\pm$ 49.14	t = 2.51	0.014
CRP [mg/L, M (P25, P75)]	4.8 (3.9~6.0)	6.6 (5.5~8.8)	Z = 7.67	<0.001
NLR, M (P25, P75)	4.90 (4.13~6.06)	7.44 (6.36~8.90)	Z = 10.21	<0.001
NLR ≥ 4.0	55 (13.7)	22 (28.2)	$\chi^2 = 10.23$	0.001
SII, M (P25, P75)	1079 (906~1402)	1751 (1457~2129)	Z = 9.58	<0.001
SII ≥ 850	71 (17.7)	29 (37.2)	$\chi^2 = 15.09$	<0.001

注：BMI 为体质量指数；CRP 为 C 反应蛋白；NLR 为中性粒细胞/淋巴细胞比值；SII 为系统免疫炎症指数。

3.3. 多因素 Logistic 回归分析

在建模集中经变量筛选后纳入多因素 Logistic 回归。最终模型包括入院体温 $\geq 37.2^{\circ}\text{C}$ 、胎膜早破、缩宫素使用、阴道检查次数 ≥ 4 次、第一产程 $\geq 8\text{ h}$ 、镇痛持续时间 $\geq 6\text{ h}$ 、SII ≥ 850 和 NLR ≥ 4.0 。见表 2。该模型保留多维度信息，主要用于评价联合预测框架的内部验证表现。

Table 2. Multivariate logistic regression analysis of risk factors for intrapartum fever
表 2. 产时发热风险的多因素 Logistic 回归分析

变量	β 值	SE	OR 值	95%CI	P 值
入院体温 $\geq 37.2^{\circ}\text{C}$	0.972	0.391	2.64	1.23~5.69	0.013
胎膜早破	0.980	0.394	2.66	1.23~5.77	0.013
缩宫素使用	0.864	0.386	2.37	1.11~5.06	0.025
阴检 ≥ 4 次	0.959	0.368	2.61	1.27~5.37	0.009
第一产程 $\geq 8\text{ h}$	1.256	0.362	3.51	1.73~7.14	<0.001
镇痛持续 $\geq 6\text{ h}$	1.193	0.359	3.30	1.63~6.66	<0.001
SII ≥ 850	1.536	0.383	4.65	2.19~9.84	<0.001
NLR ≥ 4.0	1.344	0.414	3.83	1.70~8.63	0.001

注：OR 为优势比；CI 为置信区间；模型在建模集中估计，验证集仅用于性能评价。

3.4. 模型性能评价

联合预测模型在建模集和内部验证集中均显示出较好的区分度，AUC 分别为 0.860 和 0.817；Brier 评分分别为 0.095 和 0.099。联合模型 AUC 高于 SII 和 NLR 单一指标模型。校准曲线显示预测风险与观察风险总体接近。见表 3、图 2。

3.5. 风险分层与临床净获益

按预测概率将产妇分为低风险、中风险和高风险三组，产时发热发生率呈阶梯式升高。决策曲线显示，在预设阈值概率范围内，联合预测模型较“全部干预”或“全部不干预”策略具有更高净获益。见表 4、图 3。

Table 3. Comparison of discriminative ability between the prediction model and single-indicator models
表 3. 预测模型与单一指标模型的区分度比较

模型	建模 AUC (95% CI)	验证 AUC (95% CI)	建模 Brier	验证 Brier	AUC 比较 P 值
联合预测模型	0.860 (0.802~0.912)	0.817 (0.716~0.910)	0.095	0.099	—
SII 单指标	0.636 (0.562~0.700)	0.505 (0.421~0.608)	—	—	0.001
NLR 单指标	0.583 (0.523~0.646)	0.547 (0.465~0.639)	—	—	0.001

注：AUC 为受试者工作特征曲线下面积；Brier 评分越低表示整体预测误差越小；AUC 比较 P 值为单一指标模型与联合模型的配对 bootstrap 比较结果。

Table 4. Results of risk stratification based on predicted probabilities
表 4. 基于预测概率的风险分层结果

风险分层	预测概率	例数	产时发热例数(%)	总体趋势检验 P 值
低风险组	<10%	270	13 (4.8)	<0.001

续表

中风险组	10%~20%	101	9 (8.9)	—
高风险组	≥20%	109	56 (51.4)	—

注：风险分层阈值结合临床可解释性和决策曲线结果设置，并在验证集中固定应用。

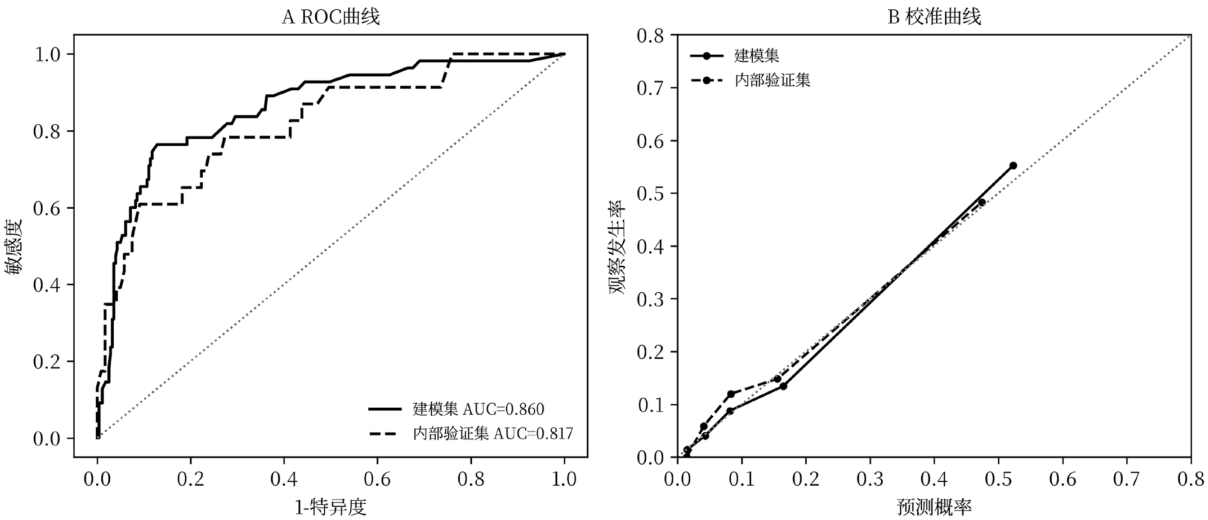


Figure 2. ROC curves and calibration curves of the combined prediction model
图 2. 联合预测模型的 ROC 曲线与校准曲线

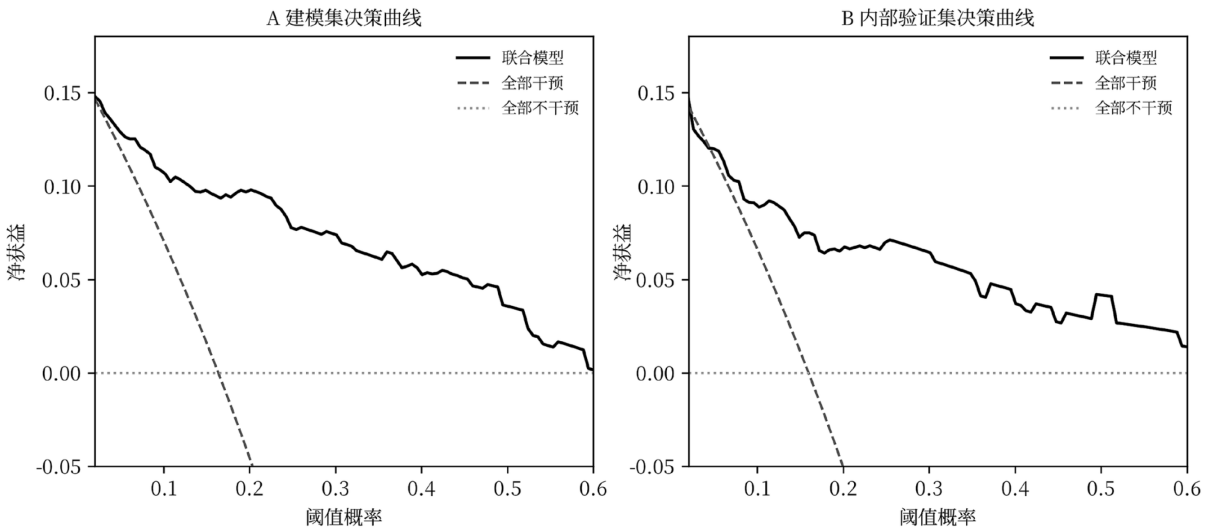


Figure 3. Decision curve analysis of the combined prediction model
图 3. 联合预测模型的决策曲线分析

4. 讨论

本研究围绕硬膜外分娩镇痛后产时发热这一常见且处理复杂的临床问题，构建了基于常规临床资料、产程变量和炎症指标的风险预测候选模型。结果显示，入院体温偏高、胎膜早破、缩宫素使用、阴道检查次数增多、第一产程延长、镇痛持续时间延长、SII 升高和 NLR 升高进入最终模型。上述预测因素不应被直接解释为因果因素，其主要反映产程应激、宫腔感染风险、无菌炎症状态和医疗干预密度共同叠

加后的风险特征。

从预测变量构成看,本研究模型将基础体温、产程暴露、镇痛暴露和血常规衍生炎症指标共同纳入。与仅使用单一实验室指标相比,联合模型更符合产时发热由多种暴露共同叠加的临床特点。

需注意的是,第一产程 $\geq 8\text{ h}$ 和镇痛持续 $\geq 6\text{ h}$ 属于动态产程变量,只有在产程推进到相应阈值后才可获得。基于镇痛前临床指标的多中心机器学习研究强调,预测变量的时间可得性应在模型开发阶段明确界定[15]。因此,本模型更适合用于产程中的动态风险更新,而不适合作为镇痛启动时的一次性预测工具。因此,在报告或使用模型输出时,应同时标明风险评估发生的产程节点,避免将动态变量提前用于镇痛启动时判断。

从建模策略看,本研究采用 LASSO 筛选后建立多因素 Logistic 模型,重点保留临床可解释性。既往机器学习研究显示,多算法比较有助于筛选相对稳定的预测框架[16]。不过,机器学习模型的区分度优势并不必然转化为可解释性和临床可用性,尤其在单中心样本中仍需谨慎解释。

需要强调的是,建模集中产时发热事件为 55 例,最终模型包含 8 个预测变量,事件数与变量数之比约为 6.9,存在一定过拟合风险。因此,本研究结果更适合作为候选模型和变量组合的内部验证证据。后续外部验证或前瞻性研究中,可考虑采用更严格的变量筛选标准、惩罚回归收缩或基于临床重要性的简化方案,将变量进一步压缩至 4~5 个关键预测因子,以提高模型稳定性和床旁可用性。

缩宫素使用不宜被简单解释为药物直接致热,更可能是产程进展缓慢、宫缩乏力或干预密度增加的替代指标。列线图模型研究提示,产程干预变量可用于产时发热风险分层,但其解释应限于风险标志物层面[17]。对这类变量应采用预测性解释而非因果性解释,以避免将模型输出误用于减少必要产科干预。

从临床应用角度看,模型变量均来自常规病历、产程记录和血常规指标,不额外增加检查负担,在完成外部验证、必要再校准和前瞻性影响评估后,具备嵌入电子病历系统的可行性。多算法比较及前瞻性实施框架研究强调,预测模型输出应作为临床决策支持,而不应替代产科、麻醉科和新生儿科的综合判断[18]。因此,模型只能作为风险提示,不能单独决定抗菌药物使用、分娩方式改变或新生儿转科观察。

本研究仍存在局限。第一,单中心回顾性设计可能限制模型外推性;第二,采用 7:3 随机拆分进行内部验证,样本利用效率低于 bootstrap 或交叉验证;第三,建模集事件数有限,最终模型纳入 8 个预测变量,仍可能存在过拟合风险;第四,多个变量采用二分类阈值,可能损失连续信息;第五,腋温和耳温混合记录、发热病因异质性、药物剂量细节不足和感染性/非感染性发热无法完全区分,均可能影响模型稳定性。预测模型评价研究强调,模型从开发到验证均需关注校准、区分度、临床适用性及可重复性[19]。

后续研究应在独立人群中开展外部验证、模型再校准和前瞻性影响评估。外部验证研究规范强调,目标人群、样本量和统计分析计划应在研究实施前明确[20]。外部验证样本量估算还应结合预期事件数、校准精度和模型性能评价目标进行设计[21]。同时,后续研究应在保持主要预测信息的基础上比较简化模型与联合模型的性能差异,明确早期预警和动态更新两类应用场景下的最优变量组合。

5. 结论

基于常规临床资料、产程干预因素和炎症指标构建的硬膜外分娩镇痛产妇产时发热风险预测候选模型显示出较好的内部验证性能。入院体温偏高、胎膜早破、缩宫素使用、阴道检查次数增多、第一产程延长、镇痛持续时间延长、SII 升高和 NLR 升高与产时发热风险升高相关。该模型可为产程中动态高风险产妇识别、体温监测强化和多学科分层管理提供参考;但现阶段不能替代临床综合判断,也不宜作为单独依据直接用于抗菌药物使用、分娩方式调整或新生儿管理决策,仍需多中心外部验证、模型再校准

和前瞻性应用研究后再推广到常规临床决策。

参考文献

- [1] Patel, S., Ciechanowicz, S., Blumenfeld, Y.J. and Sultan, P. (2023) Epidural-Related Maternal Fever: Incidence, Pathophysiology, Outcomes, and Management. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **228**, S1283-S1304.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2022.06.026>
- [2] Chang, X.Y., Wang, L.Z., Xia, F. and Zhang, Y.F. (2023) Factors Associated with Epidural-Related Maternal Fever in Low-Risk Term Women: A Systematic Review. *International Journal of Obstetric Anesthesia*, **56**, Article ID: 103915. <https://doi.org/10.1016/j.ijoa.2023.103915>
- [3] Zhang, Z., Deng, C., Ma, J., Li, S., Lei, B. and Ding, T. (2023) Effects of Neuraxial Labor Analgesia on Intrapartum Maternal Fever in Full-Term Pregnancy and Its Influence on Birth Outcomes. *Frontiers in Medicine*, **10**, Article 1208570. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1208570>
- [4] Wang, H., Yang, Z., Wei, S., Xia, L., Li, Y., Wu, X., et al. (2023) Perinatal Outcomes and Risk Factors for Epidural Analgesia-Associated Intrapartum Maternal Fever: A Retrospective Study. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, **36**, Article ID: 2179383. <https://doi.org/10.1080/14767058.2023.2179383>
- [5] Kinishi, Y., Koyama, Y., Yuba, T., Fujino, Y. and Shimada, S. (2024) Fever in Childbirth: A Mini-Review of Epidural-Related Maternal Fever. *Frontiers in Neuroscience*, **18**, Article 1389132. <https://doi.org/10.3389/fnins.2024.1389132>
- [6] Yuan, X., Qiu, L., Huang, Y., Qu, L., Zhu, P., Zhang, Y., et al. (2024) Influencing Factors of Intrapartum Fever after Epidural Labor Analgesia. *Revista da Associação Médica Brasileira*, **70**, e20240565. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.20240565>
- [7] Ling, L., Liu, B., Li, C., Zhang, D., Jia, F., Tang, Y., et al. (2024) Development and Validation of a Prediction Model for Intrapartum Fever Related to Chorioamnionitis in Parturients Undergoing Epidural Analgesia. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 31298. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82722-y>
- [8] Collins, G.S., Moons, K.G.M., Dhiman, P., Riley, R.D., Beam, A.L., Van Calster, B., et al. (2024) TRIPOD+AI Statement: Updated Guidance for Reporting Clinical Prediction Models That Use Regression or Machine Learning Methods. *BMJ*, **385**, e078378. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-078378>
- [9] Li, X. and Ma, J. (2025) Exploration of Fever Characteristics in Parturients under Continuous Temperature Monitoring during Labor Analgesia and Analysis of the Impact on Maternal and Neonatal Outcomes: An Observational Study. *Frontiers in Global Women's Health*, **6**, Article 1541227. <https://doi.org/10.3389/fgwh.2025.1541227>
- [10] Li, L., Yang, X., Zou, J., Zhang, J., Xie, X., Liu, J., et al. (2025) Predictive Value of the Neutrophil-to-Lymphocyte Ratio for Epidural Labor Analgesia-Associated Intrapartum Fever: A Retrospective Single-Center Study. *BMC Anesthesiology*, **25**, Article No. 96. <https://doi.org/10.1186/s12871-025-02972-9>
- [11] Huang, J., Li, Y., Duan, J., Wen, J., He, J. and Hu, Z. (2025) Low Lymphocyte-to-Monocyte Ratio and Accelerated Temperature Rise in Epidural-Related Maternal Fever: A Prospective Cohort Study. *BMC Anesthesiology*, **25**, Article No. 283. <https://doi.org/10.1186/s12871-025-03157-0>
- [12] Vickers, A.J., Van Claster, B., Wynants, L. and Steyerberg, E.W. (2023) Decision Curve Analysis: Confidence Intervals and Hypothesis Testing for Net Benefit. *Diagnostic and Prognostic Research*, **7**, Article No. 11. <https://doi.org/10.1186/s41512-023-00148-y>
- [13] Piovani, D., Sokou, R., Tsantes, A.G., Vitello, A.S. and Bonovas, S. (2023) Optimizing Clinical Decision Making with Decision Curve Analysis: Insights for Clinical Investigators. *Healthcare*, **11**, Article 2244. <https://doi.org/10.3390/healthcare11162244>
- [14] Riley, R.D., Ensor, J., Snell, K.I.E., Harrell, F.E., Martin, G.P., Reitsma, J.B., et al. (2020) Calculating the Sample Size Required for Developing a Clinical Prediction Model. *BMJ*, **368**, m441. <https://doi.org/10.1136/bmj.m441>
- [15] Liu, B., Ling, L., Jia, F., Wei, D., Li, H., Li, Y., et al. (2025) Development and Validation of a Machine Learning Model for Predicting Intrapartum Fever Using Pre-Labor Analgesia Clinical Indicators: A Multicenter Retrospective Study. *BMC Pregnancy and Childbirth*, **25**, Article No. 243. <https://doi.org/10.1186/s12884-025-07203-0>
- [16] Guo, X., Zhang, H. and Mei, H. (2025) Machine Learning Algorithms to Predict Epidural-Related Maternal Fever: A Retrospective Study. *Frontiers in Pharmacology*, **16**, Article 1614770. <https://doi.org/10.3389/fphar.2025.1614770>
- [17] Niu, D., Wang, L., Wei, R., Li, J., Zhu, Y., Zhang, H., et al. (2025) Development and Validation of a Nomogram for Predicting Intrapartum Fever in Parturients with Epidural Analgesia. *Frontiers in Medicine*, **12**, Article 1668597. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1668597>
- [18] Zhang, G., Yang, Y., An, R. and Tan, Z. (2025) Development of a Machine Learning Model to Predict Epidural-Related Maternal Fever during Labor Analgesia: A Multi-Algorithm Comparative Study with Prospective Implementation Framework. *International Journal of Women's Health*, **17**, 5439-5451. <https://doi.org/10.2147/ijwh.s560693>

-
- [19] Collins, G.S., Dhiman, P., Ma, J., Schlusser, M.M., Archer, L., Van Calster, B., *et al.* (2024) Evaluation of Clinical Prediction Models (Part 1): From Development to External Validation. *BMJ*, **384**, e074819. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-074819>
- [20] Riley, R.D., Archer, L., Snell, K.I.E., Ensor, J., Dhiman, P., Martin, G.P., *et al.* (2024) Evaluation of Clinical Prediction Models (Part 2): How to Undertake an External Validation Study. *BMJ*, **384**, e074820. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-074820>
- [21] Riley, R.D., Snell, K.I.E., Archer, L., Ensor, J., Debray, T.P.A., van Calster, B., *et al.* (2024) Evaluation of Clinical Prediction Models (Part 3): Calculating the Sample Size Required for an External Validation Study. *BMJ*, **384**, e074821. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-074821>