

[专题研究]

产后输血量的高危因素评估和风险评估模型的建立

徐慧双¹, 李敏², 韩香³, 魏阳³, 屈明利¹

(1.西北妇女儿童医院输血科, 陕西 西安 710061; 2.西安市东方医院中医科, 陕西 西安 710043;
3.西北妇女儿童医院产科, 陕西 西安 710061)

[摘要]目的 评估产后输血量相关的高危因素并构建风险评估模型。方法 选取2021年5月31日至2023年5月31日于西北妇女儿童医院进行输血的557例分娩产妇为研究对象,根据输血量分为 $<800\text{mL}$ ($n=345$)、 $\geq 800\text{mL}$ ($n=212$)两组,并随机选择389例(70%)作为训练集、168例(30%)作为验证集。根据文献及临床实际收集产妇信息,构建Logistic回归模型和随机森林模型进行变量分析,筛选并验证可能与产妇分娩后出血相关的变量。结果 多因素Logistic回归结果显示,孕期重度贫血、低蛋白血症、凝血功能障碍,以及存在凶险性前置胎盘、胎盘植入为影响孕产妇输血量的危险因素,其OR值及95%CI分别为3.25(1.66~6.36)、2.64(1.60~4.35)、3.12(1.12~5.28)、2.55(1.19~4.63)、1.98(1.02~3.82);训练集及验证集受试者工作特征(ROC)曲线下面积(AUC)分别为0.739、0.694,交叉验证、决策曲线分析(DCA)和临床影响曲线(CIC)均展示了良好的临床指导功能;随机森林模型验证结果显示训练集中输血的危险因素前5位包括贫血、低蛋白血症、凝血功能障碍、凶险性前置胎盘、胎盘植入(验证AUC=0.803),与多因素回归结果一致。结论 贫血、低蛋白血症、凝血功能障碍、凶险性前置胎盘、胎盘植入为产后输血量的相关独立危险因素,可指导临床备血及选择合适的手术方式。

[关键词]产后出血;输血;机器学习;危险因素;随机森林

Doi:10.3969/j.issn.1673-5293.2024.12.001

[中图分类号]R173

[文献标识码]A

[文章编号]1673-5293(2024)12-0001-11

Evaluation of risk factors and establishment of risk score model for postpartum blood transfusion volume

XU Huishuang¹, LI Min², HAN Xiang³, WEI Yang³, QU Mingli¹

(1. Department of Blood Transfusion, Northwest Women's and Children's Hospital, Shaanxi Xi'an 710061, China;

2. Department of traditional Chinese Medicine, Xi'an Eastern Hospital, Shaanxi Xi'an 710043, China;

3. Department of Obstetrical, Northwest Women's and Children's Hospital, Shaanxi Xi'an 710061, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the risk factors related to postpartum blood transfusion volume and establish a risk scoring model. **Methods** A total of 557 postpartum patients who received transfusions at the Northwest Women and Children's Hospital from May 31, 2021, to May 31, 2023, were selected as study subjects, and were divided into $<800\text{mL}$ ($n=345$) and $\geq 800\text{mL}$ ($n=212$) groups according to blood transfusion volume. A random sample of 389 cases (70%) was used as the training set, and 168 cases (30%) as the validation set. Maternal information was collected according to literature and clinical practice, Logistic regression model and random forest model were constructed for variable analysis, and variables that might be related to postpartum hemorrhage were screened and verified. **Results** Multivariate Logistic regression analysis results indicated that severe anemia, hypoproteinemia, coagulopathy, dangerous placenta previa and placenta implantation during pregnancy were the risk factors influencing postpartum transfusion volume, with OR values and 95%CI were 3.25(1.66-6.36), 2.64(1.60-4.35), 3.12(1.12-5.28), 2.55(1.19-4.63), 1.98(1.02-3.82), respectively. The area under receiver operating characteristic (ROC) curve (AUC) of training set and validation set were 0.739 and 0.694, respectively. Cross-validation, decision curve analysis (DCA) and clinical impact curve (CIC) all demonstrated good clinical guidance function. The random forest model validation results showed that the top five risk factors for transfusion in the training set included anemia, hypoproteinemia, coagulopathy, placenta previa, and placenta implantation (validation AUC = 0.803), consistent with the multivariate regression results. **Conclusion** Anemia, hypoproteinemia, coagulopathy, dangerous placenta previa and placenta implantation are independent risk factors related to postpartum blood transfusion volume, which can guide

[收稿日期]2024-05-09

[基金项目]西北妇女儿童医院科研项目(2020LQ03)

[作者简介]徐慧双(1990—),女,主管检验技师,主要从事输血相关实验室检测研究。

[通讯作者]屈明利,副主任检验技师。

clinical blood preparation and selection of appropriate surgical methods.

[Key words] postpartum hemorrhage; blood transfusion; machine learning; risk factors; random forest

产后出血(postpartum hemorrhage, PPH)是分娩期常见的并发症,由于分娩或流产后大量失血,美国妇产科医师学会(American College of Obstetricians and Gynecologists, ACOG)提出 PPH 是分娩当天死亡的主要原因^[1]。根据总失血量定义,PPH 代表出生后 24h 内累计失血量超过 1 000 mL 或失血伴有低血容量的体征和/或症状^[2]。此外,PPH 也可能发生在产后后期(出生后 24h 以上)^[3]。

PPH 因产妇出血量大,出血速度快,甚至可在数分钟内丢失整个血容量,从而严重威胁产妇生命安全,治疗延迟或护理不当可加速产妇死亡。研究表明,从产妇 PPH 发生到死亡平均时间为 2h^[4]。因此,基于产科疾病起病急、进展迅速、血液需求量大特点,产前进行多学科协作,评估出血风险、输血风险及可能输血量,制定产前提前的备血方案是解决目前血液供应短缺问题的重要手段,也是提高产科大出血患者救治成功率的重要保障^[5]。

最新研究表明,产前患者合并子痫、贫血、前置胎盘、胎盘植入等是患者输血的高危因素^[6-7],但是有关影响患者输血量危险因素的报告较少。为了分析影响产科患者输血量的危险因素,本研究通过收集 557 名产后出血患者的全临床病理检查数据,利用 Logistic 回归和随机森林建立风险模型,全面预测产后出血患者的危险因素,并通过验证集确认该模型的预测能力,这将有助于临床人员选择合适手术方式和备血。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取 2021 年 5 月 31 日至 2023 年 5 月 31 日于西北妇女儿童医院进行输血的 557 例分娩产妇为研究对象。输血标准:血红蛋白 $\leq 70\text{g/L}$;血红蛋白 $\leq 100\text{g/L}$,血红蛋白进行性下降或者有明显的组织供氧不足,出血原因未解决。纳入标准:分娩产妇,于分娩时及分娩后 7 天内输注滤白红细胞悬液。排除标准:患者妊娠 <26 周;非分娩保胎孕妇;排除外伤等原因所致的大出血等。所有研究对象均知情同意自愿参与研究。

1.2 研究方法

1.2.1 研究分组

基于文献综述和临床适用性设计分娩产后出血数据统计表格,收集妊娠期、此次妊娠分娩期和妊娠结局等相关临床资料。根据输血量将研究对象分为输血量 $<800\text{mL}$ ($n=345$)、 $\geq 800\text{mL}$ ($n=212$)两组,并随机选择 389 例(70%)作为训练集、168 例(30%)作为验证集。

1.2.2 预测模型建立及验证

将产妇相关指标如年龄、剖宫产史、羊水指数、羊水污染、先兆子痫等 19 个因素,胎盘相关指标如凶险性前置胎盘、胎盘植入、完全或部分前置胎盘等 7 个因素,胎儿相关指标如脐带绕颈、多胎、妊娠合并巨大儿、胎膜早破 4 个因素进行单因素分析,选择单变量分析中具有统计学意义的变量进行多因素 Logistic 回归,并绘制列线图将结果可视化。此外,本研究构建了受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线并计算了曲线下面积(area under the curve, AUC)验证模型预测效能。之后,交叉验证分析预测结果与实际结果之间的差异,以展示预测结果的准确性。最后,进行决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)和临床影响曲线(clinical impact curves, CIC)分析,以更全面地评估预测模型。为充分验证上述结果,本研究还采用随机森林机器学习,将训练集数据可视化,排名显示因素重要程度,并绘制 ROC 曲线验证预测效能。

1.3 统计学方法

采用 R 4.30 软件,利用 autoreg、rmda、rms 等 R 包进行统计分析。分类资料均以例数(n)和百分比(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。影响因素分析采用单因素与多因素 Logistic 回归、随机森林模型。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 产妇出血临床特征

训练集与验证集的所有变量差异均无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

表 1 患者的临床特征 [n(%)]
Table 1 Clinical characteristics of the patients [n(%)]

指标	分组	训练集(n=389)	验证集(n=168)	χ^2	P
年龄(岁)	<35	299(76.9)	136(81.0)	0.920	0.337
	≥35	90(23.1)	32(19.0)		
孕次	0	202(51.9)	90(53.6)	0.069	0.792
	≥1	187(48.1)	78(46.4)		
剖宫史妊娠	无	296(76.1)	130(77.4)	0.048	0.826
	有	93(23.9)	38(22.6)		
羊水过多*	无	374(96.1)	156(92.9)	2.081	0.149
	有	15(3.8)	12(7.1)		
羊水污染	无	384(98.7)	162(96.4)	2.096	0.096
	有	5(1.3)	6(3.6)		
先兆子痫	无	353(90.7)	153(91.1)	0.016	0.992
	轻度	19(4.9)	8(4.8)		
	重度	17(4.4)	7(4.2)		
早产	无	285(73.3)	111(66.1)	2.614	0.106
	有	104(26.7)	57(33.9)		
贫血	无	213(54.8)	97(57.7)	0.542	0.762
	轻度	123(31.6)	48(28.6)		
	重度	53(13.6)	23(13.7)		
瘢痕子宫	无	387(99.5)	166(98.8)	0.103	0.588
	有	2(0.5)	2(1.2)		
妊娠合并血小板减少	无	371(95.4)	155(92.3)	1.608	0.205
	有	18(4.6)	13(7.7)		
妊娠期肝内胆汁淤积症	无	374(96.1)	162(96.4)	0.001	0.999
	有	15(3.9)	6(3.6)		
妊娠合并甲状腺功能减退	无	336(86.4)	139(82.7)	0.963	0.326
	有	53(13.6)	29(17.3)		
妊娠合并子宫肌瘤	无	377(96.9)	159(94.6)	1.102	0.294
	有	12(3.1)	9(5.4)		
低蛋白血症	无	284(73.0)	125(74.4)	0.056	0.812
	有	105(27.0)	43(25.6)		
妊娠期高血压	无	372(95.6)	156(92.9)	1.308	0.253
	有	17(4.4)	12(7.1)		
妊娠期糖尿病	无	300(77.1)	137(81.5)	1.110	0.292
	有	89(22.9)	31(18.5)		
弥散性血管内凝血	无	381(97.9)	164(97.6)	5.919	0.759
	有	8(2.1)	4(2.4)		

(转下表)

(续上表)

指标	分组	训练集(n=389)	验证集(n=168)	χ^2	P
会阴裂伤	无	357(91.8)	152(90.5)	0.113	0.737
	有	32(8.2)	16(9.5)		
阴道壁水肿	无	376(96.7)	164(97.6)	0.113	0.736
	有	13(3.3)	4(2.4)		
凶险性前置胎盘	无	366(94.1)	157(93.5)	0.008	0.925
	有	23(5.9)	11(6.6)		
胎盘植入	无	326(83.8)	147(87.5)	0.979	0.322
	有	63(16.2)	21(12.5)		
前置胎盘类型	正常	347(89.2)	147(87.5)	0.381	0.826
	完全性前置胎盘	31(7.9)	15(8.9)		
	边缘性前置胎盘	11(2.8)	6(3.6)		
胎盘早剥	无	369(94.9)	156(92.9)	0.537	0.463
	有	20(5.1)	12(7.1)		
胎盘粘连	无	338(86.9)	143(85.1)	0.179	0.671
	有	51(13.1)	25(14.9)		
胎盘滞留	无	388(99.7)	165(98.2)	2.000	0.084
	有	1(0.3)	3(1.8)		
胎盘形状	正常	354(91.0)	149(88.7)	2.870	0.238
	帆状	14(3.6)	4(2.4)		
	球状	21(5.4)	15(8.9)		
脐带绕颈	无	310(79.7)	136(81.0)	0.001	0.821
	有	79(20.3)	32(19.0)		
胎数	单胎	336(86.4)	145(86.3)	0.001	0.999
	多胎	53(13.6)	23(13.7)		
妊娠期合并巨大胎儿	无	369(94.9)	163(97.0)	0.827	0.363
	有	20(5.1)	5(2.9)		
胎膜早破	无	318(81.7)	132(78.6)	0.571	0.449
	有	71(18.3)	36(21.4)		

注：* 羊水指数 $>24\text{cm}$ 为羊水过多。

2.2 产后出血产妇基本信息特征与输血关系的单因素分析

389例训练集单因素分析结果显示,孕期重度贫血、低蛋白血症、凝血功能障碍,存在凶险性前置胎盘、胎盘植入及多胎为孕产妇产科输血量的影响因素(OR 值分别为3.76、2.72、3.53、2.60、2.43、0.42, $P<0.05$),见表2。

2.3 影响产后出血输血概率的多因素分析

将单因素分析有统计学差异的变量纳入多因素Logistic回归模型中,结果显示,孕期重度贫血、低蛋白血症、凝血功能障碍,以及存在凶险性前置胎盘、胎盘植入为影响孕产妇输血量的危险因素,其 OR 值及95% CI 分别为3.25(1.66~6.36)、2.64(1.60~4.35)、3.12(1.12~5.28)、2.55(1.19~4.63)、1.98(1.02~3.82),见表3。

表 2 产后出血产妇基本信息特征与输血相关的单因素分析

Table 2 Univariate analysis of basic maternal characteristics associated with postpartum hemorrhage and transfusion

指标	分组	输血<800mL(n=249)	输血≥800mL(n=140)	OR(95%CI)	P
孕妇因素					
年龄(岁)	<35	192(77.1)	107(76.4)	1	0.879
	≥35	57(22.9)	33(23.6)	1.04(0.64~1.70)	
孕次	0	124(49.8)	78(55.7)	1	0.263
	≥1	125(50.2)	62(44.3)	0.79(0.52~1.20)	
剖宫史妊娠	无	196(78.7)	100(71.4)	1	0.107
	有	53(21.3)	40(28.6)	1.48(0.92~2.38)	
羊水过多*	无	240(96.4)	134(95.7)	1	0.742
	有	9(3.6)	6(4.3)	1.19(0.42~3.43)	
羊水污染	无	244(98.0)	140(100.0)	1	
	有	5(2.0)	0	0.00(0.00~Inf)	
先兆子痫	无	227(91.2)	126(90)	1	0.307
	轻度	10(4.0)	9(6.4)	1.62(0.64~4.10)	
	重度	12(4.8)	5(3.6)	0.75(0.26~2.18)	
早产	无	188(75.5)	97(69.3)	1	0.184
	有	61(24.5)	43(30.7)	1.37(0.86~2.17)	
贫血	无	148(59.4)	65(46.4)	1	0.492
	轻度	81(32.5)	42(30.0)	1.18(0.74~1.90)	
	重度	20(8.0)	33(23.6)	3.76(2.01~7.04)	
瘢痕子宫	无	248(99.6)	139(99.3)	1	0.683
	有	1(0.4)	1(0.7)	1.78(0.11~28.75)	
妊娠合并血小板减少	无	241(96.8)	130(92.9)	1	0.084
	有	8(3.2)	10(7.1)	2.32(0.89~6.01)	
妊娠期肝内胆汁淤积症	无	239(96.0)	135(96.4)	1	0.827
	有	10(4.0)	5(3.6)	0.89(0.30~2.64)	
妊娠合并甲状腺功能减退	无	213(85.5)	123(87.9)	1	0.523
	有	36(14.5)	17(12.1)	0.82(0.44~1.52)	
妊娠合并子宫肌瘤	无	240(96.4)	137(97.9)	1	0.426
	有	9(3.6)	3(2.1)	0.58(0.16~2.19)	
低蛋白血症	无	200(80.3)	84(60.0)	1	<0.001
	有	49(19.7)	56(40.0)	2.72(1.72~4.31)	
妊娠期高血压	无	237(95.2)	135(96.4)	1	0.565
	有	12(4.8)	5(3.6)	0.73(0.25~2.12)	
妊娠期糖尿病	无	191(76.7)	109(77.9)	1	0.795
	有	58(23.3)	31(22.1)	0.94(0.57~1.54)	
弥散性血管内凝血	无	247(99.2)	134(95.7)	1	0.038
	有	2(0.8)	6(4.3)	3.53(1.10~5.78)	
会阴裂伤	无	226(90.8)	131(93.6)	1	0.336
	有	23(9.2)	9(6.4)	0.68(0.30~1.50)	
阴道壁水肿	无	240(96.4)	136(97.1)	1	0.691
	有	9(3.6)	4(2.9)	0.78(0.24~2.59)	
胎盘因素					
凶险性前置胎盘	无	243(97.6)	123(87.9)	1	<0.001
	有	6(2.4)	17(12.1)	2.60(2.15~14.56)	

(转下表)

(续上表)

指标	分组	输 血<800mL(n=249)	输 血≥800mL(n=140)	OR(95%CI)	P
胎盘植入	无	220(88.4)	106(75.7)	1	0.001
	有	29(11.6)	34(24.3)	2.43(1.41~4.20)	
前置胎盘类型	正常	227(91.2)	120(85.7)	1	0.241
	完全性前置胎盘	17(6.8)	14(10.0)	1.56(0.74~3.27)	
	边缘性前置胎盘	5(2.0)	6(4.3)	2.27(0.68~7.59)	
胎盘早剥	无	238(95.6)	131(93.6)	1	0.391
	有	11(4.4)	9(6.4)	1.49(0.60~3.68)	
胎盘粘连	无	214(85.9)	124(88.6)	1	0.462
	有	35(14.1)	16(11.4)	0.79(0.42~1.48)	
胎盘滞留	无	249(100.0)	139(99.3)	1	0.979
	有	0	1(0.7)	0(0.00~Inf)	
胎盘形状	正常	223(89.6)	131(93.6)	1	0.103
	帆状	12(4.8)	2(1.4)	0.28(0.06~1.29)	
	球状	14(5.6)	7(5.0)	0.85(0.33~2.16)	
胎儿因素					
脐带绕颈	无	201(80.7)	109(77.9)	1	0.500
	有	48(19.3)	31(22.1)	1.19(0.72~1.98)	
胎数	单胎	207(83.1)	129(92.1)	1	0.015
	多胎	42(16.9)	11(7.9)	0.42(0.21~0.85)	
妊娠期合并巨大胎儿	无	240(96.4)	129(92.1)	1	0.076
	有	9(3.6)	11(7.9)	2.27(0.92~5.63)	
胎膜早破	无	204(81.9)	114(81.4)	1	0.903
	有	45(18.1)	26(18.6)	1.03(0.61~1.76)	

注：* 羊水指数>24cm 为羊水过多。

表 3 产后出血产妇基本信息特征与输血相关的多因素分析

Table 3 Multivariate analysis of maternal characteristics and their association with blood transfusion in postpartum hemorrhage

指标	分组	β	Wald χ^2	OR(95%CI)	P
孕妇因素					
贫血	无			1	
	轻度	-0.113	0.195	0.88(0.52~1.49)	0.622
	重度	0.998	8.368	3.25(1.66~6.36)	<0.001
低蛋白血症	无			1	
	有	0.982	15.810	2.64(1.60~4.35)	<0.001
弥散性血管内凝血	无			1	
	有	2.491	5.047	3.12(1.12~5.28)	0.036
胎盘因素					
凶险性前置胎盘	无			1	
	有	1.191	4.984	2.55(1.19~4.63)	0.023
胎盘植入	无			1	
	有	1.324	6.139	1.98(1.02~3.82)	0.042
胎儿因素					
胎数	单胎			1	
	多胎	0.505	2.306	1.48(0.92~2.02)	0.055

2.4 产妇出血列线图模型的建立与验证

为了进一步分析每个独立风险因素对产妇出血的影响比例,本研究绘制列线图将每个独立风险因素可视化。其中每个变量根据出血的回归系数在 0 到 100 的范围内匹配一个点,根据每个变量的适当

得分画出直线,将总分相加,然后将结果放在相应的位置,代表了变量的值。结果显示,产妇出血相关的独立风险因素重要程度排名分别为凝血功能障碍、凶险性前置胎盘、贫血、低蛋白血症、胎盘植入,见图 1。

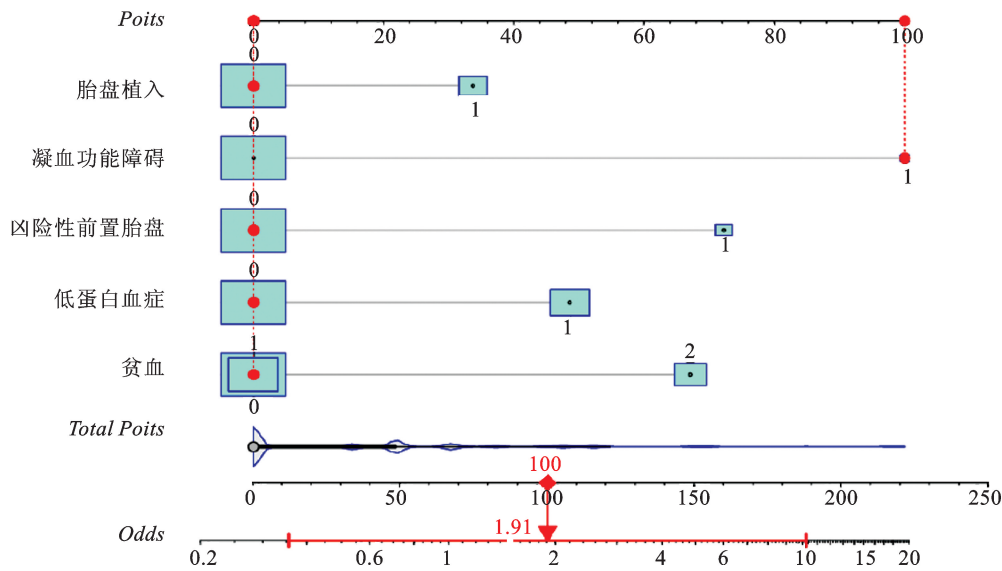


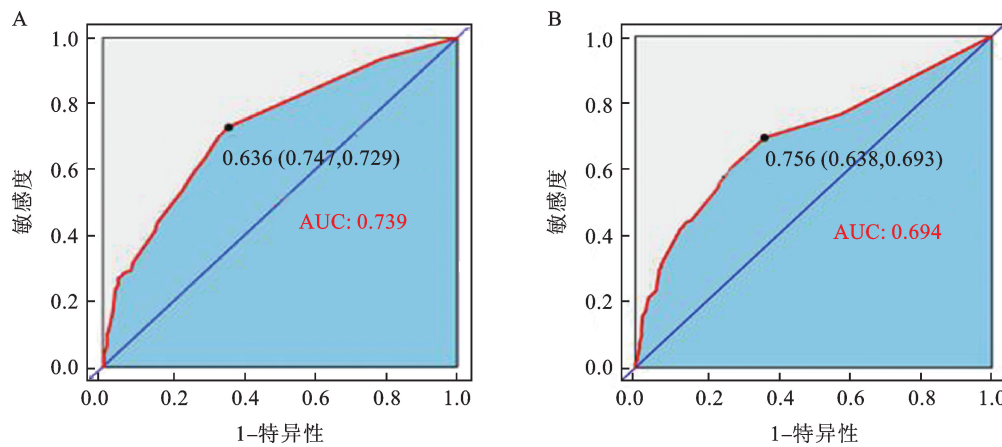
图 1 产妇产后出血风险因素列线图

Fig.1 Nomogram of maternal risk factors for postpartum hemorrhage

2.5 列线图 and 校准曲线的内部验证

为了验证列线图预测孕产妇大量输血风险的效能,我们对训练集和验证集进行了以下综合验证:训练集通过 Hosmer-Lemeshow 检验,得出 $P=0.999$,即说明预测值与真实值之间并无明显差异,模型拟合效果很好。ROC 分析也表明模型良好,具体来说,训练集 ROC 曲线下面积 0.739,敏感度 0.747,特

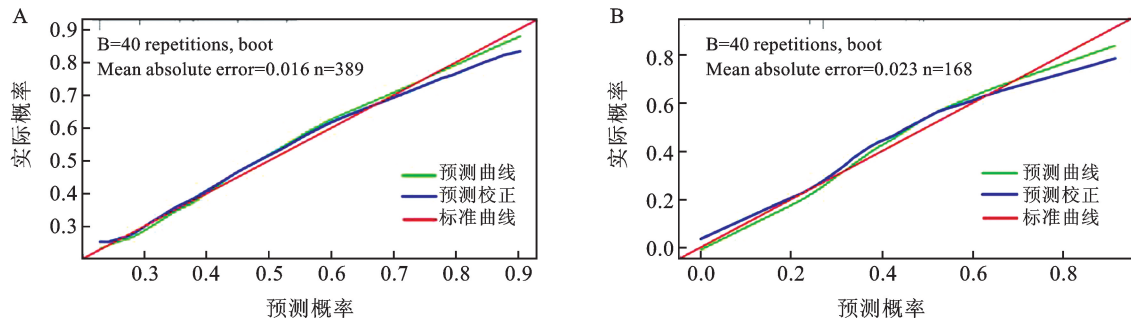
异度 0.729;验证集 ROC 曲线下面积 0.694,敏感度 0.638,特异度 0.693,见图 2。此外,与上述结论一致,校准图也显示了列线图模型的准确性和可重复性,训练集及验证集的平均绝对误差 MAE 分别为 0.016、0.023,见图 3,且预测值在校准图中均显示了最小的偏差。



注:A 来自训练集;B 来自验证集。

图 2 基于列线图的 ROC 曲线

Fig.2 ROC curves based on the nomogram



注:A 来自训练集;B 来自验证集。

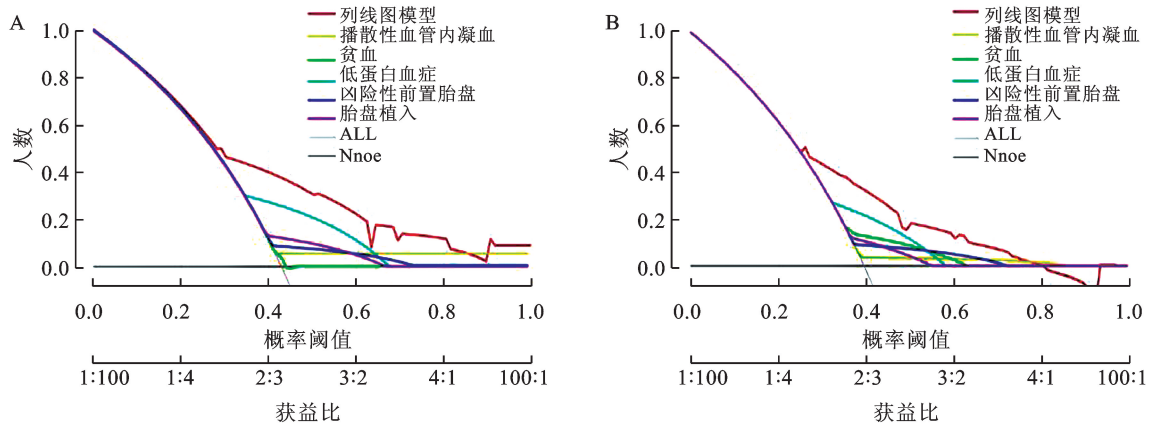
图 3 基于列线图的校准曲线

Fig.3 Calibration curves based on the nomogram

2.6 决策曲线和临床影响曲线分析

为了进一步分析列线图模型的临床应用,本研究建立了 DCA 及 CIC 模型来验证其有效性,通过风险阈值表明预测模型在临床决策中的优越性,其中风险阈值是一个动态变量,根据每个患者的临床病理特征而变化。DCA 结果显示,训练集和验证集的

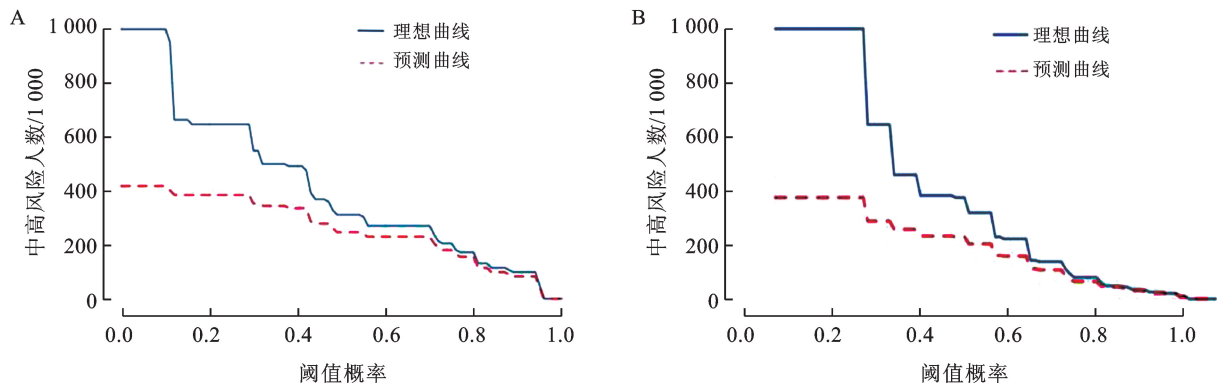
风险阈值在 0.2~0.8 之间时,列线图比单因素模型具有更好的预测能力,见图 4;CIC 分析显示训练集和验证集的风险阈值概率大于总预测得分概率值的 60%时,CIC 模型确定的产后出血高危人群与实际人群高度匹配,证实了列线图预测模型的临床有效性,见图 5。



注:A 来自训练集;B 来自验证集。

图 4 基于列线图的临床决策曲线

Fig.4 Clinical decision curve based on nomogram



注:A 来自训练集;B 来自验证集。

图 5 基于列线图的临床影响曲线

Fig.5 Clinical impact curves based on the nomogram

2.7 基于随机森林风险模型的多重验证与评价

为了表明上述模型的有效性,本研究还构建了随机森林模型。结果显示,训练集中输血的危险因素前 5 位包括贫血、低蛋白血症、凝血功能障碍、凶险性前置胎盘、胎盘植入,与多因素回归结果一致,见图 6;ROC 验证显示 AUC 为 0.803,敏感度与准确度为 0.767、0.762,表明预测效能良好,见图 7。

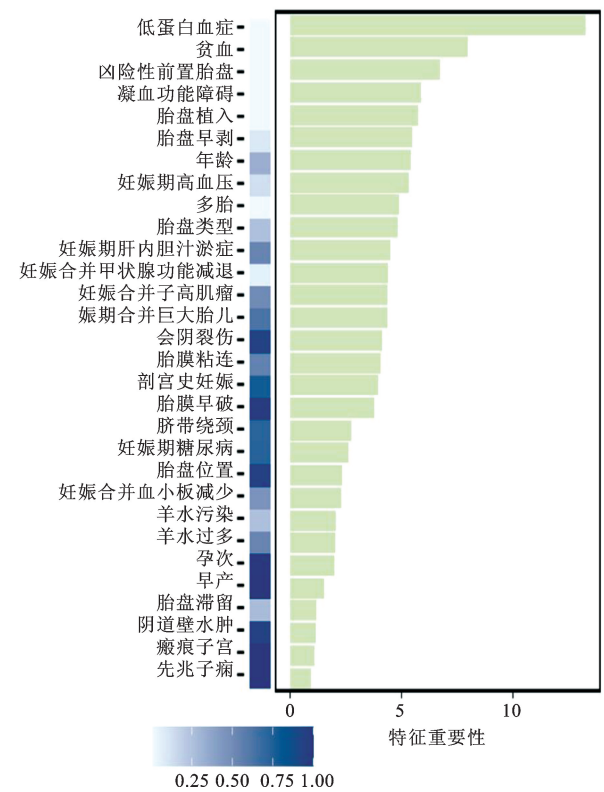


图 6 随机森林风险模型

Fig.6 Random forest risk model

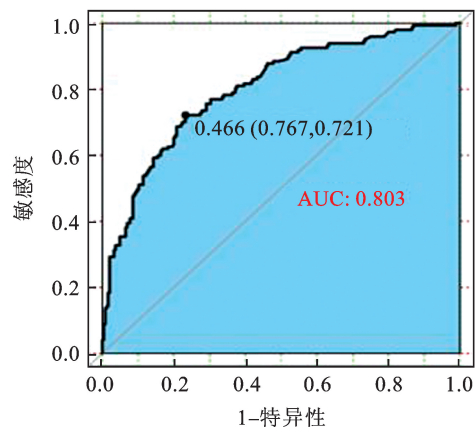


图 7 随机森林风险模型 ROC 验证

Fig.7 ROC validation of the random forest risk model

3 讨论

产后出血是严重威胁产妇生命安全的关键因

素。据最新研究,截至 2020 年,全球约有 1 400 万妇女经历产后出血,其中约 7 万名产妇因此丧生^[8-9]。全球范围内,产后出血的总体发病率为 6%~11%,而严重产后出血的发病率则在 1%~3%之间,且在不同地区均有上升趋势^[10]。在美国,从 2000 年到 2019 年,产后出血的发病率从 2.7%增长至 4.3%^[11]。通过客观测量和随机对照试验发现,产后出血的发病率在非洲和亚洲等资源匮乏国家相对较高。然而,由于数据的不完整性或失血量估计的不准确性,产后出血的高风险可能被严重低估。在中国,产后出血的发病率约为 0.81%,其中单胎、双胎、剖宫产和阴道分娩的产后出血发生率分别为 0.75%、2.65%、1.40%和 0.31%,产后出血是导致产妇围产期死亡的首要原因^[12-13]。及时的输血和止血措施是挽救这些患者生命、减少严重并发症的关键,超过 70%的产后出血相关孕产妇死亡是可以预防的^[14]。因此,深入分析产后出血需要输血的危险因素,并提高产前保健的针对性,对于临床实践具有重大意义。

本研究综合运用了多种先进的机器学习技术,包括逻辑回归分析和随机森林模型,对产妇分娩过程中的相关特征进行了深入的多因素分析。这种综合分析方法能够全面评估多个因素之间的相互作用,从而显著提升识别危险因素的精确度。为了进一步验证模型的有效性,我们将研究样本划分为训练集和验证集,并运用逻辑回归、随机森林等多种机器学习算法对产妇分娩相关特征进行危险因素的分析。此外,我们还采用了 ROC 曲线、交叉验证、临床效能检验等多种评估手段,以确保模型的稳定性和可靠性。通过内部验证,我们能够有效评估模型的预测性能,并降低过拟合的风险。

具体而言,通过逻辑回归分析和随机森林模型的应用,我们识别出了以下五个产后出血的独立危险因素。

3.1 低蛋白血症与产后出血量的相关性

蛋白质在人体中扮演着至关重要的角色,包括维持血管壁的完整性与稳定性、促进凝血过程。低蛋白血症可能导致凝血因子功能降低,从而增加出血风险。此外,蛋白质还参与调节血管壁的通透性和收缩功能,低蛋白水平可能使血管壁更易发生渗漏或破裂,进一步增加出血的可能性^[15]。因此,对

于存在低蛋白血症的产妇,应密切监测其凝血功能和血管壁状况,并及时采取预防和治疗措施。本研究将低蛋白血症确定为产后出血的独立危险因素,这是对现有文献的重要补充。

3.2 重度贫血与产后出血量的相关性

贫血是妊娠期间常见的并发症,尽管关于贫血与产后出血风险关系的研究结果并不一致,且缺乏系统的回顾和/或荟萃分析^[16],但本研究发现重度贫血与PPH的发生具有密切关联。重度贫血可能通过以下机制增加产后出血风险:①凝血因子稀释和失衡,抑制凝血功能;②血液携氧能力下降,增加心脏供氧负担;③免疫功能受损,增加感染和其他并发症风险^[17]。因此,对于重度贫血的孕妇,应采取积极措施预防和处理产后出血,包括及时输血、纠正贫血,并密切监测病情变化,以确保最佳治疗效果。

3.3 凶险性前置胎盘与产后出血量的相关性

凶险性前置胎盘由于其位置特殊,阻碍了正常的分娩过程,导致子宫颈口处缺乏胎盘衬托和出血块群栓形成,难以自行止血,从而可能引发大量阴道出血,危及产妇生命。紧急剖宫产手术是处理凶险性前置胎盘的关键。研究表明,前置胎盘,尤其是凶险性前置胎盘,是产后出血的重要原因,也是输血需求增加的重要因素^[18-20],这与本研究结果一致。

3.4 胎盘植入与产后出血量的相关性

胎盘植入是由于子宫蜕膜发育不良,如以往刮宫、剖宫产等手术导致内膜瘢痕形成,使得胎盘绒毛直接植入子宫肌层,甚至穿透子宫浆膜层。根据植入程度,分为胎盘愈着(accreta)、植入(incrcta)和穿透(percreta)。胎盘绒毛侵入子宫肌层时,与子宫壁紧密粘连难以剥离,剥离后因植入部位子宫肌纤维破坏较大而收缩乏力,导致出血量增多。多项研究已将胎盘植入确定为产后出血的独立危险因素^[21-22],本研究结果亦与之相符。

3.5 凝血功能障碍与产后出血量的相关性

弥散性血管内凝血是一种罕见但严重的血液病理过程,通过极端扰乱人体循环系统中的凝血因子和抗凝系统,引发出血倾向。若未能及时有效控制,弥散性血管内凝血还可能影响其他器官,加重病情。弥散性血管内凝血是产后出血的关键原因,其机制包括子宫内出血或其他因素激活凝血机制,导致异

常、广泛的凝血活化和纤维蛋白溶解,进而引发全身多器官功能障碍。因此,对于产后出血高风险的产妇,应密切关注弥散性血管内凝血的可能性,并采取综合治疗方法,包括控制出血、输注凝血因子或血浆、纠正凝血功能异常等。

在本研究中,我们首次将低蛋白血症列为产后出血的独立危险因素,并与其他已确认的危险因素——重度贫血、凶险性前置胎盘、胎盘植入和弥散性血管内凝血进行了深入的分析。这些发现对于指导临床实践,特别是在产前保健和产后出血预防方面,具有极其重要的意义。研究结果不仅有助于识别高风险产妇群体,还为临床医生提供了产前针对性干预的指导,如营养支持、输血治疗和手术准备等,从而有效降低产后出血的风险并改善产妇的预后。

总体而言,本研究通过科学严谨的方法识别了产后出血的危险因素,这不仅提高了临床预测的准确性,而且为临床干预提供了有力的支持,显示出其在临床实践中的重要价值和应用潜力。此外,本研究采用的全球视角和多因素综合分析方法,为全球孕产妇健康领域提供了宝贵的参考和借鉴。尽管本研究提出了一些创新性的观点,但也存在一定的局限性。首先,作为一项回顾性研究,其可能包含的偏倚通常比前瞻性研究要多;其次,由于样本数量受限于特定医院的患者群体,本研究尚未经过外部验证,这一部分需要在未来通过收集更广泛的样本数据进行深入的检验和修正。

[参考文献]

- [1] Quantitative blood loss in obstetric hemorrhage: ACOG COMMITTEE OPINION SUMMARY, Number 794 [J]. *Obstet Gynecol*, 2019, 134(6): 1368-1369.
- [2] Vallera C, Choi L O, Cha C M, et al. Uterotonic medications: oxytocin, methylergonovine, carboprost, misoprostol [J]. *Anesthesiol Clin*, 2017, 35(2): 207-219.
- [3] Wilbeck J, Hoffman J W, Schorn M N. Postpartum hemorrhage: emergency management for uncontrolled vaginal bleeding [J]. *Adv Emerg Nurs J*, 2022, 44(3): 213-219.
- [4] Pacagnella R C, Souza J P, Durocher J, et al. A systematic review of the relationship between blood loss and clinical signs [J]. *PLoS One*, 2013, 8(3): e57594.

- [5] Madar H, Deneux-Tharaux C, Sentilhes L, et al. Shock index as a predictor of postpartum haemorrhage after vaginal delivery: secondary analysis of a multicentre randomised controlled trial [J]. *BJOG*, 2024, 131 (3): 343-352.
- [6] Kwee A, Bots M L, Visser G H, et al. Emergency peripartum hysterectomy: a prospective study in the Netherlands [J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2006, 124 (2): 187-192.
- [7] Peitsidis P, Datta T, Pafilis I, et al. Bernard Soulier syndrome in pregnancy: a systematic review [J]. *Haemophilia*, 2010, 16 (4): 584-591.
- [8] Althabe F, Therrien M N S, Pingray V, et al. Postpartum hemorrhage care bundles to improve adherence to guidelines: a WHO technical consultation [J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2020, 148 (3): 290-299.
- [9] Onwujekwe O, Mosanya A U, Ekwuazi K, et al. Awareness and use of tranexamic acid in the management of postpartum hemorrhage among health care professionals in Enugu, Nigeria [J]. *Int J Gynaecol Obstet*, 2024, 164 (2): 668-676.
- [10] Sheng B, Jiang G, Ni J. Association between postpartum depression and postpartum hemorrhage: a systematic review and meta-analysis [J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2024, 103 (7): 1263-1270.
- [11] Borovac-Pinheiro A, Pacagnella R C, Cecatti J G, et al. Postpartum hemorrhage: new insights for definition and diagnosis [J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2018, 219 (2): 162-168.
- [12] Li S, Gao J, Liu J, et al. Incidence and risk factors of postpartum hemorrhage in China: a multicenter retrospective study [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 673500.
- [13] 李毓, 蒋荣珍. 产程管理与产后出血防治 [J]. 中国妇幼健康研究, 2022, 33 (6): 44-48.
- [14] Harvey C J. Evidence-based strategies for maternal stabilization and rescue in obstetric hemorrhage [J]. *AACN Adv Crit Care*, 2018, 29 (3): 284-294.
- [15] Wang Z, Zhang H, Meng Q, et al. A multicenter case-controlled study on laparoscopic hepatectomy versus microwave ablation as first-line therapy for 3-5 cm hepatocellular carcinoma in patients aged 60 and older [J]. *Int J Surg*, 2024, 110 (3): 1356-1366.
- [16] Omotayo M O, Abioye A I, Kuyebi M, et al. Prenatal anemia and postpartum hemorrhage risk: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Obstet Gynaecol Res*, 2021, 47 (8): 2565-2576.
- [17] Surbek D, Vial Y, Girard T, et al. Patient blood management (PBM) in pregnancy and childbirth: literature review and expert opinion [J]. *Arch Gynecol Obstet*, 2020, 301 (2): 627-641.
- [18] Liu X, Huang X, Yang Y, et al. Maternal anaemia prevention and control in China: a policy review [J]. *Matern Child Nutr*, 2024, 20 (3): e13653.
- [19] 杨辰敏, 刘延, 王敏敏. 严重产后出血的临床分析 [J]. 中国妇幼健康研究, 2023, 34 (7): 87-91.
- [20] 朱成玲, 王静. 凶险性前置胎盘对妊娠结局的影响及术前管理对母婴预后的改善作用 [J]. 现代医学, 2020, 48 (10): 1279-1283.
- [21] Maymon S, Maymon R, Bornstein J, et al. [Comparison of two approaches for placenta accreta: uterine preservation versus cesarean hysterectomy] [J]. *Harefuah*, 2018, 157 (11): 696-700.
- [22] Evensen A, Anderson J M, Fontaine P. Postpartum hemorrhage: prevention and treatment [J]. *Am Fam Physician*, 2017, 95 (7): 442-449.
- [专业责任编辑: 李 力]
[中文编辑: 郭乐倩; 英文编辑: 方 柳]