

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.18.001

文章编号: 1005-8982 (2026) 18-0001-10

老年疾病专题·论著

基于多维标志物构建老年骨折患者术后深静脉血栓形成的风险评估模型及性能验证*

穆占全, 马少芳, 李尚文, 李庚

(宁夏医科大学附属固原市人民医院 检验科, 宁夏 固原 756000)

摘要: **目的** 基于多维标志物构建老年骨折患者术后深静脉血栓形成(DVT)的风险评估模型, 并验证其性能。**方法** 回顾性选取2022年1月—2025年12月宁夏医科大学附属固原市人民医院收治的320例老年骨折患者作为研究对象, 以7:3比例, 采用留出法将患者随机分为建模组和验证组, 分别有224、96例。收集患者临床资料, 运用LASSO回归分析筛选关键变量并纳入多因素一般Logistic回归模型, 获取独立危险因素用于构建列线图风险评估模型, 采用受试者工作特征(ROC)曲线、校准曲线、决策曲线分析(DCA)、临床影响曲线(CIC)验证模型的预测性能和临床效能。**结果** DVT组年龄、白细胞计数(WBC)、中性粒细胞计数、D-二聚体(D-D)、凝血酶原时间、纤维蛋白原(FIB)、白细胞介素-6、C反应蛋白(CRP)、全身免疫炎症指数均高于非DVT组, 发病至入院时间、手术时间均长于非DVT组($P < 0.05$), 白蛋白(ALB)、ALB与球蛋白比值、总蛋白水平均低于非DVT组($P < 0.05$)。多因素一般Logistic回归分析结果: 年龄增加 [$\hat{OR}=1.082$ (95% CI: 1.002, 1.169)]、有吸烟史 [$\hat{OR}=4.512$ (95% CI: 1.476, 13.790)]、发病至入院时间延长 [$\hat{OR}=1.092$ (95% CI: 1.034, 1.153)]、WBC升高 [$\hat{OR}=1.580$ (95% CI: 1.200, 2.081)]、ALB降低 [$\hat{OR}=0.866$ (95% CI: 0.761, 0.984)]、D-D升高 [$\hat{OR}=1.517$ (95% CI: 1.084, 2.124)]、FIB升高 [$\hat{OR}=1.774$ (95% CI: 1.150, 2.735)]、CRP升高 [$\hat{OR}=1.109$ (95% CI: 1.025, 1.200)]均为老年骨折患者术后DVT的独立危险因素($P < 0.05$)。ROC曲线分析结果显示, 建模组曲线下面积(AUC)为0.855 (95% CI: 0.789, 0.920), 敏感性、特异性分别为82.5% (95% CI: 0.762, 0.873)、75.5% (95% CI: 0.691, 0.810), 约登指数为0.580; 验证组AUC为0.901 (95% CI: 0.806, 0.995), 敏感性、特异性分别为88.9% (95% CI: 0.800, 0.948)、74.4% (95% CI: 0.644, 0.830), 约登指数为0.633。Hosmer-Lemeshow检验结果显示, 建模组和验证组模型拟合良好($P > 0.10$)。DCA曲线分析结果显示, 在高风险阈值0.05~0.96和0.05~0.98采用列线图模型干预, 存在净效益, 当阈值概率为0.10~0.50时, 模型净获益率显著优于全干预或不干预策略。验证组在阈值0.05~0.98均显示净获益, 提示模型在不同风险偏好的临床决策场景中均具有实用价值。CIC曲线分析结果显示, 在高风险阈值0.10~1.00采用列线图模型对患者进行术后DVT风险筛查, 预测发生与实际发生DVT的患者例数高度吻合, 绝对误差均 < 8 例, 相对误差 $< 15\%$, 表明模型预测结果与实际临床结局一致性良好。**结论** 该研究基于多维标志物构建的列线图风险评估模型, 可准确预测老年骨折患者术后DVT的发生风险, 可为患者术后DVT防治方案的合理制订提供循证依据。

关键词: 深静脉血栓; 骨折; 老年; 多维标志物; 列线图

中图分类号: R543.6

文献标识码: A

Development and validation of a predictive framework for post-surgical deep vein thrombosis risk in geriatric fracture cases utilizing multiple biomarker indicators*

收稿日期: 2026-05-11

* 基金项目: 宁夏回族自治区科技惠民专项项目 (2024CMG03028)

[通信作者] 穆占全, E-mail: 18009548858@163.com

Mu Zhan-quan, Ma Shao-fang, Li Shang-wen, Li Geng

(Department of Laboratory Medicine, Guyuan People's Hospital Affiliated to Ningxia Medical University, Guyuan, Ningxia 756000, China)

Abstract: Objective This study aimed to develop and validate a predictive nomogram model incorporating multiple biomarkers for assessing the likelihood of postoperative deep vein thrombosis (DVT) in elderly patients with fractures. **Methods** A retrospective analysis was conducted in 320 elderly patients with fractures treated at Guyuan People's Hospital Affiliated with Ningxia Medical University between January 2022 and December 2025. Using a hold-out method, patients were randomly allocated in a 7:3 ratio to a development cohort ($n = 224$) and a validation cohort ($n = 96$). Clinical data were collected, and LASSO regression was used to select key variables for inclusion in a multivariable logistic regression model. Independent risk factors were used to construct a nomogram. Receiver operating characteristic (ROC) curves, calibration curves, decision curve analysis (DCA), and clinical impact curves (CIC) were used to evaluate predictive performance and clinical utility. **Results** Patients with DVT were older and had higher, white blood cell count (WBC), neutrophil count, D-dimer (D-D), prothrombin time, fibrinogen (FIB), interleukin-6, C-reactive protein (CRP), and systemic immune-inflammation index; longer onset-to-admission and operative times; and lower albumin (ALB), albumin-to-globulin ratio, and total protein than patients without DVT ($P < 0.05$). Multivariable logistic regression identified advanced age [$\hat{OR} = 1.082$ (95% CI: 1.002, 1.169)], smoking history [$\hat{OR} = 4.512$ (95% CI: 1.476, 13.790)], prolonged onset-to-admission time [$\hat{OR} = 1.092$ (95% CI: 1.034, 1.153)], elevated WBC [$\hat{OR} = 1.580$ (95% CI: 1.200, 2.081)], decreased ALB [$\hat{OR} = 0.866$ (95% CI: 0.761, 0.984)], elevated D-D [$\hat{OR} = 1.517$ (95% CI: 1.084, 2.124)], elevated FIB [$\hat{OR} = 1.774$ (95% CI: 1.150, 2.735)], and elevated CRP [$\hat{OR} = 1.109$ (95% CI: 1.025, 1.200)] as independent risk factors for postoperative DVT in elderly patients with fractures ($P < 0.05$). The AUCs were 0.855 (95% CI: 0.789, 0.920) in the development cohort and 0.901 (95% CI: 0.806, 0.995) in the validation cohort. Sensitivity, specificity, and the Youden index were 82.5% (95% CI: 0.762, 0.873), 75.5% (95% CI: 0.691, 0.810), and 0.580 in the development cohort and 88.9% (95% CI: 0.800, 0.948), 74.4% (95% CI: 0.644, 0.830), and 0.633 in the validation cohort, respectively. Hosmer-Lemeshow tests indicated good model fit in both cohorts ($P > 0.10$). DCA showed net benefit across threshold probabilities of 0.05-0.96 in the development cohort; at thresholds of 0.10-0.50, the model provided greater net benefit than either treat-all or treat-none strategies. The validation cohort showed net benefit across thresholds of 0.05-0.98. CIC analysis showed close agreement between predicted and observed DVT cases at thresholds of 0.10-1.00, with absolute errors of < 8 cases and relative errors of $< 15\%$. **Conclusion** This nomogram based on multidimensional biomarkers accurately stratifies DVT risk following fracture surgery in elderly patients, offering evidence-based guidance for individualized thromboprophylaxis protocols.

Keywords: deep vein thrombosis; fracture; geriatric; multidimensional biomarkers; nomogram

老年骨折患者因活动受限、血管内皮损伤、血液高凝状态等因素影响,术后深静脉血栓形成(deep vein thrombosis, DVT)风险显著升高,是围手术期常见的严重并发症^[1]。DVT不仅延长患者住院时间、增加医疗负担,严重时可引发肺栓塞,危及患者生命安全^[2]。目前,临床常用血栓风险评估工具包括Caprini、Padua、Autar等,但上述工具普遍存在预测准确性较低的问题^[3-4]。近年来,国内外均有报道基于骨折术后DVT相关危险因素构建预测模型,多以基础临床指标为主,对炎症、凝血等生物标志物整合不足,预测性能相对有限^[5]。本研究结合临床特征、炎症指标、凝血功能等标志物,建立老年骨折患者术后DVT风险评估列线

图模型,并从多维度验证该模型的预测效能与临床应用价值,旨在为临床早期甄别高危人群、实施个体化预防策略提供可靠依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性选取2022年1月—2025年12月宁夏医科大学附属固原市人民医院收治的320例老年骨折患者作为研究对象,以7:3比例,采用留出法^[6]将患者随机分为建模组和验证组,分别有224、96例。纳入标准:①经查体及影像学检查确诊为骨折^[7-9];②接受内固定术或关节置换术,符合手术指征;

③年龄 ≥ 60 周岁;④临床资料完整。排除标准:①开放性骨折、多发骨折或继发性骨折;②有静脉血栓既往史;③有关节置换既往史;④发病前1个月曾接受抗凝治疗;⑤伴全身炎症反应;⑥伴恶性肿瘤;⑦伴凝血功能障碍。本研究获得知情豁免,获得医院医学伦理委员会批准(XJTUAF20255 LSYY-768),符合《赫尔辛基宣言》^[10]。

1.2 资料收集

收集患者临床资料,包括性别、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、吸烟史、饮酒史、基础疾病(糖尿病、高血压、冠心病、骨质疏松症)、发病至入院时间、骨折部位、术式、麻醉方式、手术时间、麻醉时间、实验室指标[白细胞计数(white blood cell, WBC)、中性粒细胞计数(Neutrophil, Neut)、血红蛋白(Hemoglobin, HGB)、血小板计数(Platelet, PLT)、白蛋白(Albumin, ALB)、ALB与球蛋白比值(albumin/globulin ratio, A/G)、总蛋白(total protein, TP)、D-二聚体(D-dimer, D-D)、凝血酶原时间(prothrombin time, PT)、纤维蛋白原(Fibrinogen, FIB)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、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)、空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、白细胞介素-6(Interleukin-6, IL-6)、C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)、全身免疫炎症指数(systemic immune-inflammation index, SII)]。所有实验室指标于患者术后12 h内检测。

1.3 术后DVT诊断标准

参照《深静脉血栓形成的诊断和治疗指南(第三版)》^[11]中DVT相关诊断标准:①伴肢体肿胀、疼痛或压痛;②肢体经血管加压超声检查见静脉管腔不能压闭,管腔内为低回声或无回声,脉冲多普勒显示无血流或频谱未随着呼吸发生变化,或血栓段静脉内完全无血流信号或只探及少量血流信号。患者术后1周内符合上述条件即可诊断为术后DVT。

1.4 统计学方法

数据分析采用SPSS 27.0和R 4.5.1统计软件。计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,比较用

检验;计数资料以构成比或率(%)表示,比较用 χ^2 检验;影响因素的分析采用多因素一般LASSO-Logistic回归模型;采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线和校准曲线验证模型预测性能,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),采用决策曲线分析(decision curve analysis, DCA)和临床影响曲线(clinical impact curve, CIC)验证模型临床效用。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者临床资料比较

本研究中58例患者术后发生DVT,发生率为18.13%。建模组与验证组术后DVT占比、性别构成、年龄、BMI、吸烟史、饮酒史、基础疾病、发病至入院时间、骨折部位、术式、麻醉方式、手术时间、麻醉时间、WBC、Neut、HGB、PLT、ALB、A/G、TP、D-D、PT、FIB、TC、LDL-C、HDL-C、FPG、TNF- α 、IL-6、CRP和SII比较,经 χ^2/t 检验,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表1。

将建模组患者是否发生DVT分为非DVT组与DVT组,分别有184、40例。非DVT组与DVT组性别构成、BMI、吸烟史、饮酒史、基础疾病、术式、骨折部位、麻醉方式、麻醉时间、HGB、PLT、TC、LDL-C、HDL-C、FPG、TNF- α 比较,经 χ^2/t 检验,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。非DVT组与DVT组年龄、发病至入院时间、手术时间、WBC、Neut、D-D、PT、FIB、IL-6、CRP、SII、ALB、A/G、TP比较,经 χ^2/t 检验,差异均有统计学意义($P < 0.05$);DVT组年龄、WBC、Neut、D-D、PT、FIB、IL-6、CRP、SII均高于非DVT组,发病至入院时间、手术时间均长于非DVT组,ALB、A/G、TP均低于非DVT组($P < 0.05$)。见表2。

2.2 关键变量筛选

LASSO回归分析显示,基于 $\lambda_{\min}$ (0.00080)和 λ_{1se} (0.00324)可分别筛选出26个和17个变量,为尽可能降低模型的二项式偏差,同时考虑变量过多可能导致模型发生过拟合,本研究基于 λ_{1se} 筛选变量,即性别、年龄、BMI、吸烟史、饮酒史、发病至入院时间、手术时间、WBC、ALB、A/G、D-D、FIB、LDL-C、FPG、TNF- α 、IL-6、CRP。见图1、2。

表 1 建模组与验证组临床资料比较

组别	<i>n</i>	术后 DVT 例(%)	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	BMI/(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	吸烟史 例(%)	饮酒史 例(%)
建模组	224	40(17.86)	88/136	74.77 ± 6.00	23.70 ± 3.09	49(21.88)	37(16.52)
验证组	96	18(18.75)	38/58	74.05 ± 5.38	23.74 ± 2.92	22(22.92)	17(17.71)
χ^2/t 值		0.036	0.002	1.007	-0.101	0.042	0.068
<i>P</i> 值		0.849	0.960	0.315	0.920	0.837	0.794

组别	基础疾病 例(%)				发病至入院时间/ (h, $\bar{x} \pm s$)	术式 例(%)	
	糖尿病	高血压	冠心病	骨质疏松症		内固定术	关节置换术
建模组	57(25.45)	74(33.04)	43(19.20)	115(51.34)	36.17 ± 9.85	124(55.36)	100(44.64)
验证组	23(23.96)	33(34.38)	18(18.75)	48(50.00)	36.17 ± 9.59	50(52.08)	46(47.92)
χ^2/t 值	0.079	0.054	0.009	0.048	0.002		0.290
<i>P</i> 值	0.778	0.816	0.926	0.826	0.998		0.590

组别	骨折部位 例(%)				麻醉方式 例(%)		手术时间/(min, $\bar{x} \pm s$)
	髋部	椎体	桡骨	其他	椎管内麻醉	静吸复合麻醉	
建模组	85(37.95)	67(29.91)	55(24.55)	17(7.59)	155(69.20)	69(30.80)	96.78 ± 22.26
验证组	36(37.50)	30(31.25)	23(23.96)	7(7.29)	68(70.83)	28(29.17)	95.96 ± 20.71
χ^2/t 值			0.061			0.085	0.308
<i>P</i> 值			0.996			0.770	0.759

组别	麻醉时间/ (min, $\bar{x} \pm s$)	WBC/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	Neut/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	HGB/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	PLT/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	ALB/(g/L, $\bar{x} \pm s$)	A/G ($\bar{x} \pm s$)
建模组	121.89 ± 30.06	7.55 ± 2.01	5.71 ± 1.73	119.98 ± 16.88	220.40 ± 43.16	36.76 ± 4.16	1.38 ± 0.32
验证组	122.54 ± 29.11	7.39 ± 1.88	5.52 ± 1.63	120.76 ± 16.06	221.29 ± 43.56	36.55 ± 4.25	1.39 ± 0.31
χ^2/t 值	-0.179	0.661	0.944	-0.385	-0.169	0.402	-0.288
<i>P</i> 值	0.858	0.509	0.346	0.700	0.866	0.688	0.773

组别	TP/(g/L, $\bar{x} \pm s$)	D-D/(mg/L, $\bar{x} \pm s$)	PT/(s, $\bar{x} \pm s$)	FIB/(g/L, $\bar{x} \pm s$)	TC/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	LDL-C/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)
建模组	66.52 ± 6.34	3.49 ± 1.56	12.70 ± 1.60	4.28 ± 1.10	4.50 ± 0.97	2.59 ± 0.78
验证组	65.74 ± 6.57	3.62 ± 1.53	12.97 ± 1.64	4.18 ± 1.04	4.55 ± 0.93	2.60 ± 0.77
χ^2/t 值	1.005	-0.719	-1.363	0.767	-0.489	-0.039
<i>P</i> 值	0.316	0.473	0.174	0.444	0.625	0.969

组别	HDL-C/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	FPG/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	TNF- α /(pg/L, $\bar{x} \pm s$)	IL-6/(pg/L, $\bar{x} \pm s$)	CRP/(mg/L, $\bar{x} \pm s$)	SII ($\bar{x} \pm s$)
建模组	1.14 ± 0.30	5.77 ± 1.01	14.34 ± 6.21	19.30 ± 8.25	10.21 ± 6.42	482.35 ± 168.84
验证组	1.13 ± 0.32	5.88 ± 1.09	14.63 ± 5.69	19.29 ± 8.48	10.73 ± 5.73	471.08 ± 171.64
χ^2/t 值	0.415	-0.888	-0.397	0.014	-0.684	0.544
<i>P</i> 值	0.678	0.375	0.691	0.989	0.494	0.587

2.3 影响老年骨折患者术后 DVT 的多因素一般 Logistic 回归分析

以患者术后是否发生 DVT 为因变量（未发生=0，发生=1），以性别（男性=0，女性=1）、年龄（实测值）、BMI（实测值）、吸烟史（无=0，有=1）、饮酒史（无=0，有=1）、发病至入院时间（实测值）、手术时间（实测值）、WBC（实测值）、

ALB（实测值）、A/G（实测值）、D-D（实测值）、FIB（实测值）、LDL-C（实测值）、FPG（实测值）、TNF- α （实测值）、IL-6（实测值）、CRP（实测值）为自变量，进行多因素一般 Logistic 回归分析，结果显示：年龄增加[$\hat{OR}$ =1.082（95% CI：1.002，1.169）]、有吸烟史[$\hat{OR}$ =4.512（95% CI：1.476，13.790）]、发病至入院时间延长[$\hat{OR}$ =1.092

表 2 非 DVT 组与 DVT 组临床资料比较

组别	<i>n</i>	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	BMI/(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	吸烟史 例(%)	饮酒史 例(%)
非 DVT 组	184	71/113	74.27 ± 5.40	23.70 ± 3.09	36(19.57)	29(15.76)
DVT 组	40	17/23	77.08 ± 7.91	23.74 ± 2.92	13(32.50)	8(20.00)
χ^2/t 值		0.211	-2.719	-0.101	3.217	0.428
<i>P</i> 值		0.646	0.007	0.920	0.073	0.513

组别	基础疾病 例(%)				发病至入院时间/ (h, $\bar{x} \pm s$)	术式 例(%)	
	糖尿病	高血压	冠心病	骨质疏松症		内固定术	关节置换术
非 DVT 组	43(23.37)	59(32.07)	33(17.93)	95(51.63)	35.07 ± 9.99	103(55.98)	81(44.02)
DVT 组	14(35.00)	15(37.50)	10(25.00)	20(50.00)	41.25 ± 7.39	21(52.50)	19(47.50)
χ^2/t 值	2.343	0.439	1.057	0.035	-3.699		0.161
<i>P</i> 值	0.126	0.508	0.304	0.852	0.000		0.688

组别	骨折部位 例(%)				麻醉方式 例(%)		手术时间/(min, $\bar{x} \pm s$)
	髌部	椎体	桡骨	其他	椎管内麻醉	静吸复合麻醉	
非 DVT 组	70(38.04)	55(29.89)	45(24.46)	14(7.61)	128(69.57)	56(30.43)	94.68 ± 21.43
DVT 组	15(37.50)	12(30.00)	10(25.00)	3(7.50)	27(67.50)	13(32.50)	106.40 ± 23.73
χ^2/t 值		0.007			0.066		-3.073
<i>P</i> 值		1.000			0.798		0.002

组别	麻醉时间/(min, $\bar{x} \pm s$)	WBC/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	Neut/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	HGB/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	PLT/($\times 10^9/L$, $\bar{x} \pm s$)	ALB/(g/L, $\bar{x} \pm s$)	A/G ($\bar{x} \pm s$)
非 DVT 组	121.27 ± 30.12	7.38 ± 1.91	5.55 ± 1.59	120.50 ± 15.92	219.35 ± 41.61	37.03 ± 3.97	1.40 ± 0.32
DVT 组	124.75 ± 30.02	8.33 ± 2.25	6.46 ± 2.13	117.62 ± 20.80	225.22 ± 49.97	35.53 ± 4.84	1.28 ± 0.29
χ^2/t 值	-0.662	-2.759	-3.070	0.977	-0.779	2.075	2.274
<i>P</i> 值	0.508	0.006	0.002	0.330	0.437	0.039	0.024

组别	TP/(g/L, $\bar{x} \pm s$)	D-D/(mg/L, $\bar{x} \pm s$)	PT/(s, $\bar{x} \pm s$)	FIB/(g/L, $\bar{x} \pm s$)	TC/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	LDL-C/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)
非 DVT 组	67.27 ± 5.96	3.32 ± 1.41	12.57 ± 1.58	4.20 ± 0.97	4.48 ± 0.98	2.57 ± 0.75
DVT 组	63.08 ± 6.96	4.27 ± 1.92	13.30 ± 1.57	4.66 ± 1.52	4.57 ± 0.97	2.69 ± 0.91
χ^2/t 值	3.912	-3.611	-2.648	-2.451	-0.497	-0.841
<i>P</i> 值	0.000	0.000	0.009	0.015	0.620	0.401

组别	HDL-C/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	FPG/(mmol/L, $\bar{x} \pm s$)	TNF- α /(pg/L, $\bar{x} \pm s$)	IL-6/(pg/L, $\bar{x} \pm s$)	CRP/(mg/L, $\bar{x} \pm s$)	SII ($\bar{x} \pm s$)
非 DVT 组	1.13 ± 0.29	5.71 ± 1.02	14.10 ± 6.17	18.56 ± 7.65	9.62 ± 5.84	470.28 ± 159.54
DVT 组	1.20 ± 0.33	6.03 ± 0.91	15.41 ± 6.38	22.72 ± 9.98	12.91 ± 8.15	537.86 ± 199.30
χ^2/t 值	-1.300	-1.869	-1.205	-2.946	-2.983	-2.317
<i>P</i> 值	0.195	0.063	0.230	0.004	0.003	0.021

(95% CI: 1.034, 1.153)]、WBC 升高[$\hat{O}R=1.580$ (95% CI: 1.200, 2.081)]、ALB 降低[$\hat{O}R=0.866$ (95% CI: 0.761, 0.984)]、D-D 升高[$\hat{O}R=1.517$ (95% CI: 1.084, 2.124)]、FIB 升高[$\hat{O}R=1.774$ (95% CI: 1.150, 2.735)]、CRP 升高[$\hat{O}R=1.109$ (95% CI: 1.025, 1.200)]均为老年骨折患者术后 DVT 的独立危险因素 ($P<0.05$)。见表 3。

2.4 老年骨折患者术后 DVT 风险评估模型构建

本研究采用多因素一般 Logistic 回归分析筛选出的 8 项独立危险因素, 构建列线图预测模型。基于二元 Logistic 回归的偏回归系数对各变量进行赋分转换, 依据公式将连续变量与分类变量统一量化为 0 ~ 100 分的刻度值; 将各变量分值累加获得总分, 总分 0 ~ 450 分; 通过总分-概率转换函数映

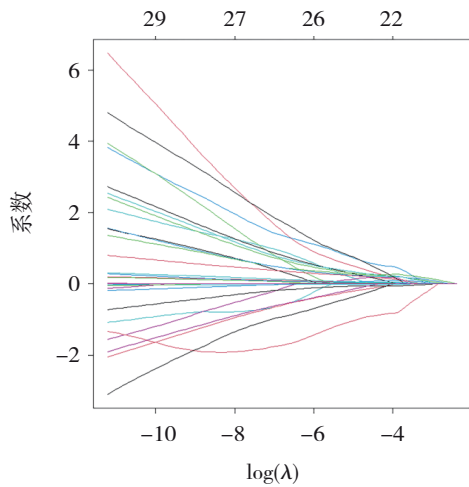


图1 LASSO 回归系数轨迹图

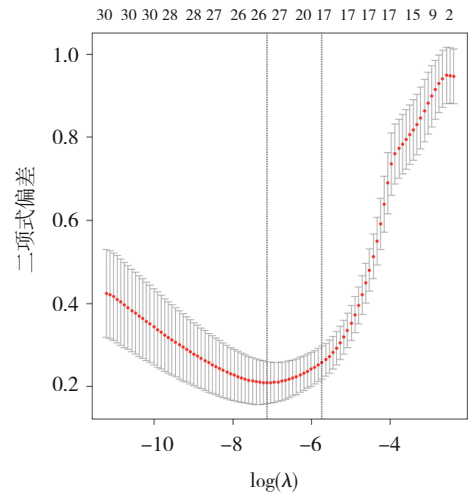


图2 LASSO 交叉验证曲线

射为术后 DVT 发生概率，评分越高提示老年骨折患者术后 DVT 风险越高。见图 3。

表 3 影响老年骨折患者术后 DVT 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
年龄	0.079	0.039	4.030	0.045	1.082	1.002	1.169
有吸烟史	1.507	0.570	6.986	0.008	4.512	1.476	13.790
发病至入院时间	0.088	0.028	9.970	0.002	1.092	1.034	1.153
WBC	0.458	0.141	10.599	0.001	1.580	1.200	2.081
ALB	-0.144	0.066	4.855	0.028	0.866	0.761	0.984
D-D	0.417	0.172	5.895	0.015	1.517	1.084	2.124
FIB	0.573	0.221	6.722	0.010	1.774	1.150	2.735
CRP	0.103	0.040	6.569	0.010	1.109	1.025	1.200

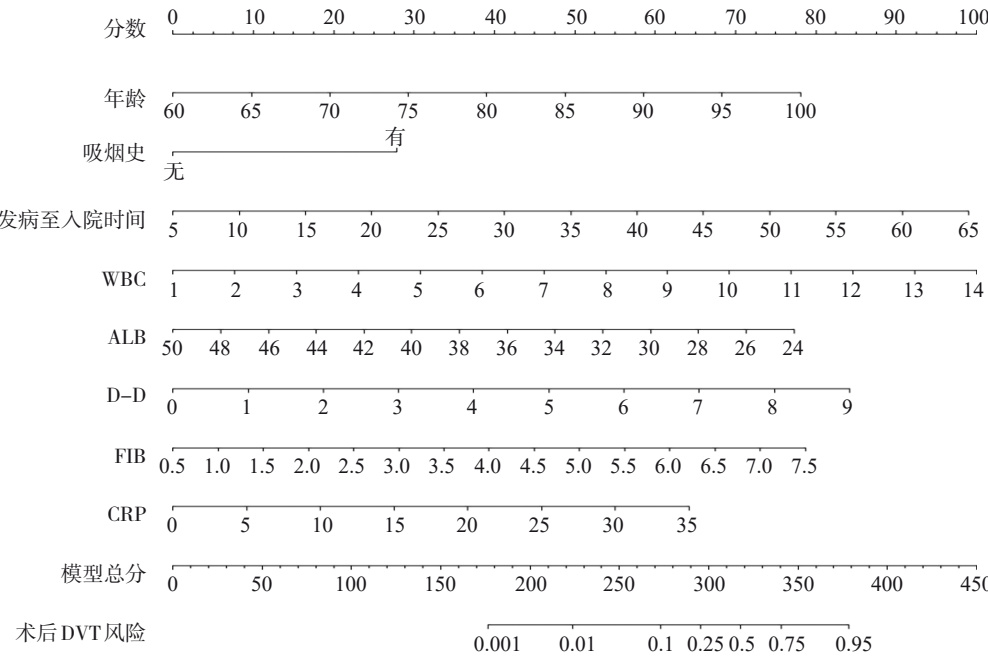


图3 老年骨折患者术后 DVT 的风险评估列线图

2.5 老年骨折患者术后 DVT 风险评估模型预测性能验证

ROC 曲线分析结果显示, 建模组 AUC 为 0.855 (95% CI: 0.789, 0.920), 敏感性、特异性分别为 82.5% (95% CI: 0.762, 0.873)、75.5% (95% CI: 0.691, 0.810), 约登指数为 0.580; 验证组 AUC 为

0.901 (95% CI: 0.806, 0.995), 敏感性、特异性分别为 88.9% (95% CI: 0.800, 0.948)、74.4% (95% CI: 0.644, 0.830), 约登指数为 0.633 (见表 4、图 4)。Hosmer-Lemeshow 检验结果显示, 建模组 ($\chi^2 = 9.899, P = 0.272$) 和验证组 ($\chi^2 = 7.162, P = 0.489$) 模型拟合良好 ($P > 0.10$)。见图 5。

表 4 老年骨折患者术后 DVT 风险评估模型预测性能

组别	AUC	95%CI		敏感性/%	95%CI		特异性/%	95%CI		约登指数
		下限	上限		下限	上限		下限	上限	
建模组	0.855	0.789	0.920	82.5	0.762	0.873	75.5	0.691	0.810	0.580
验证组	0.901	0.806	0.995	88.9	0.800	0.948	74.4	0.644	0.830	0.633

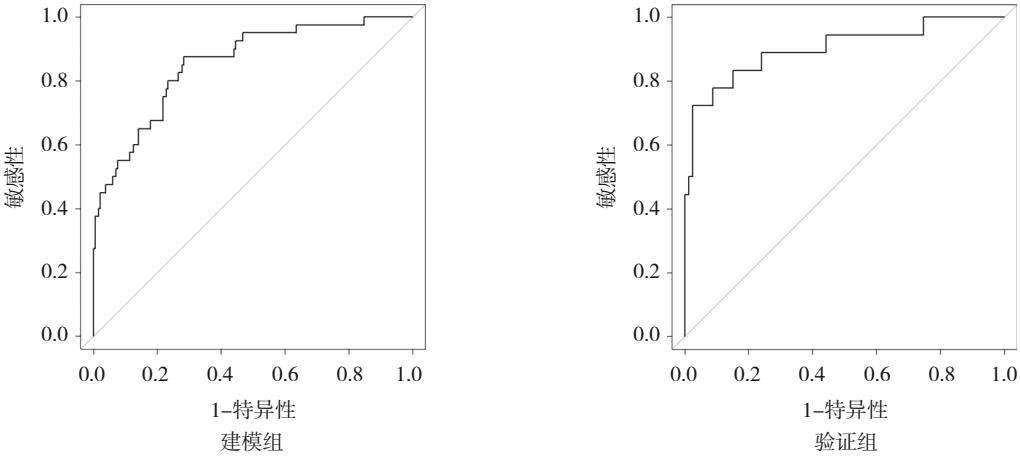


图 4 老年骨折患者术后 DVT 风险评估模型的 ROC 曲线

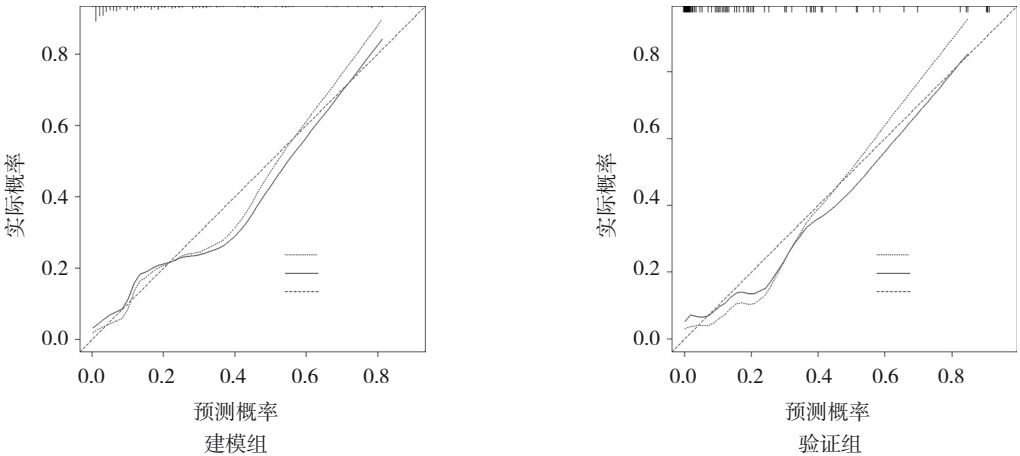


图 5 老年骨折患者术后 DVT 风险评估模型的校准曲线

2.6 老年骨折患者术后 DVT 风险评估模型临床应用验证

DCA 曲线分析结果显示, 在高风险阈值 0.05 ~ 0.96 和 0.05 ~ 0.98 采用列线图模型干预, 存在净效益, 当阈值概率为 0.10 ~ 0.50 时, 模型净获益率优

于全干预或不干预策略。验证组在阈值 0.05 ~ 0.98 均显示净获益, 提示模型在不同风险偏好的临床决策场景中均具有实用价值 (见图 6)。CIC 曲线分析结果显示, 在高风险阈值 0.10 ~ 1.00 采用列线图模型对患者进行术后 DVT 风险筛查, 预测发生与

实际发生 DVT 的患者例数高度吻合, 绝对误差均 < 8 例, 相对误差 < 15%, 表明模型预测结果与实际临

床结局一致性良好。见图 7。

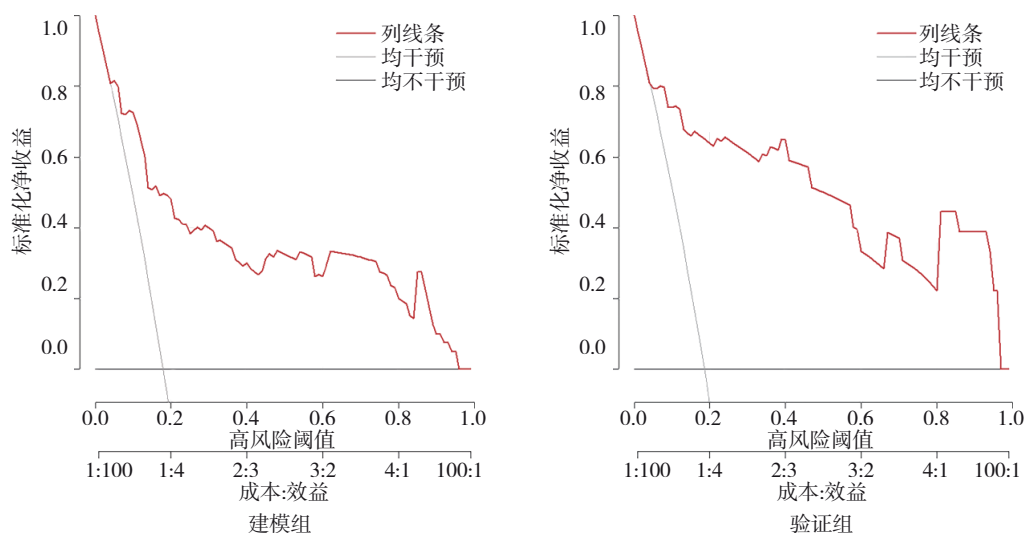


图6 老年骨折患者术后DVT风险评估模型的DCA曲线

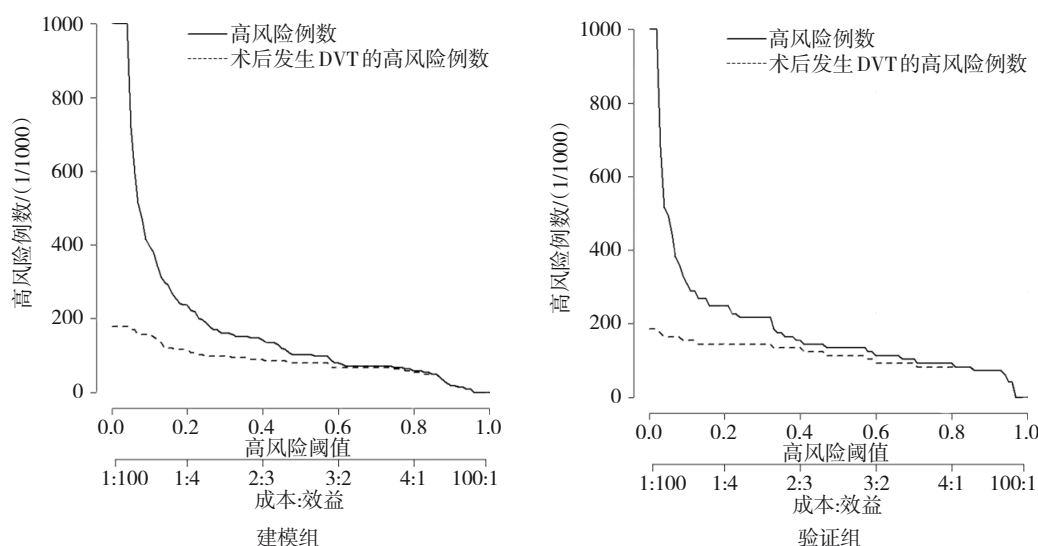


图7 老年骨折患者术后DVT风险评估模型CIC曲线

3 讨论

本研究中320例老年骨折患者术后DVT总发生率为18.13%, 与既往报道老年骨折患者术后DVT发生率为12.73%~39.52%相符^[12-14]。但不同研究报道术后DVT发生率存在一定波动性, 部分研究发生率偏高, 可能与纳入高龄、髌部骨折等高风险亚组人群有关。术后DVT严重影响骨折患者术后康复进程, 严重时危及生命, 故精准评估患者术后DVT风险, 并予以相应的干预措施, 对改善患者预后具有重要意义^[15-16]。

本研究结果中, 年龄增加、有吸烟史、发病至入院时间延长、WBC升高、ALB降低、D-D升高、FIB升高、CRP升高均为老年骨折患者术后DVT的独立危险因素。年龄增长是术后DVT公认的危险因素, 老年人生理机能减退, 血管弹性下降、静脉瓣膜功能减弱, 血流速度减缓, 易形成血液瘀滞, 相关机制已被多项临床研究证实^[17-18]。吸烟通过损伤血管内皮、促进血小板聚集、升高血液黏滞度, 增加DVT风险^[19]。发病至入院时间延长会使骨折局部组织水肿加重、静脉回流受阻, 同时激活炎症与凝血系统, 从而提高DVT发生风

险^[20]。WBC 与 CRP 升高提示机体处于创伤后炎症应激状态,炎症因子可通过调控相关信号通路促进组织因子释放,激活外源性凝血途径,同时降低抗凝物质的表达与作用,推动血液向高凝状态转化^[21]。D-D 与 FIB 是反映凝血与纤溶系统激活的核心指标,其水平升高提示体内有纤维蛋白形成与降解,是血栓形成过程中的典型生化改变^[22-23]。ALB 降低反映患者营养状况不佳,低蛋白血症可导致血浆胶体渗透压下降、组织水肿,同时影响凝血与纤溶系统平衡,促进血栓形成^[24-25]。单因素分析中手术时间、Neut、SII 等指标虽差异有统计学意义,但经 LASSO 回归筛选后被排除,主要因这些指标与纳入模型的 WBC、CRP、D-D 等存在较强共线性,LASSO 回归可在控制过拟合的同时剔除冗余变量,提升模型稳定性与简洁性。

本研究构建列线图模型经验证,具有良好的预测性能与临床适用性。建模组与验证组预测术后 DVT 的 AUC 值均>0.85,提示模型具有良好的区分度,可有效鉴别 DVT 高危与低危患者。Hosmer-Lemeshow 检验 P 值均>0.05,表明模型预测概率与实际发生概率一致性良好,模型拟合度良好。DCA 分析显示模型在宽阈值范围内具有净临床获益,CIC 分析证实预测病例数与实际病例数吻合度高,说明模型不仅预测准确,且具备临床实用价值,可辅助医生做出预防性干预决策。然而,本研究仍存在局限性:①本研究为单中心回顾性研究,样本来源单一,可能造成结果偏倚;②模型未进行外部验证,可能影响模型外部适用性。

综上所述,本研究基于多维标志物构建的老年骨折患者术后 DVT 列线图模型,预测性能优良、临床效用明确,可精准识别高危人群,为临床个体化抗凝预防提供量化参考,值得在老年骨科围手术期管理中推广应用。未来可开展多中心、前瞻性研究,纳入更多潜在变量,以进一步提高模型的预测效能。

参 考 文 献:

- [1] Bengoa F, Vicencio G, Schweitzer D, et al. High prevalence of deep vein thrombosis in elderly hip fracture patients with delayed hospital admission[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2020, 46(4): 913-917.
- [2] Zuo J, Hu Y. Admission deep venous thrombosis of lower extremity after intertrochanteric fracture in the elderly: a retrospective cohort study[J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 549.
- [3] Xie M, Zhou Z, Fei F, et al. Risk assessment models for venous thromboembolism in surgical inpatients: a multicenter retrospective cohort study[J]. *Eur J Med Res*, 2025, 30(1): 1298.
- [4] 郝敏江,付秀荣.围手术期静脉血栓栓塞症风险评估工具的研究进展[J]. *护理学杂志*, 2020, 35(5): 109-112.
- [5] Chen X, Fan Y, Tu H, et al. A nomogram model based on the systemic immune-inflammation index to predict the risk of venous thromboembolism in elderly patients after hip fracture: A retrospective cohort study[J]. *Heliyon*, 2024, 10(6): e28389.
- [6] Joseph V R. Optimal ratio for data splitting[J]. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 15: 531-538.
- [7] 中华医学会骨科学分会. 骨质疏松性骨折诊疗指南(2022 年版)[J]. *中华骨科杂志*, 2022, 42(22): 1473-1491.
- [8] 中国老年医学学会骨与关节分会创伤骨科学术工作委员会. 老年髋部骨折诊疗专家共识(2017)[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2017, 19(11): 921-927.
- [9] 国家骨科医学中心(北京积水潭医院), 中华医学会骨科学分会创新与转化学组, 中国康复医学会骨与关节康复专业委员会创伤学组, 等. 成人桡骨远端骨折诊断与治疗循证指南(2024)[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2024, 26(9): 737-753.
- [10] World Medical Association. World medical association declaration of helsinki: ethical principles for medical research involving human participants[J]. *JAMA*, 2025, 333(1): 71-74.
- [11] 中华医学会外科学分会血管外科学组. 深静脉血栓形成的诊断和治疗指南(第三版)[J]. *中国血管外科杂志(电子版)*, 2017, 9(4): 250-257.
- [12] 殷翔,刘明永,刘佰易,等.老年腰椎融合术后早期下肢深静脉血栓形成的影响因素探究[J]. *创伤外科杂志*, 2019, 21(4): 248-251.
- [13] 刘大伟,朱燕宾,王宇钊,等.老年股骨颈骨折后下肢深静脉血栓发生情况及其危险因素分析[J]. *中国中西医结合外科杂志*, 2021, 27(2): 228-232.
- [14] 古扎丽阿衣·努尔买买提,谢增如.股骨髁间骨折术后 DVT 形成的相关危险因素分析以及预测模型的建立[J]. *创伤外科杂志*, 2020, 22(2): 116-120.
- [15] 孙鹏霄,方庆,段永宏,等.股骨头坏死患者外侧入路初次全髋关节置换术后深静脉血栓形成的危险因素分析[J]. *中国现代医学杂志*, 2025, 35(5): 12-17.
- [16] 何金徽,熊晨,李文广.旋后-外旋踝关节骨折术前发生下肢深静脉血栓诱导因素的多因素一般 Logistic 回归分析模型构建及分析[J]. *中国现代医学杂志*, 2024, 34(22): 13-18.
- [17] Akriou D, Perlepe G, Kirgou P, et al. Pathophysiological aspects of aging in venous thromboembolism: an update[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2022, 58(8): 1078.
- [18] Wu B, Wang H, Li Y, et al. Age-related risk factors and manifestations in deep venous thrombosis[J]. *Phlebology*, 2026, 41(1): 39-46.
- [19] Wu X, Liu Y, Zou C, et al. Nicotine's impact on platelet function: insights into hemostasis mechanisms[J]. *Front Pharmacol*, 2025, 15: 1512142.

- [20] Taoka T, Ohmori T, Kanazawa T, et al. Delayed surgery after hip fracture affects the incidence of venous thromboembolism[J]. J Orthop Surg Res, 2023, 18(1): 630.
- [21] Ding J, Yue X, Tian X, et al. Association between inflammatory biomarkers and venous thromboembolism: a systematic review and meta-analysis[J]. Thromb J, 2023, 21(1): 82.
- [22] Liu Q, Chen L, Wang Z, et al. The role of D-dimer and fibrinogen testing in catheter-directed thrombolysis with urokinase for deep venous thrombosis[J]. Phlebology, 2023, 38(6): 389-397.
- [23] 王菁菁, 吴苏, 蔡桂兰, 等. 动脉瘤性蛛网膜下腔出血患者下肢深静脉血栓形成风险预测模型的构建与应用[J]. 实用临床医药杂志, 2024, 28(19): 95-99.
- [24] Yang S, Zhang E, Li Z, et al. Deep vein thrombosis in patients with patellar fractures: Assessing incidence rates and identifying risk factors[J]. PLoS One, 2025, 20(2): e0316628.
- [25] 桂凯红, 程中华, 黄林. 白蛋白与纤维蛋白原比值在老年髋部骨折后下肢深静脉血栓形成中的临床诊断价值[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2024, 32(2): 86-91.

(李科 编辑)

本文引用格式: 穆占全, 马少芳, 李尚文, 等. 基于多维标志物构建老年骨折患者术后深静脉血栓形成的风险评估模型及性能验证[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(18): 1-10.

Cite this article as: Mu Z Q, Ma S F, Li S W, et al. Development and validation of a predictive framework for post-surgical deep vein thrombosis risk in geriatric fracture cases utilizing multiple biomarker indicators[J]. China Journal of Modern Medicine, 2026, 36(18): 1-10.