

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.01.007

# 基于凝血功能和炎症标志物联合模型预测慢性心力衰竭并发深静脉血栓形成的价值

杨玉娜, 穆燕莉, 李洛宜

(北京中医药大学东直门医院洛阳医院 检验科, 河南洛阳 471000)

**【摘要】**目的 探讨凝血功能和炎症标志物联合模型对慢性心力衰竭 (chronic heart failure, CHF) 并发深静脉血栓形成 (deep venous thrombosis, DVT) 的预测价值。方法 选取 2020 年 2 月至 2024 年 10 月北京中医药大学东直门医院洛阳医院收治的 100 例 CHF 患者, 根据是否并发 DVT 分为血栓组 ( $n=32$ ) 和非血栓组 ( $n=68$ )。对比两组一般资料及实验室检测指标, 经多因素 Logistic 回归分析筛选独立危险因素并构建 Logistic 预测模型, 采用受试者操作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线及校准曲线评估模型效能。结果 多因素分析显示, 年龄、D-二聚体 (D-dimer, D-D)、纤维蛋白原 (fibrinogen, FIB)、C 反应蛋白 (C-reactive protein, CRP) 及降钙素原 (procalcitonin, PCT) 升高均是患者并发 DVT 的独立危险因素 (均  $P<0.05$ ); 该模型预测患者并发 DVT 的曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.965 (95%CI: 0.932~0.999); 校准曲线及 Hosmer-Lemeshow 检验显示该模型预测概率与实际观测值一致性良好, 平均绝对误差为 0.020, 校准度较高 ( $\chi^2=4.208$ ,  $P=0.616$ )。结论 基于凝血功能和炎症标志物构建的联合模型可有效预测 CHF 患者并发 DVT 的风险。

**【关键词】**慢性心力衰竭; 深静脉血栓形成; 预测模型**【中图分类号】**R541.6;R543.6**【文献标志码】**A

文章编号: 1674-1242 (2026) 01-0033-04

## The value of combined model based on coagulation function and inflammatory markers in predicting chronic heart failure complicated with deep venous thrombosis

YANG Yuna, MU Yanli, LI Luoyi

(Department of Clinical Laboratory, Luoyang Hospital, Dongzhimen Hospital, Beijing University of Chinese Medicine, Luoyang 471000, Henan, China)

**【Abstract】 Objective** To explore the predictive value of combined model of coagulation function and inflammatory markers for chronic heart failure (CHF) complicated with deep venous thrombosis (DVT). **Methods** A total of 100 patients with CHF admitted to Luoyang Hospital of Dongzhimen Hospital, Beijing University of Chinese Medicine from February 2020 to October 2024 were enrolled and divided into thrombus group ( $n=32$ ) and non-thrombus group ( $n=68$ ) according to the presence or absence of DVT. The general data and laboratory indicators of the two groups were compared. The independent risk factors were screened by multivariate analysis and the Logistic prediction model was constructed. The receiver operating characteristic (ROC) curve and calibration curve were used to evaluate the predictive performance of the model. **Results** Multivariate analysis showed that age, D-dimer(D-D), fibrinogen(FIB), C-reactive protein(CRP) and procalcitonin(PCT) elevated were independent risk factors for patients with DVT (all  $P<0.05$ ). The area under the curve (AUC) of this model for predicting patients with DVT was 0.965 (95% CI: 0.932~0.999). The calibration curve and Hosmer-Lemeshow test showed that the predicted probability of the model was in good agreement with the actual observed value, with an average absolute error of 0.020 and a high degree of calibration ( $\chi^2=4.208$ ,  $P=0.616$ ). **Conclusion** The combined model based on coagulation function and inflammatory markers can effectively predict the risk of DVT in patients with CHF.

**【Key words】**Chronic heart failure; Deep venous thrombosis; Prediction model

慢性心力衰竭 (chronic heart failure, CHF) 作为各类心血管疾病的终末期表现, 其高发病率、高入院率与高死亡率所带来的临床及社会负担日趋显著。深静脉血栓形成 (deep venous thrombosis, DVT)

是引发心力衰竭患者血管阻塞的重要诱因之一, 若未及时识别与干预, 病情可进一步进展为肺栓塞与血栓后综合征, 显著增加不良临床结局发生风险, 恶化其预后<sup>[1]</sup>。凝血功能异常是血栓形成的重要病理基

收稿日期: 2025-02-21。

作者简介: 杨玉娜, 主管技师, 研究方向: 慢性心力衰竭。E-mail: 18837955521@163.com。

础,相关指标对早期预测血栓发生风险具有重要参考价值。近年多项研究表明,DVT 的发生与发展并非单纯由凝血紊乱驱动,而是以炎症反应为核心、凝血与炎症通路相互作用的复杂病理过程所致,这使得单一凝血参数在全面评估 CHF 患者血栓风险时存在明显局限性<sup>[2]</sup>。然而,目前将凝血功能指标与炎症生物标志物系统整合,构建多维度预测模型以早期识别 CHF 患者 DVT 发生风险的研究仍相对有限。基于此,本研究拟通过分析 CHF 患者凝血及炎症相关指标的变化特征,构建凝血功能与炎症生物标志物联合预测模型,探讨其在 CHF 患者并发 DVT 风险预测中的应用价值,为临床早期干预提供参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究采用多因素分析常用经验法进行样本量估算,即样本量为自变量数的 5~10 倍。本研究共纳入 14 项自变量,同时考虑约 20% 的失访率,计算得最低所需样本量为 84~168 例。本研究实际纳入有效病例 100 例,处于上述估算范围内,该样本量可满足后续统计分析的基本要求。选取 2020 年 2 月至 2024 年 10 月北京中医药大学东直门医院洛阳医院收治的 100 例 CHF 患者,对所有患者进行持续 1 年的随访,随访截止时间为 2025 年 10 月 31 日,根据患者随访期间是否并发 DVT 分为血栓组( $n=32$ )和非血栓组( $n=68$ )。纳入标准:①符合《中国心力衰竭诊断和治疗指南 2018》中 CHF 诊断标准<sup>[3]</sup>;②并发 DVT 者符合《深静脉血栓形成的诊断和治疗指南(第三版)》的 DVT 诊断标准<sup>[4]</sup>;③患者及家属签署知情同意书。排除标准:①合并严重感染、活动性出血或凝血功能障碍;②合并恶性肿瘤、严重外伤或骨折;③有血栓病史或正在接受抗凝治疗;④失访过程中失访或中途退出者。

### 1.2 方法

(1)资料收集:通过医院电子病历系统,收集纳入患者的一般资料和实验室检测指标。其中一般资料包括:年龄、性别、吸烟史、饮酒史及合并症(糖尿病、冠心病、高血压);同时收集纳入患者入院次日的实验室检测指标,其中凝血功能指标包括凝血酶时间(thrombin time, TT)、凝血酶原时间(prothrombin time, PT)、纤维蛋白原(fibrinogen, FIB)、活化部分凝血活酶时间(activated partial

thromboplastin time, APTT)及 D-二聚体(D-dimer, D-D),炎症生物标志物包括 C 反应蛋白(C-reactive proten, CRP)及降钙素原(procalcitonin, PCT)。

(2)实验室指标:检测样本为患者入院次日清晨采集的 4 ml 空腹静脉血,离心 10 min(3800 r/min, 半径 10 cm),采用 Rayto RAC-1800 血凝仪检测 TT、PT、FIB、APTT 及 D-D。采用 HITACHI7180 测定 CRP 水平,采用罗氏 Cobas e 411 电化学发光全自动免疫分析仪测定 PCT 水平。

### 1.3 统计学方法

本研究采用 SPSS 27.0 统计软件进行数据统计分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用独立样本  $t$  检验;计数资料以例(%)表示,组间比较采用  $\chi^2$  检验。采用多因素 Logistic 回归分析筛选 CHF 患者并发 DVT 的独立危险因素,最终根据筛选出的独立危险因素构建预测模型,模型表达式为  $\log_i(P) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m$  (其中  $\beta_0$  为回归方程截距,  $\beta_1 \sim \beta_m$  为各预测变量对应的回归系数,  $X_1 \sim X_m$  为预测变量)。报告比值比(odds ratio, OR)和 95%置信区间(95% confidence interval, 95%CI)。  $P < 0.05$  表示差异具有统计学意义。通过受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线分析模型的预测效能,计算曲线下面积(area under the curve, AUC)、灵敏度及特异度;采用校准曲线及 Hosmer-Lemeshow 检验评价预测模型的校准度, Hosmer-Lemeshow 检验  $P > 0.05$  表明模型预测概率与实际观测结果具有良好的一致性。

## 2 结果

### 2.1 2 组患者临床资料单因素分析

血栓组糖尿病、高血压患者占比及年龄、D-D、FIB、CRP、PCT 水平均高于非血栓组(均  $P < 0.05$ ) (表 1)。

表 1 2 组患者临床资料单因素分析[例(%),  $\bar{x} \pm s$ ]

因素	血栓组 ( $n=32$ )	非血栓组 ( $n=68$ )	$\chi^2$	$P$
年龄(岁)	73.16±5.51	70.47±4.96	2.441	0.016
性别			0.238	0.625
男( $n=59$ )	20(62.50)	39(57.35)		
女( $n=41$ )	12(37.50)	29(42.65)		
吸烟史( $n=35$ )	14(43.75)	21(30.88)	1.584	0.208
饮酒史( $n=21$ )	8(25.00)	13(19.12)	0.454	0.501
糖尿病( $n=19$ )	10(31.25)	9(13.24)	4.589	0.032

续表 1

因素	血栓组 (n=32)	非血栓组 (n=68)	$t/\chi^2$	P
冠心病 (n=65)	22 (68.75)	43 (63.24)	0.291	0.590
高血压 (n=45)	19 (59.38)	26 (38.24)	3.929	0.048
TT (s)	13.64±2.19	14.31±2.87	1.169	0.245
PT (s)	13.06±1.84	13.42±2.03	0.852	0.397
FIB (g/L)	3.07±0.81	2.41±0.35	5.704	<0.001
APTT (s)	29.68±5.84	30.83±6.24	0.877	0.383
D-D (μg/ml)	0.36±0.13	0.21±0.08	7.097	<0.001
CRP (mg/L)	3.66±1.09	2.39±0.78	6.658	<0.001
PCT (ng/ml)	0.03±0.01	0.02±0.01	4.665	<0.001

注: TT 为凝血酶时间; PT 为凝血酶原时间; FIB 为纤维蛋白原; APTT 为活化部分凝血活酶时间; D-D 为 D-二聚体; CRP 为 C 反应蛋白; PCT 为降钙素原。

## 2.2 构建 CHF 患者并发 DVT 的多因素 Logistic 模型

以 CHF 患者是否并发 DVT 为因变量 (非血栓=0, 血栓=1), 纳入单因素分析中  $P<0.05$  的变量作为自变量, 采用多因素 Logistic 回归分析, 各变量赋值见表 2。结果显示, 年龄、D-D、FIB、CRP 及 PCT 水平升高均是患者 CHF 患者并发 DVT 的独立危险因素 (均  $P<0.05$ ) (表 3)。基于上述独立危险因素构建 Logistic 回归预测模型, 模型公式为  $\text{logit}(P) = -1.088 + 1.195 \times \text{年龄} + 1.286 \times \text{FIB} + 1.899 \times \text{D-D} + 2.074 \times \text{CRP} + 0.230 \times \text{PCT}$ 。

表 2 CHF 患者并发 DVT 的多因素 Logistic 回归分析自变量赋值情况

因素	赋值
年龄 (岁)	测量值
糖尿病	无=0; 有=1
高血压	无=0; 有=1
FIB (g/L)	测量值
D-D (μg/ml)	测量值
CRP (mg/L)	测量值
PCT (ng/ml)	测量值

注: CHF 为慢性心力衰竭; DVT 为深静脉血栓形成; FIB 为纤维蛋白原; D-D 为 D-二聚体; CRP 为 C 反应蛋白; PCT 为降钙素原。

表 3 CHF 患者并发 DVT 的多因素 Logistic 回归分析结果

因素	$\beta$	SE	Wald	OR	95%CI	P
年龄 (岁)	1.195	0.581	4.230	3.304	1.058~10.317	0.040
糖尿病	0.570	0.455	1.569	1.768	0.725~4.314	0.210
高血压	1.063	1.974	0.290	2.895	0.060~138.662	0.590
FIB (g/L)	1.286	0.516	6.211	3.618	1.316~9.948	0.013
D-D (μg/ml)	1.899	0.654	8.431	6.679	1.854~24.067	0.004
CRP (mg/L)	2.074	0.758	7.487	7.957	1.801~35.152	0.006
PCT (ng/ml)	0.230	0.086	7.153	1.259	1.063~1.490	0.007
常量	-1.088	0.306	12.642	—	—	<0.001

注: CHF 为慢性心力衰竭; DVT 为深静脉血栓形成; OR 为比值比; 95%CI 为 95%CI; FIB 为纤维蛋白原; D-D 为 D-二聚体; CRP 为 C 反应蛋白; PCT 为降钙素原。

## 2.3 预测模型评价

ROC 曲线分析结果显示, 本研究构建的 Logistic 预测模型的 AUC 为 0.965 (95%CI: 0.932~0.999), 敏感度为 0.875, 特异度为 0.956 (图 1)。校准曲线及 Hosmer-Lemeshow 检验显示, 该模型预测概率与实际观测值一致性良好, 平均绝对误差为 0.020, 校准度较高 ( $\chi^2=4.208$ ,  $P=0.616$ ) (图 2)。

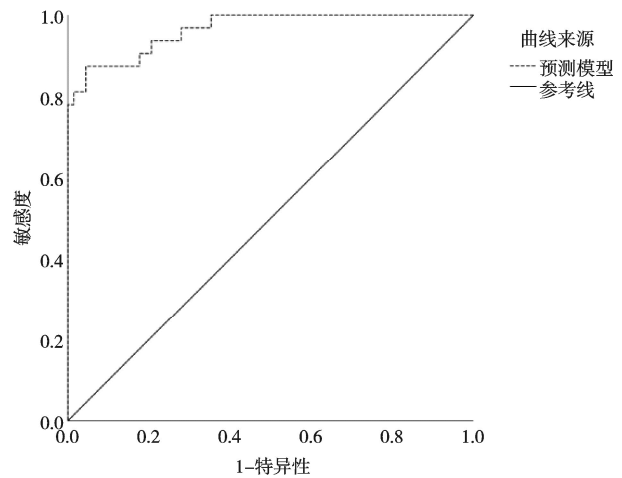


图 1 凝血功能与炎症标志物联合模型预测 CHF 患者并发 DVT 的 ROC 曲线

注: CHF 为慢性心力衰竭; DVT 为深静脉血栓形成; ROC 为受试者操作特征。

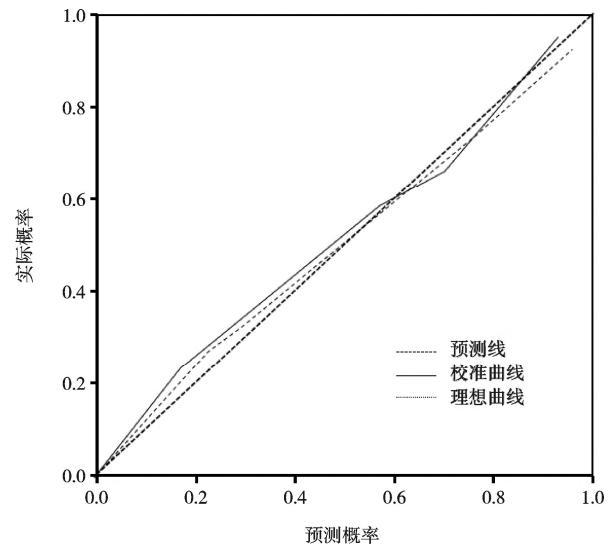


图 2 凝血功能与炎症标志物联合模型预测 CHF 患者并发 DVT 的校准曲线

注: CHF 为慢性心力衰竭; DVT 为深静脉血栓形成。

## 3 讨论

CHF 的病理生理过程复杂, 患者因心功能不同程度下降导致静脉回流受阻、血液瘀滞, 是 DVT 发

生的高危人群<sup>[5]</sup>。本研究对纳入的 CHF 患者临床基线资料及实验室检测指标进行多因素分析筛选,结果显示,D-D、FIB、CRP、PCT 水平升高及年龄增加均为 CHF 患者并发 DVT 的独立危险因素。D-D 是纤溶过程的特异性标志物,FIB 是凝血级联反应的关键物质,两者水平升高直接反映机体纤溶系统异常激活、血液黏稠度增加,进而促进血小板聚集及凝血功能增强,最终导致 DVT 发生风险增加<sup>[6]</sup>。炎症与血栓形成、进展及预后密切相关。CRP 及 PCT 均为临床常用的炎症因子,可直接刺激血管内皮细胞,诱发内皮细胞损伤及功能障碍,破坏血管内皮的抗凝屏障,进而促进血小板活化、黏附与聚集,为血栓形成奠定重要病理基础<sup>[7]</sup>。此外,CRP 还可通过激活补体系统进一步增强机体的促凝状态,PCT 的持续存在则会驱动血管性血友病因子(von Willebrand factor, vWF)释放,并通过促进中性粒细胞胞外诱捕网(neutrophil extracellular traps, NETs)的形成,直接激活血小板与内源性凝血途径,最终导致血管内高凝状态,加速 CHF 患者 DVT 的发生<sup>[8-9]</sup>。此外,高龄患者则可能因血管内皮结构与功能随年龄增长而自然衰退,血管弹性下降,且其活动能力普遍降低,加之长期卧床或活动量不足易引发下肢血流动力学改变,导致血液流速减慢、瘀滞加重,进而增加 DVT 发生风险,该结果与张彦红等<sup>[10]</sup>研究结果一致。

基于上述筛选出的独立危险因素,本研究构建了 Logistic 回归预测模型,并通过 ROC 曲线、校准曲线等方法进行效能评估。结果显示该模型预测效能较高,预测概率与实际观测值一致性良好。这一结果表明,联合凝血指标、炎症标志物及年龄的预测模型,相比单一指标更能全面反映 CHF 患者的凝血-炎症失衡状态与血管生理变化,显著提升对 DVT 发生风险的预测价值。在临床实践中,该模型可整合入电子病历系统,实现患者入院时风险自动评估,帮助医护人员快速精准识别高危个体。同时,针对高风险患者,需加强相关症状动态监测,尽早启动个体化综合干预,如使用新型口服抗凝药、他汀类药物调控炎症、配合压力袜和康复锻炼等多维度措施降低血栓发生风险<sup>[11]</sup>。本研究创新之处在于将凝

血指标与炎症标志物联合纳入同一预测模型,从凝血-炎症失衡角度系统分析 CHF 患者 DVT 的危险因素,为临床 DVT 风险评估提供了更全面的思路。同时,该模型构建所需指标均为临床常规检测项目,操作简便、成本可控,便于在基层医疗机构推广应用。

综上所述,基于凝血功能和炎症标志物构建的联合模型可有效预测 CHF 患者并发 DVT 的风险。但本研究存在一定局限性:一是作为单中心研究,本研究样本量有限,在高血压、糖尿病及吸烟史等潜在影响因素方面可能存在选择偏倚;二是未纳入久坐、卧床时间等行为学相关因素,且纳入的炎症生物标志物种类较少,可能遗漏部分关键风险信息,这在一定程度上可能会影响模型的全局性。未来仍需开展多中心、大样本研究,进一步优化模型参数,提升模型的外推性和临床应用价值。

#### 参考文献

- [1] JOLOBE OMP. Congestive heart failure, deep vein thrombosis, and SSPE[J]. *Am J Emerg Med*, 2023, 65:207.
- [2] JIN P, ZHANG Q. Predictor of deep venous thrombosis in hospitalized chronic heart failure patients[J]. *Heart Vessels*, 2024, 39(11):991.
- [3] 中华医学会心血管病学分会心力衰竭学组, 中国医师协会心力衰竭专业委员会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 中国心力衰竭诊断和治疗指南 2018[J]. *中华心血管病杂志*, 2018, 46(10):760-789.
- [4] 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]. *中华普通外科杂志*, 2017, 32(9):807-812.
- [5] YUAN J L, XIAO W K, ZHANG C Q, *et al.* Incidence and characteristic of deep venous thrombosis in hospitalized chronic heart failure patients[J]. *Heart Vessels*, 2024, 39(7):597-604.
- [6] 张健, 李勇. D-二聚体/纤维蛋白原比值与老年腰椎间盘突出患者术后下肢深静脉血栓的关系[J]. *中国老年学杂志*, 2025, 45(24):5982-5985.
- [7] 黎小艳, 应燕萍, 徐佳澳, 等. 抗阻运动调控鸮尾素促进导管相关性血栓溶解再通的研究[J]. *中国循环杂志*, 2023, 38(12):1291-1296.
- [8] 吉苗苗, 李传波, 王玥焜, 等. 两种模型预测老年慢性心力衰竭合并下呼吸道感染患者血栓形成风险的价值[J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2025, 27(7):890-894.
- [9] 余杏, 陈丽旧, 周丹霞, 等. 血清 PCT、Ang II 表达对老年脓毒症患者并发弥散性血管内凝血的预测价值[J]. *中国老年学杂志*, 2024, 44(20):4956-4960.
- [10] 张彦红, 孟英涛, 杨德艳, 等. 基于新型炎症复合评分系统构建预测宫颈癌术后下肢 DVT 形成 Nomogram 模型[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2025, 32(21):1311-1317.
- [11] 姚思成, 慈红波. 血栓性炎症与深静脉血栓形成后综合征相关研究进展[J]. *中国普通外科杂志*, 2023, 32(6):943-949.