

股骨粗隆间骨折患者PFNA术后静脉血栓风险预测模型的构建与验证

陈恕发^{1,2}, 贾晓东², 宋晓宇³, 赵 夏³, 贾培培³, 陈进利^{2*}

¹青岛大学青岛医学院, 山东 青岛

²青岛大学附属医院保膝中心, 山东 青岛

³青岛大学附属医院运动医学科, 山东 青岛

收稿日期: 2026年6月24日; 录用日期: 2026年7月18日; 发布日期: 2026年7月28日

摘 要

背景: 静脉血栓形成是股骨粗隆间骨折患者围手术期常见并发症之一, 严重者可进一步发展为肺栓塞, 影响患者术后康复及预后。近端股骨防旋髓内钉(proximal femoral nail antirotation, PFNA)是股骨粗隆间骨折常用内固定方式, 但术后静脉血栓仍较常见。目前临床对PFNA术后静脉血栓风险的评估多依赖经验判断, 缺乏简便、直观的个体化预测工具。本研究旨在筛选股骨粗隆间骨折患者PFNA术后静脉血栓发生的影响因素, 并构建列线图预测模型, 为临床早期识别高危患者提供参考。方法: 回顾性收集2020年1月至2024年12月青岛大学附属医院收治并接受PFNA内固定治疗的股骨粗隆间骨折患者449例临床资料。按照7:3比例随机分为训练集314例和验证集135例。根据术后是否发生静脉血栓分为血栓组和非血栓组。收集患者一般资料、基础疾病、围手术期资料及实验室检查指标。采用单因素及多因素Logistic回归分析筛选PFNA术后静脉血栓发生的独立影响因素, 并据此构建列线图预测模型。采用受试者工作特征曲线及曲线下面积评价模型区分能力, 采用校准曲线评价模型预测概率与实际发生概率的一致性, 并采用决策曲线分析评价模型临床应用价值。结果: 449例患者中术后发生静脉血栓92例, 总体发生率为20.49%; 其中训练集发生静脉血栓64例, 验证集发生静脉血栓28例。单因素Logistic回归分析显示, 年龄、糖尿病、脑梗死、受伤至手术时间及卧床时长与PFNA术后静脉血栓发生相关。多因素Logistic回归分析显示, 年龄(OR = 1.21, 95%CI: 1.12~1.31, $P < 0.001$)和卧床时长(OR = 1.49, 95%CI: 1.25~1.78, $P < 0.001$)是术后静脉血栓发生的独立危险因素; 无糖尿病(OR = 0.23, 95%CI: 0.12~0.46, $P < 0.001$)、无脑梗死(OR = 0.42, 95%CI: 0.21~0.86, $P = 0.017$)及受伤至手术时间 < 3 d (OR = 0.30, 95%CI: 0.16~0.59, $P < 0.001$)为保护因素。基于上述变量构建列线图预测模型。ROC曲线显示, 模型在训练集中的AUC为0.827 (95%CI: 0.769~0.885), 在验证集中的AUC为0.824 (95%CI: 0.741~0.907)。校准曲线显示, 训练集模型预测概率与实际发生概率一致性较好, 验证集中低至中等预测风险区间校准效果尚可。决策曲线显示, 训练集及验证集中模型均可在一定阈值概率范围内获得临床净获益。结论: 年龄、糖尿病、脑梗死、受伤至手术时间及卧床时长是股骨粗隆间骨折患者PFNA术后静脉血栓发生的重要影响因素。基于上述因素构建的列线图预测模型具有较好的区分能力和一定临床应用价值, 可为PFNA术后静脉血栓风险的个体化评估提供参考。

关键词

股骨粗隆间骨折, 近端股骨防旋髓内钉, 静脉血栓, 危险因素, 预测模型

*通讯作者。

文章引用: 陈恕发, 贾晓东, 宋晓宇, 赵夏, 贾培培, 陈进利. 股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后静脉血栓风险预测模型的构建与验证[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 2267-2278. DOI: 10.12677/acm.2026.1672756

Construction and Validation of a Prediction Model for Postoperative Venous Thrombosis after PFNA in Patients with Intertrochanteric Femoral Fractures

Shufa Chen^{1,2}, Xiaodong Jia², Xiaoyu Song³, Xia Zhao³, Peipei Jia³, Jinli Chen^{2*}

¹Qingdao Medical College, Qingdao University, Qingdao Shandong

²Knee Preservation Center, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

³Department of Sports Medicine, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: June 24, 2026; accepted: July 18, 2026; published: July 28, 2026

Abstract

Background: Venous thrombosis is one of the most common perioperative complications in patients with intertrochanteric femoral fractures. In severe cases, it may progress to pulmonary embolism, adversely affecting postoperative recovery and prognosis. The proximal femoral nail antirotation (PFNA) technique is a widely used internal fixation method for intertrochanteric femoral fractures; however, postoperative venous thrombosis remains relatively common. Currently, assessment of thrombosis risk after PFNA largely relies on clinical experience, and a simple and intuitive individualized prediction tool is lacking. This study aimed to identify the risk factors associated with postoperative venous thrombosis in patients with intertrochanteric femoral fractures treated with PFNA and to develop a nomogram prediction model to facilitate early identification of high-risk patients. **Methods:** Clinical data from 449 patients with intertrochanteric femoral fractures who underwent PFNA fixation at the Affiliated Hospital of Qingdao University between January 2020 and December 2024 were retrospectively collected. Patients were randomly divided into a training cohort ($n = 314$) and a validation cohort ($n = 135$) at a ratio of 7:3. According to the occurrence of postoperative venous thrombosis, patients were classified into a thrombosis group and a non-thrombosis group. Demographic characteristics, comorbidities, perioperative variables, and laboratory indicators were collected. Univariate and multivariate logistic regression analyses were performed to identify independent predictors of postoperative venous thrombosis. A nomogram prediction model was subsequently established based on the identified factors. Model discrimination was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves and the area under the curve (AUC). Calibration curves were used to assess the agreement between predicted and observed probabilities, while decision curve analysis (DCA) was performed to evaluate the clinical utility of the model. **Results:** Among the 449 patients, postoperative venous thrombosis occurred in 92 cases, yielding an overall incidence of 20.49%. Of these, 64 cases occurred in the training cohort and 28 in the validation cohort. Univariate logistic regression analysis demonstrated that age, diabetes mellitus, cerebral infarction, time from injury to surgery, and duration of bed rest were associated with postoperative venous thrombosis. Multivariate logistic regression analysis identified age ($OR = 1.21$, 95%CI: 1.12~1.31, $P < 0.001$) and duration of bed rest ($OR = 1.49$, 95%CI: 1.25~1.78, $P < 0.001$) as independent risk factors for postoperative venous thrombosis. Absence of diabetes mellitus ($OR = 0.23$, 95%CI: 0.12~0.46, $P < 0.001$), absence of cerebral infarction ($OR = 0.42$, 95%CI: 0.21~0.86, $P = 0.017$), and time from injury to surgery < 3 days ($OR = 0.30$, 95%CI: 0.16~0.59, $P < 0.001$) were identified as protective factors. A nomogram prediction model was constructed based on these variables. ROC analysis demonstrated that the model achieved an AUC of 0.827 (95%CI: 0.769~0.885)

in the training cohort and 0.824 (95%CI: 0.741~0.907) in the validation cohort. Calibration curves showed good agreement between predicted and observed probabilities in the training cohort, while acceptable calibration performance was observed in the low- to moderate-risk range of the validation cohort. Decision curve analysis indicated that the model provided a positive net clinical benefit across a range of threshold probabilities in both cohorts. Conclusions: Age, diabetes mellitus, cerebral infarction, time from injury to surgery, and duration of bed rest are important factors associated with postoperative venous thrombosis in patients with intertrochanteric femoral fractures treated with PFNA. The nomogram prediction model developed based on these factors demonstrated good discriminative performance and potential clinical utility, providing a practical tool for individualized risk assessment of postoperative venous thrombosis.

Keywords

Intertrochanteric Femoral Fracture, Proximal Femoral Nail Antirotation, Venous Thrombosis, Risk Factors, Prediction Model

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

股骨粗隆间骨折是老年髋部骨折的常见类型之一，随着人口老龄化进程加快，其发病率呈逐年上升趋势。该类患者多为高龄人群，常合并糖尿病、心脑血管疾病、骨质疏松及营养状态下降等多种基础疾病，伤后疼痛明显、活动受限，若不能及时接受有效治疗，容易出现肺部感染、压疮、泌尿系统感染及静脉血栓等并发症，严重影响患者预后[1]-[3]。目前，近端股骨防旋髓内钉(proximal femoral nail antirotation, PFNA)因具有生物力学稳定性好、创伤相对较小、固定可靠及有利于早期功能锻炼等优点，已广泛应用于股骨粗隆间骨折治疗[4] [5]。

静脉血栓形成是髋部骨折围手术期最常见并发症之一，其中以下肢深静脉血栓形成较为多见。髋部骨折患者因创伤应激、炎症反应、血管内皮损伤、术前及术后卧床、肢体制动等因素，易形成血流缓慢、血液高凝及血管壁损伤三联征，从而增加静脉血栓发生风险[6]-[10]。多数静脉血栓患者早期临床表现不典型，部分患者可无明显下肢肿胀、疼痛等症状，若未能及时发现并干预，血栓可进一步进展，甚至引起肺栓塞，危及生命[9] [10]。因此，如何在围手术期早期识别静脉血栓高危患者，并采取针对性预防措施，是骨科临床管理中的重要问题。

既往研究表明，高龄、糖尿病、脑血管疾病、手术延迟、长期卧床、D-二聚体升高及白蛋白降低等因素均可能与髋部骨折患者静脉血栓发生相关[11]-[14]。然而，单一危险因素对个体患者的预测能力有限，临床医师仅凭经验往往难以准确判断患者发生静脉血栓的综合风险。近年来，临床预测模型逐渐应用于骨科并发症风险评估。列线图可将多个危险因素整合为直观的图形化评分系统，通过计算总分估计个体发生某一临床结局的概率，具有操作简便、结果直观、临床可解释性强等优点[15] [16]。已有研究针对髋部骨折或下肢骨折患者构建了静脉血栓预测模型，但多数研究关注术前血栓或混合髋部骨折人群，针对股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后静脉血栓风险的模型仍相对不足[17]-[20]。

基于此，本研究回顾性分析 2020 年 1 月至 2024 年 12 月青岛大学附属医院收治的 449 例股骨粗隆间骨折 PFNA 术后患者资料，筛选术后静脉血栓发生的独立影响因素，并构建、验证列线图预测模型，以期临床早期识别高危患者、制定个体化血栓预防策略提供参考。

2. 方法

2.1. 研究对象

回顾性收集 2020 年 1 月至 2024 年 12 月青岛大学附属医院收治并接受 PFNA 内固定治疗的股骨粗隆间骨折患者 449 例临床资料。纳入标准：(1) 经 X 线片或 CT 检查明确诊断为股骨粗隆间骨折；(2) 接受 PFNA 内固定治疗；(3) 年龄 ≥ 18 岁；(4) 围手术期资料及静脉血栓筛查资料完整。排除标准：(1) 病理性骨折；(2) 多发伤或合并其他部位严重骨折；(3) 既往存在下肢静脉血栓或肺栓塞病史；(4) 合并恶性肿瘤、严重感染或血液系统疾病；(5) 长期抗凝治疗或凝血功能严重异常；(6) 临床资料缺失严重。按照 7:3 比例将患者随机分为训练集 314 例和验证集 135 例。训练集用于筛选危险因素并建立模型，验证集用于模型内部验证。

2.2. 观察指标

通过医院电子病历系统收集患者临床资料，包括：(1) 一般资料：年龄、性别、体质量指数、吸烟史、饮酒史；(2) 基础疾病：高血压、糖尿病、心脏病、脑梗死；(3) 围手术期资料：美国麻醉医师协会分级、麻醉方式、受伤至手术时间、手术侧别、输血情况、手术时间、术中出血量及卧床时长，其中卧床时长是指从手术结束至患者首次在指导下站立或行走的时间；(4) 实验室指标：白蛋白、血红蛋白、C 反应蛋白、红细胞沉降率及 D-二聚体水平。

2.3. 静脉血栓诊断标准

以术后是否发生静脉血栓作为研究结局。所有患者术后根据临床常规接受下肢静脉彩色多普勒超声检查。静脉血栓诊断依据超声检查结果确定。根据术后是否发生静脉血栓，将患者分为血栓组和非血栓组。

2.4. 模型构建与验证

首先在训练集中进行单因素 Logistic 回归分析，将 $P < 0.05$ 的变量纳入多因素 Logistic 回归分析，筛选 PFNA 术后静脉血栓发生的独立影响因素，并计算 OR 值及 95%CI。基于多因素 Logistic 回归分析结果构建列线图预测模型。采用 ROC 曲线及 AUC 评价模型区分能力。AUC 越接近 1，提示模型区分能力越好。采用校准曲线评价模型预测概率与实际发生概率的一致性。采用决策曲线分析评价模型在不同阈值概率下的临床净获益。随后在验证集中对模型进行内部验证。

2.5. 统计学方法

采用 R 软件进行统计学分析。连续变量经正态性检验后不符合正态分布，以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示，组间比较采用 Mann-Whitney U 检验；分类变量以例数(百分比)表示，组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。采用 Logistic 回归分析筛选 PFNA 术后静脉血栓发生的影响因素。双侧检验，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 患者一般资料

本研究共纳入 449 例股骨粗隆间骨折 PFNA 术后患者，其中术后发生静脉血栓 92 例，未发生静脉血栓 357 例，总体静脉血栓发生率为 20.49%。按照 7:3 比例分为训练集 314 例和验证集 135 例，其中训练集发生静脉血栓 64 例，验证集发生静脉血栓 28 例。

3.2. 血栓组与非血栓组临床资料比较

两组患者年龄、糖尿病、脑梗死、受伤至手术时间及卧床时长比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。血栓组患者年龄更大,合并糖尿病、脑梗死比例更高,受伤至手术时间 ≥ 3 d 比例更高,卧床时长更长。两组患者性别、体质量指数、吸烟史、饮酒史、高血压、心脏病、ASA 分级、麻醉方式、手术侧别、输血情况、手术时间、术中出血量、白蛋白、血红蛋白、C 反应蛋白、红细胞沉降率及 D-二聚体比较差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

Table 1. Comparison of clinical and laboratory parameters between patients with and without postoperative venous thromboembolism following PFNA fixation for femoral intertrochanteric fractures

表 1. 股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后静脉血栓组与非静脉血栓组临床资料比较

指标	非静脉血栓组 (n = 357 例)	静脉血栓组 (n = 92 例)	统计值	P 值
年龄(岁)	69.00 (65.00, 72.00)	71.50 (68.75, 76.00)	-5.418	<0.001
性别, 例(%)			0.932	0.334
男	170 (47.62)	49 (53.26)		
女	187 (52.38)	43 (46.74)		
BMI (Kg/m ²)	24.90 (22.30, 27.30)	24.60 (22.08, 26.95)	-0.475	0.635
吸烟史, 例(%)			1.033	0.309
有	127 (35.57)	38 (41.30)		
无	230 (64.43)	54 (58.70)		
饮酒史, 例(%)			0.604	0.437
有	128 (35.85)	29 (31.52)		
无	229 (64.15)	63 (68.48)		
高血压, 例(%)			0.032	0.858
有	167 (46.78)	44 (47.83)		
无	190 (53.22)	48 (52.17)		
糖尿病, 例(%)			17.977	<0.001
有	106 (29.69)	49 (53.26)		
无	251 (70.31)	43 (46.74)		
心脏病, 例(%)			0.395	0.530
有	105 (29.41)	24 (26.09)		
无	252 (70.59)	68 (73.91)		
脑梗死, 例(%)			10.675	0.001
有	80 (22.41)	36 (39.13)		
无	277 (77.59)	56 (60.87)		
ASA, 例(%)			3.209	0.201
2 级	165 (46.22)	41 (44.57)		
3 级	174 (48.74)	50 (54.35)		
4 级	18 (5.04)	1 (1.09)		

续表

麻醉方式, 例(%)			0.390	0.533
全身麻醉	176 (49.30)	42 (45.65)		
硬膜外麻醉	181 (50.70)	50 (54.35)		
受伤到手术时间, 例(%)			14.472	<0.001
≥3 天	107 (29.97)	47 (51.09)		
<3 天	250 (70.03)	45 (48.91)		
手术侧别, 例(%)			0.133	0.715
右	202 (56.58)	54 (58.70)		
左	155 (43.42)	38 (41.30)		
输血, 例(%)			0.230	0.631
是	122 (34.17)	29 (31.52)		
否	235 (65.83)	63 (68.48)		
手术时间(分钟)	65.00 (60.00, 70.00)	65.00 (55.00, 70.00)	-1.578	0.115
术中出血量(毫升)	135.00 (100.00, 175.00)	135.00 (95.00, 175.00)	-0.037	0.971
卧床时长(天)	8.00 (7.00, 10.00)	10.00 (8.00, 12.00)	-4.529	<0.001
白蛋白(g/L)	42.80 (40.60, 45.20)	42.65 (40.50, 45.42)	-0.033	0.974
血红蛋白(g/L)	134.00 (126.00, 142.00)	134.00 (125.00, 141.00)	-0.328	0.743
C 反应蛋白(mg/L)	3.40 (2.70, 4.10)	3.05 (2.50, 3.90)	-1.862	0.063
血沉(mm/h)	9.00 (5.00, 13.00)	9.00 (6.00, 13.00)	-0.015	0.988
D 二聚体(ng/mL)	182.00 (146.00, 214.00)	177.00 (149.25, 212.00)	-0.059	0.953

3.3. PFNA 术后静脉血栓影响因素分析

单因素 Logistic 回归分析显示, 年龄、糖尿病、脑梗死、受伤至手术时间及卧床时长与 PFNA 术后静脉血栓发生相关。进一步多因素 Logistic 回归分析显示, 年龄(OR = 1.21, 95%CI: 1.12~1.31, $P < 0.001$)和卧床时长(OR = 1.49, 95%CI: 1.25~1.78, $P < 0.001$)是 PFNA 术后静脉血栓发生的独立危险因素; 无糖尿病(OR = 0.23, 95%CI: 0.12~0.46, $P < 0.001$)、无脑梗死(OR = 0.42, 95%CI: 0.21~0.86, $P = 0.017$)及受伤至手术时间 < 3 d (OR = 0.30, 95%CI: 0.16~0.59, $P < 0.001$)为保护因素, 见表 2。

Table 2. Univariate and multivariate Logistic regression analyses of risk factors for postoperative venous thromboembolism following PFNA fixation of femoral intertrochanteric fractures

表 2. 股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后静脉血栓影响因素的单因素及多因素 Logistic 回归分析

指标	单因素分析			多因素分析		
	β	OR (95%CI)	P	β	OR (95%CI)	P
年龄	0.16	1.17 (1.09~1.25)	<0.001	0.19	1.21 (1.12~1.31)	<0.001
性别						
男		1.00 (Reference)				
女	-0.22	0.80 (0.46~1.39)	0.431			
BMI	-0.03	0.97 (0.89~1.07)	0.580			

续表

吸烟史						
有		1.00 (Reference)				
无	-0.11	0.89 (0.51~1.57)	0.694			
饮酒史						
有		1.00 (Reference)				
无	0.18	1.20 (0.66~2.15)	0.553			
高血压						
有		1.00 (Reference)				
无	-0.07	0.94 (0.54~1.62)	0.815			
糖尿病						
有		1.00 (Reference)			1.00 (Reference)	
无	-1.03	0.36 (0.20~0.63)	<0.001	-1.45	0.23 (0.12~0.46)	<0.001
心脏病						
有		1.00 (Reference)				
无	-0.01	0.99 (0.54~1.83)	0.984			
脑梗死						
有		1.00 (Reference)			1.00 (Reference)	
无	-0.77	0.46 (0.26~0.83)	0.009	-0.86	0.42 (0.21~0.86)	0.017
ASA						
2 级		1.00 (Reference)				
3 级	0.26	1.30 (0.74~2.28)	0.357			
4 级	-0.71	0.49 (0.06~4.03)	0.507			
麻醉方式						
全身麻醉		1.00 (Reference)				
硬膜外麻醉	0.33	1.39 (0.80~2.42)	0.240			
受伤到手术时间						
≥3 天		1.00 (Reference)			1.00 (Reference)	
<3 天	-0.86	0.42 (0.24~0.74)	0.002	-1.19	0.30 (0.16~0.59)	<0.001
手术侧别						
右		1.00 (Reference)				
左	-0.11	0.90 (0.51~1.57)	0.710			
输血						
是		1.00 (Reference)				
否	0.21	1.24 (0.69~2.23)	0.478			
手术时间	-0.03	0.97 (0.94~1.00)	0.067			
术中出血量	0.00	1.00 (0.99~1.01)	0.779			

续表

卧床时长	0.29	1.34 (1.16~1.55)	<0.001	0.40	1.49 (1.25~1.78)	<0.001
白蛋白	-0.02	0.98 (0.89~1.09)	0.726			
血红蛋白	-0.02	0.98 (0.95~1.01)	0.134			
C 反应蛋白	-0.27	0.77 (0.52~1.12)	0.169			
血沉	-0.03	0.97 (0.91~1.04)	0.380			
D 二聚体	0.00	1.00 (0.99~1.01)	0.740			

3.4. 列线图预测模型构建

根据多因素 Logistic 回归分析筛选出的独立影响因素，即年龄、卧床时长、糖尿病、脑梗死及受伤至手术时间，构建 PFNA 术后静脉血栓风险列线图预测模型。通过读取患者各变量对应分值并计算总分，可进一步估计患者术后发生静脉血栓的个体化风险，见图 1。

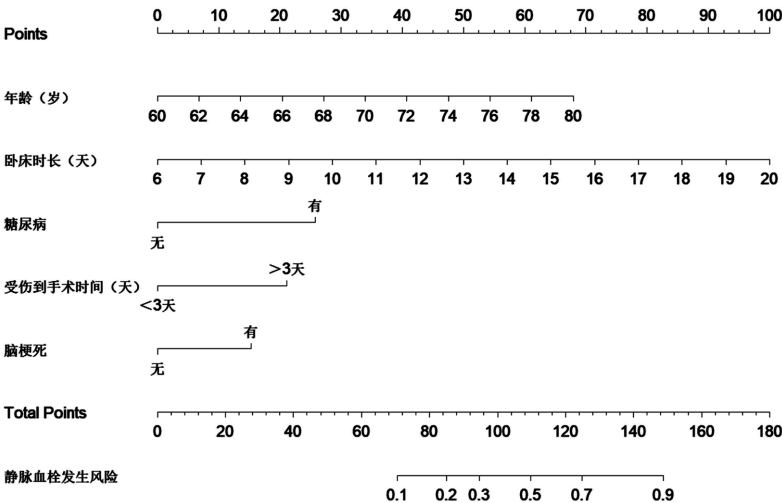


Figure 1. Nomogram for predicting postoperative venous thrombosis after PFNA in patients with intertrochanteric femoral fractures

图 1. 股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后静脉血栓风险预测列线图模型

3.5. 模型区分能力评价

ROC 曲线分析结果显示，模型在训练集中的 AUC 为 0.827 (95%CI: 0.769~0.885)，提示模型具有较好的区分能力；在验证集中的 AUC 为 0.824 (95%CI: 0.741~0.907)，提示模型在内部验证中仍保持较好的预测效能，见图 2。

3.6. 模型校准能力评价及临床应用价值评价

校准曲线显示，训练集中模型预测概率与实际发生概率一致性较好，提示模型具有良好的校准能力。验证集中模型在低至中等预测风险区间校准效果尚可，但在部分中高风险区间预测概率与实际概率存在一定偏离，提示模型仍需进一步扩大样本量并进行外部验证，见图 3。决策曲线分析显示，在训练集中，当阈值概率处于约 0.05~0.85 范围时，模型较“全部干预”和“全部不干预”策略可获得更高临床净获益；在验证集中，当阈值概率处于约 0.05~0.35 范围时，模型具有较明显净获益。提示该模型对 PFNA 术后静脉血栓风险评估具有一定临床应用价值，见图 4。

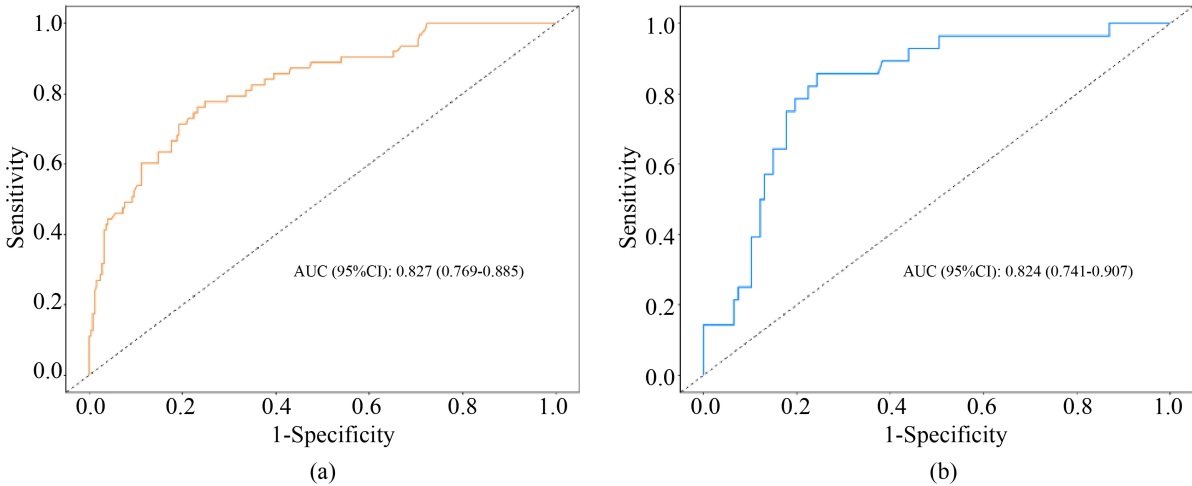


Figure 2. Receiver operating characteristic curves of the nomogram model. (a): Training cohort; (b): Validation cohort
图 2. 列线图预测模型 ROC 曲线。(a): 训练集; (b): 验证集

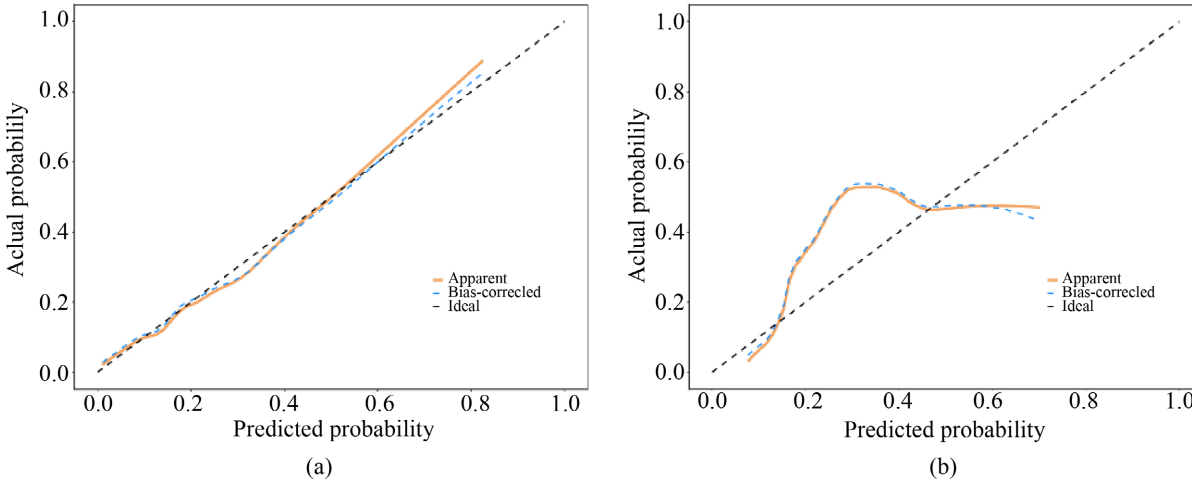


Figure 3. Calibration curves of the nomogram model. (a): Training cohort; (b): Validation cohort
图 3. 列线图预测模型校准曲线。(a): 训练集; (b): 验证集

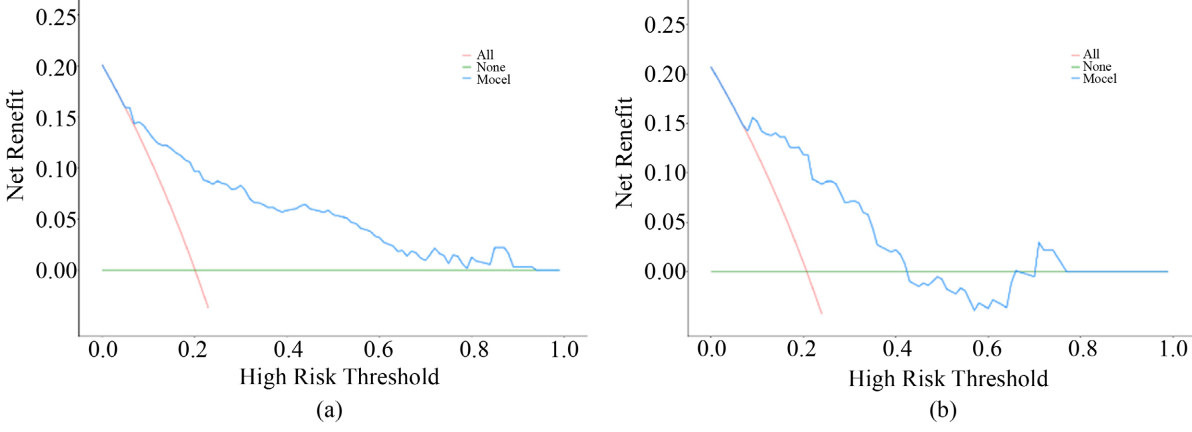


Figure 4. Decision curve analysis of the nomogram model. (a): Training cohort; (b): Validation cohort
图 4. 列线图预测模型决策曲线分析。(a): 训练集; (b): 验证集

4. 讨论

静脉血栓形成是股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后需要重点关注的并发症之一。本研究纳入 449 例接受 PFNA 治疗的股骨粗隆间骨折患者, 术后静脉血栓发生率为 20.49%, 与既往髋部骨折及下肢骨折患者静脉血栓发生率报道基本一致[6]-[8][11]。本研究进一步通过 Logistic 回归分析筛选出年龄、糖尿病、脑梗死、受伤至手术时间及卧床时长等因素, 并构建列线图预测模型。模型在训练集及验证集中 AUC 分别为 0.827 和 0.824, 提示其具有较好的区分能力。

年龄是本研究筛选出的重要危险因素。随着年龄增长, 患者血管内皮功能逐渐减退, 血管弹性下降, 凝血与纤溶系统平衡被打破, 血液更容易处于高凝状态。同时, 高龄患者常合并多种慢性疾病, 术前及术后活动能力较差, 卧床时间更长, 下肢静脉血流速度减慢, 从而增加静脉血栓形成风险。既往多项研究亦显示, 高龄是髋部骨折患者静脉血栓形成的重要危险因素[11]-[14]。本研究结果显示, 年龄每增加 1 岁, PFNA 术后静脉血栓发生风险增加, 提示临床对于高龄患者应加强围手术期血栓筛查及预防。

糖尿病也是本研究发现的重要影响因素。糖尿病患者长期处于慢性低度炎症状态, 高血糖可损伤血管内皮细胞, 促进血小板活化和凝血因子表达, 同时伴随微循环障碍和血液流变学异常, 从而增加血栓形成倾向。Xiang 等[11]针对老年股骨粗隆间骨折患者构建了术前 DVT 列线图模型, 发现糖尿病、受伤至入院时间等因素与 DVT 发生相关。本研究中, 无糖尿病患者发生静脉血栓的风险明显低于糖尿病患者, 提示合并糖尿病的股骨粗隆间骨折患者应作为 PFNA 术后静脉血栓预防的重点人群。

脑梗死病史与静脉血栓发生密切相关。既往脑梗死患者常存在肢体活动能力下降、肌力减退、偏瘫或长期活动不足等问题, 导致下肢静脉血液回流减慢; 同时脑血管疾病患者常合并动脉粥样硬化、内皮功能异常及慢性炎症状态, 均可能促进静脉血栓形成[12][13]。本研究显示, 无脑梗死患者血栓发生风险低于有脑梗死患者, 提示脑梗死病史可作为临床识别高危患者的重要指标。对于合并脑梗死的患者, 术后应在安全范围内尽早进行床旁活动、踝泵训练和机械预防, 并结合出血风险合理使用抗凝药物。

受伤至手术时间是本研究中具有临床干预意义的因素。结果显示, 受伤至手术时间 < 3 d 为保护因素。其可能原因在于, 手术延迟会延长患者术前卧床和肢体制动时间, 使下肢静脉血流淤滞加重; 同时创伤后炎症反应和高凝状态持续存在, 也会增加血栓形成风险。既往研究亦提示, 受伤至入院时间或受伤至手术时间延长与髋部骨折患者静脉血栓发生相关[14]。因此, 在积极评估和纠正贫血、电解质紊乱、心肺功能异常等可逆性因素的基础上, 应尽可能缩短术前等待时间, 促进患者早期手术和早期活动。

本研究还发现, 卧床时长是 PFNA 术后静脉血栓发生的独立危险因素。卧床时间更长通常提示患者全身情况较差、术后恢复较慢或合并更多并发症。较长卧床时间也可能伴随活动减少、卧床时间增加及炎症反应持续, 从而增加血栓形成风险。需要指出的是, 卧床时长既可能是血栓形成的危险因素, 也可能受到血栓发生后的治疗和观察影响。因此, 在解释该变量时应保持谨慎。临床上对于预计卧床时间较长或术后恢复较慢的患者, 应加强动态血栓风险评估和下肢静脉超声筛查。

本研究构建的列线图模型纳入年龄、卧床时长、糖尿病、脑梗死及受伤至手术时间等临床常规指标, 均易于获取且无需额外检查成本, 具有较好的临床实用性。近年来, 针对髋部骨折及下肢骨折患者 DVT 风险评估的研究逐渐增多。Bo 等[19]构建了髋部骨折患者术后 DVT 风险列线图模型, 验证集 AUC 达到 0.815; Han 等[20]建立了老年下肢骨折患者术后 DVT 预测模型, 同样取得较好的预测效能。与此同时, Xiang 等[11]、Jiang 等[17]及 Yao 等[18]分别针对股骨粗隆间骨折或髋部骨折患者术前 DVT 构建预测模型, 提示围手术期 DVT 风险评估具有重要临床价值。与上述研究相比, 本研究聚焦于股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后静脉血栓风险预测, 训练集 AUC 为 0.827, 验证集 AUC 为 0.824, 显示出较好的区分能力和临床应用价值。

本研究仍存在一定局限性。首先,本研究为单中心回顾性研究,可能存在选择偏倚和信息偏倚。其次,本研究仅进行了内部验证,缺乏外部验证队列,模型的泛化能力仍需进一步评估。第三,部分可能影响静脉血栓形成的因素未纳入分析,如术后抗凝方案、术后下地时间、机械预防依从性、骨折分型、术后 D-二聚体动态变化等。第四,卧床时长与静脉血栓之间可能存在一定双向关系,未来研究可进一步采用前瞻性设计明确其因果关系。后续仍需开展多中心、大样本前瞻性研究,对模型进行外部验证和优化。

其次,本研究的主要局限性还在于单中心回顾性设计,模型尚未经外部验证,尤其验证集在高风险区间(预测概率 > 0.40)校准度明显欠佳,该区间内绝对风险估计存在偏移,故模型现阶段更适用于低至中危人群的初步分层。为评估模型稳健性,本研究虽采用 Bootstrap 内部验证,结果显示乐观校正后 AUC 仅下降 0.013 (从 0.827 至 0.814),提示过度拟合风险较低,但 Bootstrap 法无法消除单中心选择偏倚及中心效应等固有混杂。理想的改进方向为开展前瞻性、多中心外部验证并依据验证结果对模型进行截距和系数校正,临床转化中将该模型视为参考工具,对于模型判定的高危患者仍需结合动态超声监测,而非机械依赖预测概率数值。

本研究还发现,卧床时长是 PFNA 术后静脉血栓发生的独立危险因素($OR = 1.49$, $95\%CI: 1.25 \sim 1.78$, $P < 0.001$),这与临床认知一致。然而,在解读该结果时,需审慎考虑潜在的因果倒置问题。卧床时长被定义为手术结束至患者首次在指导下站立或行走的时间,其长度既受患者基线体能、术后疼痛、并发症等客观因素影响,也受临床医师对血栓风险的预判和术后康复策略的主观影响。具体而言,部分患者在术后早期可能已发生亚临床下肢深静脉血栓,因肢体肿胀、疼痛或肌力恢复不佳而延迟下地活动,此时卧床时长实质上是血栓形成后临床表现的替代指标,而非单纯独立的病因学因素。因此,观察到的卧床时长延长增加血栓风险可能部分归因于已发生的血栓事件对早期活动的限制,形成恶性循环,从而高估了其因果效应。

5. 结论

年龄、糖尿病、脑梗死、受伤至手术时间及卧床时长是股骨粗隆间骨折患者 PFNA 术后静脉血栓发生的重要影响因素。基于上述因素构建的列线图预测模型具有较好的区分能力和一定临床应用价值,可为 PFNA 术后静脉血栓风险的个体化评估和早期干预提供参考。

声 明

本研究经医院医学伦理委员会批准,因本研究为回顾性研究,免除患者知情同意。

参考文献

- [1] Gullberg, B., Johnell, O. and Kanis, J.A. (1997) World-Wide Projections for Hip Fracture. *Osteoporosis International*, 7, 407-413. <https://doi.org/10.1007/pl00004148>
- [2] American Academy of Orthopaedic Surgeons (2021) Management of Hip Fractures in Older Adults: Evidence-Based Clinical Practice Guideline. American Academy of Orthopaedic Surgeons.
- [3] Alexiou, K., Roushias, A., Varitimidis, S. and Malizos, K. (2018) Quality of Life and Psychological Consequences in Elderly Patients after a Hip Fracture: A Review. *Clinical Interventions in Aging*, 13, 143-150. <https://doi.org/10.2147/cia.s150067>
- [4] Li, K., Wang, X., Liu, D., et al. (2022) Effect of Proximal Femoral Nail Antirotation on Clinical Outcome, Inflammatory Factors and Myocardial Injury Markers in Patients with Femoral Trochanteric Fracture. *American Journal of Translational Research*, 14, 4795-4803.
- [5] Wu, L., Zhang, T., Li, J., Huang, H., Zhou, C. and Li, X. (2024) Construction and Validation of a Nomogram Prediction Model for Internal Fixation Failure after Proximal Femoral Anti-Rotation Intramedullary Nailing in the Treatment of

- Intertrochanteric Fractures of the Femur. *Medicine*, **103**, e40575. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000040575>
- [6] Zhang, B., Wei, X., Huang, H., Wang, P., Liu, P., Qu, S., *et al.* (2018) Deep Vein Thrombosis in Bilateral Lower Extremities after Hip Fracture: A Retrospective Study of 463 Patients. *Clinical Interventions in Aging*, **13**, 681-689. <https://doi.org/10.2147/cia.s161191>
- [7] Xing, F., Li, L., Long, Y. and Xiang, Z. (2018) Admission Prevalence of Deep Vein Thrombosis in Elderly Chinese Patients with Hip Fracture and a New Predictor Based on Risk Factors for Thrombosis Screening. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **19**, Article No. 444. <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2371-5>
- [8] Zuo, J. and Hu, Y. (2020) Admission Deep Venous Thrombosis of Lower Extremity after Intertrochanteric Fracture in the Elderly: A Retrospective Cohort Study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **15**, Article No. 549. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-02092-9>
- [9] Zhao, K., Zhang, J., Li, J., Meng, H., Hou, Z. and Zhang, Y. (2021) Incidence of and Risk Factors for New-Onset Deep Venous Thrombosis after Intertrochanteric Fracture Surgery. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 17319. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96937-w>
- [10] Falck-Ytter, Y., Francis, C.W., Johanson, N.A., Curley, C., Dahl, O.E., Schulman, S., *et al.* (2012) Prevention of VTE in Orthopedic Surgery Patients: Antithrombotic Therapy and Prevention of Thrombosis, 9th ed: American College of Chest Physicians Evidence-Based Clinical Practice Guidelines. *Chest*, **141**, e278S-e325S. <https://doi.org/10.1378/chest.11-2404>
- [11] Xiang, G., Dong, X., Lin, S., Cai, L., Zhou, F., Luo, P., *et al.* (2023) A Nomogram for Prediction of Deep Venous Thrombosis Risk in Elderly Femoral Intertrochanteric Fracture Patients: A Dual-Center Retrospective Study. *Frontiers in Surgery*, **9**, Article 1028859. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2022.1028859>
- [12] Zhang, L., He, M., Jia, W., Xie, W., Song, Y., Wang, H., *et al.* (2022) Analysis of High-Risk Factors for Preoperative DVT in Elderly Patients with Simple Hip Fractures and Construction of a Nomogram Prediction Model. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 441. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05377-8>
- [13] Wang, T., Guo, J., Long, Y., Yin, Y. and Hou, Z. (2022) Risk Factors for Preoperative Deep Venous Thrombosis in Hip Fracture Patients: A Meta-Analysis. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **23**, Article No. 19. <https://doi.org/10.1186/s10195-022-00639-6>
- [14] Cui, X., Liu, Q., Xia, R., Liu, J., Wang, J. and Chao, A. (2024) Injury-Admission Time Is an Independent Risk Factor for Deep Vein Thrombosis in Older Patients with Osteoporotic Hip Fracture. *Medical Science Monitor*, **30**, e943587. <https://doi.org/10.12659/msm.943587>
- [15] Iasonos, A., Schrag, D., Raj, G.V. and Panageas, K.S. (2008) How to Build and Interpret a Nomogram for Cancer Prognosis. *Journal of Clinical Oncology*, **26**, 1364-1370. <https://doi.org/10.1200/jco.2007.12.9791>
- [16] Vickers, A.J. and Elkin, E.B. (2006) Decision Curve Analysis: A Novel Method for Evaluating Prediction Models. *Medical Decision Making*, **26**, 565-574. <https://doi.org/10.1177/0272989x06295361>
- [17] Jiang, J., Xing, F., Luo, R., Chen, Z., Liu, H., Xiang, Z., *et al.* (2023) Risk Factors and Prediction Model of Nomogram for Preoperative Calf Muscle Vein Thrombosis in Geriatric Hip Fracture Patients. *Frontiers in Medicine*, **10**, Article 1236451. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1236451>
- [18] Yao, W., Tang, W.Y., Wang, W., Lv, Q.M. and Ding, W.B. (2023) Development and Validation of Preoperative Proximal and Distal Lower Limb Deep Vein Thrombosis Nomograms in Geriatric Hip Fracture Patients. *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*, **27**, 10269-10283.
- [19] Bo, R., Chen, X., Zheng, X., Yang, Y., Dai, B. and Yuan, Y. (2024) A Nomogram Model to Predict Deep Vein Thrombosis Risk after Surgery in Patients with Hip Fractures. *Indian Journal of Orthopaedics*, **58**, 151-161. <https://doi.org/10.1007/s43465-023-01074-3>
- [20] Han, S., Bai, Y., Jiao, K., Qiu, Y., Ding, J., Zhang, J., *et al.* (2023) Development and Validation of a Newly Developed Nomogram for Predicting the Risk of Deep Vein Thrombosis after Surgery for Lower Limb Fractures in Elderly Patients. *Frontiers in Surgery*, **10**, Article 1095505. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1095505>