

四肢创伤后深静脉血栓形成的风险预测模型构建与临床验证

马军峰 胡小英 董玉芬

渭南职业技术学院 陕西渭南 714000

摘要: 目的: 构建并验证四肢创伤后深静脉血栓形成 (DVT) 风险预测模型; 方法: 前瞻性研究 2023 年 1 月至 2024 年 1 月期间 100 例四肢创伤患者, 随访 4 周, 通过单因素和多因素 Logistic 回归分析筛选独立危险因素, 建立评分系统并进行 ROC 曲线分析; 结果: 22 例患者 (22.0%) 发生 DVT, 发现年龄 ≥ 60 岁 (2 分)、ISS 评分 ≥ 16 分 (3 分)、制动时间 ≥ 7 天 (3 分)、糖尿病 (2 分) 及 D-二聚体 ≥ 0.5 mg/L (4 分) 为独立危险因素。模型 AUC 为 0.876, 敏感性 86.4%, 特异性 79.5%。按评分将患者分为低危 (0-3 分)、中危 (4-7 分) 和高危 (≥ 8 分) 组, DVT 发生率分别为 2.6%、21.4% 和 60.0%, 差异显著 ($P < 0.001$); 结论: 该模型可有效预测四肢创伤后 DVT 风险, 具有临床应用价值。

关键词: 四肢创伤; 深静脉血栓形成; 风险评分; 预测模型

前言

四肢创伤后深静脉血栓形成 (DVT) 是骨科临床常见的并发症, 可引发肺栓塞等致命性并发症, 严重影响患者康复及预后, 目前临床常用的 Wells 评分及 Caprini 评分对创伤患者 DVT 风险预测准确性受限, 未能充分考虑创伤特异性因素及相关生物标志物的影响, 建立针对四肢创伤患者的特异性风险预测模型具有重要临床价值^[1-2]。本研究旨在通过前瞻性研究方法, 分析四肢创伤后 DVT 发生的危险因素, 构建风险预测模型并进行临床验证, 为临床医师提供个体化 DVT 风险评估工具, 指导合理实施预防性抗凝治疗, 降低血栓相关并发症发生率。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究选取 2023 年 1 月至 2024 年 1 月期间在我院接受治疗的四肢创伤患者 100 例作为研究对象, 其中男性 58 例, 女性 42 例, 年龄 21-75 岁, 平均年龄 (46.7 \pm 12.3) 岁, 所有患者均经临床症状、体征及影像学检查确诊为四肢创伤, 包括开放性骨折 36 例, 闭合性骨折 42 例, 严重软组织损伤 22 例, 创伤后均在我院接受手术或保守治疗, 所有患者均已签署知情同意书, 本研究符合赫尔辛基宣言。纳入标准: ①年龄 ≥ 18 岁, ≤ 80 岁; ②确诊为四肢创伤并接受规范治疗; ③临床资料完整; ④患者配合随访观察。排除标准: ①既往有深静脉血栓形成史; ②入院前已使用抗凝药物; ③合并严重肝肾功能不全; ④合并恶性肿瘤; ⑤精神异常不能配

合检查; ⑥妊娠或哺乳期妇女; ⑦凝血功能障碍患者。

1.2 研究方法

采用前瞻性队列研究方法, 对所有四肢创伤患者进行系统评估和随访, 收集人口学特征、创伤相关指标及合并疾病等基线资料, 入院 24 小时内检测凝血指标, 所有患者接受常规治疗及物理预防措施, 根据情况评估预防性抗凝适应证, 随访 4 周定期进行超声检查评估 DVT 发生情况。初步筛选潜在危险因素, 采用单因素和多因素 Logistic 回归分析筛选独立危险因素。模型的 Logistic 回归方程为: $\text{logit}(P) = -3.85 + 1.118 \times (\text{年龄} \geq 60 \text{ 岁}) + 1.476 \times (\text{ISS 评分} \geq 16 \text{ 分}) + 1.625 \times (\text{制动时间} \geq 7 \text{ 天}) + 1.082 \times (\text{糖尿病}) + 1.873 \times (\text{D-二聚体} \geq 0.5 \text{ mg/L})$, 其中 P 为发生 DVT 的概率, -3.85 为常数项, 各自变量为二分类变量 (有 =1, 无 =0)。为便于临床应用, 将回归系数转换为整数分值: D-二聚体 ≥ 0.5 mg/L 记 4 分, 制动时间 ≥ 7 天记 3 分, ISS 评分 ≥ 16 分记 3 分, 年龄 ≥ 60 岁记 2 分, 糖尿病记 2 分, 总分范围 0-14 分。通过 ROC 曲线分析确定最佳截断值, 计算 AUC、敏感性和特异性, 将患者分为高、中、低危组, 采用 Bootstrap 法进行内部验证评估模型稳定性。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计分析, 计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用 t 检验或方差分析, 计数资料以例数 (百分比) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确概率法, 单因素分析筛选有统计学意义的变量纳

入多因素 Logistic 回归模型，绘制 ROC 曲线评估模型预测效能，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义，采用 R 软件绘制列线图并进行内部验证。

2 结果

2.1 研究对象 DVT 发生情况及基本特征

在 100 例四肢创伤患者中，随访期间共有 22 例患者发生深静脉血栓形成 (DVT)，发生率为 22.0%，其中症状性 DVT 8 例，无症状性 DVT 14 例，DVT 发生中位时间为创伤后 9.5 天 (3–21 天)，表 1 显示了 DVT 组与非 DVT 组患者的基本特征比较，DVT 组患者年龄 $[(53.2 \pm 11.6) \text{岁}]$ 显著高于非 DVT 组 $[(44.8 \pm 11.9) \text{岁}]$ ($P < 0.01$)，且 DVT 组患者 BMI 指数、ISS 评分、手术时间、制动时间均高于非 DVT 组，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，两组在性别、创伤类型分布方面差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。

表 1 DVT 组与非 DVT 组患者基本特征比较

特征	DVT 组 (n=22)	非 DVT 组 (n=78)	t/χ^2 值	P 值
年龄 (岁)	53.2 ± 11.6	44.8 ± 11.9	2.976	0.004
性别 (男/女)	14/8	44/34	0.422	0.516
BMI(kg/m ²)	26.8 ± 3.4	24.2 ± 3.1	3.382	0.001
ISS 评分	18.6 ± 6.5	12.3 ± 5.8	4.417	<0.001
手术时间 (min)	156.3 ± 45.7	118.5 ± 42.6	3.636	0.001
制动时间 (d)	8.7 ± 2.9	5.4 ± 2.3	5.681	<0.001

2.2 DVT 相关危险因素的单因素分析

通过单因素分析筛选可能影响 DVT 发生的临床指标及实验室指标，表 2 显示年龄 ≥ 60 岁、BMI $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ 、ISS 评分 ≥ 16 分、手术时间 ≥ 120 分钟、制动时间 ≥ 7 天、糖尿病、高血压史、D-二聚体 $\geq 0.5 \text{ mg/L}$ 及纤维蛋白原 $\geq 4.0 \text{ g/L}$ 与 DVT 发生显著相关，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，而性别、创伤类型、血小板计数、凝血酶原时间及活化部分凝血活酶时间与 DVT 发生无显著相关性 ($P > 0.05$)。

表 2 DVT 发生的单因素分析

因素	β 值	OR(95%CI)	P 值
年龄 ≥ 60 岁	1.326	3.766(1.423–9.968)	0.007
BMI $\geq 25 \text{ kg/m}^2$	1.187	3.278(1.248–8.609)	0.016
ISS 评分 ≥ 16 分	1.639	5.149(1.885–14.063)	0.001
手术时间 ≥ 120 分钟	1.421	4.142(1.565–10.961)	0.004
制动时间 ≥ 7 天	1.892	6.633(2.376–18.517)	<0.001
糖尿病	1.253	3.501(1.317–9.304)	0.012
高血压	1.098	2.998(1.139–7.889)	0.026
D-二聚体 $\geq 0.5 \text{ mg/L}$	2.014	7.493(2.628–21.358)	<0.001
纤维蛋白原 $\geq 4.0 \text{ g/L}$	1.376	3.959(1.482–10.575)	0.006

2.3 DVT 独立危险因素的多因素分析与预测模型构建

将单因素分析中 $P < 0.05$ 的因素纳入多因素 Logistic 回归分析，表 3 显示年龄 ≥ 60 岁、ISS 评分 ≥ 16 分、制动时间 ≥ 7 天、糖尿病以及 D-二聚体 $\geq 0.5 \text{ mg/L}$ 为四肢创伤后 DVT 发生的独立危险因素，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，基于多因素分析结果构建 DVT 风险预测模型，根据各因素的 β 系数赋予相应分值，建立风险评分系统，其中 D-二聚体 $\geq 0.5 \text{ mg/L}$ 得 4 分，制动时间 ≥ 7 天得 3 分，ISS 评分 ≥ 16 分得 3 分，年龄 ≥ 60 岁得 2 分，糖尿病得 2 分，总分 0–14 分。

表 3 DVT 发生的多因素 Logistic 回归分析

因素	β 值	OR(95%CI)	P 值	风险评分
年龄 ≥ 60 岁	1.118	3.058(1.053–8.877)	0.04	2
ISS 评分 ≥ 16 分	1.476	4.376(1.485–12.902)	0.007	3
制动时间 ≥ 7 天	1.625	5.078(1.687–15.285)	0.004	3
糖尿病	1.082	2.951(1.018–8.552)	0.046	2
D-二聚体 $\geq 0.5 \text{ mg/L}$	1.873	6.507(2.095–20.216)	0.001	4

2.4 风险评分系统的验证及应用

根据评分将患者分为低危组 (0–3 分, 38 例)、中危组 (4–7 分, 42 例) 和高危组 (≥ 8 分, 20 例)，表 4 显示三组 DVT 发生率分别为 2.6%(1/38)、21.4%(9/42) 和 60.0%(12/20)，组间差异具有统计学意义 ($P < 0.001$)，图 1 显示该风险评分系统 ROC 曲线分析结果，预测模型的曲线下面积 (AUC) 为 0.876(95%CI:0.805–0.947)，敏感性为 86.4%，特异性为 79.5%，阳性预测值为 52.8%，阴性预测值为 95.5%，最佳截断值为 7.5 分，Bootstrap 内部验证显示模型校准良好，列线图直观展示了各危险因素对 DVT 发生风险的贡献程度。

表 4 不同风险等级患者 DVT 发生率比较

风险等级	例数	DVT 发生例数	发生率 (%)	χ^2 值	P 值
低危组 (0–3 分)	38	1	2.6	28.726	<0.001
中危组 (4–7 分)	42	9	21.4		
高危组 (≥ 8 分)	20	12	60.0		

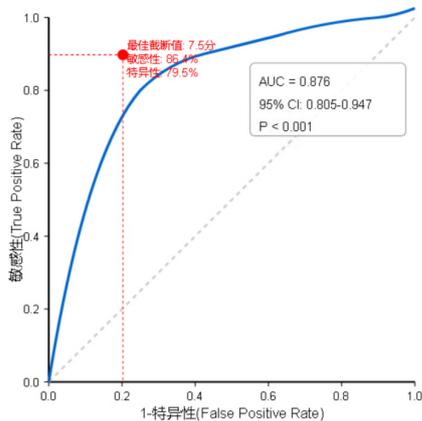


图 1: 四肢创伤后 DVT 风险预测模型的 ROC 曲线

3 讨论

四肢创伤后深静脉血栓形成 (DVT) 在骨科创伤中发生率约为 10%~63%，主要病理生理基础为 Virchow 三联征：血流淤滞、血管内皮损伤和血液高凝状态，创伤后机体炎症反应及手术制动导致凝血系统激活，临床常规使用低分子肝素等药物预防 DVT，此类药物通过抑制凝血因子 Xa 及凝血酶活性发挥作用，然而不合理使用可能增加出血风险，因此建立精准的风险评估模型对指导个体化预防具有重要临床意义^[3-5]。

本研究发现年龄 ≥ 60 岁、ISS 评分 ≥ 16 分、制动时间 ≥ 7 天、糖尿病及 D-二聚体 $\geq 0.5\text{mg/L}$ 是四肢创伤后 DVT 的独立危险因素，高龄患者血管弹性降低及内皮功能减退导致血流动力学改变，高 ISS 评分反映创伤严重程度，常伴随更强烈的炎症反应和更长卧床时间，制动时间延长直接导致下肢静脉回流障碍，糖尿病则常伴随微血管病变及高凝状

态，D-二聚体作为纤溶活性标志物反映体内凝血-纤溶系统激活程度，基于上述危险因素构建的评分系统显示良好预测效能 (AUC=0.876)，风险分层结果显示高危组 (≥ 8 分) 患者 DVT 发生率达 60.0%，显著高于中低危组，证实了该模型的临床价值。

综上，本研究构建的四肢创伤后 DVT 风险预测模型具有较高准确性和实用性，可用于早期识别高危患者并实施针对性预防措施，但研究仍存在样本量相对较小、单中心研究设计、随访时间较短等局限性，未来需要进行大样本多中心前瞻性研究进一步验证该模型，同时探索更多潜在生物标志物以提高预测准确性。

参考文献:

- [1] 邓哲. 创伤性脑损伤患者发生经外周静脉置入中心静脉导管相关性上肢深静脉血栓预测模型的构建与验证 [J]. 中华创伤杂志, 2024(6):49-50.
- [2] 苏振金. 颅脑手术后下肢深静脉血栓形成的影响因素分析及风险预测模型的构建 [D]. 长春: 吉林大学, 2024(2):23-24.
- [3] 郭一峰. Caprini 风险评估模型预测术前髌骨骨折患者深静脉血栓形成的有效性 [J]. 中华现代护理杂志, 2021(3):36-37.
- [4] 盛昌. 普通外科恶性肿瘤患者术后下肢深静脉血栓形成预测模型的构建 [J]. 中国普通外科杂志, 2023(6):50-51.
- [5] 吕梦爽. 骨科术中病人深静脉血栓发生风险预测模型的构建与验证 [J]. 护理研究, 2024(10):111-112.