

· 计算药理学 ·

数据挖掘与 Logistic 回归评估依诺肝素干预时机对高风险脑外伤静脉血栓栓塞的预防效果

杨其国, 顾天一*, 金波, 金鑫

(宁波市第六医院神经外科, 浙江 宁波 315040)

[摘要] 目的 探讨基于数据挖掘及 Logistic 回归模型评估依诺肝素干预时机对高风险脑外伤患者静脉血栓栓塞 (venous thromboembolism, VTE) 的预防效果。**方法** 回顾性分析 2022 年 1 月至 2024 年 12 月宁波市第六医院收治的 560 例高风险脑外伤患者。所有患者均接受依诺肝素干预治疗, 依据干预时间将其分为 A 组 (脑外伤后 4~5 d 干预, 254 例) 与 B 组 (脑外伤后 6~7 d 干预, 306 例), 对比 2 组基线资料及临床结局。再依据是否发生 VTE 将其分为 VTE 组 (121 例) 与无 VTE 组 (439 例), 对比 2 组基线资料及检查结果。采用 Modeler 软件进行数据挖掘, 并通过特征选择模块筛选重要指标; 采用 Logistic 回归模型分析高风险脑外伤患者发生 VTE 的影响因素, 并构建综合指数, 采用受试者操作特征曲线分析综合指数对高风险脑外伤患者发生 VTE 的预测价值。**结果** 2 组其他部位出血比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), A 组住院时间显著长于 B 组 ($P < 0.05$); A 组脑出血增加、神经功能恶化、再次手术及 VTE 发生率显著高于 B 组 ($P < 0.05$)。采用 Modeler 软件进行数据挖掘, 指标重要性评估结果显示血小板计数 (1.0000)、肢体肌力 (1.0000)、中心静脉置管 (1.0000) 是影响患者 VTE 发生率的最关键因素。体重指数、脱水剂使用、卧床时间、肢体肌力、中心静脉置管、血小板计数及干预时机是影响 VTE 的影响因素 ($P < 0.05$)。多因素 Logistic 回归分析结果显示, 肢体肌力 ≤ 3 级、有中心静脉置管及血小板计数升高是患者发生 VTE 的独立危险因素 ($P < 0.05$)。综合指数预测发生 VTE 的曲线下面积为 0.865 (95%CI: 0.825 ~ 0.904)。**结论** 过早依诺肝素干预可能会增加患者不良临床结局及 VTE 发生风险; 肢体肌力 ≤ 3 级、有中心静脉置管及血小板计数升高是患者发生 VTE 的独立危险因素, 综合指数在预测 VTE 发生方面具有较高价值。

[关键词] 依诺肝素; 高风险脑外伤; 静脉血栓栓塞; 数据挖掘; 干预时机**[中图分类号]** R973.2; R651.15**[文献标志码]** A**[文章编号]** 1001-5094 (2026) 07-0634-08

DOI: 10.20053/j.issn1001-5094.202507080525

Data Mining and Logistic Regression to Evaluate the Effect of Enoxaparin Intervention Timing on Venous Thromboembolism Prophylaxis in High-Risk Traumatic Brain Injury

YANG Qiguo, GU Tianyi, JIN Bo, JIN Xin

(Department of Neurosurgery, Ningbo Sixth Hospital, Ningbo 315040, China)

[Abstract] Objective To explore the preventive effect of enoxaparin intervention timing on venous thromboembolism (VTE) in patients with high-risk traumatic brain injury based on data mining and a Logistic regression model. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 560 high-risk traumatic brain injury patients admitted to Ningbo Sixth Hospital from January 2022 to December 2024. All patients received enoxaparin intervention. According to the intervention time, they were divided into Group A (intervention at 4–5 days after traumatic brain injury, $n = 254$) and Group B (intervention at 6–7 days after traumatic brain injury, $n = 306$). The baseline data and clinical outcomes of the two groups were compared. Based on whether VTE occurred, the patients were further divided into the VTE group ($n = 121$) and the non-VTE group ($n = 439$). The baseline data and examination findings of the two groups were compared. Modeler software was used for data mining, and the feature selection module was employed to screen important indicators. A Logistic regression model was adopted to analyze the influencing factors of VTE in high-risk traumatic brain injury patients, and a composite index was constructed. The predictive value of the composite index for VTE in high-risk traumatic brain injury patients was analyzed using the receiver operating characteristic curve. **Results** There was no statistically significant difference in bleeding at other sites between the two groups ($P > 0.05$). The length of hospital stay in Group A was significantly longer than that in Group B ($P < 0.05$). The incidences of increased intracranial hemorrhage, neurological deterioration, reoperation, and VTE in Group A were significantly higher than those in Group B ($P < 0.05$). Through data mining with Modeler software, the importance assessment of indicators showed that platelet count (1.0000), muscle strength (1.0000), and central venous catheterization (1.0000) were the most critical factors affecting the incidence of VTE in patients. Body mass index, use of dehydrating agent, duration of bed rest, muscle strength, central venous catheterization, platelet count, and intervention timing were influencing factors for VTE occurrence ($P < 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis revealed that muscle strength $\leq$ grade 3, the presence of central venous catheterization, and elevated platelet count

接受日期: 2025-09-23

*通信作者: 顾天一, 副主任医师

研究方向: 神经外科

E-mail: gty21@126.com

were independent risk factors for VTE in patients ($P < 0.05$). The area under the curve of the composite index for predicting VTE occurrence was 0.865 (95% CI: 0.825–0.904). **Conclusion** Premature intervention with enoxaparin may increase the risk of adverse clinical outcomes and VTE in patients. Muscle strength $\leq$ grade 3, the presence of central venous catheterization, and elevated platelet count are independent risk factors for VTE in patients. The composite index has a high predictive value for VTE occurrence.

[Key words] enoxaparin; high-risk traumatic brain injury; venous thromboembolism; data mining; intervention timing

静脉血栓栓塞 (venous thromboembolism, VTE) 是住院患者,尤其是高风险脑外伤患者的重要并发症,其发病率与病死率在创伤后患者中显著升高^[1]。高风险脑外伤患者因长期卧床、制动、创伤性炎症反应及凝血功能异常等,VTE的形成风险显著增加,而VTE的发生可能进一步导致肺栓塞、深静脉血栓形成后综合征等严重后果,甚至危及生命^[2]。依诺肝素作为一种低分子肝素类药物,能够有效阻断血栓形成的关键环节,已被逐渐应用于VTE的预防与治疗^[3]。然而,关于依诺肝素在高风险脑外伤患者中的最佳干预时机,目前尚缺乏明确共识^[4]。用药过早可能增加出血风险,用药过晚则可能延误预防效果,导致VTE发生率升高^[5]。随着医疗大数据技术的快速发展,数据挖掘与机器学习方法在医学研究中的应用日益广泛^[6]。通过对大量临床数据进行深度分析,可以挖掘出影响疾病发生、发展的关键因素,为临床决策提供科学依据。基于此,本研究通过探讨基于数据挖掘及Logistic回归模型评估依诺肝素干预时机对高风险脑外伤患者VTE的预防效果,为临床提供指导。现将研究结果报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究回顾性地纳入2022年1月至2024年12月宁波市第六医院收治的560例高风险脑外伤患者,于2025年启动病例资料调取和数据分析工作;研究方案经医院伦理委员会审批(批号:甬六医伦审2025论第40号),伦理委员会准予豁免患者知情同意。

根据样本量估算公式: $N = Z_{\alpha/2}^2 P(1-P)/\delta^2$, 其中,统计学专家建议通常取 $\alpha = 0.05$,查正态分布界值表可得 $Z_{\alpha/2} = 1.96$,通过查阅文献及专家意见^[4],VTE发生率约为 $P = 0.40$,确定允许误差 $\delta = 0.070$,计算得: $N \approx 189$ 。纳入570例样本,符合最少样本量纳入标准;中途有10例脱落,故最终为560例。

纳入标准:①符合高风险脑外伤诊断标准^[7],且经影像学确诊;②年龄 > 18 岁;③手术于伤后24 h内进行;④接受依诺肝素进行VTE预防干预治疗;⑤Caprini评分 ≥ 5 分^[8],为VTE极高危组;⑥

临床资料完整。排除标准:①因外伤导致其他部位(如消化道、泌尿系统等)出现严重且难以通过常规手段控制的出血;②入院时即通过影像学检查等手段确诊存在VTE;③长期使用抗凝药物或抗血小板药物;④合并严重心、肝、肾功能不全或恶性肿瘤;⑤伴有其他严重躯体疾病或精神障碍;⑥对肝素类药物存在过敏反应,或有肝素诱发血小板减少症病史;⑦预防VTE干预时间 < 4 d 或 > 7 d;⑧存在凝血功能异常;⑨预期在7 d内死亡或出院;⑩妊娠或哺乳期妇女。依据干预时间将其分为A组(脑外伤后4~5 d干预)254例以及B组(脑外伤后6~7 d干预)306例,2组基线资料均衡可比($P > 0.05$),见表1。

1.2 方法

1.2.1 VTE诊断标准 VTE包括深静脉血栓形成与肺栓塞。①深静脉血栓形成^[9]:依据血栓解剖部位可分为中央型、周围型和混合型。中央型血栓累及髂总静脉、髂外静脉、髂内静脉及股静脉段;周围型血栓位于腘静脉以下小腿深静脉、肌间静脉;混合型血栓累及全下肢静脉系统。临床确诊主要依靠下肢静脉超声,结合D-二聚体、临床概率评分综合判断。②肺栓塞^[10]:CT肺动脉造影显示肺动脉分支腔内充盈缺损、完全闭塞;核素肺通气/灌注显像显示呈肺叶、肺段分布的灌注缺损,与通气显像不匹配;肺动脉造影直接显示腔内充盈缺损或血管截断。临床表现为不明原因呼吸困难、胸痛、咯血、低氧血症、心动过速,重症可出现血流动力学不稳定甚至猝死。临床需结合D-二聚体升高、超声心动图提示右心负荷增高等辅助指标综合评估,诊断过程中需排除空气栓塞、脂肪栓塞综合征等其他肺动脉阻塞疾病。

1.2.2 分组依据 ①依据干预时间将其分为A组(脑外伤后4~5 d干预)254例以及B组(脑外伤后6~7 d干预)306例。②依据是否发生VTE再将其分为VTE组(121例)及无VTE组(439例)。

1.2.3 资料收集 查阅医院电子病历系统,收集患者入院时记录的相关人口学资料及临床资料,具体包括:性别、年龄、体重指数(body mass index, BMI)、受伤至入院时间、吸烟史、饮酒史、脊柱骨折、下肢骨折、手术方式、入院格拉斯哥昏迷评分

(Glasgow Coma Scale, GCS)、脑外伤类型、脱水脉置管、白细胞计数、血小板计数、血红蛋白、总胆固
剂使用、干预时机、卧床时间、肢体肌力、中心静胆固醇及甘油三酯。

表 1 2 组基线资料比较

组别	n	性别/例 (%)		年龄/岁 ($\bar{x} \pm s$)	BMI/kg·m ⁻² ($\bar{x} \pm s$)	受伤至入院 时间/min ($\bar{x} \pm s$)	吸烟史/例 (%)		饮酒史/例 (%)	
		男	女				有	无	有	无
A 组	254	155 (61.02)	99 (38.98)	62.50 ± 6.34	22.38 ± 1.98	108.65 ± 15.21	79 (31.10)	175 (68.90)	83 (32.68)	171 (67.32)
B 组	306	178 (58.17)	128 (41.83)	62.33 ± 6.20	22.29 ± 2.00	109.60 ± 14.39	91 (29.74)	215 (70.26)	101 (33.01)	205 (66.99)
<i>t/χ²</i>		0.469		0.326	0.520	0.759	0.122		0.007	
<i>P</i>		0.493		0.745	0.603	0.448	0.727		0.934	

组别	n	脊柱骨折/例 (%)		下肢骨折/例 (%)		手术方式/例 (%)		入院 GCS /分 ($\bar{x} \pm s$)	脑外伤类型/例 (%)	
		有	无	有	无	单纯颅内 压监测术	开颅手术		闭合性	开放性
A 组	254	47 (18.50)	207 (81.50)	25 (9.84)	229 (90.16)	62 (24.41)	192 (75.59)	7.37 ± 2.30	209 (82.28)	45 (17.72)
B 组	306	63 (20.59)	243 (79.41)	39 (12.75)	267 (87.25)	59 (19.28)	247 (80.72)	7.48 ± 2.43	256 (83.66)	50 (16.34)
<i>t/χ²</i>		0.382		1.155		2.155		0.564	0.187	
<i>P</i>		0.537		0.282		0.142		0.573	0.666	

BMI: 体重指数; GCS: 格拉斯哥昏迷评分

1.2.4 检查及治疗方法 患者入院后, 常规开展 VTE 筛查。若患者出现 VTE 相关的临床症状和 (或) 体征, 则采用下肢多普勒超声检查和 (或) CT 肺动脉造影进行确诊。在无禁忌证的情况下, 常规应用间歇充气加压装置 (每次 2 h, 每日 6 ~ 8 次) 以预防 VTE。患者入院时进行 GCS 评估, 病情稳定后予以预防性抗凝治疗, 抗凝 3 d 后常规复查头颅 CT。若 GCS 分值较前下降 ≥ 2 分或有新发神经功能缺陷, 则需立即复查 GCS 和头颅 CT, 评估颅内脑出血是否增加及是否需要再次手术。再次手术患者待病情稳定后重新开始抗凝治疗。

在抗凝治疗方面, 所有患者均采用依诺肝素钠注射液 (辰欣药业股份有限公司, 国药准字 H20223799, 规格为 0.4 mL : 4000 AXaIU) 进行 VTE 预防。根据患者血栓风险分层确定初始剂量, 后续根据患者的体重、肾功能及凝血功能等指标调整依诺肝素剂量, 按常规剂量皮下注射, 每日 1 ~ 2 次。

记录治疗期间临床结局, 包括住院时间、脑出血增加、其他部位出血、神经功能恶化、再次手术及 VTE 发生率。

1.3 统计学方法

将数据录入 Excel 2010 表格中, 通过 SPSS 22.0 软件进行分析。符合正态分布的计量资料用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间用独立样本 *t* 检验, 组内用配对 *t* 检验; 计数资料用例 (%) 表示, 行 χ^2 检验。采用 Modeler 软件中自动分类器模块进行数据挖掘, 选定研究数据进行数据类型筛选, 并通过特征选择模块筛选重要指标, 采用 Logistic 回归模型分析高风险脑外伤发生 VTE 的影响因素, 并构建综合指数, 采用受试者操作特征曲线 (receiver operating characteristic curve, ROC curve) 分析综合指数预测高风险脑外伤患者发生 VTE 的预测价值。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 临床结局

2 组其他部位出血之间比较差异无统计学意义 (*P* > 0.05), A 组住院时间显著长于 B 组 (*P* < 0.05); A 组脑出血增加、神经功能恶化、再次手术及 VTE 发生率显著高于 B 组 (*P* < 0.05), 见表 2。

表 2 2 组临床结局比较

组别	n	住院时间/d ($\bar{x} \pm s$)	脑出血增加/例 (%)	其他部位出血/例 (%)	神经功能恶化/例 (%)	再次手术/例 (%)	VTE 发生/例 (%)
A 组	254	16.24 ± 2.53	42 (16.54)	13 (5.12)	47 (18.50)	9 (3.54)	67 (26.38)
B 组	306	11.41 ± 2.53	17 (5.56)	11 (3.59)	32 (10.46)	2 (0.65)	54 (17.65)
<i>t/χ²</i>		22.523	17.752	0.785	7.416	6.018	6.246
<i>P</i>		< 0.001	< 0.001	0.376	0.006	0.014	0.012

2.2 影响 VTE 发生率的数据挖掘

采用 Modeler 软件中自动分类器模块进行数据挖掘, 选定研究数据进行数据类型筛选, 并通过特征选择模块筛选重要指标, 以是否发生 VTE 为目标变量, 将患者所有基线及基础指标作为输入变量, 全部纳入模型进行指标重要性评估 (以 > 0.95 为重要, < 0.90 为不重要), 评估结果如表 3 所示。由此可以看出, 血小板计数 (1.0000)、肢体肌力 (1.0000)、中心静脉置管 (1.0000) 是影响患者 VTE 发生率的最关键的因素。

使用自动分类器模块, 以患者是否发生 VTE 为结局变量, 纳入所有基线及基础指标等变量进行数据挖掘, 筛选并构建 Bayesian 网络、Logistic 回归及人工神经网络 3 个模型, 准确率分别为 93.214%、91.964% 及 91.071%。Bayesian 网络模型如图 1, 人工神经网络模型如图 2。

2.3 患者发生 VTE 单因素分析

2 组 BMI、脱水剂使用、卧床时间、肢体肌力、中心静脉置管、血小板计数及干预时机是发生 VTE 的影响因素 ($P < 0.05$), 见表 4。

2.4 患者发生 VTE 多因素 Logistic 回归模型分析

基于数据挖掘得出 Logistic 回归准确率为 91.964%。因此, 将是否发生 VTE 作为因变量, 将 BMI、脱水剂使用、卧床时间、肢体肌力、中心静脉置管、血小板计数及干预时机作为自变量, 纳入多因素 Logistic 回归分析。结果显示, 肢体肌力 ≤ 3 级、有中心静脉置管及血小板计数升高是患者发生 VTE 的独立危险因素 ($P < 0.05$), 见表 5。

表 3 VTE 发生率的相关影响因素的重要性检验结果

序号	字段	测量	重要性	值
1	血小板计数	连续	重要	1.0000
2	肢体肌力	名义	重要	1.0000
3	中心静脉置管	名义	重要	1.0000
4	住院时间	连续	重要	0.9966
5	脱水剂使用	名义	重要	0.9936
6	干预时机	名义	重要	0.9876
7	卧床时间	名义	重要	0.9846
8	年龄	连续	边际	0.9148
9	脑出血增加	名义	不重要	0.8450
10	甘油三酯	连续	不重要	0.8387
11	性别	名义	不重要	0.7941
12	脑外伤类型	名义	不重要	0.7789
13	下肢骨折	名义	不重要	0.6939
14	脊柱骨折	名义	不重要	0.5256
15	神经功能恶化	名义	不重要	0.4585
16	饮酒史	名义	不重要	0.4533
17	总胆固醇	连续	不重要	0.2567
18	手术方式	名义	不重要	0.1690
19	入院 GCS	连续	不重要	0.1471
20	受伤至入院时间	连续	不重要	0.1134
21	吸烟史	名义	不重要	0.0477

注: BMI、血红蛋白及白细胞计数变异系数低于阈值; 再次手术、其他部位出血单个类别过大

2.4 患者发生 VTE 的 ROC 预测价值分析

基于多因素 Logistic 回归结果, 构建综合指数 (LogitP), 将其纳入 ROC 曲线分析, 其预测发生 VTE 的曲线下面积 (area under the curve, AUC) 为 0.865 (95%CI: 0.825 ~ 0.904), 具有较高的预测价值, 见图 3。

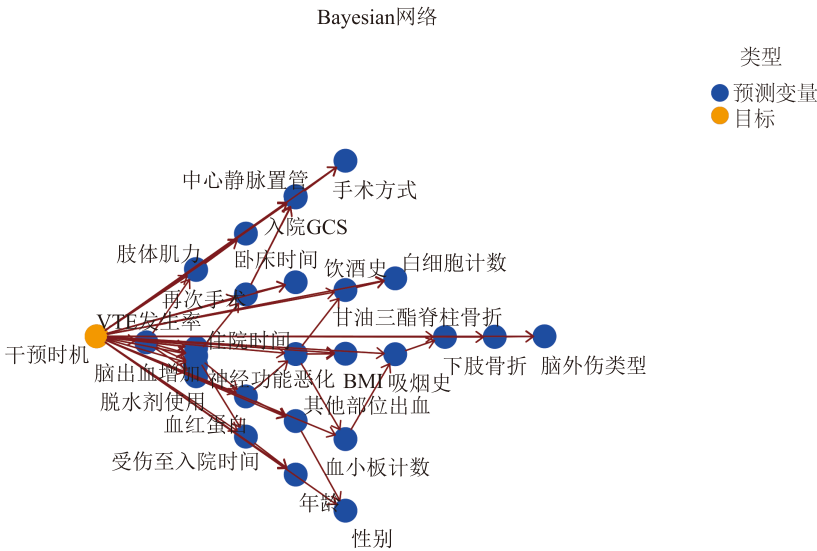


图 1 患者发生 VTE 影响因素 Bayesian 模型结构图

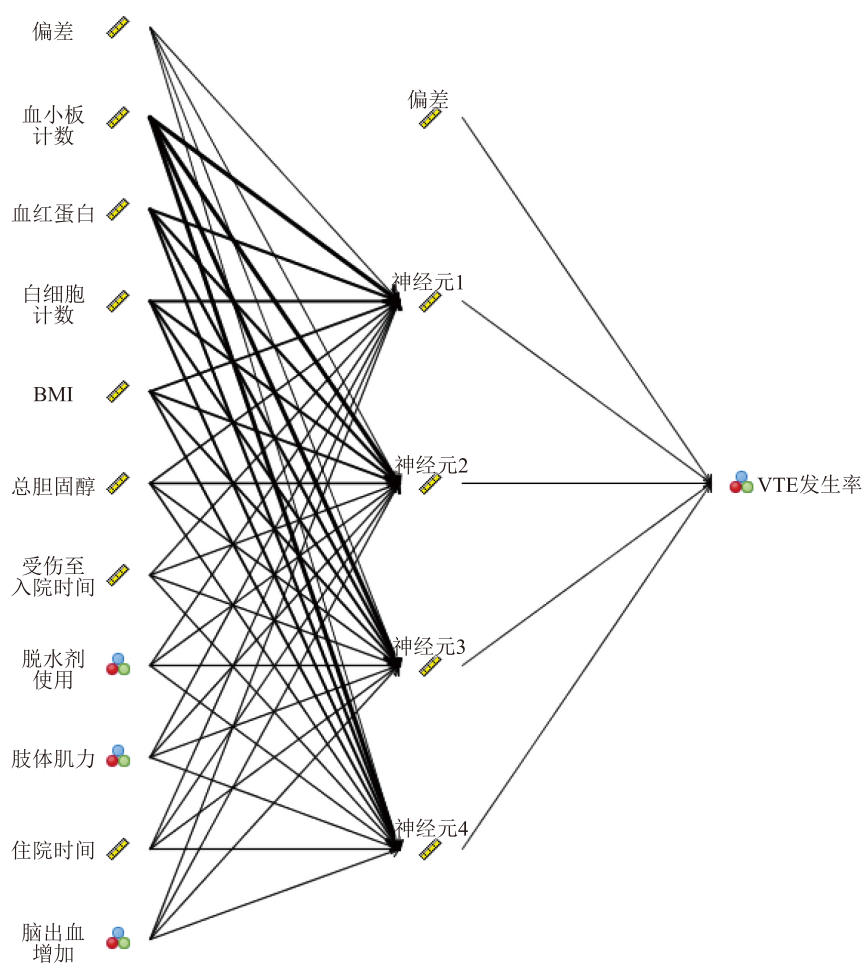


图2 患者发生VTE影响因素人工神经网络模型结构图

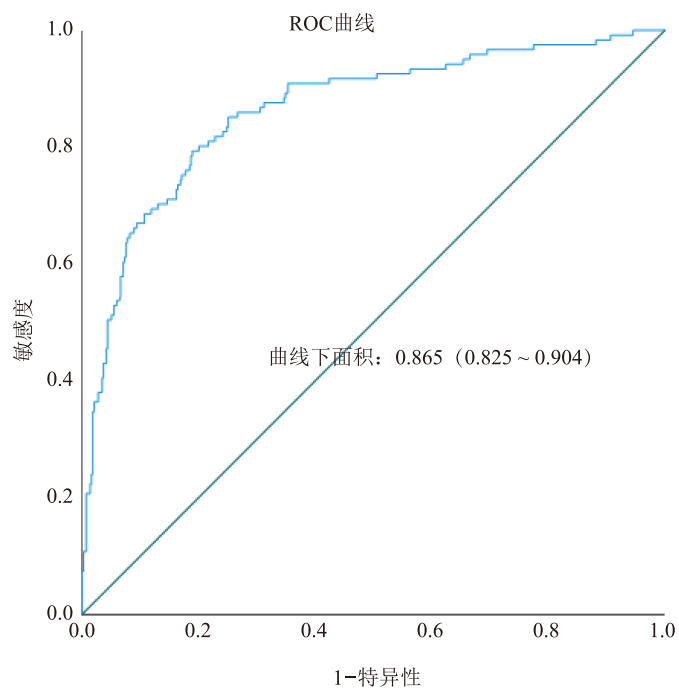


图3 发生VTE的ROC预测价值分析图

表 4 发生 VTE 单因素分析

项目	VTE 组 (n = 121)	无 VTE 组 (n = 439)	t/χ^2	P
性别/例 (%)			1.600	0.206
男	78 (64.46)	255 (58.09)		
女	43 (35.54)	184 (41.91)		
年龄/岁 ($\bar{x} \pm s$)	63.27 $\pm$ 6.89	62.17 $\pm$ 6.06	1.724	0.085
BMI/kg·m ⁻² ($\bar{x} \pm s$)	23.21 $\pm$ 2.22	22.09 $\pm$ 1.85	5.635	< 0.001
受伤至入院时间/min ($\bar{x} \pm s$)	109.00 $\pm$ 16.44	109.22 $\pm$ 14.29	0.143	0.887
吸烟史/例 (%)				
有	37 (30.58)	133 (30.30)	0.004	0.952
无	84 (69.42)	306 (69.70)		
饮酒史/例 (%)				
有	37 (30.58)	147 (33.49)	0.363	0.547
无	84 (69.42)	292 (66.51)		
脊柱骨折/例 (%)				
有	21 (17.36)	89 (20.27)	0.512	0.474
无	100 (82.64)	350 (79.73)		
下肢骨折/例 (%)				
有	17 (14.05)	47 (10.71)	1.048	0.306
无	104 (85.95)	392 (89.29)		
手术方式/例 (%)				
单纯颅内压监测术	27 (22.31)	94 (21.41)	0.046	0.831
开颅手术	94 (77.69)	345 (78.59)		
入院 GCS/分 ($\bar{x} \pm s$)	7.40 $\pm$ 2.42	7.44 $\pm$ 2.36	0.186	0.853
脑外伤类型/例 (%)				
闭合性	96 (79.34)	369 (84.05)	1.498	0.221
开放性	25 (20.66)	70 (15.95)		
脱水剂使用/例 (%)				
有	99 (81.82)	304 (69.25)	7.428	0.006
无	22 (18.18)	135 (30.75)		
卧床时间/例 (%)				
≥ 7 d	71 (58.68)	203 (46.24)	5.871	0.015
< 7 d	50 (41.32)	236 (53.76)		
肢体肌力/例 (%)				
≤ 3 级	62 (51.24)	113 (25.74)	28.708	< 0.001
> 3 级	59 (48.76)	326 (74.26)		
中心静脉置管/例 (%)				
有	65 (53.72)	146 (33.26)	16.913	< 0.001
无	56 (46.28)	293 (66.74)		
白细胞计数/ $\times 10^9 \cdot L^{-1}$ ($\bar{x} \pm s$)	147.65 $\pm$ 5.37	148.51 $\pm$ 5.18	1.604	0.109
血小板计数/ $\times 10^9 \cdot L^{-1}$ ($\bar{x} \pm s$)	181.54 $\pm$ 21.54	155.39 $\pm$ 17.31	13.915	< 0.001
血红蛋白/g·L ⁻¹ ($\bar{x} \pm s$)	128.34 $\pm$ 4.21	129.11 $\pm$ 4.08	1.825	0.068
总胆固醇/mmol·L ⁻¹ ($\bar{x} \pm s$)	5.73 $\pm$ 1.11	5.69 $\pm$ 1.21	0.328	0.743
甘油三酯/mmol·L ⁻¹ ($\bar{x} \pm s$)	2.87 $\pm$ 0.61	2.79 $\pm$ 0.54	1.403	0.161
干预时机/例 (%)				
4 ~ 5 d	67 (55.37)	187 (42.60)	6.246	0.012
6 ~ 7 d	54 (44.63)	252 (57.40)		

表 5 发生 VTE 多因素 Logistic 回归模型分析

项目	β	SE	Wald χ^2	P	OR	95%CI	
						下限	上限
常量	-13.275	1.758	57.032	< 0.001			
BMI	-0.165	0.086	3.698	0.054	0.848	0.717	1.003
脱水剂使用 (有)	0.530	0.324	2.682	0.102	1.700	0.901	3.207
卧床时间 (≥ 7 d)	0.363	0.265	1.878	0.171	1.438	0.855	2.418
肢体肌力 (≤ 3 级)	1.021	0.274	13.859	< 0.001	2.777	1.622	4.754
中心静脉置管 (有)	0.849	0.263	10.379	0.001	2.337	1.394	3.916
血小板计数	0.086	0.010	77.756	< 0.001	1.089	1.069	1.110
干预时机 (4~5 d)	0.018	0.276	0.004	0.948	1.018	0.592	1.749

3 讨论

高风险脑外伤患者病情复杂，常并存机体高凝状态、肢体活动受限等多重危险因素，VTE 发生风险显著升高^[11]。VTE 不仅会增加患者的痛苦，还可诱发肺栓塞等严重并发症，极大地影响患者的预后、延缓康复进程^[12]。传统 VTE 评估方法往往依赖于临床经验和有限的检验指标，难以全面、精准地分析依诺肝素干预时机与 VTE 预防效果之间的复杂关系^[13]。数据挖掘技术能够从海量的临床数据中挖掘出潜在的模式和规律，发现隐藏在数据中的有价值信息。Logistic 回归模型则可以量化各变量对 VTE 发生的影响，结合不同抗凝干预时机下患者的各项指标，建立预测模型，从而更准确地评估依诺肝素的干预效果。

本研究结果表明，A 组住院时间显著长于 B 组，且 A 组脑出血增加、神经功能恶化、再次手术及 VTE 发生率均显著高于 B 组 ($P < 0.05$)。分析其原因可能是过早使用依诺肝素进行干预时，患者身体状态尚未平稳，凝血系统仍呈高激活状态，过早抗凝治疗易增加出血风险，延缓机体修复进程，进而延长住院周期，提升各类不良临床结局的发生概率。Johnson 等^[14]的研究同样指出，在特定疾病状态下，过早抗凝干预可能会增加脑出血等并发症的发生风险，与本研究结果一致。通过数据挖掘发现，血小板计数、肢体肌力、中心静脉置管是影响患者 VTE 发生率的最关键因素。血小板计数过高可能意味着血液处于高凝状态，增加血栓形成风险。肢体肌力 ≤ 3 级患者，由于活动能力受限，下肢静脉回流受阻；中心静脉置管则可能对血管内皮造成损伤，同时干扰血液的正常流动，从而增加 VTE 的发生概率。Coaston 等^[15]的研究也表明，血小板计数、肢体活动能力以及血管内皮损伤等因素与 VTE 的发生

密切相关，进一步支持了本研究的发现。单因素分析结果显示，BMI、脱水剂使用、卧床时间、肢体肌力、中心静脉置管、血小板计数及干预时机是发生 VTE 的影响因素 ($P < 0.05$)。BMI 较高的患者可能存在代谢紊乱等问题，影响血液的流动性和凝血功能；脱水剂使用可能导致血液浓缩，增加血栓形成的风险；卧床时间过长会使下肢静脉回流不畅，而干预时机不同也显著影响 VTE 的发生，过早干预可能增加 VTE 发生风险。吴相伟等^[16]在探讨 VTE 的影响因素时，同样发现 BMI、卧床时间等因素与 VTE 的发生存在关联。多因素 Logistic 回归分析显示，肢体肌力 ≤ 3 级、有中心静脉置管及血小板计数升高是患者发生 VTE 的危险因素 ($P < 0.05$)。肌力差的患者肢体活动少，静脉回流受阻；中心静脉置管对血管的损伤和血流动力学的影响；血小板计数升高导致的高凝状态，这些因素共同作用，可能显著增加 VTE 的发生风险。通过构建综合指数预测 VTE 发生的 AUC 为 0.865 (95%CI: 0.825 ~ 0.904)，具有较高的预测价值。表明通过多因素 Logistic 回归模型筛选出的危险因素能够较为准确地预测 VTE 的发生，为临床早期识别高风险患者提供有效的工具。李翠芳等^[17]同样采用回归模型构建方法对 VTE 进行预测，取得较好的预测效果，进一步验证了本研究的预测模型的可靠性。

综上所述，过早予以依诺肝素干预可能增加不良临床事件及 VTE 发生风险；肢体肌力 ≤ 3 级、有中心静脉置管及血小板计数升高是脑外伤患者发生 VTE 的独立危险因素，本研究构建的综合指数对 VTE 发生具有较高预测价值。然而，本研究仍存在一定的局限性，例如随访时间较短、样本量有限且未能完全校正部分潜在混杂变量，上述因素均可能对研究结论造成偏倚。未来，期待开展更大规模、

更长随访时间的随机对照试验,进一步探讨数据挖掘及 Logistic 回归模型的临床应用前景,验证依诺肝素

不同干预时机的获益与安全风险,为高风险脑外伤患者 VTE 的预防和治疗提供更可靠的循证医学证据。

【参考文献】

- [1] Wu Y T, Chien C Y, Matsushima K, *et al.* Early venous thromboembolism prophylaxis in patients with trauma intracranial hemorrhage: analysis of the prospective multicenter Consortium of Leaders in Traumatic Thromboembolism study [J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2023, 95(5): 649-656.
- [2] 赵小雪,唐慧娟,蒋慧娟,等.联合干预对脑外伤患者住院期间下肢深静脉血栓的影响[J].*血管与腔内血管外科杂志*, 2025, 11(1): 127-130, 144.
- [3] Cho Y W, Scrushy M, Zhu M, *et al.* Early administration of high dose enoxaparin after traumatic brain injury[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2023, 49(5): 2295-2303.
- [4] 洪智勇,楼小华.依诺肝素钠预防急性肾损伤并CRRT患者深静脉血栓的效果[J].*浙江临床医学*, 2022, 24(10): 1504-1506.
- [5] Atallah S, Lee B J, Lo A, *et al.* Balancing safety and efficacy: assessment of a weight-based, anti-Xa-guided enoxaparin venous thromboembolism prophylaxis dosing strategy for traumatic brain injury patients[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2025, 99(4): 551-559.
- [6] 仲瑞雪,季欧,吴传红,等.基于数据挖掘及网络药理学探讨中药治疗深静脉血栓用药规律及机制研究[J].*食品与药品*, 2022, 24(6): 513-518.
- [7] Byrne J P, Witiw C D, Schuster J M, *et al.* Association of venous thromboembolism prophylaxis after neurosurgical intervention for traumatic brain injury with thromboembolic complications, repeated neurosurgery, and mortality[J]. *JAMA Surg*, 2022, 157(3): e215794.
- [8] 施红宁,胡忻雨,刘菁轩,等. Caprini 和 Padua 血栓风险评估模型在肿瘤住院患者合并静脉血栓栓塞症的临床验证[J].*标记免疫分析与临床*, 2024, 31(6): 1008-1014.
- [9] 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(第二版)[J/OL].*中国血管外科杂志(电子版)*, 2013, 5(1): 23-26.
- [10] 中华医学会心血管病学分会肺血管病学组,中国医师协会心血管内科医师分会.急性肺血栓栓塞症诊断治疗中国专家共识[J].*中华内科杂志*, 2010, 49(1): 74-81.
- [11] Rivas L, Vella M, Ju T, *et al.* Early chemoprophylaxis against venous thromboembolism in patients with traumatic brain injury[J]. *Am Surg*, 2022, 88(2): 187-193.
- [12] Taylor A, Martinez-Quinones P, Huang E, *et al.* Effective use of weight-based enoxaparin for deep vein thrombosis chemoprophylaxis in patients with traumatic brain injury[J]. *Am J Surg*, 2022, 223(1): 146-150.
- [13] 智猛,李大勇.基于数据挖掘分析中医药治疗骨科术后深静脉血栓的用药规律[J].*中医药导报*, 2022, 28(2): 156-161.
- [14] Johnson P L, Dualah S H A, Ward A L, *et al.* Association of timing and agent for venous thromboembolism prophylaxis in patients with severe traumatic brain injury on venous thromboembolism events, mortality, neurosurgical intervention, and discharge disposition[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2024, 97(4): 590-603.
- [15] Coaston T N, Vadlakonda A, Shen A, *et al.* Thromboembolism prophylaxis timing is associated with center mortality in traumatic brain injury: a Trauma Quality Improvement Program retrospective analysis[J]. *J Trauma Acute Care Surg*, 2025, 98(3): 468-475.
- [16] 吴相伟,孙敏,叶继辉,等.高风险脑外伤患者预防静脉血栓栓塞症的抗凝时机与预后的关系[J].*中国急救医学*, 2024, 44(9): 770-774.
- [17] 李翠芳,师俊明,杨倩,等.脑外伤患者入院时合并下肢深静脉血栓的特点与危险因素分析[J].*血管与腔内血管外科杂志*, 2024, 10(11): 1294-1298.

(责任编辑:邢爱敏)