

# 颈椎手术围术期静脉血栓栓塞症相关因素及预测效能分析

崔宇轩, 张红军, 邓美超, 邵高海\*

重庆医科大学附属永川医院, 重庆

收稿日期: 2026年4月21日; 录用日期: 2026年5月15日; 发布日期: 2026年5月25日

## 摘要

目的: 探讨颈椎手术患者围术期静脉血栓栓塞症(VTE)的独立危险因素, 并建立联合预测模型, 评价其预测效能。方法: 回顾性分析重庆医科大学附属永川医院1000例颈椎手术患者的临床资料。根据围术期是否发生VTE分为VTE组30例和非VTE组970例。比较两组一般资料、合并症、围术期实验室指标及手术相关指标。将单因素分析中差异有统计学意义的变量纳入多因素Logistic回归分析, 以筛选围术期VTE的独立危险因素; 采用受试者工作特征(ROC)曲线评价各指标及联合模型的预测效能。结果: 1000例患者中, 围术期发生VTE 30例, 发生率为3.0%。单因素分析显示, 两组在血红蛋白(Hb)、凝血酶原时间(PT)、D-二聚体(D2)、手术时间、活化部分凝血活酶时间(APTT)、谷草转氨酶(AST)及白细胞计数(WBC)方面差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$ )。多因素Logistic回归分析显示, Hb升高(OR = 1.071, 95% CI: 1.040~1.103)、PT延长(OR = 1.788, 95% CI: 1.182~2.705)、D2升高(OR = 1.160, 95% CI: 1.085~1.240)及手术时间延长(OR = 1.017, 95% CI: 1.010~1.025)均为围术期VTE的独立危险因素(均 $P < 0.05$ )。由上述4项指标构建的联合模型AUC为0.857 (95% CI: 0.750~0.964), 优于各单项指标。Hb最佳截断值为134.84时, 阴性预测值为99.0%。结论: Hb升高、PT延长、D2升高及手术时间延长是颈椎手术患者围术期发生VTE的独立危险因素。基于上述指标建立的联合预测模型对围术期VTE具有较好的预测效能。

## 关键词

颈椎手术, 静脉血栓栓塞症, 围术期, 危险因素, 预测效能

## Analysis of Associated Factors and Predictive Performance of Perioperative Venous Thromboembolism in Cervical Spine Surgery

\*通讯作者。

文章引用: 崔宇轩, 张红军, 邓美超, 邵高海. 颈椎手术围术期静脉血栓栓塞症相关因素及预测效能分析[J]. 临床医学进展, 2026, 16(5): 2154-2167. DOI: 10.12677/acm.2026.1652023

Yuxuan Cui, Hongjun Zhang, Meichao Deng, Gaohai Shao\*

Yongchuan Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: April 21, 2026; accepted: May 15, 2026; published: May 25, 2026

## Abstract

**Objective:** To identify independent risk factors for perioperative venous thromboembolism (VTE) after cervical spine surgery and to develop a combined prediction model. **Methods:** We retrospectively reviewed 1000 patients who underwent cervical spine surgery at Yongchuan Hospital, Chongqing Medical University. Patients were divided into a VTE group (n = 30) and a non-VTE group (n = 970) according to the occurrence of perioperative VTE. Demographic characteristics, comorbidities, perioperative laboratory parameters, and surgery-related variables were compared between the two groups. Variables significant in univariate analyses were entered into multivariable logistic regression to identify independent risk factors for perioperative VTE. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was performed to assess the predictive performance of individual variables and the combined model. **Results:** Perioperative VTE occurred in 30 of 1000 patients, yielding an incidence of 3.0%. On univariate analysis, hemoglobin (Hb), prothrombin time (PT), D-dimer (D2), operative time, activated partial thromboplastin time (APTT), aspartate aminotransferase (AST), and white blood cell count (WBC) differed significantly between the two groups (all  $P < 0.05$ ). Multivariable Logistic regression identified higher Hb (OR = 1.071, 95% CI: 1.040~1.103), prolonged PT (OR = 1.788, 95% CI: 1.182~2.705), elevated D2 (OR = 1.160, 95% CI: 1.085~1.240), and longer operative time (OR = 1.017, 95% CI: 1.010~1.025) as independent risk factors for perioperative VTE (all  $P < 0.05$ ). The model incorporating these four variables showed good discriminatory ability, with an AUC of 0.857 (95% CI: 0.750~0.964), outperforming each variable alone. At the optimal cut-off of 134.84, Hb had a negative predictive value of 99.0%. **Conclusion:** Higher Hb, prolonged PT, elevated D2, and longer operative time were independently associated with perioperative VTE after cervical spine surgery. A model combining these variables demonstrated good performance for identifying patients at increased perioperative VTE risk.

## Keywords

Cervical Spine Surgery, Venous Thromboembolism, Perioperative Period, Risk Factors, Predictive Performance

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. 前言

静脉血栓栓塞症(venous thromboembolism, VTE)是骨科围术期较为严重的并发症之一, 主要包括深静脉血栓形成(deep vein thrombosis, DVT)和肺血栓栓塞症(pulmonary thromboembolism, PTE)。VTE 不仅可延长患者住院时间、增加医疗负担, 严重时还可危及生命。因此, 围术期 VTE 的早期识别和风险分层一直是外科围术期管理的重要内容[1] [2]。

与髋膝关节置换、骨盆创伤等 VTE 高风险手术相比, 颈椎手术后 VTE 的总体发生率相对较低[3]-[5]。但正是由于其发生率较低, 临床上对该类患者围术期 VTE 的警惕性往往不足, 部分缺乏典型症状的

患者可能因此延误筛查和诊断。与此同时,颈椎手术部位解剖结构复杂,毗邻脊髓、神经根及重要血管,一旦围术期发生出血或血肿,可能迅速造成脊髓或神经结构受压,导致严重神经功能损害。因此,在颈椎外科围术期管理中,血栓预防与出血风险控制之间始终存在一定矛盾[1][2][6]-[9]。

近年来,随着围术期管理理念的不断更新,脊柱外科领域对 VTE 风险评估的重视程度逐渐提高。Caprini 评分等风险评估工具已在多类外科人群中得到广泛应用,但这些通用性评估体系并非针对颈椎手术患者建立,其在该特定人群中的适用性仍有待进一步验证[1]。在颈椎手术 VTE 发生率相对较低的背景下,通用工具可能存在针对性不足的问题,难以实现对高危患者的准确识别。

目前有关脊柱外科 VTE 的研究多集中于胸腰椎手术或整体脊柱外科患者,而针对颈椎手术围术期 VTE 的大样本研究仍相对较少[4][5]。既往研究提示,高龄、凝血功能异常、D-二聚体升高及手术时间延长等因素可能与 VTE 发生有关,但由于不同研究在样本来源、筛查策略及诊断标准等方面存在差异,相关结论尚未完全一致[4][10]。从临床应用角度看,围术期常规实验室指标及手术相关参数具有获取方便、成本较低和可动态监测等优势。若能结合较大样本的专科临床资料,进一步分析这些指标与 VTE 发生的关系,并评价其联合预测效能,将有助于提高颈椎手术围术期 VTE 风险识别的临床实用性。

基于此,本研究拟通过回顾性分析大样本颈椎手术患者的临床资料,系统筛选围术期 VTE 发生的相关因素,并进一步评价常规指标及其联合模型的预测效能,以期对颈椎手术患者围术期 VTE 的早期筛查和风险分层提供参考依据。

## 1.1. 国内外研究现状

静脉血栓栓塞症的风险评估与预防干预一直是骨科围术期管理的重要内容。脊柱外科手术常伴有组织创伤、术中特殊体位所致静脉回流受限以及术后早期活动减少等情况,这些因素均可能参与 VTE 的发生[2][10]。目前,以 Caprini 评分为代表的通用型血栓风险评估工具已在普通外科及部分骨科人群中得到广泛应用[1]。然而,这类量表的建立基础主要来源于非脊柱外科人群,对于颈椎外科这一围术期管理要求较高的特殊亚专科人群,其适用性和预测准确性仍有待进一步验证。

从现有文献来看,关于脊柱手术并发 VTE 的研究多集中于胸腰椎手术、脊柱融合手术或整体脊柱外科患者,而针对颈椎手术的专门研究相对较少[4][5][11]-[13]。颈椎手术围术期 VTE 风险评估具有一定特殊性:一方面,颈椎术式总体创伤范围相对局限,其 VTE 发生率通常低于胸腰椎手术及下肢大手术;另一方面,颈椎局部解剖结构复杂,术后少量出血或硬膜外血肿即可造成脊髓或神经结构受压,带来较为严重的后果。因此,在颈椎外科临床实践中,血栓预防与出血风险控制之间常需综合权衡[1][2][7][8]。在缺乏专科化预测工具的情况下,如何基于常规临床资料识别真正的高危患者,仍是当前研究中的难点之一。

近年来,随着围术期检验指标研究的不断深入,常规生化及凝血指标在 VTE 风险识别中的价值逐渐受到重视。既往研究表明,D-二聚体作为反映凝血与纤溶系统激活状态的重要指标,与术后血栓形成密切相关;同时,凝血酶原时间(PT)、活化部分凝血活酶时间(APTT)以及血红蛋白(Hb)等指标,也可能在一定程度上反映围术期机体凝血状态和血流动力学变化[4][10]。此外,高龄、手术时间延长等临床因素亦被认为可能与 VTE 发生相关[4][5][10][11][13]。但由于围术期应激反应、基础疾病差异及个体状态不同,单一指标的预测能力往往有限,不同研究之间的结论也并不完全一致。

基于上述背景,联合多个常规指标进行综合分析并构建预测模型,已成为当前 VTE 风险研究的重要方向[10]。与特殊检验或复杂检测手段相比,血常规、凝血功能及手术相关参数具有获取方便、成本较低和可重复性较好等优点,更适合在临床实践中推广应用。鉴于目前国内外关于颈椎手术围术期 VTE 独立危险因素结论尚未统一,且专门针对该人群的预测研究仍较有限,有必要依托较大样本的专科临床资

料,进一步筛选相关因素并评价其联合预测效能,以期对颈椎手术围术期 VTE 的早期筛查和风险分层提供参考。

## 1.2. 研究目的与意义

### 1.2.1. 研究目的

尽管颈椎手术围术期静脉血栓栓塞症(VTE)的发生率低于其他节段脊柱手术,但一旦发生血栓事件,或因预防性抗凝引起术区出血,均有可能对患者造成严重后果,甚至导致明显的神经功能损害。因此,如何在围术期血栓预防与出血风险控制之间取得平衡,并借助常规、易获取的临床指标尽早识别高危患者、实施更有针对性的风险分层,已成为颈椎手术临床管理中的重要问题。

现有研究多聚焦于脊柱外科整体人群,或创伤范围相对更大的胸腰椎手术,专门针对颈椎手术患者的报道仍然不多。尤其是在围术期 VTE 独立危险因素的筛选,以及联合预测模型构建和预测效能评价方面,相关临床证据仍不够充分。

基于此,本研究采用回顾性设计,依托本中心较大样本量的临床资料,系统收集颈椎手术患者的人口学特征、基础疾病情况、围术期实验室指标及手术相关参数,并通过统计学方法分析围术期 VTE 的相关因素,在此基础上进一步构建联合预测模型,评价其预测价值。研究目的如下:

- 1) 了解本中心颈椎手术患者围术期 VTE 的发生情况及基本临床特征;
- 2) 分析常规临床指标及手术相关参数与围术期 VTE 发生的关系,筛选独立危险因素;
- 3) 基于独立危险因素构建联合预测模型,并评价其对围术期 VTE 的识别能力。

### 1.2.2. 研究意义

本研究的意义主要体现在以下两个方面。

一方面,本研究基于单中心较大样本量的颈椎手术患者资料进行回顾性分析,有助于进一步了解这类患者围术期 VTE 的发生情况及相关因素。通过筛选独立危险因素,可在一定程度上补充目前颈椎手术患者相关研究不足的问题,也可为后续研究提供临床依据。

另一方面,在临床应用层面,本研究所关注的血常规、凝血功能及手术时间等指标均为临床工作中较易获得的常规指标,具有成本低、可重复监测、实用性较强等特点。若联合预测模型及相关指标显示出较好的预测能力,则可为颈椎手术患者围术期 VTE 的早期筛查和风险分层提供较为简便的参考,并为临床围术期管理提供帮助。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究对象

本研究采用单中心回顾性队列研究设计。选取 2015 年 1 月至 2025 年 12 月于重庆医科大学附属永川医院骨科接受颈椎手术治疗的患者作为研究对象。通过检索本院电子病历系统(EMR)、实验室信息系统(LIS)及影像归档和通信系统(PACS),系统收集患者围术期临床资料。根据围术期是否发生静脉血栓栓塞症(venous thromboembolism, VTE),将符合纳入标准的患者分为 VTE 组和非 VTE 组。其中, VTE 组 30 例,非 VTE 组 970 例,共纳入有效病例 1000 例。

### 2.2. 纳入与排除标准

#### 2.2.1. 纳入标准

- (1) 年龄  $\geq 18$  岁;
- (2) 因颈椎退行性疾病、创伤等原因,于本院接受颈椎前路、后路或前后联合入路手术治疗者;

- (3) 病案首页、手术记录、围术期实验室检验及影像学检查等核心临床资料完整;
- (4) 术后接受下肢深静脉彩色多普勒超声或其他相关影像学检查,能够明确判定是否发生 VTE 者。

### 2.2.2. 排除标准

- (1) 入院前已确诊深静脉血栓形成(DVT)或肺血栓栓塞症(PTE),或术前已长期接受规范化抗凝治疗者;
- (2) 合并严重造血系统疾病、原发性或继发性凝血功能障碍者;
- (3) 合并恶性肿瘤、严重肝肾功能衰竭,或处于自身免疫性疾病活动期者;
- (4) 关键临床资料或实验室指标严重缺失,无法满足统计学分析要求者;
- (5) 同一研究周期内多次住院者,仅保留首次或资料最完整的一次住院记录。

## 2.3. 诊断标准与分组

### 2.3.1. VTE 诊断标准

参照国内外相关指南,VTE 的诊断结合临床表现及影像学证据综合判定。具体标准如下:

- (1) DVT 诊断标准:下肢静脉彩色多普勒超声提示静脉管腔内可见实性回声,探头压迫时管腔不能完全压瘪,或多普勒显示血流信号充盈缺损或消失;
- (2) PTE 诊断标准:患者出现突发胸痛、咯血、呼吸困难或低氧血症等临床表现,并经 CT 肺动脉造影(CT pulmonary angiography, CTPA)证实肺动脉及其分支内存在充盈缺损;
- (3) 病历记录标准:出院病案首页明确记载围手术期 VTE 事件及相关诊断信息。

### 2.3.2. 分组方法

围术期内符合上述 DVT 或 PTE 任一诊断标准者纳入 VTE 组;围术期内未发生 VTE 者纳入非 VTE 组。

## 2.4. 资料收集内容

临床数据的提取与录入由两名经过统一培训的研究人员独立完成,并进行交叉核对。收集内容主要包括:

- (1) 人口学及基线特征:年龄(Age)、性别(Sex);
- (2) 基础合并症:高血压、糖尿病;
- (3) 围术期实验室指标:术后 24~48 h 内红细胞计数(RBC)、血红蛋白(Hb)、血小板计数(PLT)、凝血酶原时间(PT)、活化部分凝血活酶时间(APTT)、D-二聚体(D2)、总胆固醇(TC)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)、白细胞计数(WBC)等;
- (4) 手术相关参数:手术时间(OP);
- (5) 其他专科评估指标:血栓弹力图参数〔如 Angle 角、最大振幅(MA)〕及 Caprini 血栓风险评分。

## 2.5. 观察指标

本研究的主要终点事件为颈椎手术围术期并发 VTE。次要分析内容包括:

- (1) 比较 VTE 组与非 VTE 组在基线资料、实验室指标及手术相关参数方面的差异;
- (2) 筛选颈椎手术围术期 VTE 发生的独立危险因素;
- (3) 基于独立危险因素构建联合预测模型,并评价其预测效能。

## 2.6. 数据清理与质量控制

为保证数据的真实性和研究结果的可靠性,本研究采取如下质量控制措施:

- (1) 采用双人独立录入并交叉核对, 保证数据提取与录入的一致性;
- (2) 对明显异常值或离群值, 由第三方研究者回溯原始病历资料进行核查与修正;
- (3) 通过逻辑核查排除重复病历记录, 确保样本独立性;
- (4) 对缺失核心结局变量或关键预测因子严重缺失的病例予以剔除, 不进行缺失值插补处理。

## 2.7. 统计学方法

所有数据整理、统计分析及图形绘制均在 R 4.3.0 软件环境中完成。连续型变量首先采用 Shapiro-Wilk 检验进行正态性检验。符合正态分布的计量资料以均数  $\pm$  标准差(Mean  $\pm$  SD)表示, 组间比较采用独立样本 t 检验; 不符合正态分布的计量资料以中位数和四分位数间距[M(Q1, Q3)]表示, 组间比较采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数和百分比[n (%)]表示, 组间比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法。

为探讨各连续型临床指标与结局变量之间的相关性, 采用 Spearman 秩相关分析, 并绘制相关性矩阵热图。将单因素分析中差异有统计学意义( $P < 0.05$ )的变量纳入多因素 Logistic 回归模型。为优化模型结构并减少变量间共线性对结果的影响, 采用 R 语言 MASS 包中的 stepAIC 函数进行向后逐步回归分析, 以赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)最小为变量筛选标准, 从而确定围术期 VTE 发生的独立危险因素。

在此基础上, 采用受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评价各独立危险因素及联合预测模型对 VTE 的预测效能, 并计算曲线下面积(area under the curve, AUC)、最佳截断值、灵敏度、特异度、阳性预测值(positive predictive value, PPV)和阴性预测值(negative predictive value, NPV)。所有统计学检验均为双侧检验, 以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 3. 结果

### 3.1. 一般资料及组间比较

本研究最终纳入接受颈椎手术治疗的患者 1000 例, 其中围术期发生 VTE 者 30 例, 未发生 VTE 者 970 例, VTE 发生率为 3.0%。两组患者基线资料及围术期相关指标比较结果见表 1。单因素分析显示, VTE 组与非 VTE 组在血红蛋白(Hb)、凝血酶原时间(PT)、D-二聚体(D2)、手术时间(OP)、活化部分凝血活酶时间(APTT)、天冬氨酸氨基转移酶(AST)及白细胞计数(WBC)方面差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。而在年龄、性别、高血压、糖尿病、红细胞计数(RBC)、血小板计数(PLT)、总胆固醇(TC)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、血栓弹力图参数(Angle、MA)及 Caprini 评分等方面, 两组比较差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。

**Table 1.** Comparison of general data and perioperative related indicators between VTE group and non-VTE group  
**表 1.** VTE 组与非 VTE 组一般资料及围术期相关指标比较

变量	总体(n = 1000)	非 VTE 组(n = 970)	VTE 组(n = 30)	统计值	P 值
Sex, n (%)				$\chi^2 = 0.384$	0.536
女	489 (48.900)	476 (49.072)	13 (43.333)		
男	511 (51.100)	494 (50.928)	17 (56.667)		
高血压, n (%)				$\chi^2 = 0.002$	0.960
无	629 (62.900)	610 (62.887)	19 (63.333)		
有	371 (37.100)	360 (37.113)	11 (36.667)		

续表

糖尿病, n (%)				$\chi^2 = 0.040$	0.841
无	814 (81.400)	790 (81.443)	24 (80.000)		
有	186 (18.600)	180 (18.557)	6 (20.000)		
Age, Mean $\pm$ SD	53.913 $\pm$ 16.249	53.875 $\pm$ 16.274	55.133 $\pm$ 15.631	t = -0.417	0.676
Angle, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	65.000 (63.400, 66.700)	65.100 (63.425, 66.700)	64.450 (62.550, 66.025)	Z = -1.090	0.276
BMI	24.300 $\pm$ 3.500	24.270 $\pm$ 3.570	25.250 $\pm$ 3.390	t = -1.565	0.128
RBC, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	4.020 (3.580, 4.430)	4.030 (3.620, 4.425)	3.790 (3.320, 4.592)	Z = -1.506	0.132
Hb, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	122.745 (111.528, 135.736)	122.381 (111.087, 134.806)	144.945 (134.977, 158.618)	Z = -5.660	<0.001
PLT, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	160.000 (149.000, 221.250)	160.000 (149.000, 222.750)	161.500 (121.250, 165.000)	Z = -1.158	0.247
PT, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	9.996 (9.384, 10.622)	9.970 (9.364, 10.573)	11.486 (10.412, 12.294)	Z = -4.950	<0.001
D2, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	2.056 (0.390, 4.923)	1.930 (0.372, 4.743)	6.961 (5.072, 9.789)	Z = -6.789	<0.001
OP, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	112.711 (82.765, 137.995)	110.964 (80.459, 135.118)	178.278 (137.525, 219.266)	Z = -6.078	<0.001
APTT, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	26.914 (25.000, 28.892)	26.861 (24.984, 28.833)	28.450 (27.625, 31.882)	Z = -3.327	<0.001
TC, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	4.800 (4.265, 5.352)	4.800 (4.272, 5.357)	4.663 (3.785, 5.245)	Z = -0.910	0.363
ALT, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	34.000 (25.000, 43.000)	34.000 (25.000, 43.000)	34.000 (28.250, 43.000)	Z = -0.268	0.789
AST, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	34.790 (30.038, 42.000)	34.710 (30.000, 39.325)	39.805 (37.160, 44.290)	Z = -2.942	0.003
WBC, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	4.040 (3.620, 4.490)	4.030 (3.590, 4.430)	4.685 (3.893, 5.240)	Z = -3.563	<0.001
MA, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	60.587 (58.751, 63.147)	60.526 (58.742, 63.092)	61.929 (60.600, 63.926)	Z = -1.945	0.052
CAPRINI, M (Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )	2.000 (1.000, 3.000)	2.000 (1.000, 3.000)	1.000 (0.000, 3.000)	Z = -1.318	0.188

t: t-test, Z: Mann-Whitney test,  $\chi^2$ : Chi-square test; SD: standard deviation, M: Median, Q<sub>1</sub>: 1st Quartile, Q<sub>3</sub>: 3rd Quartile。

进一步比较可见, VTE 组 Hb、PT、D2 水平及手术时间均高于非 VTE 组。其中, VTE 组 Hb 为 144.945 (134.977, 158.618), 高于非 VTE 组的 122.381 (111.087, 134.806); VTE 组 PT 为 11.486 (10.412, 12.294), 高于非 VTE 组的 9.970 (9.364, 10.573); VTE 组 D2 为 6.961 (5.072, 9.789), 高于非 VTE 组的 1.930 (0.372, 4.743); VTE 组手术时间为 178.278 (137.525, 219.266), 亦高于非 VTE 组的 110.964 (80.459, 135.118), 上

述差异均具有统计学意义(均  $P < 0.001$ )。

### 3.2. 相关性分析

为进一步分析围术期连续型指标与 VTE 发生之间的关系,本研究采用 Spearman 秩相关分析并绘制相关性矩阵热图(见图 1)。结果显示, VTE 与 Hb、PT、D2、OP、APTT、AST 及 WBC 均呈正相关,其中 D2、OP 及 Hb 与 VTE 的相关性相对较强。相关性热图同时提示,各预测变量之间的相关系数整体较低,未见明显的强相关聚集现象,为后续多因素模型的构建提供了基础。

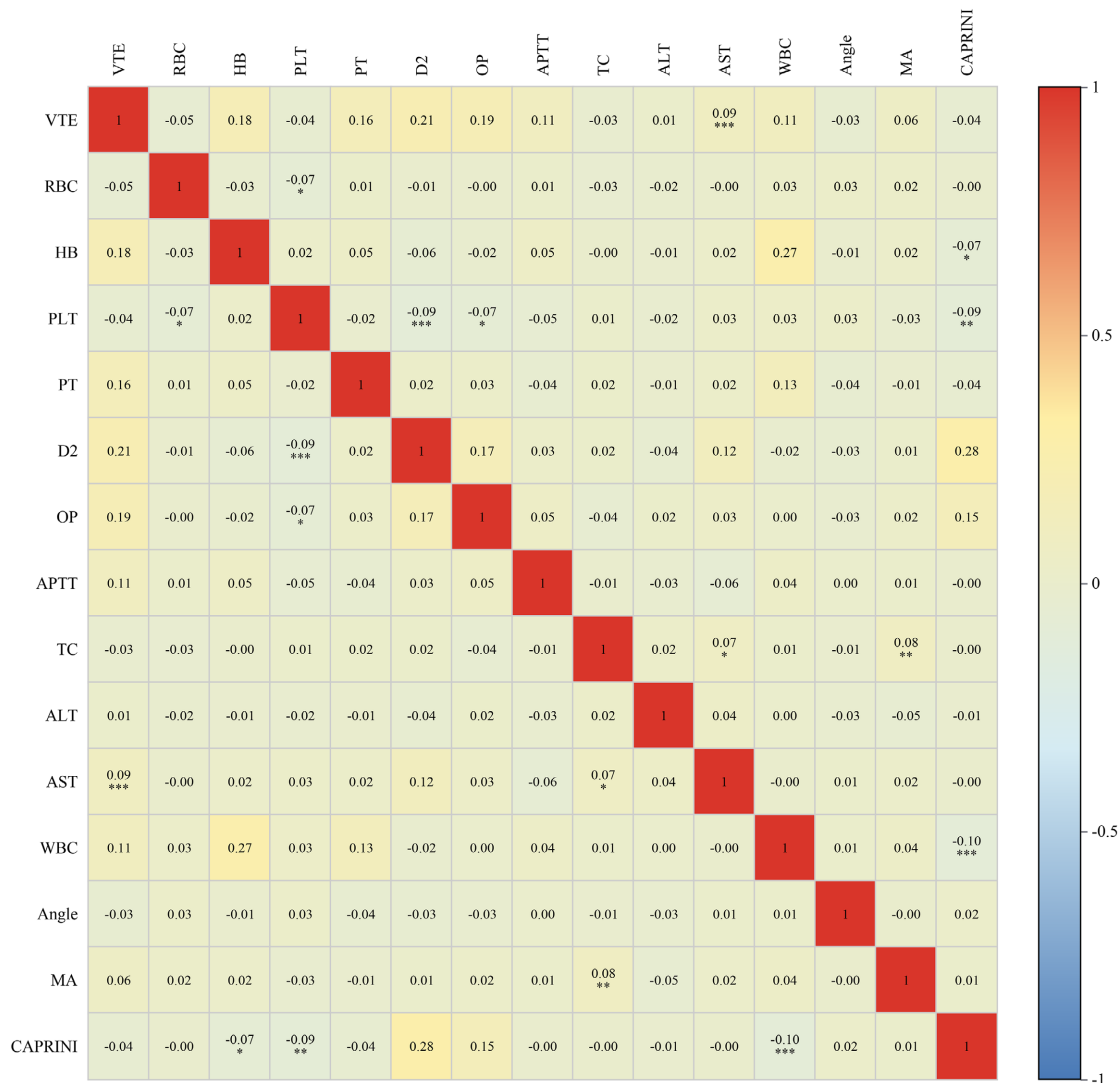


Figure 1. Spearman correlation heatmap of continuous indicators with VTE  
图 1. 各连续型指标与 VTE 的 Spearman 相关性热图

### 3.3. 围术期 VTE 影响因素的 Logistic 回归分析

将单因素分析中差异有统计学意义的变量纳入多因素 Logistic 回归模型,经向后逐步回归筛选后,结果显示 Hb、PT、D2 及手术时间(OP)为颈椎手术围术期 VTE 发生的独立危险因素(见表 2)。具体而言, Hb 每增加 1 个单位, VTE 发生风险增加 7.1% (OR = 1.071, 95% CI: 1.040~1.103,  $P < 0.001$ ); PT 每增加 1

个单位, VTE 发生风险增加 78.8% (OR = 1.788, 95% CI: 1.182~2.705,  $P = 0.006$ ); D2 每增加 1 个单位, VTE 发生风险增加 16.0% (OR = 1.160, 95% CI: 1.085~1.240,  $P < 0.001$ ); 手术时间每延长 1 个单位, VTE 发生风险增加 1.7% (OR = 1.017, 95% CI: 1.010~1.025,  $P < 0.001$ )。

在校正其他变量后, APTT (OR = 1.123, 95% CI: 0.977~1.291,  $P = 0.102$ )和 AST (OR = 1.040, 95% CI: 0.989~1.093,  $P = 0.128$ )未显示统计学意义; WBC 虽在单因素分析中差异有统计学意义, 但未进入最终模型。上述结果表明, Hb 升高、PT 延长、D2 升高及手术时间延长可能是颈椎手术围术期 VTE 发生的主要独立危险因素。

**Table 2.** Multivariate Logistic regression analysis of perioperative VTE influencing factors  
**表 2.** 围术期 VTE 影响因素的多因素 Logistic 回归分析

Variables	$\beta$	S.E	Z	P	OR (95% CI)
Hb	0.069	0.015	4.568	<0.001	1.071 (1.040~1.103)
PT	0.581	0.211	2.749	0.006	1.788 (1.182~2.705)
D2	0.149	0.034	4.368	<0.001	1.160 (1.085~1.240)
OP	0.017	0.004	4.406	<0.001	1.017 (1.010~1.025)
APTT	0.116	0.071	1.636	0.102	1.123 (0.977~1.291)
AST	0.039	0.026	1.521	0.128	1.040 (0.989~1.093)

### 3.4. 多重共线性检验

为评价多因素 Logistic 回归模型的稳定性, 对模型中相关变量进行了多重共线性检验(见表 3)。结果显示, Hb、PT、D2、OP、APTT 及 AST 的方差膨胀因子(VIF)分别为 1.104、1.049、1.067、1.037、1.015 和 1.029, 均接近 1; 同时, 各变量容忍度(Tolerance)均大于 0.9, 提示变量之间不存在明显多重共线性, 模型拟合结果较为稳定。

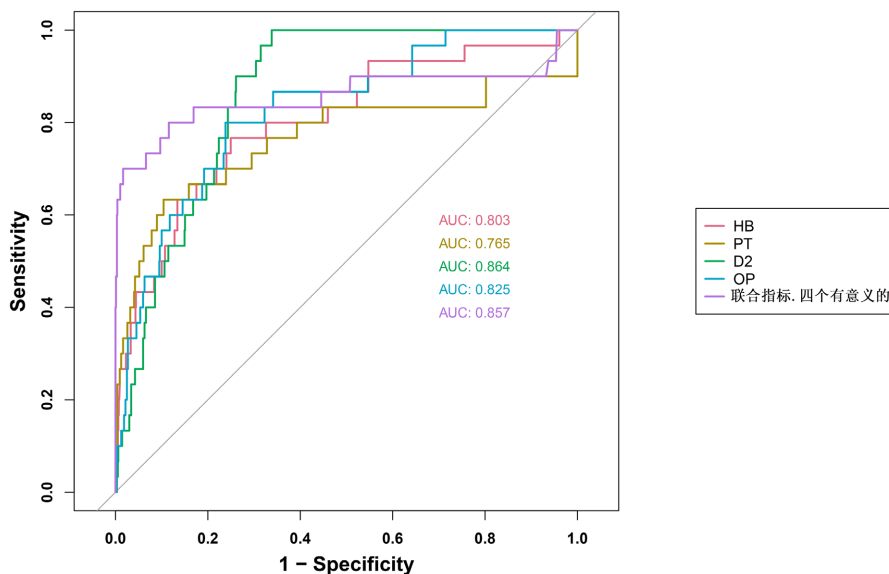
**Table 3.** Collinearity test results of the multivariate Logistic regression model  
**表 3.** 多因素 Logistic 回归模型的共线性检验结果

Term	VIF	VIF_CI_low	VIF_CI_high	SE_factor	Tolerance	Tolerance_CI_low	Tolerance_CI_high
HB	1.104392	1.051279	1.212517	1.050900	0.9054758	0.8247305	0.9512225
PT	1.048936	1.012345	1.193994	1.024176	0.9533468	0.8375254	0.9878060
D2	1.067105	1.023774	1.189408	1.033008	0.9371151	0.8407546	0.9767777
OP	1.037131	1.006286	1.219340	1.018396	0.9641986	0.8201161	0.9937536
APTT	1.014706	1.000200	2.080941	1.007326	0.9855069	0.4805518	0.9998000
AST	1.029246	1.003170	1.269795	1.014518	0.9715847	0.7875288	0.9968397

### 3.5. 预测效能分析

基于上述 4 项独立危险因素(Hb、PT、D2 及 OP), 进一步构建联合预测模型, 并通过 ROC 曲线评价其对围术期 VTE 的识别效能。结果显示(见图 2 和表 4), 该联合模型的曲线下面积(AUC)为 0.857 (95% CI: 0.750~0.964), 提示其对围术期 VTE 具有较好的区分能力。

在单项指标分析中(见表 5), 依据最大约登指数确定 Hb 预测 VTE 的最佳截断值为 134.84。当 Hb  $\geq$  134.84 时, 其灵敏度为 76.7%, 特异度为 75.1%, 准确率为 75.1%, 阳性预测值为 8.7%, 阴性预测值为 99.0%。结果提示, Hb 在围术期 VTE 初步筛查中具有较高的阴性预测价值, 对识别低风险患者具有一定参考意义。



**Figure 2.** ROC curve of the combined prediction model for predicting perioperative VTE  
**图 2.** 联合预测模型预测围术期 VTE 的 ROC 曲线

**Table 4.** ROC analysis results of the combined prediction model and related indicators  
**表 4.** 联合预测模型及相关指标的 ROC 分析结果

Response	Predictor	AUC	95% CI
VTE	HB	0.803	0.713~0.893
VTE	PT	0.765	0.644~0.886
VTE	D2	0.864	0.823~0.904
VTE	OP	0.825	0.750~0.901
VTE	联合指标	0.857	0.750~0.964

联合指标为基于 Hb、PT、D2 和 OP 构建的多因素 Logistic 回归模型预测概率。

**Table 5.** Optimal cut-off value of Hb and analysis of diagnostic efficacy  
**表 5.** Hb 最佳截断值及诊断效能分析

AUC	Direction	最佳截断值	约登指数	灵敏度(%)	特异度(%)	阳性预测值(%)	阴性预测值(%)
0.803	$\geq$	134.84	0.5171821	76.7%	75.1%	8.7%	99.0%

### 3.6. 结果小结

综上, 本研究在 1000 例颈椎手术患者中观察到围术期 VTE 发生率为 3.0%。经单因素分析及向后逐步多因素 Logistic 回归分析, 最终确定 Hb 升高、PT 延长、D2 升高及手术时间延长为围术期 VTE 发生的独立危险因素。基于上述 4 项指标构建的联合模型显示出较好的预测效能(AUC=0.857)。其中, Hb 具

有较高的阴性预测值,在围术期 VTE 初步筛查中具有一定参考价值。上述结果为颈椎手术患者围术期 VTE 的风险识别提供了依据。

#### 4. 讨论

本研究回顾性纳入 1000 例颈椎手术患者的临床资料,分析其围术期静脉血栓栓塞症(VTE)的发生情况及相关预测因素。结果显示,该人群 VTE 发生率为 3.0%。多因素 Logistic 回归分析表明,血红蛋白(Hb)升高[14]-[18]、凝血酶原时间(PT)延长、D-二聚体(D2)升高以及手术时间延长,均与围术期 VTE 发生独立相关。基于上述 4 项指标构建的联合预测模型 AUC 为 0.857,整体区分能力较好。进一步分析发现,当 Hb 取 134.84 为截断值时,其阴性预测值为 99.0%,在排除低风险人群方面具有一定参考意义。

在临床实践中,颈椎手术围术期 VTE 的防控往往需要在血栓预防与出血风险之间权衡取舍。与髋、膝关节置换等骨科高危手术相比,颈椎手术的 VTE 发生率相对较低,本研究结果也与既往报道基本一致[4] [12] [13] [19]-[21]。但需要注意的是,颈椎解剖结构复杂,一旦术后出现出血或硬膜外血肿,可能在短时间内造成严重的神经功能损害。因此,在这类患者中,围术期管理更强调对 VTE 风险的尽早识别和分层评估。

围术期凝血与纤溶系统的失衡是 VTE 发生的重要基础。D-二聚体是交联纤维蛋白的降解产物,其水平升高通常提示机体处于高凝状态并伴随纤溶系统激活,这一现象已在多项脊柱外科研究及相关 Meta 分析中得到证实[4] [10] [22] [23]。另一方面,PT 延长可能与围术期凝血因子消耗、炎症反应以及凝血内环境变化有关,这些因素均可能参与血栓形成过程。本研究的结果也在一定程度上印证了,常规凝血指标在围术期 VTE 风险评估中具有实际参考价值。

既往脊柱外科关于 VTE 的研究多集中在年龄、肥胖、手术时间及 D-二聚体等因素,对红细胞相关指标的关注相对较少。本研究发现,Hb 不仅与围术期 VTE 发生独立相关,在进一步分析中也表现出一定的预测价值,这在颈椎手术这一特定人群中具有一定补充意义。近年来,已有研究开始关注 Hb 及红细胞相关指标与 VTE 之间的关系。Tromsø 队列研究[14]及后续观察性研究[15]显示,高血细胞比容或 Hb 水平升高与一般人群 VTE 风险增加相关;针对东亚人群的孟德尔随机化研究也支持这一关联[16]。从机制上看,红细胞可能通过增加血液黏滞度、促进凝血酶生成以及改变纤维蛋白结构等途径参与血栓形成[17],并可能与肥胖等因素产生协同效应[18]。结合本研究结果,在颈椎手术围术期,患者术后活动受限,容易出现静脉血流减慢;若同时存在 Hb 升高导致的血液浓缩及黏滞度增加,可能进一步促进血栓形成。这一过程在一定程度上反映了 Virchow 三要素中“血流淤滞”与“高凝状态”的共同作用。进一步分析发现,当 Hb 低于 134.84 时,患者发生 VTE 的可能性较低(阴性预测值 99.0%)。因此,Hb 虽不能作为单独的诊断依据,但在低风险人群筛查中仍具有一定参考意义,也提示常规血常规指标在围术期 VTE 风险评估中具有潜在价值[24]-[26]。

在此基础上,本研究构建了基于 Hb、PT、D2 及手术时间 4 项常规临床指标的联合预测模型。该模型从血液流变学状态、凝血功能、纤溶水平以及手术创伤负荷等多个方面综合反映 VTE 风险。ROC 分析结果显示,其 AUC 为 0.857,优于单一指标,提示多因素联合分析有助于提高风险识别能力。

与既往部分仅停留在危险因素筛选层面的研究不同[4] [10] [27] [28],本研究将常规临床指标进行组合,并用于构建预测模型,结果显示其在风险评估中具有一定应用价值。由于模型所用变量均来源于常规检查及基础手术资料,获取相对方便、成本较低且便于重复检测,更贴近实际临床使用场景。与通用风险评估工具(如 Caprini 评分)[1]相比,本研究模型基于颈椎手术这一特定人群构建,纳入指标更能反映围术期实际状态,在该人群中的适用性可能更强。

此外,本研究中 BMI 在单因素分析中未显示统计学意义,这一结果与部分既往研究将肥胖视为 VTE

危险因素结论并不完全一致。考虑到本研究对象均为颈椎手术患者，人群特征相对集中，BMI 差异可能不足以充分体现其对 VTE 风险的影响。同时，在实际临床中，对于 BMI 较高的患者往往会采取更积极的围术期预防与监测措施，这在一定程度上可能削弱其与 VTE 发生之间的相关性。因此，BMI 在该类特定人群中的作用仍需进一步研究加以明确[29]。

综上，颈椎手术围术期 VTE 发生率虽不高，但其临床影响不容忽视。本研究结果表明，常规凝血指标及手术相关因素与 VTE 发生密切相关，同时 Hb 在低风险人群筛查中也具有一定参考价值。基于 Hb、PT、D2 及手术时间构建的联合预测模型，在保证一定预测能力的同时，具备较好的可操作性，可作为围术期 VTE 风险分层的参考工具。

本研究仍存在一些局限性。其一，本研究为单中心回顾性队列研究，虽然在纳入和排除标准方面进行了控制，但选择偏倚和信息偏倚仍难以完全避免。其二，围术期 VTE 的判定主要依赖临床检查及常规影像学资料，部分无症状深静脉血栓仍可能未被发现。其三，尽管总体样本量达到 1000 例，但由于 VTE 发生率较低，阳性事件数相对有限，这在一定程度上影响了对部分低频危险因素的进一步分析。其四，本研究构建的联合预测模型及其截断值尚未经过外部独立队列验证，其在不同地区及不同层级医疗机构中的适用性仍有待评估[30]。后续研究可在多中心、大样本的前瞻性设计基础上，结合术后不同时间点的动态监测指标，对该风险评估模型进行进一步验证和优化。

## 声 明

本研究严格遵循《世界医学协会赫尔辛基宣言》的相关伦理原则，研究方案经重庆医科大学附属永川医院医学伦理委员会审批通过(审批号: JZWSQXSXCFXYCJKNJDQZYJ)。由于本研究为非干预性回顾性队列研究，且在数据提取与分析过程中已对患者姓名、住院号等个人隐私信息进行脱敏和匿名化处理，不会增加患者额外风险，因此经伦理委员会批准免除患者知情同意。

## 参考文献

- [1] 周云灿, 余可谊, 张恒岩. 脊柱外科手术预防静脉血栓栓塞症的共识与争议[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2019, 12(2): 145-149.
- [2] Patel, D., Best, S. and Ziino, C. (2024) Venous Thromboembolism Prophylaxis Following Degenerative Spine Surgery: A Narrative Review. *AME Medical Journal*, **9**, Article No. 13. <https://doi.org/10.21037/amj-23-149>
- [3] Bono, C., Glotzbecker, M., Harris, M., Brick, G. and Heary, R. (2008) Thromboembolic Disease in Spinal Surgery: A Systematic Review. *Spine*, **51**, Article No. 32. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000320191.19239.dd>
- [4] Uehara, M., Ikegami, S., Oba, H., Miyaoka, Y., Hatakenaka, T., Kuroguchi, D., et al. (2024) Frequency and Associated Factors of Venous Thromboembolism in Cervical Spine Surgery. *International Journal of Spine Surgery*, **18**, 457-461. <https://doi.org/10.14444/8624>
- [5] Sebastian, A.S., Currier, B.L., Clarke, M.J., Larson, D., Huddleston, P.M. and Nassr, A. (2016) Thromboembolic Disease after Cervical Spine Surgery: A Review of 5,405 Surgical Procedures and Matched Cohort Analysis. *Global Spine Journal*, **6**, 465-471. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1569056>
- [6] Ramezani, Z., Alizadeh, S.D., Khavandegar, A., Tabatabaei, M.S.H.Z., Baigi, V., Masoomi, R., et al. (2025) Efficacy of Chemical Prophylaxis for Venous Thromboembolism after Degenerative Spine Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Asian Spine Journal*, **19**, 1072-1100. <https://doi.org/10.31616/asj.2024.0510>
- [7] Ellenbogen, Y., Power, R.G., Martyniuk, A., Engels, P.T., Sharma, S.V. and Kasper, E.M. (2021) Pharmacoprophylaxis for Venous Thromboembolism in Spinal Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *World Neurosurgery*, **150**, e144-e154. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.02.120>
- [8] Rahmani, R., Eaddy, S., Stegelmann, S.D., Skrobot, G. and Andreshak, T. (2024) Chemical Prophylaxis and Venous Thromboembolism Following Elective Spinal Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *North American Spine Society Journal*, **17**, Article ID: 100295. <https://doi.org/10.1016/j.xnsj.2023.100295>
- [9] Solaru, S., Alluri, R.K., Wang, J.C. and Hah, R.J. (2021) Venous Thromboembolism Prophylaxis in Elective Spine Surgery. *Global Spine Journal*, **11**, 1148-1155. <https://doi.org/10.1177/2192568220962439>

- [10] Wang, T., Yang, S., Huang, W., Liu, F., Wang, H. and Ding, W. (2016) Factors Predicting Venous Thromboembolism after Spine Surgery. *Medicine*, **95**, e5776. <https://doi.org/10.1097/md.0000000000005776>
- [11] Silvestre, J., Ferdon, R.J., Lawrence, J.P., Reitman, C.A. and Ravinsky, R.A. (2025) Increased Risk of Venous Thromboembolism Following Posterior versus Anterior Cervical Spine Fusion: A Propensity-Matched Cohort Study. *Global Spine Journal*. <https://doi.org/10.1177/21925682251405779>
- [12] Oglesby, M., Fineberg, S.J., Patel, A.A., Pelton, M.A. and Singh, K. (2013) The Incidence and Mortality of Thromboembolic Events in Cervical Spine Surgery. *Spine*, **38**, E521-E527. <https://doi.org/10.1097/brs.0b013e3182897839>
- [13] Bui, A., Lashkari, N., Formanek, B., Wang, J.C., Buser, Z. and Liu, J.C. (2021) Incidence and Risk Factors for Postoperative Venous Thromboembolic Events in Patients Undergoing Cervical Spine Surgery. *Clinical Spine Surgery*, **34**, E458-E465. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000001140>
- [14] Braekkan, S.K., Mathiesen, E.B., Njolstad, I., Wilsgaard, T. and Hansen, J. (2010) Hematocrit and Risk of Venous Thromboembolism in a General Population. the Tromso Study. *Haematologica*, **95**, 270-275. <https://doi.org/10.3324/haematol.2009.008417>
- [15] Folsom, A.R., Wang, W., Parikh, R., Lutsey, P.L., Beckman, J.D. and Cushman, M. (2020) Hematocrit and Incidence of Venous Thromboembolism. *Research and Practice in Thrombosis and Haemostasis*, **4**, 422-428. <https://doi.org/10.1002/rth2.12325>
- [16] Li, H., Duo, M., Zhang, Z., Weng, H., Liu, D., Zhang, Y., et al. (2024) Blood Cell Traits and Venous Thromboembolism in East Asians: Observational and Genetic Evidence. *iScience*, **27**, Article ID: 110671. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110671>
- [17] Wang, P., Zheng, L., Yan, S., Xuan, X., Yang, Y., Qi, X., et al. (2024) Understanding the Role of Red Blood Cells in Venous Thromboembolism: A Comprehensive Review. *The American Journal of the Medical Sciences*, **367**, 296-303. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2024.01.011>
- [18] Jakobsen, L., Rinde, F.B., Hansen, J., Morelli, V.M. and Brækkan, S.K. (2026) Combined Effect of Hemoglobin Levels and Obesity on the Risk of Incident Venous Thromboembolism: The Tromsø Study. *TH Open*, **10**, a28115034. <https://doi.org/10.1055/a-2811-5034>
- [19] Schairer, W.W., Pedtke, A.C. and Hu, S.S. (2014) Venous Thromboembolism after Spine Surgery. *Spine*, **39**, 911-918. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000000315>
- [20] Sansone, J.M., del Rio, A.M. and Anderson, P.A. (2010) The Prevalence of and Specific Risk Factors for Venous Thromboembolic Disease Following Elective Spine Surgery. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **92**, 304-313. <https://doi.org/10.2106/jbjs.h.01815>
- [21] Schulte, L.M., O'Brien, J.R., Bean, M.C., et al. (2013) Deep Vein Thrombosis and Pulmonary Embolism after Spine Surgery: Incidence and Patient Risk Factors. *The American Journal of Orthopedics*, **42**, 267-270.
- [22] Yamasaki, K., Hoshino, M., Omori, K., Igarashi, H., Tsuruta, T., Miyakata, H., et al. (2017) Prevalence and Risk Factors of Deep Vein Thrombosis in Patients Undergoing Lumbar Spine Surgery. *Journal of Orthopaedic Science*, **22**, 1021-1025. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2017.07.010>
- [23] Inoue, H., Watanabe, H., Okami, H., Kimura, A. and Takeshita, K. (2018) The Rate of Venous Thromboembolism before and after Spine Surgery as Determined with Indirect Multidetector CT. *JBJS Open Access*, **3**, e0015. <https://doi.org/10.2106/jbjs.oe.18.00015>
- [24] Cox, J.B., Weaver, K.J., Neal, D.W., Jacob, R.P. and Hoh, D.J. (2014) Decreased Incidence of Venous Thromboembolism after Spine Surgery with Early Multimodal Prophylaxis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **21**, 677-684. <https://doi.org/10.3171/2014.6.spine13447>
- [25] Zeng, X. and Peng, H. (2017) Prevention of Thromboembolic Complications after Spine Surgery by the Use of Low-Molecular-Weight Heparin. *World Neurosurgery*, **104**, 856-862. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.05.050>
- [26] Cunningham, J.E., Swamy, G. and Thomas, K.C. (2011) Does Preoperative DVT Chemoprophylaxis in Spinal Surgery Affect the Incidence of Thromboembolic Complications and Spinal Epidural Hematomas? *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **24**, E31-E34. <https://doi.org/10.1097/bsd.0b013e3181f605ea>
- [27] Wang, T.Y., Sakamoto, J.T., Nayar, G., Suresh, V., Loriaux, D.B., Desai, R., et al. (2015) Independent Predictors of 30-Day Perioperative Deep Vein Thrombosis in 1346 Consecutive Patients after Spine Surgery. *World Neurosurgery*, **84**, 1605-1612. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2015.07.008>
- [28] Oda, T., Fuji, T., Kato, Y., Fujita, S. and Kanemitsu, N. (2000) Deep Venous Thrombosis after Posterior Spinal Surgery. *Spine*, **25**, 2962-2967. <https://doi.org/10.1097/00007632-200011150-00019>
- [29] Yoshioka, K., Murakami, H., Demura, S., Kato, S., Hayashi, H., Inoue, K., et al. (2013) Comparative Study of the Prevalence of Venous Thromboembolism after Elective Spinal Surgery. *Orthopedics*, **36**, e223-e228. <https://doi.org/10.3928/01477447-20130122-26>

- 
- [30] Jung, B., Ngan, A., Song, J., Abbas, A., Zappia, L.C., Fallon, J., *et al.* (2025) Rates of Venous Thromboembolism and Mortality Have Not Improved in Elective Cervical Spine Surgery from 2012 to 2021. *Clinical Spine Surgery*.  
<https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000001858>