

• 临床研究 •

腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的风险预测决策树模型构建及验证

翟欢欢, 卫秀敏, 郑 艳

(济源市人民医院妇科, 河南 济源 459000)

[摘要] **目的** 构建腹腔镜下子宫切除术后并发下肢深静脉血栓形成(DVT)的风险预测决策树模型,并验证其预测效能。**方法** 回顾性分析 2018 年 1 月至 2023 年 7 月在该院行腹腔镜下子宫切除术的 738 例患者的临床资料,按照患者术后并发下肢 DVT 情况分为 DVT 组和非 DVT 组,探讨腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的影响因素。按照 7 : 3 比例将 738 例患者随机分为训练集($n=517$)和测试集($n=221$),基于训练集数据构建决策树模型,基于测试集数据验证决策树模型的预测效能。绘制受试者操作特征(ROC)曲线分析决策树模型、Caprini 评分、G-Caprini 模型对腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的预测效能。**结果** 腹腔镜下子宫切除术后下肢 DVT 发生率为 12.20%(90/738);年龄 >60 岁、糖尿病史、全身麻醉、手术时间 ≥ 2 h、下肢静脉穿刺次数 ≥ 5 次/天、术中气腹压力 >15 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)、术后活动时间 <3 h/d、术前血小板计数 $>300\times 10^9$ L $^{-1}$ 、术前 D-二聚体(D-D) >0.5 mg/L 均为并发下肢 DVT 的危险因素($P<0.05$);基于训练集数据,建立了包含术前 D-D 水平、术前血小板计数、术后活动时间、全身麻醉、术中气腹压力、手术时间在内的腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的决策树风险预测模型,共 7 条分类规则和 4 类高危人群,术前 D-D 水平是该模型的首要影响因素。决策树模型预测腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的灵敏度、特异度、曲线下面积(AUC)分别为 85.19%、82.99%、0.876,其中 AUC 高于 Caprini 评分、G-Caprini 模型($P<0.05$)。**结论** 腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的风险预测决策树模型包含 6 个变量,分别为术前 D-D 水平 >0.5 mg/L、术前血小板计数 $>300\times 10^9$ L $^{-1}$ 、术后活动时间 <3 h/d、全身麻醉、术中气腹压力 >15 mmHg、手术时间 ≥ 2 h,其中术前 D-D 水平是首要影响因素,该模型具有良好的准确度和预测效能,可为临床筛选下肢 DVT 的高危患者提供参考依据。

[关键词] 腹腔镜下子宫切除术; 深静脉血栓形成; 危险因素; 决策树模型; 验证

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2025.10.022

中图法分类号:R713.4+2

文章编号:1009-5519(2025)10-2371-07

文献标识码:A

Construction and verification of risk prediction decision tree model for lower extremity DVT after laparoscopic

ZHAI Huanhuan, WEI Xiumin, ZHENG Yan

(Department of Gynecology, Jiyuan People's Hospital, Jiyuan, Henan 459000, China)

[Abstract] **Objective** To construct a risk prediction decision tree model for lower extremity deep venous thrombosis (DVT) after laparoscopic hysterectomy, and to verify its predictive efficacy. **Methods** The clinical data of 738 patients who underwent laparoscopic hysterectomy in the hospital from January 2018 to July 2023 were retrospectively analyzed. The clinical data of 738 patients who underwent laparoscopic hysterectomy in the hospital from January 2018 to July 2023 were retrospectively analyzed. According to the postoperative lower extremity DVT, the patients were divided into DVT group and non-DVT group to explore the influencing factors of lower extremity DVT after laparoscopic hysterectomy. The 738 patients were randomly divided into training set ($n=517$) and test set ($n=221$) according to the ratio of 7 : 3. The decision tree model was constructed based on the training set data, and the prediction efficiency of the decision tree model was verified based on the test set data. The receiver operator characteristic (ROC) curve was used to analyze the predictive efficacy of decision tree model, Caprini score and G-Caprini model for lower extremity DVT after laparoscopic hysterectomy. **Results** The incidence of lower extremity DVT after laparoscopic hysterectomy was 12.20%(90/738). Age >60 years old, history of diabetes, general anesthesia, operation time ≥ 2 h, number of lower limb venipuncture ≥ 5 times/d, intraoperative pneumoperitoneum pressure >15 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa), postoperative activity time <3 h/d, preoperative platelet count $>300\times 10^9$ L $^{-1}$ and preoperative

D-dimer (D-D) >0.5 mg/L were risk factors for lower extremity DVT ($P<0.05$). Based on the training set data, a decision tree risk prediction model for lower extremity DVT after laparoscopic hysterectomy was established that included preoperative D-D level, preoperative platelet count, postoperative activity time, general anesthesia, intraoperative pneumoperitoneum pressure and operation time. A total of 7 classification rules and 4 categories of high-risk groups were extracted, and preoperative D-D level was the primary influencing factor of the model. The sensitivity, specificity, and area under the curve (AUC) of the decision tree model for predicting lower extremity DVT after laparoscopic hysterectomy were 85.19%, 82.99%, and 0.876, respectively, and the AUC was higher than the Caprini score and the G-Caprini model ($P<0.05$). **Conclusion** The risk prediction decision tree model for lower limb DVT after laparoscopic hysterectomy contains six variables, namely preoperative D-D level >0.5 mg/L, preoperative platelet count $>300\times10^9\text{ L}^{-1}$, postoperative activity time <3 h/d, general anesthesia, intraoperative pneumoperitoneum pressure >15 mmHg and operation time ≥2 h. Preoperative D-D level is the primary influencing factor, and this model has good accuracy and predictive efficacy, which can provide reference for clinical screening of high-risk patients with lower extremity DVT.

[Key words] Laparoscopic hysterectomy; Deep vein thrombosis; Risk factors; Decision tree model; Verification

腹腔镜下子宫切除术具有创伤小、恢复快、术后无明显瘢痕等优点,是临床用于治疗妇科疾病的常用术式^[1]。下肢深静脉血栓形成(DVT)是腹腔镜手术常见并发症之一,具有起病隐匿、病情进展迅速等特点,临床可表现为患肢疼痛、肿胀等,严重者可引起急性肺栓塞,直接威胁患者生命^[2],故探讨腹腔镜下子宫切除术后合并下肢DVT的危险因素并给出针对性的防治措施,对于改善患者预后意义重大。目前,临床虽有腹腔镜子宫切除术后发生DVT的研究报道^[3],但仅局限于logistic回归分析,在决策建议方面存在一定的不足。决策树模型以树形呈现,在不设置变量的同时有效处理预测变量,可弥补logistic回归模型的不足^[4-5]。因此,本研究通过构建腹腔镜子宫切除术后并发下肢DVT的决策树模型并进行验证,从而早期识别高危患者,实现分级管理,降低术后并发下肢DVT的风险。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2018 年 1 月至 2023 年 7 月在本院行腹腔镜下子宫切除术的 738 例患者的临床资料。纳入标准:(1)均顺利完成腹腔镜子宫切除术;(2)均无生育要求;(3)临床资料完整。排除标准:(1)合并肝肾功能不全、恶性肿瘤;(2)自身免疫性疾病、凝血功能障碍;(3)术前 1 个月内接受过抗凝治疗或服用影响凝血系统药物;(4)合并偏瘫或存在周围血管痉挛者;(5)有 DVT 病史。下肢 DVT 的诊断标准^[6]:术后患者下肢出现肿胀、周径增粗、压痛、皮肤发红等症状时行双下肢血管彩色多普勒超声检查,结果为管腔内无彩色血流,加压后管腔无塌陷且存在实质性回声,则可诊断下肢 DVT。

1.2 方法

1.2.1 资料收集 收集患者临床资料,包括年龄、身体质量指数(BMI)、基础病史、既往手术史、既往输血史、术前指标[收缩压(SBP)、舒张压(DBP)、红细胞计

数、血小板计数、白细胞计数、D-二聚体(D-D)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、血红蛋白(Hb)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、空腹血糖(FPG)、血肌酐(SCr)、总胆红素(TBil)、白蛋白(Alb)、C 反应蛋白(CRP)]、美国麻醉医师协会(ASA)分级、麻醉方式、手术时间、下肢静脉穿刺次数、术中气腹压力、术中出血量、术后活动时间、术后物理抗凝、术后药物抗凝。

1.2.2 观察指标 (1)比较 DVT 组和非 DVT 组患者的临床资料;(2)分析影响腹腔镜下子宫切除术并发下肢 DVT 的因素,统计比值比(OR)、95%可信区间(95%CI);(3)腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的风险预测决策树模型的建立;(4)腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的风险预测决策树模型的验证;(5)决策树模型、Caprini 评分、G-Caprini 模型对腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的预测效能比较。

1.3 统计学处理 使用 SPSS20.0 统计学软件行数据分析。计数资料以率或构成比表示,行组间 χ^2 检验;利用多因素 logistic 回归模型分析腹腔镜下子宫切除术并发下肢 DVT 的影响因素,变量筛选方法为 Forward;将 738 例患者的临床资料按照 7 : 3 的比例随机分为训练集($n=517$)和测试集($n=221$),其中基于训练集数据采用 R 软件的 rpart 包建立腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的决策树模型,基于测试集数据采用混淆矩阵计算灵敏度、特异度、准确度验证决策树模型的预测价值;绘制受试者操作特征(ROC)曲线分析决策树模型、Caprini 评分、G-Caprini 模型对腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的预测效能。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 DVT 组和非 DVT 组临床资料比较 738 例行腹腔镜下子宫切除术患者中 90 例并发下肢 DVT,发

生率为 12.20%。DVT 组与非 DVT 组 BMI、高血压史、高血脂史、心房颤动史、既往手术史、既往输血史、术前 SBP、DBP、白细胞计数、TC、TG、红细胞计数、HDL-C、LDL-C、FPG、Hb、SCr、TBil、Alb、CRP、ASA 分级和术中出血量、术后物理抗凝、术后药物抗凝情况比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);DVT 组年龄 >60 岁、糖尿病史、全身麻醉、手术时间 ≥ 2 h、下肢静脉穿刺次数 ≥ 5 次/天、术中气腹压力 >15 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)、术后活动时间 <3 h/d、术前血小板计数 $>300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ 、术前 D-D >0.5 mg/L 占比均高于非 DVT 组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。见表 1。

2.2 腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的影响因素分析 将下肢 DVT 发病情况作为因变量(非 DVT=0,DVT=1),将表 1 中 $P<0.05$ 的指标记为自变量并进行赋值:年龄(≤ 60 岁=0, >60 岁=1)、糖尿病史(无=0,有=1)、麻醉方式(局部麻醉=0,全身麻醉=1)、手术时间(<2 h=0, ≥ 2 h=1)、下肢静脉穿刺次数(<5 次/天=0, ≥ 5 次/天=1)、术中气腹压力(≤ 15 mmHg=0, >15 mmHg=1)、术后活动时间(≥ 3 h/d=0, <3 h/d=1)、术前血小板计数($\leq 300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ =0, $>300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ =1)、术前 D-D 水平(≤ 0.5 mg/L=0, >0.5 mg/L=1)。多因素 logistic 逐步向前回归分析结果显示,年龄 >60 岁、糖尿病史、全身麻醉、手术时间 ≥ 2 h、下肢静脉穿刺次数 ≥ 5

次/天、术中气腹压力 >15 mmHg、术后活动时间 <3 h/d、术前 D-D >0.5 mg/L、术前血小板计数 $>300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ 均为腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的危险因素($P<0.05$)。见表 2。

2.3 腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的决策树模型 基于训练集 517 例患者的数据,将表 1 中 $P<0.05$ 的 9 个自变量运用决策树算法,使用 R 软件的 rpart 包构建决策树模型,见图 1。本研究决策树共 5 层、13 个节点、7 个终端节点、7 条分类规则,筛选 6 个解释变量,即术前 D-D 水平 >0.5 mg/L、术前血小板计数 $>300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ 、术后活动时间 <3 h/d、全身麻醉、术中气腹压力 >15 mmHg、手术时间 ≥ 2 h,其中第 1 层是术前 D-D 水平,说明术前 D-D 水平是腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 最为重要的影响因素。以下肢 DVT 所占节点构成比例代表腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的风险,筛选出 4 类高危人群:(1)术前 D-D 水平 >0.5 mg/L、术前血小板计数 $>300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ 、全身麻醉、手术时间 ≥ 2 h,占该节点构成的 43.48%;(2)术前 D-D 水平 >0.5 mg/L、术前血小板计数 $>300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ 、全身麻醉、手术时间 <2 h,占该节点构成的 24.00%;(3)术前 D-D 水平 >0.5 mg/L、术前血小板计数 $>300\times 10^9\text{ L}^{-1}$ 、局部麻醉,占该节点构成的 18.18%;(4)术前 D-D 水平 >0.5 mg/L、术前血小板计数 $\leq 300\times 10^9\text{ L}^{-1}$,占该节点构成的 12.12%。见表 3。

表 1 DVT 组和非 DVT 组临床资料比较[n(%)]

项目	DVT 组($n=90$)	非 DVT 组($n=648$)	χ^2	P
年龄			4.883	0.027
≤ 60 岁	48(53.33)	423(65.28)		
>60 岁	42(46.67)	225(34.72)		
身体质量指数			0.704	0.401
$\geq 24\text{ kg/m}^2$	31(34.44)	195(30.09)		
$<24\text{ kg/m}^2$	59(65.56)	453(69.91)		
基础病史				
糖尿病史	19(21.11)	83(12.81)	4.573	0.032
高血压史	30(33.33)	192(29.63)	0.515	0.473
高脂血症史	20(22.22)	126(19.44)	0.384	0.535
心房颤动史	6(6.67)	33(5.09)	0.391	0.532
既往手术史	31(34.44)	183(28.24)	1.477	0.224
既往输血史	8(8.89)	35(5.40)	1.752	0.186
术前指标				
收缩压 ≥ 140 mmHg	35(38.89)	217(33.49)	1.025	0.311
舒张压 <60 mmHg	18(20.00)	115(17.75)	0.272	0.602
白细胞计数 $>9.5\times 10^9\text{ L}^{-1}$	26(28.89)	149(22.99)	1.518	0.218
红细胞计数 $<3.5\times 10^{12}\text{ L}^{-1}$	12(13.33)	71(10.96)	0.447	0.504

续表 1 DVT 组和非 DVT 组临床资料比较[n(%)]				
项目	DVT 组(n=90)	非 DVT 组(n=648)	χ^2	P
血红蛋白<110 g/L	15(16.67)	67(10.34)	3.203	0.073
血小板计数>300×10 ⁹ L ⁻¹	31(34.44)	101(15.59)	19.135	<0.001
术前 D-二聚体>0.5 mg/L	39(43.33)	139(21.45)	20.676	<0.001
总胆固醇>5.20 mmol/L	23(25.56)	141(21.76)	0.659	0.417
甘油三酯>1.70 mmol/L	15(16.67)	87(13.43)	0.697	0.404
高密度脂蛋白胆固醇<1.00 mmol/L	23(25.56)	127(19.60)	1.732	0.188
低密度脂蛋白胆固醇>3.37 mmol/L	19(21.11)	115(17.75)	0.602	0.438
空腹血糖>6.1 mmol/L	29(32.22)	163(25.15)	2.051	0.152
血肌酐>106 μmol/L	10(11.11)	57(8.80)	0.513	0.474
总胆红素>17.1 μmol/L	12(13.33)	63(9.72)	1.129	0.288
白蛋白<35 g/L	15(16.67)	86(13.27)	0.771	0.380
C 反应蛋白>10 mg/L	23(25.56)	143(22.07)	0.551	0.458
美国麻醉医师协会分级				
I 级	35(38.89)	275(42.44)	0.721	0.697
II 级	33(36.67)	238(36.73)		
III 级	22(24.44)	135(20.83)		
麻醉方式				
全身麻醉	62(68.89)	325(50.15)	11.121	0.001
局部麻醉	28(31.11)	323(49.85)		
手术时间≥2 h	58(64.44)	306(47.22)	9.377	0.002
下肢静脉穿刺次数≥5 次/天	33(36.67)	149(22.99)	7.951	0.005
术中气腹压力>15 mmHg	31(34.44)	125(19.29)	10.887	0.001
术中出血量≥200 mL	15(16.67)	165(25.46)	3.316	0.069
术后活动时间<3 h/d	75(83.33)	389(60.03)	18.383	<0.001
术后物理抗凝	68(75.56)	527(81.33)	1.685	0.194
术后药物抗凝	53(58.89)	428(66.05)	1.785	0.182

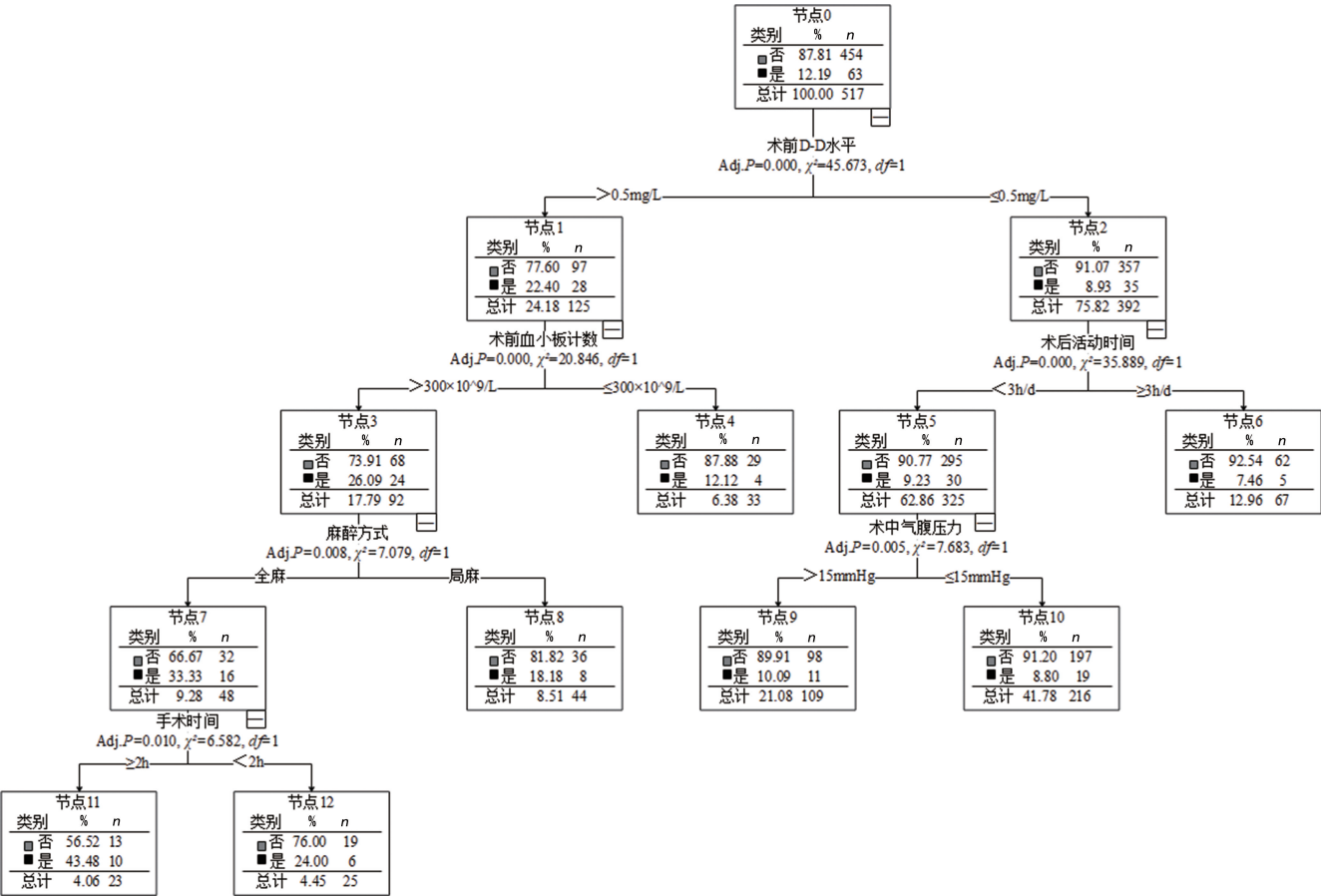
注: DVT 表示下肢深静脉血栓形成; 1 mmHg=0.133 kPa。

表 2 腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的影响因素分析						
影响因素	β	SE	Wald	P	OR	95%CI
年龄>60 岁	0.388	0.179	4.698	0.033	1.474	1.038~2.094
糖尿病史	0.317	0.155	4.183	0.040	1.373	1.013~1.860
全身麻醉	1.073	0.426	6.344	0.012	2.924	1.269~6.739
手术时间≥2 h	0.822	0.281	8.557	0.004	2.275	1.312~3.946
下肢静脉穿刺次数≥5 次/天	0.751	0.224	11.240	0.001	2.119	1.366~3.287
术中气腹压力>15 mmHg	0.956	0.354	7.293	0.007	2.601	1.300~5.206
术后活动时间<3 h/d	1.212	0.353	11.788	<0.001	3.360	1.682~6.712
术前血小板计数>300×10 ⁹ L ⁻¹	1.286	0.397	10.493	0.001	3.618	1.662~7.878
术前 D-二聚体>0.5 mg/L	1.392	0.461	9.118	0.003	4.023	1.630~9.930

注: β 表示标准化回归系数; SE 表示标准误; OR 表示比值比; 95%CI 表示 95%可信区间; 1 mmHg=0.133 kPa。

2.4 腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的决策树模型验证 基于测试集 221 例行腹腔镜下子宫切除术患者的数据,使用建立的策树模型对患者是否并发下肢 DVT 进行预测,根据预测结果与实际结果建立混淆矩阵,结果显示决策树模型预测的灵敏度为 85.19%,特异度为 82.99%,准确度为 83.26%。见表 4。

2.5 决策树模型、Caprini 评分、G-Caprini 模型对腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的预测效能比较 决策树模型预测腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的曲线下面积(AUC)高于 Caprini 评分、G-Caprini 模型($Z=2.432, P=0.015; Z=2.086, P=0.037$),灵敏度、特异度与 Caprini 评分、G-Caprini 模型比较基本一致。见表 5、图 2。



注:D-D 表示 D-二聚体;1 mmHg=0.133 kPa。

图 1 腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的决策树模型

表 3 腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 风险预测决策树模型分类规则

序号	条件 1	条件 2	条件 3	条件 4	条件 5	条件 6	发生风险 (%)	例数 (n)
1	术前 D-D 水平>0.5 mg/L	术前血小板计数>300×10 ⁹ L ⁻¹	全身麻醉	手术时间≥2 h	—	—	43.48	10
2	术前 D-D 水平>0.5 mg/L	术前血小板计数>300×10 ⁹ L ⁻¹	全身麻醉	手术时间<2 h	—	—	24.00	6
3	术前 D-D 水平>0.5 mg/L	术前血小板计数>300×10 ⁹ L ⁻¹	局部麻醉	—	—	—	18.18	8
4	术前 D-D 水平>0.5 mg/L	术前血小板计数≤300×10 ⁹ L ⁻¹	—	—	—	—	12.12	4
5	术前 D-D 水平≤0.5 mg/L	—	—	—	术后活动时间<3 h/d	术中气腹压力>15 mmHg	10.09	11
6	术前 D-D 水平≤0.5 mg/L	—	—	—	术后活动时间<3 h/d	术中气腹压力≤15 mmHg	8.80	19
7	术前 D-D 水平≤0.5 mg/L	—	—	—	术后活动时间≥3 h/d	—	7.46	5

注:D-D 表示 D-二聚体;—表示无此项;1 mmHg=0.133 kPa。

预测结果	实际结果	
	DVT	非 DVT
DVT	23	33
非 DVT	4	161

表 5 决策树模型、Caprini 评分、G-Caprini 模型对腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的预测效能比较

项目	cut-off 值	灵敏度(%)	特异度(%)	AUC	95%CI
决策树模型	—	85.19	82.99	0.876	0.825~0.916
Caprini 评分	8 分	66.67	86.60	0.670	0.604~0.732
G-Caprini 模型	4 分	70.37	84.02	0.712	0.647~0.771

注：—表示无此项；AUC 表示曲线下面积；95%CI 表示 95%可信区间。

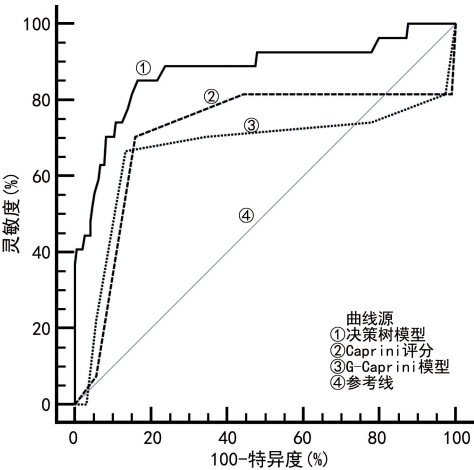


图 2 决策树模型、Caprini 评分、G-Caprini 模型预测腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的 ROC 曲线

3 讨 论

近年来子宫疾病发生率逐年增长,影响女性群体的身体健康^[7]。腹腔镜因微创、视野清晰及操作简便等优点在子宫疾病治疗中广泛应用,但腹腔镜下子宫切除术在多种因素影响下容易导致血流瘀滞、血液高凝及静脉血管壁损伤,三者相互促进、影响可引发下肢 DVT^[8]。本研究中腹腔镜下子宫切除术后下肢 DVT 的发生率为 12.20%,与王干梅等^[9]报道的 12.32%相近,均提示腹腔镜下子宫切除术后下肢 DVT 发生风险较高。因此,探讨腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的危险因素并构建风险预测模型对指导临床个性化干预预防极为必要。

本研究中年龄>60 岁、糖尿病史、全身麻醉、手术时间≥2 h、下肢静脉穿刺次数≥5 次/天、术中气腹压力>15 mmHg、术后活动时间<3 h/d、术前血小板计数、D-D 水平高均为腹腔镜下子宫切除术合并下肢 DVT 的危险因素。患者年龄越大,血管弹性越差,内膜受损增多,所产生的促凝物质增加,下肢 DVT 发生风险也随之增加^[10]。糖尿病患者存在严重的血管内皮损伤,导致大量炎症因子释放,生成大量氧自由基,进而促进凝血系统激活。解丹平等^[11]研究显示,有糖尿病史的患者并发下肢 DVT 的概率是无糖尿病史者的 5.812 倍。患者全身麻醉后肌肉呈松弛状态,导致

肌肉收缩能力减弱,静脉回流减慢,促使下肢 DVT 发生。阮书记^[12]研究报道,不同麻醉方式对术后 DVT 的影响不同,全身麻醉会增加术后 DVT 的发生。手术可导致血管组织损伤,随着手术时间的延长,血小板聚集加剧,凝血系统被激活,易合并下肢 DVT^[13]。下肢静脉穿刺次数≥5 次/天不仅会限制患者活动,同时还会对血管内膜产生多次反复刺激和损伤,增加下肢 DVT 发生风险。一般情况下,腹腔镜手术气腹压力为 9~15 mmHg,当术中气腹压力>15 mmHg 时会影响静脉血液流速,使血小板聚集,促进血栓形成。TIAN 等^[14]研究也证实,术中气腹压力>15 mmHg 是腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的独立危险因素。术后活动时间<3 h/d 的患者血流速度较慢,易导致血栓形成^[15],故术后患者应适当进行活动,加快血液循环,降低 DVT 发生风险。血小板计数升高,血液黏稠,使血小板积聚在血管壁,增加下肢 DVT 的概率^[16]。D-D 是评价凝血功能的常用指标,D-D 水平异常提示患者血液呈高凝状态,机体出现凝血或继发性纤溶,易形成血栓,促使下肢 DVT 形成^[17]。

本研究决策树模型显示,全身麻醉、手术时间≥2 h、术中气腹压力>15 mmHg、术后活动时间<3 h/d、术前血小板计数>300×10⁹ L⁻¹、术前 D-D 水平>0.5 mg/L 是影响腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的因素,与 logistic 回归分析结果不完全一致,这是由于当纳入自变量较多、较复杂时,输出的决策树会大而繁重,泛化能力较差,不易解读预测结果,故本研究对决策树进行了修剪,避免结果拟合。决策树模型中术前 D-D 水平为首层影响因素,说明术前 D-D 水平是腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 最为重要的影响因素,故临床医护人员应重视患者术前 D-D 水平,对于 D-D>0.5 mg/L 的患者应进行针对性治疗,使其维持正常水平,降低 DVT 发生风险。在决策树模型节点的路径中共提取 7 条分类规则,筛选出 4 类高危人群,临床可根据决策树模型的分类规则识别不同风险等级高危人群,从而进行针对性干预,降低术后并发下肢 DVT 风险。

本研究中决策树模型预测的腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的灵敏度、特异度、准确度、AUC 分别为 85.19%、82.99%、83.26%、0.876,且决策树模型预测腹腔镜下子宫切除术后并发下肢 DVT 的 AUC 高于 Caprini 评分、G-Caprini 模型,说明决策树模型预测效能良好。这是由于一方面决策树是依据信息增益值逐层进行构建,其中根节点位于最上方,代表首要测试条件,继而根据其内部规则继续向下划分,每条分支代表着一种路径,将不同特征的危险因素分开;另一方面决策树能够显示出各个变量对因变量的重要程度,从而更深入地了解数据的细节^[18]。Caprini 评分作为临床常用的 DVT 风险评估工具,涵盖了约 40 个不同的血栓形成危险因素,可将术后 DVT 发生风险分为低、中、高、极高危 4 个等级^[19],然

而评估资料繁多,在对特定疾病并发 DVT 风险评估中局限性较多。相关研究显示, Caprini 评分诊断妇科恶性肿瘤 DVT 的灵敏度、特异度分别为 67.4%、87.4%,其灵敏度不佳,若单独使用可能会导致 32.6% 的患者漏诊^[20]。此外, Caprini 评分的内在假设是危险因素对 DVT 发生风险存在线性关系,但实际上,受不同个体、生活方式、遗传、疾病等因素的影响,该假设并不可靠,故本研究构建的决策树模型性能不劣于 Caprini 评分,且变量更少,在腹腔镜下子宫切除术并发性下肢 DVT 风险评估中实用性更强,更为便捷。相关专家共识发布,基于 Caprini 评分并结合我国研究结果,构建了适用于我国妇科术后 DVT 发生风险评估分级的 G-Caprini 模型^[21]。既往研究显示,基于 G-Caprini 模型 DVT 发生风险分级对妇科盆腔手术患者实施下肢 DVT 预防,能够有效降低下肢 DVT 发生风险^[22]。相较于本研究构建的决策树而言, G-Caprini 模型具有广泛的适用性和可靠性,但针对某一特定妇科术后并发性下肢 DVT 风险评估中其风险因素权重分配可能不够精准,对不同个体存在一定的误差。因此,在实际应用中,可结合 2 种模型的优点,根据具体情况选择合适的预测工具,以提高评估腹腔镜下子宫切除术后并发性下肢 DVT 风险的便捷性和准确性。

综上所述,本研究中腹腔镜下子宫切除术后并发性下肢 DVT 的决策树模型提取出 7 条分类规则,筛选出 4 类高危人群,该预测模型具有良好的灵敏度和特异度,可为临床评估、干预腹腔镜下子宫切除术后并发性下肢 DVT 提供参考。

参考文献

[1] RIVAS-LÓPEZ R, SANDOVAL-GARCÍA-TRAVESÍ F A. Robotic surgery in gynecology: review of literature [J]. *Cir Cir*, 2020, 88(1):107-116.

[2] NAVARRETE S, SOLAR C, TAPIA R, et al. Pathophysiology of deep vein thrombosis [J]. *Clin Exp Med*, 2023, 23(3):645-654.

[3] 刘继林. 腹腔镜与开腹子宫切除术对患者凝血、纤溶系统及术后深静脉血栓形成的影响[J]. *血栓与止血学*, 2020, 26(1):95-96.

[4] SHI G, JIANG L, LIU P, et al. Using a decision tree approach to analyze key factors influencing intraoperative-acquired pressure injury[J]. *Adv Skin Wound Care*, 2023, 36(11):591-597.

[5] MA X B, XU Q L, LI N, et al. A decision tree model to distinguish between benign and malignant pulmonary nodules on CT scans[J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2023, 27(12):5692-5699.

[6] 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.

[7] COHEN C M, WENTZENSEN N, CASTLE P E, et al. Racial and ethnic disparities in cervical cancer incidence,

survival, and mortality by histologic subtype[J]. *J Clin Oncol*, 2023, 41(5):1059-1068.

[8] DUYAR S, MOU T, MUELLER M G, et al. Incidence of and risk factors for postoperative venous thromboembolism in benign hysterectomy[J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2022, 29(2):231-236. e1.

[9] 王干梅, 沈亚奇. 妇科腹腔镜术后深静脉血栓形成列线图预测模型的构建[J]. *现代妇产科进展*, 2022, 31(3):196-199.

[10] LORCHAIVEJ S, SUPRASERT P, SRISUWAN T, et al. Prevalence and risk factor of post-operative lower extremities deep vein thrombosis in patients undergoing gynecologic surgery: a single-institute cross-sectional study[J]. *Thromb J*, 2022, 20(1):14.

[11] 解丹平, 方宏超, 李艳玲. 腹腔镜结直肠癌根治术后并发性下肢深静脉血栓的相关影响因素分析[J]. *实用癌症杂志*, 2023, 38(7):1184-1186.

[12] 阮书记. 麻醉方式对全髋关节置换术后深静脉血栓形成的影响探讨[J]. *血栓与止血学*, 2019, 25(5):792-793.

[13] 梁惠霞, 林淑媛, 范蔚芳, 等. 子宫肌瘤经腹腔镜剔除术后并发性下肢深静脉血栓风险评分系统的建立[J]. *国际妇产科学杂志*, 2022, 49(4):398-402.

[14] TIAN Q, LI M. Risk factors of deep vein thrombosis of lower extremity in patients undergone gynecological laparoscopic surgery: what should we care[J]. *BMC Womens Health*, 2021, 21(1):130.

[15] 孙晓颖. 早期功能锻炼及健康教育护理干预对中老年膝关节置换术后下肢深静脉血栓形成的预防作用[J]. *血栓与止血学*, 2021, 27(1):161-162.

[16] LUO H, QIAO Y. Correlation analysis of Blood TM, TG and D-dimer with deep venous thrombosis formation in patients after total hip arthroplasty [J]. *Pak J Med Sci*, 2023, 39(2):539-543.

[17] TORT M, SEVIL F C, SEVIL H, et al. Evaluation of systemic immune-inflammation index in acute deep vein thrombosis: a propensity-matched [J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2023, 11(5):972-977. e1.

[18] BJORNESTAD J, TJORA T, LANGEVELD J H, et al. Exploring specific predictors of psychosis onset over a 2-year period: a decision-tree model [J]. *Early Interv Psychiatry*, 2022, 16(4):363-370.

[19] HAYSEN H, CIRES-DROUET R, ENGLUM B, et al. Systematic review of venous thromboembolism risk categories derived from Caprini score[J]. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord*, 2022, 10(6):1401-1409.

[20] 代玲玉, 赵红乐, 赵广芳, 等. Caprini 评分联合 D-二聚体诊断妇科恶性肿瘤深静脉血栓形成的价值[J]. *中国医药导报*, 2020, 17(2):85-88.

[21] 郎景和, 王辰, 瞿红, 等. 妇科手术后深静脉血栓形成及肺栓塞预防专家共识[J]. *中华妇产科杂志*, 2017, 52(10):649-653.

[22] 张荣, 余敏敏, 王永臻, 等. 妇科术后深静脉血栓的预防及治疗[J]. *中华全科医学*, 2018, 16(12):2003-2005.