

• 血管介入 Vascular intervention •

上臂输液港并发导管相关血栓形成危险因素分析及机器学习预测模型构建

张梦肃, 张 杰, 金光鑫, 仇晓霞, 张学彬, 卜 军

【摘要】 目的 分析上臂输液港(upper arm infusion port, UAP)并发导管相关血栓形成(catheter-related thrombosis, CRT)的危险因素,构建机器学习预测模型。**方法** 纳入 2014 年 2 月至 2023 年 2 月在上海仁济医院接受 UAP 植入患者 6 028 例,并分入训练集($n = 4\ 219$)和验证集($n = 1\ 809$)。构建最小绝对收缩和选择算子(LASSO)、随机森林、决策树、神经网络、XGBoost 及 logistic 等 6 种机器学习模型,选择性能较优者作为最优模型。采用沙普利加性解释法(SHAP)分析解释神经网络模型,DALEXtra 软件包解释连续变量。**结果** 选择神经网络模型作为最终模型。连续变量按重要程度由高至低分别为性别、导管直径、导管尖端确认方式、导管长度、患者类型、中心静脉导管植入史、皮下隧道长度、年龄、体质量指数(BMI)、原发性尖端移位、静脉左右侧入路。学习曲线[训练集受试者工作特征曲线下面积(AUC) >0.6]以及 Delong 试验、Bootstrap 法测试显示,神经网络模型性能良好($P < 0.05$)。Kolmogorov-Smirnov(KS)值为 0.313 5,显示模型区分度良好。临床影响曲线(clinical impact curve, CIC)评估表明,模型有良好的临床价值。**结论** 成功构建预测 UAP 并发 CRT 的机器学习模型。建议首选直径 5 F 导管,优选左侧静脉入路并通过解剖学测量定位导管尖端,导管长度不低于 36.56 cm,皮下隧道长度不低于 5 cm,以降低 CRT 风险。基础特征为年龄 50~65 岁、BMI 18.69~20.81 kg/m² 和 23.68~23.94 kg/m²、男性,与较高 CRT 相关。

【关键词】 上臂输液港;导管相关血栓形成;机器学习;预测模型

中图分类号:R654.3 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2025)-003-0253-08

Analysis of the risk factors for catheter-related thrombosis in upper arm infusion port and construction of machine-learning prediction model ZHANG Mengsu, ZHANG Jie, JIN Guangxin, QIU Xiaoxia, ZHANG Xuebin, BU Jun. Department of Cardiology, Affiliated Renji Hospital, School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200127, China

Corresponding author: BU Jun, E-mail: pujun310@hotmail.com

【Abstract】 Objective To analyze the risk factors for catheter-related thrombosis (CRT) in the upper arm infusion port (UAP) and to construct a machine-learning prediction model. **Methods** A total of 6028 patients, who received UAP implantation at Shanghai Renji Hospital of China from February 2014 to February 2023, were enrolled in this study. The patients were divided into training set ($n = 4\ 219$) and validation set ($n = 1\ 809$). Six machine-learning prediction models, including Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) regression, random forest, decision tree, neural network, XGBoost and logistic, were constructed, and the model having best performance was selected as the optimal model. SHapely Additive exPlanations (SHAP) analysis was used to explain the neural network model, and DALEXtra package was used to explain the continuous variables. **Results** The neural network model was chosen as the final model. The variables, in order of the degree of importance from high to low, included sex, the diameter of catheter, catheter tip confirmation method, the length of catheter, inpatient or

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2025.03.005

基金项目:上海市科委科技支撑项目(19441907000)

作者单位:200127 上海 上海交通大学医学院附属仁济医院心内科(张梦肃、卜 军),肿瘤介入科(张 杰、金光鑫、张学彬),肿瘤科(仇晓霞)

通信作者:卜 军 E-mail:pujun310@hotmail.com

outpatient status, history of central venous catheter implantation, the length of subcutaneous tunnel, age, body mass index (BMI), primary tip displacement, and left or right venous approach. The learning curve, i. e. the area under curve (AUC) of the receiver operating characteristic (ROC) curve, for the training set was >0.6 , and the Delong testing and Bootstrap Methods Test showed that the neural network model performed well ($P < 0.05$). The Kolmogorov-Smirnov plot (KS plot) value was 0.313 5, indicating that the model had the good ability of discrimination. The clinical impact curve (CIC) assessment revealed that the model had good clinical value. **Conclusion** The machine-learning prediction model of upper arm infusion port with CRT has been successfully constructed. For minimizing the risk of CRT, it is recommended to prioritize the use of 5 F diameter catheters, adopt left-sided venous approach and positioning the tip of the catheter based on anatomical measurements, besides, the catheter length should be not shorter than 36.56 cm, and the subcutaneous tunnel length should not be less than 5 cm. The basic features associated with higher CRT risk include age of 50-65 years, BMI being between 18.69 kg/m² and 20.81 kg/m² or between 23.68 kg/m² and 23.94 kg/m² and male.

【Key words】 upper arm infusion port; catheter-related thrombosis; machine-learning; prediction model

完全植入式静脉输液港 (totally implantable venous access port, TIVAP) 最常置于胸壁和上臂^[1]。但置于胸壁可能导致血胸、气胸等, 不适用于胸大肌皮瓣肿瘤、颈部或上胸部肿瘤或已安装起搏器、透析导管患者, 同时需要脱下外衣进行输液^[2]。上臂 TIVAP 即上臂输液港 (upper arm port, UAP), 通过上臂内侧切口能更好地隐藏于患者衣物下, 成为备受欢迎的选择。UAP 植入后临床相关血栓形成发生率达 10.5%, 导管相关血栓形成 (catheter related thrombosis, CRT) 发生率为 4.6%^[3]。目前关于 UAP 并发 CRT 研究相对有限。有研究显示患者年龄、体质量指数 (BMI)、肿瘤分期、总胆固醇水平、纤维蛋白原水平、D-二聚体水平为 UAP 肿瘤患者并发 CRT 的独立危险因素^[4]。但《输液导管相关静脉血栓形成防治中国专家共识 (2020 版)》^[5]指出, 血常规及凝血功能检查对于评估出血风险、监测治疗效果有重要意义, 但对于导管相关静脉血栓诊断价值有限, 其水平不能作为是否置管的依据。为此, 本研究利用 6 028 例植入和维护 UAP 患者数据, 分析 UAP 并发 CRT 风险因素, 并采用机器学习算法构建预测模型。

1 材料与方法

1.1 一般资料

对 2014 年 2 月至 2023 年 2 月在上海仁济医院接受 UAP 植入患者进行随访调查。患者纳入标准: ①接受 UAP 植入和维护; ②需要接受长期和重

复输液治疗。排除标准: ①随访期间发生非导管相关静脉血栓形成; ②无法遵循随访计划; ③无法遵守导管护理要求; ④使用过程中操作失败 (如不当穿刺、导管污染、意外针头脱落); ⑤手术期间发生技术性失败 (如导管弯曲、手术区域污染、导管穿破静脉壁、反复导管插入、意外针头脱落); ⑥ 30 d 内发生导管相关并发症; ⑦导管置入后 30 d 内拆除。本研究获得了医院伦理委员会批准, 每位患者及其家属均知情同意。

1.2 临床数据收集

收集患者人口统计学信息 (年龄、性别、BMI、患者类型、中心静脉导管植入史、静脉血栓史、肿瘤类型)、手术相关因素 (导管尖端确认方式、静脉入路、静脉左右侧入路、静脉异常状态、静脉异常反流、港体位置、皮下隧道长度、术者调整导管位置所致导管原发性移位) 以及 UAP 相关因素 (UAP 使用时间、导管长度、导管直径、港体倒置、导管破裂、导管堵塞、导管自发性移位、针头意外脱落、心动过速、气胸、过敏、淋巴漏、CRT、导管相关感染、导管相关血流感染、脓毒性血栓形成、囊袋感染、皮肤损伤、皮肤感染和囊袋出血)。UAP 相关 CRT 为研究结局变量。《输液导管相关静脉血栓形成防治中国专家共识 (2020 版)》^[5]将 CRT 分为深静脉血栓形成、血栓性浅静脉炎、无症状血栓、血栓性导管失功等 4 类, 本研究收集的 CRT 类别为前两类。

1.3 统计学分析

数据分析流程见图 1。采用 R Studio 4.1.3 软件进行数据分析。为使统计学分析合理, 防止模型

过拟合,删除阳性案例数 <10 的9个因素和1个亚分类因素:囊袋出血(0例)、港体倒置(3例)、导管破裂(2例)、导管自发性移位(9例)、针头意外脱落(3例)、心动过速(5例)、气胸(0例)、过敏(1例)、淋巴漏(1例)及静脉入路中亚分类变量头静脉(9例)(纳入19个自变量)。感染患者和非感染患者间进行单因素分析(Wilcoxon检验、T检验、Fisher确切检验,卡方检验)。

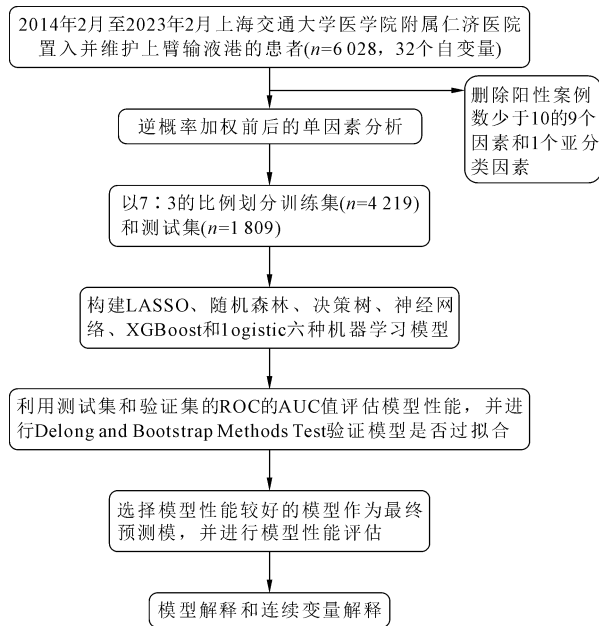


图1 数据分析流程

将患者以7:3比例随机分配到训练集和验证集。构建最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)、随机森林、决策树、神经网络、XGBoost及logistic等6种机器学习模型。利用测试集和验证集患者受试者工作特征曲线下面积(area under curve, AUC)评估模型性能,并通过Delong试验及Bootstrap法验证模型是否过拟合。选择性能较好的模型作为最终预测模型。为进一步评价最终模型性能,采用临床影响曲线(clinical impact curve, CIC)评估模型临床效用和适用性净收益, Kolmogorov-Smirnov(KS)图评估模型区分度。采用沙普利加性解释法(SHapely additive exPlanations, SHAP)对神经网络模型进行解释,提高模型透明度。采用DALEXtra软件包对连续变量进行解释。为检验和控制回顾性分析的偏倚和混杂,对数据进行逆概率加权,并单因素分析筛选特征因素。采用网格搜索法行5折交叉验证寻找最优超参数,以提高机器学习算法准确性。所有检验水平设定为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 数据混杂偏倚处理

共纳入6 028例UAP植入和维护患者。其中41例(0.68%)诊断为UAP相关CRT(深静脉血栓形成和/或血栓性浅静脉炎)。逆概率加权后单因素分析结果见表1,筛选出肿瘤类型、中心静脉导管植入史、静脉血栓史、静脉异常状态、静脉入路、肩部不适、静脉异常反流、皮肤损伤、导管堵塞。由这些变量组成的加权方程预测的CRT结果不是本研究所定义的整数结局(0:无,1:有),而是非整数。逆概率加权实质是通过logistic回归、probit回归函数算法计算重分配数据样本构成,且产生一定数量虚拟样本。此外,logistic分析、probit回归要求变量间不存在多重共线性。多重共线性会增加优势比分析的标准误差,导致变量与结果间关系分析不正确^[6]。然而实际数据很少满足这些假设。作为线性分析替代方案,非线性机器学习(如决策树、随机森林、神经网络、XGBoost)可在无任何假设情况下识别多个变量间复杂模式,本研究因而未采纳逆概率加权作为主体数据分析,仅将其作为常规二分类变量数据分析结果的展示。

2.2 模型筛选

决策树、神经网络、XGBoost和logistic机器学习模型构建成功,其AUC值见表2。LASSO、随机森林模型无法筛选出特征变量进行建模。神经网络模型超参数寻优过程和最优超参数5折交叉验证过程见图2。

2.3 神经网络模型性能

在预测较为困难领域,AUC值0.6可视为主观值^[7]。从AUC值(训练集0.660 6、测试集0.504 3)可知模型性能良好。KS图评价可知,概率值0.272 2时KS值最大;KS值为0.313 5,表明模型性能较好,样本区分程度良好^[8-9]。CIC表明本模型有良好的临床价值。见图3。

2.4 神经网络模型解释

神经网络模型神经拓扑结构图显示,神经网络模型最终纳入的特征变量为性别、导管直径、导管尖端确认方式、导管长度、患者类型、中心静脉导管植入史、皮下隧道长度、年龄、BMI、原发性尖端移位、静脉左右侧入路(按重要程度由高到低);使用SHAP法展示了神经网络模型对样本1单个观察力图,以及神经网络模型预测过程。见图4。

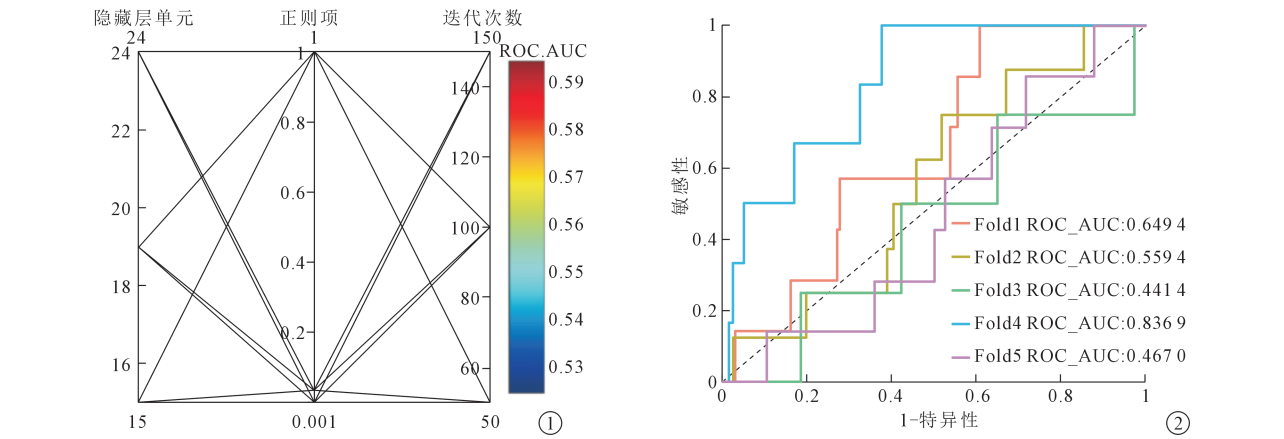
SHAP基于博弈论解释方法,通过计算特征值对模型预测结果的贡献度为每一特征提供解释性分

表 1 逆概率加权前后单因素分析结果[n(%)]

因素	原始数据			逆概率加权后数据		
	无 CRT	并发 CRT	P 值	无 CRT	并发 CRT	P 值
性别			0.058			0.537
男	3 277(54.7)	29(70.7)		3 305.4(54.8)	2 904.3(48.9)	
女	2 710(45.3)	12(29.3)		2 722.1(45.2)	3 034.8(51.1)	
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	59.30 \pm 11.59	60.22 \pm 7.17	0.612	59.31 \pm 11.59	60.42 \pm 6.82	0.355
BMI(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	22.30 \pm 3.29	21.90 \pm 2.93	0.431	22.30 \pm 3.29	22.20 \pm 3.04	0.870
肿瘤类型			0.865			<0.001
非肿瘤	15(0.3)	0		15.0(0.2)	0	
实体瘤	5 945(99.3)	41(100.0)		5 985.5(99.3)	5 939.1(100.0)	
血液肿瘤	27(0.5)	0		27.0(0.4)	0	
患者类型			0.793			0.801
门诊	2 237(37.4)	14(34.1)		2 250.7(37.3)	2 362.4(39.8)	
住院	3 750(62.6)	27(65.9)		3 776.8(62.7)	3 576.7(60.2)	
中心静脉导管植入史			0.156			<0.001
无	5 579(93.2)	41(100.0)		5 619.5(93.2)	5 939.1(100.0)	
有	408(6.8)	0		408.0(6.8)	0	
血栓史			1			<0.001
无	5 972(99.7)	41(100.0)		6 012.5(99.8)	5 939.1(100.0)	
有	15(0.3)	0		15.0(0.2)	0	
静脉异常状态			1			<0.001
无	5 971(99.7)	41(100.0)		6 011.5(99.7)	5 939.1(100.0)	
有	16(0.3)	0		16.0(0.3)	0	
静脉入路			0.924			<0.001
肘/贵要静脉	5 903(98.6)	41(100.0)		5 943.5(98.6)	5 939.1(100.0)	
腋静脉	84(1.4)	0		84.0(1.4)	0	
静脉左右侧路			1			0.497
右侧	5 647(94.3)	39(95.1)		5 685.5(94.3)	5 730.5(96.5)	
左侧	340(5.7)	2(4.9)		342.0(5.7)	208.6(3.5)	
皮下隧道长度(cm, $\bar{x} \pm s$)	4.14 \pm 1.24	4.01 \pm 1.28	0.515	4.14 \pm 1.24	4.14 \pm 1.05	0.999
导管内长度(cm, $\bar{x} \pm s$)	34.13 \pm 2.73	33.68 \pm 2.79	0.293	34.13 \pm 2.73	34.43 \pm 1.64	0.269
导管尖端确认方式			0.277			0.742
透视	1 526(25.5)	14(34.1)		1 539.7(25.5)	1 377.9(23.2)	
解剖学定位	4 461(74.5)	27(65.9)		4 487.9(74.5)	4 561.2(76.8)	
导管相关感染			<0.001			0.371
无	5 933(99.1)	35(85.4)		5 967.9(99.0)	5 901.8(99.4)	
有	54(0.9)	6(14.6)		59.7(1.0)	37.3(0.6)	
导管相关血流感染			<0.001			0.424
无	5 977(99.8)	39(95.1)		6 015.7(99.8)	5 932.9(99.9)	
有	10(0.2)	2(4.9)		11.8(0.2)	6.2(0.1)	
囊袋感染			<0.001			0.620
无	5 968(99.7)	39(95.1)		6 006.8(99.7)	5 925.8(99.8)	
有	19(0.3)	2(4.9)		20.8(0.3)	13.3(0.2)	
皮肤感染			<0.001			0.611
无	5 965(99.6)	38(92.7)		6 002.8(99.6)	5 922.4(99.7)	
有	22(0.4)	3(7.3)		24.7(0.4)	16.7(0.3)	
肩部不适			1			<0.001
无	5 932(99.1)	41(100.0)		5 972.5(99.1)	5 939.1(100.0)	
有	55(0.9)	0		55.0(0.9)	0	
静脉异常反流			1			<0.001
无	5 973(99.8)	41(100.0)		6 013.5(99.8)	5 939.1(100.0)	
有	14(0.2)	0		14.0(0.2)	0	
皮肤损伤			1			0.001
无	5 974(99.8)	41(100.0)		6 014.5(99.8)	5 939.1(100.0)	
有	13(0.2)	0		13.0(0.2)	0	
导管堵塞			1			0.002
无	5 976(99.8)	41(100.0)		6 016.5(99.8)	5 939.1(100.0)	
有	11(0.2)	0		11.0(0.2)	0	
原发性尖端移位			0.820			0.613
无	5 533(92.4)	37(90.2)		5 569.7(92.4)	5 312.2(89.4)	
有	454(7.6)	4(9.8)		457.8(7.6)	626.9(10.6)	
导管直径			0.159			0.835
5 F	4 705(78.6)	28(68.3)		4 733.1(78.5)	4 751.2(80.0)	
>5 F	1 282(21.4)	13(31.7)		1 294.4(21.5)	1 187.9(20.0)	

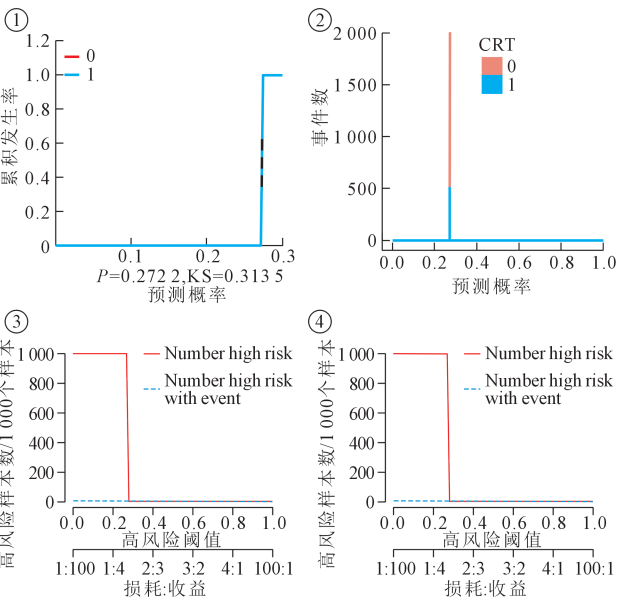
表 2 各机器学习模型的 AUC 值(95%CI)

分集	XGBoost 模型	决策树模型	神经网络模型	logistic 模型
训练集	0.859 1(0.790 1~0.928 0)	0.596 5(0.528 3~0.664 7)	0.660 6(0.566 6~0.754 6)	0.745 3(0.660 1~0.830 4)
测试集	0.481 9(0.236 8~0.727 1)	0.504 7(0.502 4~0.507 1)	0.504 3(0.285 5~0.723 1)	0.45(0.258 5~0.641 5)
P 值	0.003 7	0.008 4	0.198 3	0.005 8



①神经网络模型超参数寻优过程(迭代次数:模型在整个训练集上进行学习次数。迭代过少可能导致模型欠拟合,过多可能导致过拟合;正则项:正则化通过在模型损失函数中添加一正则项实现,模型优化目标变为最小化损失函数和正则项之和,正则项通常基于模型参数大小,以限制模型参数数量或幅度;隐藏层单元数:设定神经网络每一隐藏层神经元个数,大体上其越多解决问题潜力越强)。颜色标度表示不同超参数组合下 AUC 值,与线条颜色对应。②最优超参数 5 折交叉验证过程

图 2 神经网络模型超参数寻优及最优超参数 5 折交叉验证过程



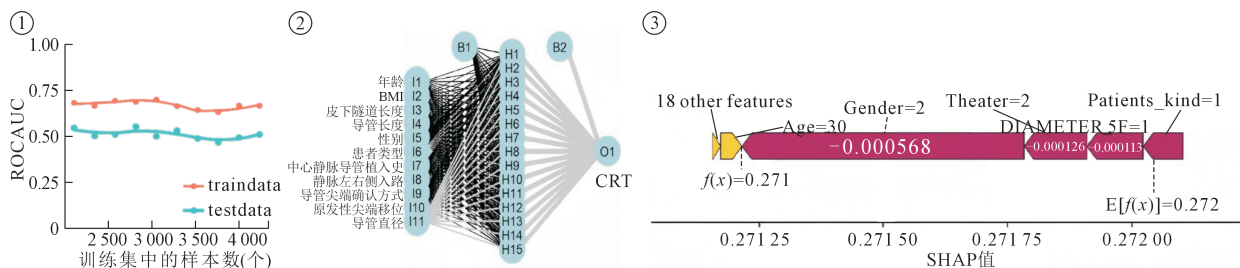
①KS 图训练集近似于 CRT 累积分布函数形状;②概率分布训练集(CRT=0 示无 CRT,CRT=1 示有 CRT);③训练集和④验证集中模型 CIC(红色曲线即高风险数,表示预测模型在每一阈值概率下预测结果为阳性的病例数;蓝色曲线即带有事件的高风险数,表示每一阈值概率的真阳性病例数)。CIC 表明模型预测的阳性病例数与实际阳性病例数接近,风险阈值越高模型预测的病例数越接近实际病例数

图 3 神经网络模型性能

数,其提高模型透明度,增加使用模型预测时信心,有利于模型推广。本研究中 SHAP 对所有输入特征与 CRT 关系进行识别,以提高模型算法可解释性,每一实例预测均通过 SHAP 值量化特征贡献予解释。SHAP 值表示特征对结局影响的直接关系。通过取每一数据库中特征所有 SHAP 均值量化全局特征影响值,然后按重要性降序排序所有值,以绘制图示^[10-13]。见图 5。

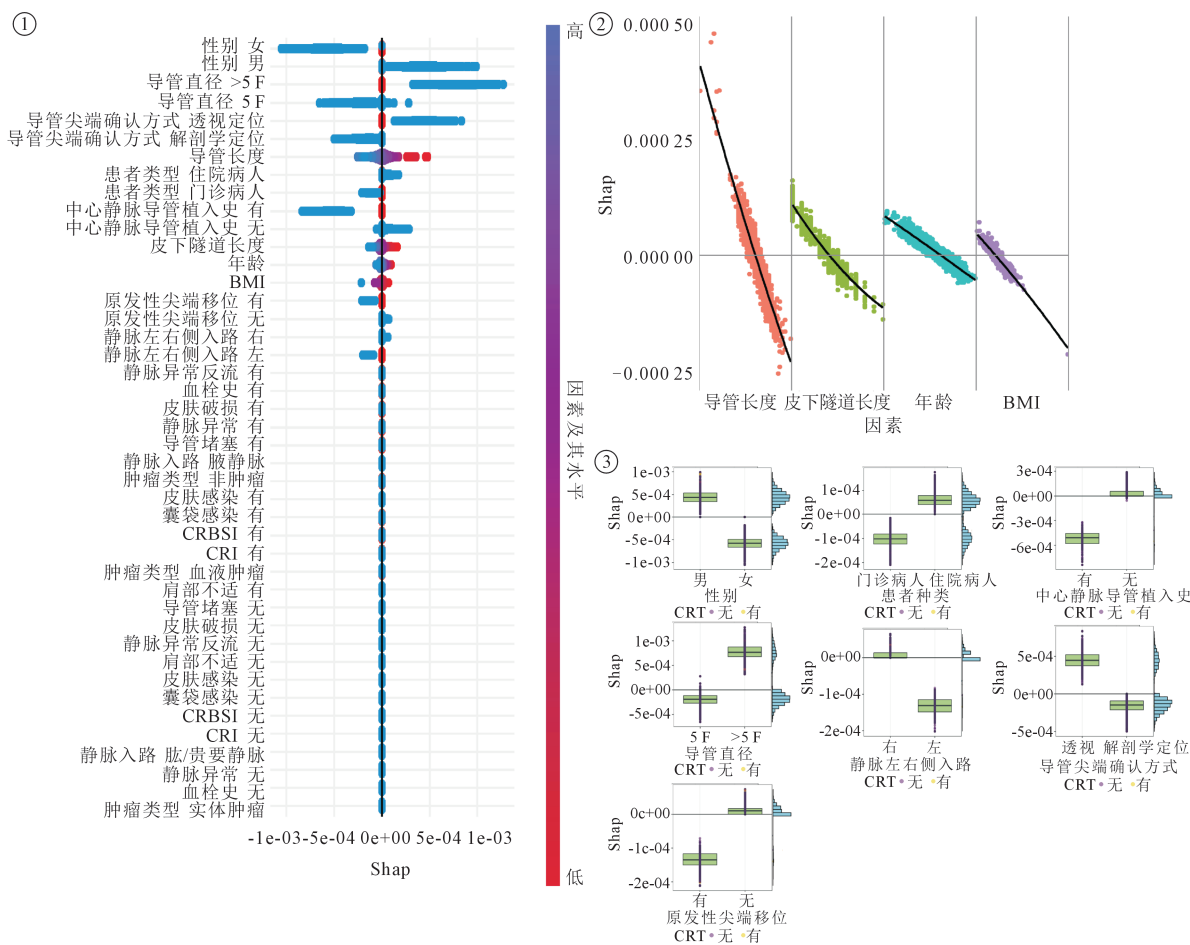
2.5 连续变量分析

神经网络模型显示,导管越长、皮下隧道越长、年龄越大、BMI 越高,CRT 发生概率越小。这些结论与其他应用 logistic 分析的小样本量研究^[4,13-14]结论不同,甚至相反。为进一步分析变量详细情况,采用 DALEXtra 包对 3 种非线性机器学习模型(神经网络、决策树、XGBoost)连续变量进行分析绘图,决策树仅纳入连续变量导管长度,神经网络和 XGBoost 均纳入年龄、BMI、导管长度和皮下隧道长度等 4 个变量,XGBoost 更充分展示了 4 个连续变量对 CRT 预测结果的贡献度,见图 6。如图可知,年龄 50~65 岁、BMI 18.69~20.81 kg/m² 和 23.68~23.94 kg/m²、导管长度<36.56 cm、皮下隧道长度<5 cm 时 UAP 患者并发 CRT 风险高。



①神经网络模型学习过程;②神经网络模型神经拓扑结构图(黑线为层之间正权重,灰线为负权重,线条粗细与每一变量相对大小成比例,I、H、O、B分别为输入层、隐藏层、输出层、偏差);③样本1观察力图: $E[f(x)]$ 为不输入任何输入特征时机器模型输出值(基准值), $f(x)$ 为输入相关特征后得出样本1发生CRT风险的预测值,将预测值推高(向右)特征以黄色显示,推低(向左)特征以红色显示,Age=30 指年龄30岁,Gender=2 指性别女性,Theater=2 指导管尖端确认方式为解剖学定位,DIEMETER 5 F=1 指导管直径为5 F,Patients_kind=1 指患者为门诊患者

图4 神经网络模型概况



①神经网络模型 SHAP 汇总图(SHAP 值表示每个特征对模型预测的贡献程度,正值表示增加,负值表示减少,颜色标度表示特征重要性;每一孤立点表示每一单独特征和实例 SHAP 值,根据特征重要性降序排序)。②连续变量 SHAP 图(采用局部加权回归法绘制平滑曲线)。③分类变量 SHAP 图(边缘直方图显示分布情况,绿色箱体展示上 4 分位数和下 4 分位数范围)

图5 神经网络模型解释说明

3 讨论

CRT 已成为 TIVAP 拆除术重要指征,约占全部 TIVAP 拆除的 11.4%^[15]。目前临床相关指南不推荐对留置导管患者进行常规预防性抗凝治疗,而是根据患者血栓形成风险和出血风险进行权

衡^[16]。本研究构建可行的预测 UAP 并发 CRT 的机器学习模型,旨在为临床预防性抗凝提供一定的判断依据,提高医师临床决策的科学性和准确性,减轻患者病痛和经济负担。

神经网络模型分析表明,小直径导管(5 F)和左

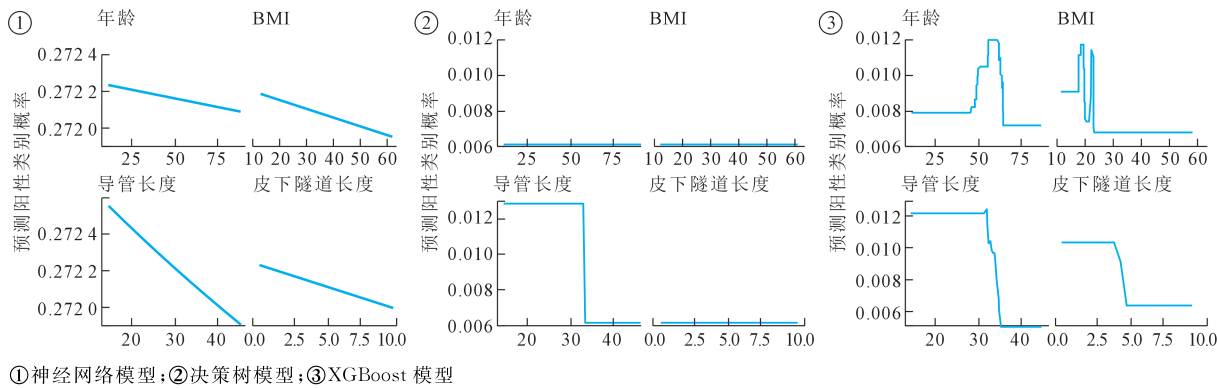


图 6 连续变量

侧静脉入路不利于 CRT 发生,这两个因素在其他研究中也证实。当导管占据静脉腔 50%以上时,血栓形成风险增加^[15]。此外研究发现,港体置于左前臂的 TIVAP 患者中 CRT 发生率有降低趋势,可能是因为大多数患者是右势手,左臂压力较小,对血管壁机械刺激较少^[17]。住院患者血栓发生风险较高,可能与其病情严重程度、活动性、营养状况等因素相关。性别与血栓之间关系复杂,与激素水平、年龄、身高等其他因素相互影响,但总的来说男性患静脉血栓栓塞和复发性静脉血栓栓塞的风险均高于女性^[18]。本研究结论与之相符,置入 UAP 男性患者更易并发 CRT。

在导管定位方法上,本研究采用了解剖学测量和透视引导两种方式。尽管透视引导在导管尖端定位准确率上通常优于解剖学测量^[19],但本研究发现使用解剖学测量定位尖端的 UAP 患者 CRT 发生率更低。这可能是由于术者在透视引导过程中需要根据影像对导管进行位置调节和确认,增加了对血管壁的机器损伤。导管可通过异物反应和炎症机制损伤更多内皮和静脉壁,增加 CRT 发生率^[20-21]。

本研究结果还显示,UAP 患者年龄 50~65 岁、BMI 18.69~20.81 kg/m² 和 23.68~23.94 kg/m²、导管长度<36.56 cm、皮下隧道长度<5 cm 时并发 CRT 风险较高。这与以往采用 logistic 回归分析、样本量较小的研究^[4,13] 结果有所差异(较长导管长度、高 BMI、患者年龄>60 岁为输液港并发 CRT 高危因素)。这种差异可能源于样本量和数据分析方法不同。先前的研究通常应用 logistic 回归分析,需要假设输入变量与结果间存在线性关系,并将年龄以 60 岁为界划分为二分类变量进行分析。相比之下,本研究采用非线性机器学习方法,能够在不预设任何假设情况下识别多个变量间复杂关系,且将年龄视为连续变量进行分析。关于皮下隧道长度与

TIVAP 研究较少,但关于经外周穿刺中心静脉置管(peripherally inserted central catheter, PICC)研究表明,额外增加的皮下隧道能降低患者并发 CRT 等并发症风险^[22]。目前最佳的皮下隧道长度尚无基于证据的共识,其推荐范围为 2~10 cm,但 PICC 相关研究表明 4、5、6 cm 皮下隧道能降低患者并发导管相关并发症风险^[14]。本研究结论与上述研究结论并不冲突。推测较长的皮下隧道可增加对导管端口的保护,减少外源性血栓激活因子的进入及导管端口与周围血管和组织的磨损。导管长度其实大多对应的是导管出口部位在前臂的选择。导管出口部位及港体放置位置在上臂中 1/3^[23]。较短的导管长度对应的是导管出口部位及港体位置靠近腋窝方向的情况。此处上臂活动摩擦多,腋下汗腺出汗较多,感染和血栓风险均较高。随着年龄增长,血管脆弱性增加、慢性疾病(高血压、糖尿病或心血管疾病等)增多、活动水平降低(长期卧床或缺乏运动所致血液流动减少)、恢复能力下降(血管内皮损伤后愈合过程减慢),进一步提高了血栓风险。本研究中 50~65 岁患者发生 CRT 风险高,可能是因为该年龄段不属于常规典型的血栓高发年龄段,预防血栓意识较薄弱。有研究表明高 BMI 是并发 CRT 风险因素^[4],但也有研究表明低 BMI(<22 kg/m²)是血栓发生危险因素^[24]。BMI 与健康的关系复杂,BMI 虽是评估人体体重与健康状况的常用指标,但其并不能全面反映人体成分、肌肉量、脂肪分布或总体健康状况。因此,BMI 与疾病风险之间关系可能并不总是线性或直观的。一项纳入 296 535 例患者的研究表明,低 BMI(≤18.5 kg/m²)与心血管疾病发病率较高有关,而 BMI 22~23 kg/m² 人群心血管疾病风险最低,之后随着 BMI 增加心血管疾病风险也增加^[25]。为此合理推测,可能存在尚未完全理解的生物学机制在不同 BMI 范围内,以不同方式影响血栓

等心脑血管疾病风险。

本研究模型在临床医师考虑预防性抗凝,或减少治疗策略中 UAP 并发 CRT 风险时,可提供合理参考,并有助于医护人员筛选出需要更多护理和宣教的高 CRT 风险患者。为降低 UAP 患者并发 CRT 风险,本研究提出专业化预防策略为:选择 5 F 导管,优选左侧静脉入路,应用解剖学测量定位导管尖端,导管长度不低于 36.56 cm,皮下隧道长度不低于 5 cm。尤其要注意的是,患者基础特征为年龄 50~65 岁、BMI 18.69~20.81 kg/m² 和 23.68~23.94 kg/m²、男性时并发 CRT 概率较大,应进行更为密切的监测,并结合临床情况和模型预测结果合理考虑预防性抗凝干预。本研究局限性在于缺乏模型的外部验证,需要进行多中心回顾性验证或前瞻性随机临床试验,以获取用于临床应用的高水平证据。

[参 考 文 献]

- [1] 郑 夏,张 昊,喻文立,等. 静脉输液港植入与管理多学科专家共识(2023 版)[J]. 中国普通外科杂志,2023,32:799-814.
- [2] 任军丽. 植入上臂输液港的乳腺癌患者并发导管相关性血栓的危险因素分析[D]. 兰州:甘肃中医药大学,2022.
- [3] Goltz JP, Petritsch B, Thurner A, et al. Complications after percutaneous placement of totally implantable venous access ports in the forearm[J]. Clin Radiol, 2012, 67: 1101-1107.
- [4] 黄秀艳,陈湘威,杨晋杰. 上臂型输液港肿瘤患者并发 CRT 的危险因素分析[J]. 护理实践与研究, 2024, 21: 536-542.
- [5] 成 芳,傅麒宁,何佩仪,等. 输液导管相关静脉血栓形成防治中国专家共识(2020 版)[J]. 中国实用外科杂志, 2020, 40: 377-383.
- [6] Ranganathan P, Pramesh CS, Aggarwal R. Common pitfalls in statistical analysis: logistic regression[J]. Perspect Clin Res, 2017, 8: 148-151.
- [7] Riley RD, Archer L, Snell KIE, et al. Evaluation of clinical prediction models (part 2): how to undertake an external validation study[J]. BMJ, 2024, 384: e074820.
- [8] Chicheportiche R, Bouchaud JP. Weighted Kolmogorov-Smirnov test: accounting for the tails[J]. Physical Review E, 2012, 86: 041115.
- [9] Albano AM, Rapp PE, Passamante A. Kolmogorov-Smirnov test distinguishes attractors with similar dimensions[J]. Phys Rev E Stat Phys Plasmas Fluids Relat Interdiscip Topics, 1995, 52: 196-206.
- [10] Anjum M, Khan K, Ahmad W, et al. New SHapley additive ExPlanations (SHAP) approach to evaluate the raw materials interactions of steel-fiber-reinforced concrete [J]. Materials (Basel), 2022, 15: 6261.
- [11] Strumbelj E, Kononenko I. Explaining prediction models and individual predictions with feature contributions[J]. Knowl Inf Syst, 2014, 41: 647-665.
- [12] Gramegna A, Giudici PGramegna A, Giudici P. SHAP and LIME: an evaluation of discriminative power in credit risk [J]. Front Artif Intell Front Artif Intell, 2021, 4: 752558.
- [13] Kao CY, Fu CH, Cheng YC, et al. Outcome analysis in 270 radiologically guided implantations of totally implantable venous access ports via basilic vein[J]. J Chin Med Assoc, 2020, 83: 295-301.
- [14] Li J, Hu Z, Lin X, et al. A randomized controlled trial to compare peripherally inserted central catheter tunnel lengths in adult patients with cancer[J]. Clin J Oncol Nurs, 2023, 27: 295-304.
- [15] Jiang M, Li C, Pan C, et al. Risk of venous thromboembolism associated with totally implantable venous access ports in cancer patients: a systematic review and meta-analysis[J]. J Thromb Haemost, 2020, 18: 2253-2273.
- [16] Citla SD, Abou-Isma MY, Ahuja SP. Central venous catheter-related thrombosis in children and adults[J]. Thromb Res, 2020, 187: 103-112.
- [17] Goltz JP, Scholl A, Ritter CO, et al. Peripherally placed totally implantable venous-access port systems of the forearm: clinical experience in 763 consecutive patients[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2010, 33: 1159-1167.
- [18] Hvas AM, Favaloro EJ. Gender related issues in thrombosis and hemostasis[J]. Expert Rev Hematol, 2017, 10: 941-949.
- [19] Mack V, Nibler D, Kasikci D, et al. Magnetic tracking and electrocardiography-guided tip confirmation system versus fluoroscopy for placement of peripherally inserted central catheters: a randomized, noninferiority comparison[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2020, 43: 1891-1897.
- [20] Kurul S, Saip P, Aydin T. Totally implantable venous-access ports: local problems and extravasation injury [J]. Lancet Oncol, 2002, 3: 684-692.
- [21] Seo TS, Song MG, Kim JS, et al. Long-term clinical outcomes of the single-incision technique for implantation of implantable venous access ports via the axillary vein[J]. J Vasc Access, 2017, 18: 345-351.
- [22] Giustivi D, Donadoni M, Elli SM, et al. Brachial tunneled peripherally inserted central catheters and the risk of catheter complications: a systematic review and meta-analysis[J]. Nurs Rep, 2024, 14: 455-467.
- [23] 仇晓霞,张学彬,许立超,等. 上臂完全植入式静脉给药装置临床应用专家共识(2022 版)[J]. 介入放射学杂志, 2023, 32: 2-8.
- [24] 牛 驰,汪 岩,徐 玢,等. 老年重症脑卒中患者住院期间发生下肢深静脉血栓的危险因素[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2023, 9: 1288-1291, 1295.
- [25] Iliodromiti S, Celis-Morales CA, Lyall DM, et al. The impact of confounding on the associations of different adiposity measures with the incidence of cardiovascular disease: a cohort study of 296 535 adults of white European descent[J]. Eur Heart J, 2018, 39: 1514-1520.

(收稿日期: 2024-05-09)

(本文编辑: 谷 珂)