·临床研究·

CHIVA与高位结扎剥脱术治疗大隐静脉曲张的疗效比较及预测模型研究

黄璇 龚明辉 李秋池 万正东*

［荆州市第一人民医院（长江大学附属第一医院）介入血管外科，荆州 434000］

【摘要】 目的 对比分析保守性血流动力学矫正术（conservative hemodynamic correction for venous insufficiency in ambulatory patients, CHIVA）与常规高位结扎剥脱术（high ligation and stripping, HLS）在治疗大隐静脉曲张过程中的围术期指标、安全性和中期疗效差异。同时，基于机器学习方法建立预后预测模型，以筛选影响手术疗效的核心因素。**方法** 采用前瞻性队列研究方法，选取2024年1月至2025年11月医院收治的92例原发性大隐静脉曲张患者，根据手术方式分为CHIVA组（32例）和HLS组（60例）。系统记录并比较两组患者的围术期指标、疼痛数字评定量表（numerical rating sale, NRS）分值、静脉临床严重程度评分（venous clinical severity score, VCSS）、术后并发症及超声检查显示的复发情况。结合患者临床特征与SHUNT分型，采用多元Logistic回归分析联合XGBoost机器学习算法，建立并验证了术前预测“临床显著改善”（VCSS改善率≥50%）的模型。**结果** CHIVA组住院时间为（4.44 ± 1.85）d，显著短于HLS组的（5.70 ± 2.13）d（P=0.006）。术后静息NRS分值均维持低水平（P=0.498）。然而，CHIVA组VCSS改善值（11.22 ± 3.34 *vs.* 2.38 ± 3.68，P<0.001）及改善率［（98.04 ± 5.08）% vs.（23.87 ± 31.97）%，P<0.001］均显著优于HLS组。CHIVA组术后隐神经损伤发生率显著低于HLS组（3.1% *vs.* 46.7%，P<0.001），但浅静脉血栓发生率略高（12.5% vs. 1.7%，P=0.029）。经过（214.86 ± 124.92）d的随访，总体超声复发率16.30%（15/92）。复发与CEAP C5级及SHUNT Ⅲ/Ⅴ型显著相关（P<0.001）。Kaplan–Meier生存分析显示CHIVA组累积未复发概率低于HLS组（Log–Rank χ^2=4.954，P=0.026）。XGBoost预测模型在测试集中的AUC为0.97。SHAP特征重要性分析显示，术前SHUNT分型是预测“临床显著改善”（VCSS改善率≥50%）的最强因素，其次为CEAP C5级和术前VCSS。**结论** 与HLS相比，CHIVA治疗方式能更显著地改善大隐静脉曲张患者的临床症状，同时有效缩短住院时间并降低隐神经损伤的发生率。基于机器学习算法构建的预测模型，可辅助个体化诊疗方案的制定。

【关键词】 慢性静脉功能不全；CHIVA；高位结扎剥脱术；SHUNT分型；机器学习；预测模型

【中图分类号】 R654.4; R543.6 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202602007

Comparative study on the efficacy of CHIVA versus high ligation and stripping in the treatment of great saphenous vein varicosity and predictive model research

Huang Xuan, *Gong Minghui*, *Li Qiuchi*, *Wan Zhengdong**

［*Department of Vascular and Endovascular Surgery*, *Jingzhou First People's Hospital* (*First Affiliated Hospital of Yangtze University*), *Jingzhou 434000*,*China*］

【Abstract】 Objective This prospective cohort study comparatively analyzed perioperative parameters, safety profiles, and mid–term outcomes between conservative hemodynamic correction for venous insufficiency in ambulatory patients (CHIVA) and conventional high ligation and stripping (HLS) for great saphenous vein varicosities. A machine learning–based prognostic

第一作者：黄璇，男，硕士研究生，主治医师，研究方向：血管外科

通信作者：万正东，男，硕士研究生，主任医师，研究方向：血管外科

prediction model was developed to identify core factors influencing surgical efficacy. **Methods** Using a prospective cohort design, 92 patients with primary great saphenous vein varicosities treated between January 2024 and November 2025 were enrolled and allocated to either the CHIVA group (n=32) or HLS group (n=60) based on surgical approach. The perioperative parameters, numerical rating sale (NRS) scores for pain, venous clinical severity score (VCSS), postoperative complications, and ultrasound–detected recurrence rates were systematicly recorded and compared between the two patient groups. By integrating patients' clinical characteristics with SHUNT classification, a multivariate logistic regression analysis combined with XGBoost machine learning technology was employed to establish and validate a preoperative predictive model for assessing treatment efficacy with the outcome defined as "postoperative VCSS improvement ≥ 50%". **Results** The CHIVA group had a significantly shorter hospital stay compared to the HLS group [(4.44±1.85)d vs. (5.70±2.13)d, P=0.006]. Postoperative resting NRS scores remained at low levels in both groups (P=0.498). However, the CHIVA group demonstrated significantly better improvements in VCSS (11.22±3.34 *vs.* 2.38±3.68, P<0.001) and improvement rates [(98.04±5.08)% *vs.* (23.87±31.97)%, P<0.001] than the HLS group. The incidence of saphenous nerve injury was significantly lower in the CHIVA group (3.1% *vs.* 46.7%, P<0.001). However, the incidence of superficial venous thrombosis was slightly higher (12.5% *vs.* 1.7%, P=0.029). After a follow–up period of (214.86±124.92) days, the overall ultrasound recurrence rate was 16.30% (15/92). Recurrence was significantly associated with CEAP C5 classification and SHUNT type III/V (P<0.001). Kaplan–Meier survival analysis showed that the cumulative non–recurrence probability was lower in the CHIVA group compared to the HLS group (Log–Rank χ^2=4.954, P=0.026). The XGBoost prediction model achieved an AUC of 0.97 in the test set. SHAP feature importance analysis revealed that preoperative SHUNT classification was the strongest predictor of "clinically significant improvement" (VCSS improvement rate ≥ 50%), followed by CEAP C5 classification and preoperative VCSS. **Conclusion** The study indicates that compared with traditional high ligation and stripping (HLS), the CHIVA treatment approach can more significantly improve clinical symptoms in patients with great saphenous vein varicosity (as assessed by the VCSS evaluation system), while effectively reducing hospitalization duration and decreasing the incidence of saphenous nerve injury. The machine learning algorithm–based efficacy prediction system provides an innovative auxiliary tool for developing individualized treatment plans.

【Key words】 Chronic venous insufficiency; CHIVA; High ligation and stripping; SHUNT classification; Machine learning; Predictive model

慢性静脉疾病（chronic venous disease, CVD）是一种常见的外周血管系统疾病，其发病机制主要与大隐静脉（great saphenous vein, GSV）瓣膜功能障碍相关。该疾病的临床表现呈渐进性发展，从早期的毛细血管扩张到晚期的皮肤溃疡，严重影响患者的日常生活能力[1]。目前GSV曲张的治疗方案多样，主要包括传统外科手术（如高位结扎联合剥脱术）、能量介导的腔内治疗技术（包括激光、射频和微波消融）、泡沫硬化治疗以及保留静脉的血流动力学重建手术[2]。其中，传统的高位结扎剥脱术（high ligation and stripping, HLS）在过去数十年中被视为治疗GSV曲张的“金标准”。然而，该术式存在创伤大、恢复周期长及可致隐神经损伤（发生率为3.49%）等固有局限性[3-4]。

随着静脉血流动力学研究的深入及超声诊断技术的发展，临床治疗策略已由“破坏解剖结构”逐步演变为“调节血流动力学”[5]。法国学者Franceschi于1988年首创了保守性血流动力学矫正术（conservative hemodynamic correction for venous insufficiency in ambulatory patients, CHIVA）[6]。该技术采用彩色多普勒超声精确定位静脉系统的“分流点”（escape point, EP）与“反流点”（re–entry point, RP），随后仅针对异常血流路径实施微创处理。这种治疗方式不仅有效改善了静脉反流症状，还能完整保留GSV主干及其生理性引流功能，标志着静脉疾病治疗从“切除模式”向“功能重建模式”的重要转变[7]。

在CHIVA理论框架中，静脉分流通路（venous shunt, VS）指静脉血流的反常通路，是理解下肢静脉功能不全血流动力学紊乱的核心概念。Franceschi

依据反流来源与引流路径的血流动力学特征，提出了SHUNT分型系统，是制定CHIVA个体化手术策略的理论基础[8]。SHUNT分型系统包含Ⅰ型～Ⅵ型共6个亚型。①Ⅰ型表现为单一隐静脉反流起源（单个EP）向单一RP输送血液；②Ⅱ型表现为属支静脉反流（EP分布于分支血管）汇入RP；③Ⅲ型表现为多个反流起源（多个EP）向一个或多个RP输送血液；④Ⅳ型特指盆腔来源的反流现象（盆腔逃逸点），其反流源自盆腔静脉系统（如功能不全的卵巢静脉或髂内静脉属支），通过会阴或臀部穿通支进入下肢浅静脉网络；⑤Ⅴ型表现为缺乏明确的RP，反流血液直接注入深静脉远端或在浅静脉末端淤积；⑥Ⅵ型属于前述多种分型并存的复合型[9]。

国际上多项随机对照研究及系统评价表明，CHIVA在减少术后血肿形成、缓解疼痛症状以及降低隐神经损伤风险方面具有显著效果，其远期疗效与传统剥脱手术相当[10–11]。然而，该技术在我国的临床应用与规范化研究仍处于起步阶段。目前，国内尚缺乏采用前瞻性队列研究方法、严格遵循血流动力学分类标准、全面评估患者围手术期体验与中期疗效的对照研究。CHIVA的疗效存在个体差异，部分患者可能无法达到预期效果。明确影响术后效果及复发风险的相关因素（尤其是术前血流动力学特征），对实施精准个体化治疗具有重要意义[12–13]。传统多元回归方法在解析变量间复杂的交互效应和非线性关联时表现出明显不足。作为人工智能（artificial intelligence, AI）技术的重要组成部分，机器学习（machine learning, ML）具备从高维度临床数据中自动识别隐藏规律的能力，可建立具有优异预测性能的数学模型，从而为医疗决策提供基于实证的可靠依据[14]。目前，针对静脉系统疾病预测的ML应用研究仍处于探索初期。

本研究采用单中心前瞻性队列设计，选取原发性GSV曲张患者作为研究对象，对比分析CHIVA与HLS两种术式在围手术期参数、不良事件发生率、镇痛效果及中远期预后等方面的差异；基于极端梯度提升（extreme gradient boosting, XGBoost）框架构建术前预测模型，用于评估患者术后临床转归情况，并进行模型效能验证；通过多因素回归分析识别CHIVA预后的独立预测因子，以期为下肢静脉曲张的精准医疗策略制定提供数据支持和决策辅助工具。

1 对象与方法

1.1 研究对象

本研究采用单中心前瞻性队列设计，选取2024年1月至2025年11月在荆州市第一人民医院介入血管外科就诊的原发性GSV曲张患者作为研究对象，所有患者均接受外科手术治疗。纳入标准：①年龄≥18岁；②彩色多普勒超声证实GSV反流时间>0.5 s；③临床–病因–解剖–病理生理学（clinical–etiology–anatomy–pathophysiology, CEAP）临床分级为C2～C6级；④首次接受患肢手术；⑤资料完整且同意随访。排除标准：①继发性静脉曲张；②同侧下肢既往静脉手术或硬化治疗史；③合并急性深静脉血栓；④伴有严重系统性疾病、凝血功能障碍、活动性感染或免疫性疾病；⑤妊娠或哺乳期妇女；⑥预期无法完成随访。本研究方案已获得荆州市第一人民医院医学伦理委员会批准（审批号：KY2025–91–01）。所有患者均签署了知情同意书，研究全过程严格遵循《赫尔辛基宣言》的伦理规范。

1.2 分组与手术方法

患者的分组基于其与主治医生充分沟通后自主选择的最终手术方案。

1.2.1 CHIVA组

术前，每位患者均接受标准化的血流动力学超声检查，该检查由资深超声科或血管外科医生使用迈瑞昆仑Resona 5T彩色多普勒超声系统和高频线阵探头（7～15 MHz）完成。评估内容包括反流持续时间和位置的常规评估、病理性EP和生理性或潜在RP的识别，以及按照SHUNT分型标准明确所属亚型并据此制定手术策略。Ⅳ型、Ⅵ型在病理机制、临床表现及治疗方案（通常需要处理盆腔反流源头）方面与典型GSV曲张存在本质区别，因此本研究在病例筛选时已通过Valsalva试验结合盆腔超声检查予以排除。手术在局部麻醉下进行，由经过CHIVA技术专项培训的主任医师主刀。术中严格遵循预先制定的血流动力学方案，仅对特定穿支静脉

和反流分支进行精确切断或结扎，同时确保GSV主干的完整性。

1.2.2 HLS组

采用传统术式对GSV进行高位结扎，并使用新华ZL610R剥脱器（直径9 mm）进行主干剥脱。对于显著曲张的属支血管，辅助实施点状抽剥。对于小腿段浅静脉迂曲且无血栓的病例联合应用泡沫硬化剂注射治疗。所有HLS均在蛛网膜下隙麻醉（腰麻）条件下完成。

1.3 数据收集与评估指标

研究数据通过前瞻性设计的电子病例报告表收集，并录入专用数据库。

1.3.1 基线资料

收集患者基线资料，包括：人口统计学信息（年龄、性别）、人体测量学指标［身高、体重、体质指数（body mass index, BMI）］、合并症情况（高血压、糖尿病）、疾病严重程度（CEAP临床分级）。CHIVA组患者额外记录术前SHUNT分型评估结果。

1.3.2 围术期指标

记录手术时间（从切皮至包扎完毕）、住院总天数及麻醉方式。术中出血量未作为本研究的常规记录项目。

1.3.3 疼痛评估

采用疼痛数字评定量表（numerical rating scale, NRS）进行评估，分值介于0～10分，分值越高，代表疼痛程度越严重。由不知晓分组情况的研究护士在患者入院时（术前）及出院前一日（术后）评估其静息状态下的下肢疼痛程度。

1.3.4 疗效评估

（1）静脉临床严重程度评分（venous clinical severity score, VCSS）：由主治医师在术前及末次随访时进行评估。该评分包含疼痛、水肿、静脉性跛行等10个项目，总分30分，分值越高表明症状越严重。计算VCSS改善值及改善率：VCSS改善值=术前VCSS−术后VCSS；VCSS改善率=（VCSS改善值/术前VCSS）×100%[14]。本研究定义“临床显著改善”为术后VCSS改善率≥50%。

（2）超声评估与复发定义：所有患者于术后第3、6、12个月接受门诊双功彩色多普勒超声复查。复发定义为在目标肢体出现新的、具有血流动力学意义的反流源，具体包括：①已处理的GSV主干再通（管腔不能被完全压闭，且出现持续>0.5 s的逆向血流）；②新出现的功能不全的穿支静脉；③新出现的重要反流属支。

1.3.5 并发症发生情况

详细记录围术期及随访期间发生的并发症，包括：麻木（提示隐神经损伤）、持续性疼痛、皮下瘀斑、浅静脉血栓形成、踝关节肿胀、手术切口感染等。深静脉血栓的发生情况亦被记录。

1.4 随访

患者于术后接受定期门诊随访。随访内容包括临床检查、VCSS评估及下肢静脉超声检查。本研究疗效分析的随访数据截止日期为2025年11月30日，统计时以每例患者的实际随访天数为准。

1.5 机器学习模型的构建与验证

为构建并验证术前预测患者能否达到“VCSS改善率≥50%”的模型，本研究基于前瞻性收集的临床数据，执行以下分析步骤。

1.5.1 数据预处理与特征工程

本研究共纳入92例患者的完整数据。对于分类变量（CEAP临床分级、SHUNT分型及手术方式），采用独热编码（one-hot encoding）处理。HLS组患者的术前SHUNT分型在数据库中标记为“未评估”，并作为独立类别参与建模。连续型变量（如年龄、BMI、VCSS等）保留原始数值。模型预测的终点为二分类变量“临床显著改善”（是=1，否=0）。

1.5.2 数据集划分

为进行内部验证，采用分层抽样方法，按7∶3的比例将总样本随机划分为训练集（n=64）和独立的测试集（n=28），以确保两个数据集中结局变量的比例与原始数据集一致。

1.5.3 预测指标

根据临床相关性，初步筛选出的预测因素包括以下维度：①人口统计学参数（年龄、性别、BMI）；②基础疾病（高血压或糖尿病病史）；③病情严重程度（CEAP临床分级、术前VCSS、术前NRS分值）；④干预措施特征（手术方案类型）；⑤血流动力学参数（基于术前SHUNT分型评估结果）。

1.5.4 模型训练与超参数优化

采用XGBoost算法构建分类模型。为提高模型性能，在训练集上对关键超参数（如学习率、树的最大深度等）进行优化。通过交叉验证评估不同参数组合的性能，最终选择验证集上曲线下面积（area under curve, AUC）最优的参数组合构建最终模型。

1.5.5 模型性能评估

使用经优化后的最终模型，在独立的内部测试集上进行性能验证。评估指标包括：受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线AUC、准确率、精确率、召回率及F1分数，并绘制ROC曲线。

1.5.6 模型解释性分析

为阐明模型的决策依据并评估特征重要性，采用SHAP（SHapley Additive exPlanations）框架进行分析。通过计算各特征平均SHAP绝对值并进行排序，确定其对模型预测结果的全局影响力。同时，使用SHAP个体解释图，可视化分析各个特征对预测结果的贡献度。

1.6 统计学方法

采用SPSS 22.0软件进行数据统计分析。符合正态分布的连续变量以均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，组间比较采用独立样本t检验；非正态分布的连续变量以中位数（上四分位数，下四分位数）［$M(Q_1, Q_3)$］表示，组间比较采用Mann–Whitney U检验。分类变量以频数（n）和百分比（%）表示，组间比较采用χ^2检验或*Fisher*精确检验。为探讨术后“VCSS改善率≥50%”的独立影响因素，首先通过单因素分析筛选潜在相关变量，然后将筛选出的变量纳入多因素二元Logistic回归模型进行分析。所有假设检验均为双侧检验，以P<0.05为差异具有统计学意义。鉴于CHIVA组与HLS组在术前SHUNT分型上存在显著分布差异，为控制该混杂因素对主要疗效指标（VCSS改善率）比较的影响，本研究采用单因素协方差分析（one–way ANCOVA）进行校正，以手术方式为固定因子，SHUNT分型为协变量，分析手术方式对VCSS改善率的主效应及交互作用，并报告校正后的估算边际均值及其95%置信区间。

2 结果

2.1 患者基线资料

本研究共纳入92例原发性GSV曲张患者，其中32例接受CHIVA治疗（CHIVA组），60例接受常规HLS治疗（HLS组）。两组患者在年龄、性别、BMI、合并症及CEAP临床分级构成等方面比较，差异均无统计学意义（P>0.05），表明两组具有可比性，见表1。

作为临床决策导向的观察性研究，两组在术前SHUNT分型上存在显著差异：CHIVA组以Ⅲ型为主（46.9%，15/32），HLS组则以Ⅱ型为主（55.0%，33/60），组间差异具有统计学意义（P<0.001）。为控制该分型差异对疗效比较造成的混杂，我们采用单因素协方差分析进行统计校正，结果显示，在调整SHUNT分型后，手术方式仍是影响VCSS改善率的极显著独立因素（F=82.42，P<0.001），且效应量较大（偏η^2=0.495）。如图1所示，无论SHUNT分型如何，CHIVA组校正后的预估平均VCSS改善率（88.0% ~ 100.0%）均显著高于HLS组（15.0% ~ 58.0%）。为准确评估不同亚组的测量精度及数据波动范围，本研究采用分组柱状图进行可视化分析，见图2。通过构建一般线性模型，计算各亚组的边际均值估计值及其95%置信区间。结果显示，对于SHUNT Ⅰ型病例，CHIVA组校正后的VCSS改善率均值为100.0%（95% *CI*：85.8% ~ 114.2%），显著高于HLS组的13.3%（95% *CI*：1.2% ~ 25.5%）；在病情更复杂的SHUNT Ⅴ型患者中，CHIVA组仍保持90.1%的改善率（95% *CI*：66.6% ~ 113.6%），与HLS组的57.4%（95% *CI*：41.7% ~ 73.0%）比较，差异有统计学意义。误差线的引入进一步验证了手术方式作为独立变量（F=82.42）对治疗效果的显著影响。这一结果充分证明，CHIVA在临床症状改善方面的优势是固有的，而非由术前患者选择偏倚所致。

CHIVA组的平均随访时间为（110.25 ± 77.21）d，显著短于HLS组的（262.85 ± 109.50）d（P<0.001），这主要与CHIVA在本中心开展时间较晚有关。该差异可能对中长期结局（如复发率）的比较造成时间偏倚。因此，本研究将在后续分析中采用Kaplan–Meier生存分析法处理不等长随访数据，以便更准确地评估和比较两组的累积复发风险。

表1 患者基线资料

特征	CHIVA组（n=32）	HLS组（n=60）	统计值	P值
年龄（岁，$\bar{x} \pm s$）	61.72 ± 11.27	63.07 ± 10.97	t=0.556	0.580
性别［n（%）］			χ^2=0.902	0.342
女性	15（46.9）	22（36.7）		
男性	17（53.1）	38（63.3）		
身高（m，$\bar{x} \pm s$）	1.65 ± 0.07	1.66 ± 0.07	t=0.100	0.921
体重（kg，$\bar{x} \pm s$）	66.31 ± 9.70	66.33 ± 9.21	t=0.011	0.991
BMI（kg/m^2，$\bar{x} \pm s$）	24.22 ± 2.90	24.19 ± 2.78	t=–0.039	0.969
合并症［n（%）］				
高血压	6（18.8）	14（23.3）	χ^2=0.258	0.612
糖尿病	0（0.0）	2（3.3）	—	0.541*
CEAP临床分级［n（%）］			χ^2=1.886	0.389
C3	13（40.6）	16（26.7）		
C4	15（46.9）	35（58.3）		
C5	4（12.5）	9（15.0）		
SHUNT分型［n（%）］			χ^2=32.483	<0.001
Ⅰ型	11（34.4）	15（25.0）		
Ⅱ型	2（6.2）	33（55.0）		
Ⅲ型	15（46.9）	3（5.0）		
Ⅳ型	0（0.0）	0（0.0）		
Ⅴ型	4（12.5）	9（15.0）		
麻醉方式［n（%）］			—	<0.001*
局麻	32（100.0）	0（0.0）		
腰麻	0（0.0）	60（100.0）		
住院时间（d，$\bar{x} \pm s$）	4.44 ± 1.85	5.70 ± 2.13	t=2.827	0.006
手术时间（min，$\bar{x} \pm s$）	55.25 ± 19.07	60.62 ± 19.63	t=1.261	0.211
随访时间（d，$\bar{x} \pm s$）	110.25 ± 77.21	262.85 ± 109.50	t=7.765	<0.001

注：CHIVA为保守性血流动力学矫正术；HLS为高位结扎剥脱术；BMI为体质指数；CEAP为临床–病因–解剖–病理生理学；SHUNT为静脉血流动力学；*为*Fisher*精确检验。

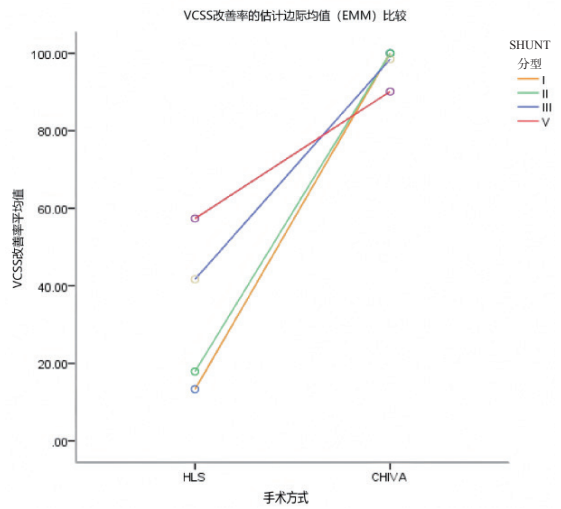


图1 手术方式与SHUNT分型交互作用的估算边际均值

注：SHUNT为静脉血流动力学；VCSS为静脉临床严重程度评分；HLS为高位结扎剥脱术；CHIVA为保守性血流动力学矫正术。

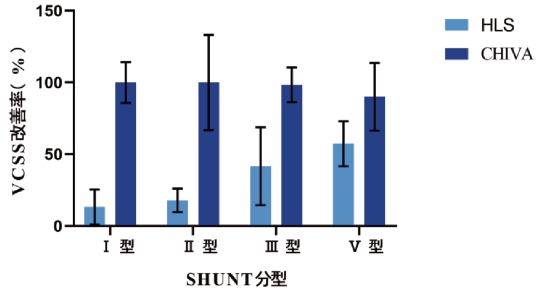


图2 SHUNT各分型中不同手术方式的VCSS改善率

注：SHUNT为静脉血流动力学；VCSS为静脉临床严重程度评分；HLS为高位结扎剥脱术；CHIVA为保守性血流动力学矫正术；柱高表示VCSS改善率的估算边际均值，误差线表示95%置信区间。

所有CHIVA手术均在局部麻醉下完成，而HLS手术均采用椎管内麻醉（P<0.001）。与此相关，CHIVA组的平均住院时间为（4.44 ± 1.85）d，显著短于HLS组的（5.70 ± 2.13）d（P=0.006）。这些差

异反映了两种术式的固有特性，其结果将作为围术期结局直接进行报告和比较。

2.2 围术期指标与早期恢复情况

术后疼痛控制与早期症状改善是评估快速康复的重要指标。术后两组患者的NRS分值均降至极低水平，且两组间差异无统计学意义（P = 0.498）。然而，在静脉疾病特异性症状改善方面，CHIVA组表现出显著优势。尽管CHIVA组患者术前VCSS显著高于HLS组（P <0.001），但其术后VCSS显著低于HLS组（P <0.001）。进一步分析VCSS改善情况显示，CHIVA组的VCSS改善值（11.22 ± 3.34 *vs.* 2.38 ± 3.68，P <0.001）及改善率［（98.04 ± 5.08）% *vs.*（23.87 ± 31.97）%，P <0.001］均显著优于HLS组。见表2。

表2 两组NRS分值与VCSS变化情况（分，$\bar{x} \pm s$）

组别	例数	NRS分值		VCSS		VCSS改善值	VCSS改善率（%）
		术前	术后	术前	术后		
HLS组	60	0.52 ± 0.68	0.08 ± 0.33	7.07 ± 4.12	4.68 ± 2.23	2.38 ± 3.68	23.87 ± 31.97
CHIVA组	32	0.28 ± 0.63	0.06 ± 0.35	11.56 ± 3.90	0.34 ± 0.83	11.22 ± 3.34	98.04 ± 5.08
统计值		759.5	927.5	270.0	50.0	122.5	38.0
P值		0.048	0.498	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：NRS为疼痛数字评定量表；VCSS为静脉临床严重程度评分；HLS为高位结扎剥脱术；CHIVA为保守性血流动力学矫正术。

2.3 术后并发症发生情况

两组均未发生深静脉血栓、肺栓塞或死亡等严重不良事件。HLS组术后患肢麻木（提示隐神经损伤）的发生率显著高于CHIVA组（P <0.001）。此外，HLS组术后皮下瘀斑（P =0.001）和踝关节肿胀（P <0.001）的发生率也显著更高，这可能与传统术式创伤较大、组织剥离范围较广有关。然而，CHIVA组术后浅静脉血栓的发生率高于HLS组（P =0.029），推测可能与CHIVA术后保留的主干静脉血流动力学改变有关。两组术后疼痛的发生率均较低，且两组间差异无统计学意义（P =0.475）。见表3。

表3 两组术后并发症发生情况［n（%）］

组别	例数	麻木	疼痛	皮下瘀斑	浅静脉血栓	踝关节肿胀
HLS组	60	28（46.7）	4（6.7）	31（51.7）	1（1.7）	32（53.3）
CHIVA组	32	1（3.1）	1（3.1）	5（15.6）	4（12.5）	5（15.6）
χ^2值		18.330	—	11.382	—	12.342
P值		<0.001	0.475*	0.001	0.029*	<0.001

注：HLS为高位结扎剥脱术；CHIVA为保守性血流动力学矫正术；*为*Fisher*精确检验。

2.4 中期疗效与复发情况

截至数据分析时，超声检查共发现15例复发患者，总体复发率为16.30%。为分析复发的影响因素，将患者分为复发组（n =15）和未复发组（n =77），比较两组的基础资料、术后临床表现及血流动力学特征，见表4。统计分析显示，两组在年龄、性别、BMI、合并症以及随访时间等方面差异无统计学意义（P >0.05）。然而，复发组多项术前临床表现指标显著高于未复发组，包括：术前NRS分值更高（P <0.001）、术前VCSS更严重（P <0.001）［术后残留评分也更高（P =0.001）］。CEAP临床分级和SHUNT分型均为复发的影响因素（均P <0.001）。复发病例仅出现在CEAP C4级（2例，占该分级的4.0%）和C5级（13例，占该分级的100.0%），C3级患者未见复发。血流动力学分析表明，复发仅见于SHUNT Ⅲ型（2例，占该亚型的11.1%）和Ⅴ型（13例，占该亚型的100.0%），而Ⅰ型和Ⅱ型患者均未见复发。

2.5 基于生存分析的复发风险比较

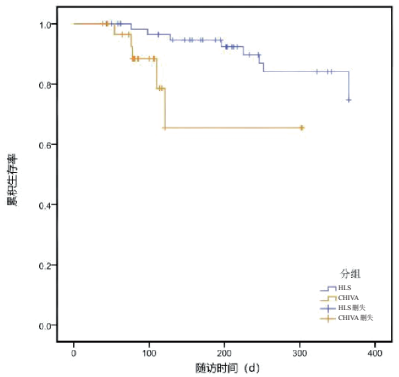
为消除CHIVA组与HLS组随访周期差异对复发结果分析可能产生的时间依赖性偏倚，本研究采用Kaplan–Meier生存分析法构建累积未复发曲

表4 术后复发与未复发病例的比较

指标	例数	复发组（n=15）	未复发组（n=77）	统计值	P值
年龄（岁，$\bar{x} \pm s$）		64.33 ± 13.25	62.26 ± 10.61	t=–0.664	0.508
性别［n（%）］				χ^2=0.353	0.552
女性	37	5（33.3）	32（41.6）		
男性	55	10（66.7）	45（58.4）		
身高（m，$\bar{x} \pm s$）		1.64 ± 0.07	1.66 ± 0.07	t=1.098	0.275
体重（kg，$\bar{x} \pm s$）		66.34 ± 10.96	66.32 ± 9.06	t=–0.009	0.993
BMI（kg/m^2，$\bar{x} \pm s$）		24.73 ± 3.15	24.10 ± 2.74	t=–0.801	0.425
合并症［n（%）］					
高血压	20	4（20.0）	16（80.0）	χ^2=0.256	0.613
糖尿病	2	0（0.0）	2（100.0）	—	0.528*
CEAP临床分级［n（%）］				χ^2=77.930	<0.001
C3	29	0（0.0）	29（100.0）		
C4	50	2（4.0）	48（96.0）		
C5	13	13（100.0	0（0.0）		
SHUNT分型［n（%）］				χ^2=78.972	<0.001
Ⅰ型	26	0（0.0）	26（100.0）		
Ⅱ型	35	0（0.0）	35（100.0）		
Ⅲ型	18	2（11.1）	16（88.9）		
Ⅴ型	13	13（100.0）	0（0.0）		
术前NRS分值（分，$\bar{x} \pm s$）		1.00 ± 0.76	0.32 ± 0.60	t=–3.843	<0.001
术前VCSS（分，$\bar{x} \pm s$）		16.47 ± 3.23	7.10 ± 2.93	t=–11.149	<0.001
术后VCSS（分，$\bar{x} \pm s$）		5.33 ± 3.40	2.75 ± 2.47	t=–3.473	0.001
术前麻木［n（%）］	30	6（20.0）	24（80.0）	χ^2=0.446	0.504
术前疼痛［n（%）］	31	11（35.5）	20（64.5）	χ^2=12.603	<0.001
术前皮下瘀斑［n（%）］	63	15（23.8）	48（76.2）	χ^2=8.250	0.004
术前浅静脉血栓［n（%）］	17	14（82.4）	3（17.6）	χ^2=66.665	<0.001
术前踝关节肿胀［n（%）］	79	15（19.0）	64（81.0）	χ^2=2.949	0.086
随访时间（d，$\bar{x} \pm s$）		183.67 ± 113.39	214.86 ± 124.92	t=0.897	0.372

注：BMI为体质指数；CEAP为临床–病因–解剖–病理生理学；SHUNT为静脉血流动力学；NRS为疼痛数字评定量表；VCSS为静脉临床严重程度评分；*为*Fisher*精确检验。

线，并通过Log–Rank检验进行组间差异评估。生存分析结果显示，CHIVA组的累积未复发概率显著低于HLS组，差异有统计学意义（Log–Rank χ^2=4.954，P=0.026）。如图3所示，在整个随访过程中，CHIVA组的生存曲线始终位于HLS组下方，且其阶梯式下降趋势出现得更早，变化更显著，表明CHIVA组患者的复发事件具有时间提前性和进展迅速性的特征。由于随访截止时两组均有超过半数患者未出现复发，中位无复发生存时间无法计算，但CHIVA组早期复发事件的集中发生显著降低了该组的平均生存期。研究结果表明，在校正时间变量后，CHIVA组与HLS组呈现不同的复发风险特征，其中CHIVA组在术后初期表现出更明显的复发累积倾向。



风险表格（number at risk）

分组	0天	100天	200天	300天	400天
CHIVA	32	29	27	27	27
HLS	60	58	56	53	50

图3 两组患者未复发累积生存率的Kaplan–Meier生存曲线

注：风险表格（number at risk）显示了在各随访时间点仍处于随访观察中的患者例数。

2.6 预测模型的性能与解释

2.6.1 模型预测性能

基于训练集构建并优化的 XGBoost模型在独立测试集上表现出优异的判别能力。如图 4所示，模型 ROC曲线的 AUC为 0.97（95% *CI*：0.92 ~ 1.00）。当概率阈值为 0.5时，模型在测试集上的准确率为 82.1%，精确率为 85.7%，召回率为 80.0%，F1分数为 0.87。

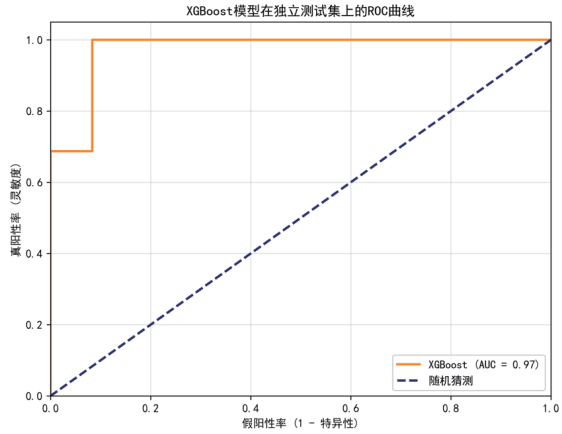


图 4 XGBoost预测模型在独立测试集上的 ROC曲线

2.6.2 特征重要性分析

基于 SHAP值的全局解释分析揭示了各临床特征对模型预测 “VCSS改善率 ≥ 50%”的贡献度，见图 5。由于 SHUNT分型与 CEAP分级在模型中为独热编码变量，图中以其合并特征显示，但其内部各亚型的重要性存在差异。其中，SHUNT Ⅲ型或Ⅴ型是影响力最强的负向预测特征，其平均绝对 SHAP值最高；紧随其后的是 CEAP C5级。这一结果与传统多因素 Logistic回归分析结果一致（均显示为强负向预测因素，*OR*值远小于 1），后者定量明确了上述分型为独立的强负向预测因素（图 6）。术前 NRS分值与 VCSS也具有显著影响，但其贡献度低于上述两个核心变量。而且，手术方式在模型中的预测权重相对较低。

2.6.3 模型与回归分析的一致性及个体预测解释

预测模型与传统统计学方法得出的结论相互印证。多因素 Logistic回归分析同样识别出术前高 SHUNT分型（*OR*=0.25）、CEAP C5级（*OR*=0.28）、术前较高的 VCSS（*OR*=0.05）及 NRS分值（*OR*=0.02）是 “VCSS改善率 ≥ 50%”的独立负向预测因素，见图 6。如图 7所示，SHAP个体解释图直观展示了模型对具体病例的预测过程。以一名实际结局为 “无显著改善”的患者为例，其高 SHUNT分型、高 CEAP分级等特征表现为显著的负向贡献，将预测概率从基线值（数据集的平均预测概率）向下拉低，最终导致模型判定其为 “改善率不佳”的高风险个体。

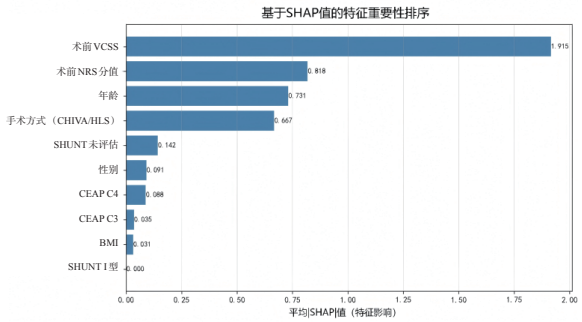


图 5 基于平均绝对 SHAP值的预测模型特征重要性排序

注：VCSS为静脉临床严重程度评分；NRS为疼痛数字评定量表；CHIVA为保守性血流动力学矫正术；HLS为高位结扎剥脱术；SHUNT为静脉血流动力学；CEAP为临床–病因–解剖–病理生理学；BMI为体质指数。

3 讨论

本研究采用前瞻性队列分析框架，整合经典统计模型与 AI算法，系统评估了 CHIVA与 HLS治疗 GSV曲张的围手术期参数、并发症发生率及 2年随访结果，并识别了影响手术预后的关键预测因素。

从主要疗效来看，CHIVA在改善静脉特异性临床症状方面明显优于传统 HLS。尽管 CHIVA组基线病情更复杂（表现为更高的 VCSS），但术后该组患者 VCSS降至亚临床水平［（0.34 ± 0.83）分］，其评分降低值为（11.22 ± 3.34）分，症状缓解率为（98.04 ± 5.08）%，均优于 HLS组（*P* <0.001）。经 SHUNT分型协变量校正的方差分析证实，该疗效差异不受病例选择偏倚影响。在手术安全性方面，CHIVA组术后隐神经功能障碍发生率仅为 3.1%，低于 HLS组的 46.7%（*P* <0.001），这一结果与既往研究［10］关于 CHIVA保护神经结构的发现一致。此外，CHIVA组患者住院时间明显缩短，体现了加速康复外科的理念［15］。

研究队列的中位观察期为 7个月，累积复发率为 16.30%（15/92）。需要特别指出的是，本研究中 CHIVA组平均随访时间显著短于 HLS组（110 d *vs.* 263 d，*P* <0.001），这一差异主要源于 CHIVA在本中心开展较晚。尽管我们已采用 Kaplan–Meier生存分析法对不等长随访数据进行校正以控制时间偏倚，但在解读两组的复发风险特征时仍需持审慎态度。首先，基于随访周期有限，CHIVA组的 Kaplan–Meier生存分析提示短期复发概率较高，但这些数

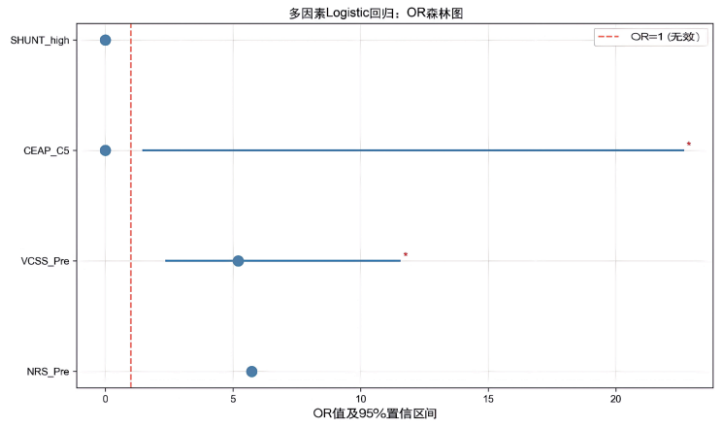


图6 “VCSS改善率≥50%”影响因素的多变量Logistic回归分析森林图

注：VCSS为静脉临床严重程度评分；SHUNT为静脉血流动力学；CEAP为临床-病因-解剖-病理生理学；NRS为疼痛数字评定量表。



图7 实际结局为“无显著改善”的患者的SHAP个体作用力

据可能无法准确预测长期预后。若延长随访时间，HLS组可能表现出延迟性复发特征（如病理性血管再生），这将导致两种术式累积复发率发生动态变化。因此，本研究对CHIVA长期复发风险的评估存在潜在局限性。其次，CHIVA组在术后早期观察到复发高峰现象，其发生机制除与疾病严重程度（CEAP临床分级 C4/C5）及异常血流动力学状态（SHUNT Ⅲ型/Ⅴ型）显著相关外，还可能涉及两个关键因素：一是CHIVA自身特性，该术式保留的GSV主干在血流动力学调整阶段需要经历生理性适应过程，在此期间，部分分支静脉可能因压力梯度改变而出现一过性曲张加重或浅静脉血栓形成，若影像学评估恰处于该过渡阶段，则可能被误判为“复发”；二是技术学习曲线效应，由于CHIVA对术者的超声血流动力学分析能力及精准操作要求较高，研究初期在病例筛选、EP定位及结扎技术等方面可能存在优化空间，这可能解释早期复发事件的聚集现象。同时，疾病晚期与复发率的强关联性已得到确凿证据支持：所有复发病例均符合CEAP C4/C5分级标准，且均呈现SHUNT Ⅲ型/Ⅴ型复杂血流动力学特征[16]。多因素回归分析与机器学习模型共同表明，术前SHUNT分型（Ⅲ型/Ⅴ型）及CEAP分级（C5）是阻碍“临床显著改善”（VCSS改善率≥50%）的独立危险因素（*OR*值分别为0.25和0.28）[17]。这表明，对于血流动力学网络复杂或处于疾病晚期的患者，采用CHIVA或HLS治疗均难以完全改善症状，且复发风险显著增加。因此，医务人员应在术前进行系统评估，制定个体化手术方案，并加强术后随访与监测。

本研究中，基于XGBoost算法开发的预后评估系统在识别患者“临床显著改善”可能性方面表现出色。内部验证结果显示，其AUC高达0.97[18]。SHAP特征重要性分析表明，术前VCSS对预测结果的贡献最为显著，其预测效力明显高于手术方案选择和SHUNT分型指标[19-20]。本研究将“术前临床症状严重程度”量化为关键预后参数，为术前医患沟通和治疗效果预测提供了标准化评估依据。然而，必须审慎地指出，该算法可能存在过度拟合的风险。虽然研究通过设置独立的内部验证集（n=28）来评估模型性能，但由于总样本量仅为92例（其中训练样本64例），这样的数据规模对于XGBoost等能够识别复杂特征关联的集成决策树算法来说仍然不足。当训练样本较少而特征维度较高时，算法容易捕捉到训练数据中的随机噪声或特定样本的偶然特征，这可能导致模型在内部验证集上表现优异，但在外部独立数据集上的预测性能会显著下降。此外，模型的所有特征均来自单一医疗中心，这意味着该中心特有的诊疗流程、超声评估标准及患者群体特征可能被算法误认为普遍规律，从而影响其在外部的适用性。因此，0.97的AUC值应

被视为模型在当前特定数据条件下的探索性结果，而非其在真实临床环境中的可靠预测指标[21]。

本研究证实CHIVA在改善症状、缩短住院时间及减少神经并发症方面具有显著优势。对于SHUNTⅢ型/Ⅴ型或CEAP C5级的重症患者，临床医师应明确告知其术后症状残留及复发风险升高的可能性[22]。为弥补当前研究的局限性，后续研究应着重在以下3个方向推进。①开展多中心大规模外部验证：联合多家临床机构构建具有显著异质性的独立验证队列，通过严格评估现有算法的性能和校准度，验证其实际应用价值。②优化与精简算法：基于扩大的样本规模，采用特征选择方法、正则化策略或精简模型结构（如LASSO算法），在保持模型可解释性的同时减少参数冗余，实现预测准确性与泛化能力的最佳平衡。③整合多维度数据：通过融合血流动力学精细指标（如射血点流速、血管内径）、生存质量量表和医学影像特征等多源信息，构建更全面、更可靠的疗效预测体系。

综上所述，与HLS相比，CHIVA在缓解GSV曲张患者的临床症状、促进术后快速恢复以及降低隐神经损伤风险等方面具有显著优势。本研究创新性地应用可解释性机器学习算法，证实术前VCSS是预测患者术后症状缓解程度的核心指标。同时，SHUNT分型中的Ⅲ/Ⅴ型与CEAP临床分级中的C5级可作为关键风险预警参数。该研究成果不仅为临床术前评估、个性化治疗方案的制定以及高危病例筛查提供了科学依据，也为静脉曲张诊疗模式从经验性治疗向循证医学与大数据分析相结合的精准医疗模式过渡提供了新的思路。

[参 考 文 献]

[1] Ligi D, Croce L, Mannello F. Chronic venous disorders: the dangerous, the good, and the diverse [J]. Int J Mol Sci, 2018, 19(9): 2544.

[2] Elzefzaf N, Elfeky M A, Elshatlawy K M, et al. Evaluation of endovenous laser ablation in the management of varicose veins [J]. Cureus, 2023, 15(9): e45096.

[3] Matei S, Matei M, Anghel F M, et al. Cryostripping–a safe and efficient alternative procedure in chronic venous disease treatment [J]. J Clin Med, 2022,11(17): 5028.

[4] Cicek M C, Cicek O F, Lafci G, et al. Comparison of cutaneous nerve injury and vessel disruption complications following saphenous vein stripping using big or small olive heads [J]. Pak J Med Sci, 2016, 32(3): 626–629.

[5] Ricci S. CHIVA for dummies [J]. Phlebology, 2024, 39(4): 238–244.

[6] Franceschi C. The conservative and hemodynamic treatment of ambulatory venous insufficiency [J]. Phlebologie, 1989, 42(4): 567–568.

[7] Recek C. Assessment of the CHIVA and the ASVAL method [J]. Int J Angiol, 2022, 31(2): 83–87.

[8] Franceschi C, Cappelli M, Ermini S, et al. CHIVA: hemodynamic concept, strategy and results [J]. Int Angiol, 2016, 35(1): 8–30.

[9] Yun S, Hwang M. The teupitz shunt classification for CHIVA strategy [J]. Annals of Phlebology, 2023, 21(1): 1–4.

[10] Pei Y, Li C, Niu S, et al. Comparison of the efficacy and safety of ultrasound–guided CHIVA and traditional HLS in the treatment of varicose veins of lower extremities: a meta–analysis [J]. Medicine, 2023,102(44): e35442.

[11] Bellmunt - Montoya S, Escribano J M, Dilme J, et al. CHIVA method for the treatment of chronic venous insufficiency [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2015(6): CD009648.

[12] Juhani A A, Abdullah A, Alyaseen E M, et al. Interventions for great saphenous vein insufficiency: a systematic review and network meta–analysis [J]. Vascular, 2025, 33(5): 983–998.

[13] Guo L, Huang R, Zhao D, et al. Long–term efficacy of different procedures for treatment of varicose veins: a network meta–analysis [J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98(7): e14495.

[14] Zhu H, Zhang N, Ni Y, et al. A novel approach to venous clinical severity score prediction: combining metaheuristic algorithm and random forest classification [J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2025: 1–15.

[15] Tenezaca–Sari X, García–Reyes M, Escribano–Ferrer J M, et al. The CHIVA strategy applied to large–diameter saphenous veins [J]. Int Angiol, 2022, 41(4): 332–337.

[16] de Moraes Silva M A, Nakano L C, Cisneros L L, et al. Balneotherapy for chronic venous insufficiency [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2023(1): CD013085.

[17] Yie K, Shin A, Jeong E, et al. Propensity score matched analysis of quality of life improvement after endovenous ablation for isolated below the knee segmental versus thigh–calf great saphenous vein reflux [J/OL]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2025(2025–12–11) [2026–03–16]. https://www.ejves.com/article/S1078–5884(25)01236–5/fulltext.

[18] Creton O, Lareyre F, Adam C, et al. Machine learning–based prediction models to assess 30–day outcomes following intervention for superficial venous incompetence of the lower limbs [J]. J Vasc Surg Cases Innov Tech, 2026,12(1): 102035.

[19] Li B, Eisenberg N, Beaton D, et al. Predicting lack of clinical improvement following varicose vein ablation using machine learning [J]. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord, 2025, 13(3): 102162.

[20] Bakhouche A, Creton O, Lareyre F, et al. Analysis of clinical improvement at 90 days after varicose vein surgery using machine learning [J]. Angiology, 2026: 33197261416661.

[21] Tabari A, Ma Y, Alfonso J, et al. An artificial intelligence interpretable tool to predict risk of deep vein thrombosis after endovenous thermal ablation [J]. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord, 2025, 13(5): 102253.

[22] Marston W A, Crowner J, Kouri A, et al. Incidence of venous leg ulcer healing and recurrence after treatment with endovenous laser ablation [J]. J Vasc Surg Venous Lymphat Disord, 2017, 5(4): 525–532.