



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250360
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250360
China Journal of General Surgery, 2025, 34(12):2596-2604.

· 动脉疾病专题研究 ·

腹主动脉瘤 EVAR 术后进展性 II 型内漏的相关危险因素 及风险预测模型研究

孙元昊, 罗光泽, 秘家学, 李鹏, 朱杰昌, 范海伦, 戴向晨

(天津医科大学总医院 血管外科/天津市精准血管重建与器官功能修复重点实验室, 天津 300052)

摘要

背景与目的: II型内漏 (T2EL) 是腹主动脉瘤腔内修复术 (EVAR) 后最常见的并发症之一, 其中部分患者可进展为瘤腔持续扩张并需再次干预。明确 EVAR 术后进展性 T2EL 的危险因素并进行风险分层, 有助于优化围术期管理和随访策略。本研究旨在分析 EVAR 术后进展性 T2EL 的相关危险因素及其危险阈值, 并构建预测模型。

方法: 回顾性分析 2013 年 3 月—2024 年 12 月在天津医科大学总医院行 EVAR 术后出现 T2EL 的腹主动脉瘤患者临床资料。依据随访期间是否达到 T2EL 干预指征 (瘤体最大直径与基线相比增加 ≥ 10 mm), 将患者分为进展组 ($n=21$) 和稳定组 ($n=62$)。比较两组患者的临床特征、解剖条件及手术相关因素, 采用多因素 Logistic 回归分析筛选进展性 T2EL 的独立危险因素, 通过受试者工作特征 (ROC) 曲线确定危险阈值, 并构建列线图预测模型, 对模型进行判别度、校准度及临床实用性评价。

结果: 进展组患者的瘤体最大直径、肠系膜下动脉 (IMA) 开口直径及通畅腰动脉 (LA) 数量均显著高于稳定组 (均 $P<0.05$)。多因素分析显示, 瘤体最大直径、IMA 开口直径及通畅 LA 数量是 EVAR 术后进展性 T2EL 的独立危险因素 (均 $P<0.05$)。ROC 曲线分析表明, 瘤体最大直径 ≥ 54.30 mm、IMA 开口直径 ≥ 2.82 mm 及通畅 LA 数量 ≥ 6 条时, 发生进展性 T2EL 的风险显著增加。基于上述因素构建的列线图模型一致性指数为 0.858, 经 Bootstrap 内部验证后校正一致性指数为 0.837, 模型具有良好的判别能力、校准度及临床获益。

结论: 瘤体最大直径、IMA 开口直径及通畅 LA 数量是 EVAR 术后进展性 T2EL 的重要危险因素。基于上述因素构建的列线图预测模型可有效评估进展性 T2EL 的发生风险, 但仍需多中心、前瞻性研究进一步验证。

关键词

主动脉瘤, 腹; 动脉瘤腔内修复术; 内漏; 危险因素; 列线图

中图分类号: R654.3

Risk factors and a risk prediction model for progressive type II endoleak after EVAR for abdominal aortic aneurysm

SUN Yuanhao, LUO Guangze, BI Jiaxue, LI Peng, ZHU Jiechang, FAN Hailun, DAI Xiangchen

(Department of Vascular Surgery, Tianjin Medical University General Hospital/Tianjin Key Laboratory of Precise Vascular Reconstruction and Organ Function Repair, Tianjin 300052, China)

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82241207); 天津市卫生健康科技基金资助项目 (TJWJ2025ZK003)。

收稿日期: 2025-07-01; **修订日期:** 2025-11-10。

作者简介: 孙元昊, 天津医科大学总医院硕士研究生, 主要从事血管外科基础与临床方面的研究。

通信作者: 戴向晨, Email: 13302165917@163.com

Abstract

Background and Aims: Type II endoleak (T2EL) is the most common complication after endovascular abdominal aortic aneurysm repair (EVAR). While many cases remain benign, a subset may progress with aneurysm sac enlargement and require reintervention. Identifying risk factors for progressive T2EL and establishing a reliable risk stratification model may improve perioperative decision-making and postoperative surveillance. This study aimed to investigate the risk factors and threshold values for progressive T2EL after EVAR and to develop a nomogram-based prediction model.

Methods: Clinical data of patients who developed T2EL after EVAR for abdominal aortic aneurysm between March 2013 and December 2024 were retrospectively reviewed. Patients were classified into a progressive group ($n=21$) or a stable group ($n=62$) based on whether intervention criteria (An increase in the maximum aneurysm diameter of ≥ 10 mm compared with baseline) were met during follow-up. Clinical characteristics, anatomical parameters, and operative variables were compared. Multivariate Logistic regression was performed to identify independent risk factors for progressive T2EL. Receiver operating characteristic (ROC) curves were used to determine optimal cutoff values. A nomogram prediction model was constructed and internally validated using discrimination, calibration, and decision curve analyses.

Results: The progressive group had a significantly larger maximum aneurysm diameter, greater inferior mesenteric artery (IMA) ostial diameter, and a higher number of patent lumbar arteries (LA) compared with the stable group (all $P<0.05$). Multivariate analysis identified these three variables as independent risk factors for progressive T2EL after EVAR (all $P<0.05$). ROC analysis demonstrated increased risk of progressive T2EL in patients with a maximum aneurysm diameter ≥ 54.30 mm, IMA ostial diameter ≥ 2.82 mm, and ≥ 6 patent LA. The nomogram achieved a C-index of 0.858, which remained robust after internal validation (corrected C-index: 0.837), showing good discrimination, calibration, and clinical utility.

Conclusion: Maximum aneurysm diameter, IMA ostial diameter, and the number of patent LA are key predictors of progressive T2EL after EVAR. The proposed nomogram provides effective individualized risk assessment, although external validation is required before widespread clinical application.

Key words

Aortic Aneurysm, Abdominal; Endovascular Aneurysm Repair; Endoleak; Risk Factors; Nomograms

CLC number: R654.3

腹主动脉瘤 (abdominal aortic aneurysm, AAA) 是一种具有潜在致死风险的血管病变, 其预防和治疗策略的革新始终是血管外科领域的研究热点。自腹主动脉瘤腔内修复术 (endovascular aortic repair, EVAR) 问世以来, 凭借微创、适用人群范围广、低病死率等优势, 迅速成为肾下型 AAA 的首选治疗方式^[1-2]。但随着 EVAR 技术在临床上的广泛应用, 术后支架内漏的长期管理问题逐渐凸显。在所有的内漏类型中, II 型内漏 (type II endoleak, T2EL) 的发生率最高, 可达 20%~30%, 其形成机制主要与主动脉分支血管的逆向血流相关^[3-4]。计算机断层扫描血管造影 (computed

tomography angiography, CTA)、超声造影等现有影像学技术在术后随访过程中有助于明确 T2EL 的存在和监测 AAA 瘤体直径的改变, 但对 T2EL 的血流动力学特征及其进展风险的评估仍存在局限性^[5]。目前一些研究认为 T2EL 具有自限性, 自发闭合率可达 50%^[6], 而另一些研究则认为 T2EL 可能伴随着 AAA 瘤腔扩张甚至破裂风险。这种不确定性导致针对 T2EL 的临床管理策略存在争议, 缺乏统一的管理标准。鉴于此, 本研究对 AAA 患者 EVAR 术后进展性 T2EL 的相关危险因素进行探讨, 以期预防 EVAR 术后进展性 T2EL 的发生提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

连续采集2013年3月—2024年12月在天津医科大学总医院EVAR治疗后出现T2EL的157例AAA患者临床资料。纳入标准：(1)术前完善胸主动脉和腹主动脉CTA检查；(2)CTA检查提示肾下型AAA；(3)EVAR术后影像学检查证实存在T2EL。排除标准：(1)合并I型或III型内漏；(2)造影剂过敏，或因肾功能不全而不能耐受造影剂；(3)临床资料缺失。依据纳入和排除标准，共纳入83例患者。依据欧洲血管外科学会2024版《腹主动脉-髂动脉动脉瘤管理临床实践指南》^[7]，患者术后影像学检查证实存在T2EL且AAA瘤体最大直径与基线相比增加 ≥ 10 mm，则认为其具备T2EL干预指征。根据随访期间是否出现T2EL干预指征，将有指征患者归入进展性T2EL组（进展组， $n=21$ ），无指征患者归入稳定性T2EL组（稳定组， $n=62$ ）。本研究获得本院伦理委员会批准（伦理批号：IRB2025-YX-525-01）。

1.2 EVAR方法

患者均于术前完善胸主动脉和腹主动脉CTA检查，将影像检查结果导入Endosize软件中测量瘤体最大直径、瘤颈扭曲程度、肾动脉开口位置等AAA解剖学相关数据。根据术前对患者一般情况评估结果选择术中麻醉方式。麻醉满意后，穿刺患者双侧股动脉，置管造影再次明确AAA形态。根据术前测量数据植入相应尺寸的覆膜支架，依据术中即时造影结果，明确AAA隔绝、远端血流灌注等情况，决定是否采取在支架远端延续覆膜支架或裸支架、弹簧圈栓塞等处理措施。

1.3 相关定义

EVAR术后内漏是指血液通过支架与血管壁之间的缝隙、侧支血管反流、支架组件连接处等途径，持续进入支架外瘤腔的现象。其核心特征是支架外瘤腔内存在持续的血流灌注，这些血流可能会导致动脉瘤体扩张甚至破裂。T2EL指的是腹主动脉分支血管血流逆向灌注支架外动脉瘤腔的现象，包括肠系膜下动脉（inferior mesenteric artery, IMA）、腰动脉（lumbar artery, LA）、副肾动脉等分支血管。大多数T2EL患者无明显的临床症状，部分患者因瘤体持续增大可伴腹痛或压迫梗阻相关症状。对于存在干预指征的T2EL患者，

可采用介入手术或开放手术进行干预，降低其破裂的风险。

1.4 随访及观察指标

患者在术后定期门诊随访并行CTA检查，若肾功能异常，则行超声造影检查或超声+平扫CT检查，记录患者术后AAA变化情况及有无支架相关并发症的发生。对于未按要求术后复查的患者，通过电话的形式随访，并依据患者的个人情况决定是否完善CTA检查。将CTA检查结果以DICOM格式文件导入3mensio软件中，一键分割主动脉管腔及分支，若边缘欠佳，需手动修补。自动生成中心线，通过冠状面、矢状面、横断面微调中心线以确保其准确性。沿中心线生成与之垂直的横断面，选取瘤体最大横断面处的最大垂直直径为瘤体最大直径，并与基线相比是否增加 ≥ 10 mm，明确患者的T2EL情况是否存在干预指征。通过术前CTA检查获得瘤颈最大直径、IMA开口直径、通畅LA数量等AAA解剖条件资料。随访终点为因T2EL而进行再干预。对比进展组和稳定组患者的临床特征、解剖条件及手术情况，分析AAA患者EVAR术后进展性T2EL的相关危险因素及其危险阈值。构建AAA患者EVAR术后进展性T2EL的列线图预测模型。

1.5 统计学处理

运用SPSS 27.0软件对数据进行统计分析。计量资料符合正态分布以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用两独立样本 t 检验；不符合正态分布以中位数（四分位间距） $[M (IQR)]$ 示，组间比较采用秩和检验。计数资料以例数（百分比） $[n (%)]$ 表示，组间比较采用 χ^2 检验。采用多因素Logistic回归分析筛选AAA患者EVAR术后进展性T2EL的相关危险因素。绘制受试者工作特征（receiver operating characteristic, ROC）曲线，计算曲线下面积（area under the curve, AUC），分析危险因素的危险阈值。将所筛选出的危险因素用于构建列线图预测模型，通过ROC曲线、Hosmer-Lemeshow拟合优度检验、校准曲线和临床决策曲线验证预测模型的准确率。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基本临床特征

进展组与稳定组患者的年龄、性别、高血压、

冠心病、糖尿病、脑血管疾病、肾功能不全、吸烟史、饮酒史和住院时间比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$) (表1)。

表1 两组患者临床特征的比较
Table 1 Comparison of clinical characteristics between the two groups of patients

临床特征	进展组(n=21)	稳定组(n=62)	$t/\chi^2/Z$	P
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	70.38±8.22	69.93±7.34	-0.233	0.816
性别[n(%)]				
女	2(9.52)	18(29.03)	3.264	0.071
男	19(90.48)	44(70.97)		
合并疾病[n(%)]				
高血压	15(71.43)	51(82.26)	0.562	0.453
冠心病	6(28.57)	23(37.10)	0.502	0.479
糖尿病	1(4.76)	11(17.74)	1.216	0.270
脑血管疾病	6(28.57)	11(17.74)	0.562	0.453
肾功能不全	1(4.76)	2(3.23)	—	1.000 ¹⁾
吸烟史[n(%)]				
无	9(42.86)	24(38.71)	0.113	0.737
有	12(57.14)	38(61.29)		
饮酒史[n(%)]				
无	17(80.95)	40(64.52)	1.970	0.160
有	4(19.05)	22(35.48)		
住院时间[d, $M(IQR)$]	13.00(11.00~16.00)	11.00(9.00~15.00)	-1.837	0.066

注:1)采用 Fisher 确切概率法
Note: 1) Using Fisher's exact test

2.2 解剖条件及手术情况的比较

两组患者的瘤颈最大直径、瘤颈长度、瘤颈扭曲、髂支闭塞、合并髂动脉瘤情况、术中出血量、手术时间比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);

两组患者的瘤体最大直径、IMA 开口直径和通畅 LA 数量比较,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$) (表2)。

表2 两组患者 AAA 解剖条件及手术情况的比较
Table 2 Comparison of anatomical characteristics and operative variables between the two groups

临床特征	进展组(n=21)	稳定组(n=62)	$t/\chi^2/Z$	P
瘤体最大直径(mm, $\bar{x} \pm s$)	60.23±12.51	52.20±13.31	-2.430	0.017
瘤颈最大直径[mm, $M(IQR)$]	25.00(20.90~25.90)	22.00(19.08~26.35)	-1.205	0.228
瘤颈长度(mm, $\bar{x} \pm s$)	25.75±7.75	29.01±11.08	1.248	0.216
IMA 开口直径[mm, $M(IQR)$]	3.00(2.52~3.21)	2.51(2.27~2.77)	-3.269	0.001
通畅 LA 数量[条, $M(IQR)$]	6.00(5.00~6.00)	5.00(4.00~6.00)	-3.253	0.001
瘤颈扭曲[n(%)]	8(38.10)	12(19.35)	3.012	0.083
髂支闭塞[n(%)]	1(4.76)	2(3.23)	—	1.000 ¹⁾
合并髂动脉瘤[n(%)]	9(42.86)	21(33.87)	0.549	0.459
术中出血量[mL, $M(IQR)$]	100.00(75.00~100.00)	100.00(50.00~100.00)	-1.023	0.306
手术时间[min, $M(IQR)$]	110.00(75.00~170.00)	99.00(75.00~130.00)	-0.184	0.854

注:1)采用 Fisher 确切概率法
Note: 1) Using Fisher's exact test

2.3 AAA 患者 EVAR 术后进展性 T2EL 相关影响因素的多因素分析

将瘤体最大直径、IMA 开口直径和通畅 LA 数

量纳入 Box-Tidwell 法检验和多重共线性诊断,结果显示瘤体最大直径、IMA 开口直径和通畅 LA 数量与 T2EL 干预指征的 Logit 转换值间存在线性

关系(表3),且三者间不存在多重共线性(均 $VIF < 5$)(表4)。以瘤体最大直径、IMA开口直径和通畅LA数量为自变量,以是否发生进展性T2EL为因变量,进行多因素Logistic回归分析。分析结果显示瘤体最大直径、IMA开口直径和通畅LA数量均是AAA患者EVAR术进展性T2EL的相关独立危险因素(均 $P < 0.05$)(表5)。

表3 瘤体最大直径、IMA开口直径和通畅LA数量Box-Tidwell法检验

Table 3 Box-Tidwell test for the maximum aneurysm diameter, IMA ostial diameter, and number of patent LA

因素	β	S.E.	Wald/ χ^2	OR	P
瘤体最大直径	1.380	0.708	3.796	3.973	0.051
IMA开口直径	0.263	8.869	0.001	1.300	0.976
通畅LA数量	2.886	7.183	0.161	17.915	0.688
ln瘤体最大直径	-0.257	0.136	3.542	0.774	0.060
ln IMA开口直径	1.127	4.379	0.066	3.087	0.797
ln通畅LA数量	-0.709	2.644	0.072	0.492	0.789

表4 瘤体最大直径、IMA开口直径和通畅LA数量多重共线性诊断

Table 4 Multicollinearity diagnosis of the maximum aneurysm diameter, IMA ostial diameter, and number of patent LA

因素	t	P	容忍度	VIF
瘤体最大直径	2.483	0.015	0.991	1.009
IMA开口直径	3.532	0.001	1.000	1.000
通畅LA数量	3.678	<0.001	0.992	1.008

表5 AAA患者EVAR术进展性T2EL的相关影响因素的多因素分析

Table 5 Multivariate analysis of risk factors associated with progressive T2EL after EVAR

因素	β	S.E.	Wald/ χ^2	OR(95% CI)	P
瘤体最大直径	0.046	0.024	3.870	1.047(1.000~1.097)	0.049
IMA开口直径	2.548	0.798	10.197	12.781(2.675~61.061)	0.001
通畅LA数量	0.890	0.305	8.688	2.456(1.351~4.464)	0.003

注:瘤体最大直径、IMA开口直径和通畅LA数量均为连续型变量因素

Note: The maximum aneurysm diameter, IMA ostial diameter, and the number of patent lumbar arteries were all treated as continuous variable

2.4 ROC曲线分析结果

分析结果显示,瘤体最大直径的临界值为54.30 mm(敏感度和特异度分别为0.714和0.677),AUC为0.699(95% CI=0.575~0.824);IMA开口直径的临界值为2.82 mm(敏感度和特异度分别为0.619和0.790),AUC为0.712(95% CI=0.609~0.871);通畅LA数量的临界值为5.50条(敏感度和特异度分别为0.667和0.694),AUC为0.727(95% CI=0.598~0.857)。即瘤体最大直径 ≥ 54.30 mm、IMA开口直径 ≥ 2.82 mm、通畅LA数量 ≥ 6 条的AAA患者EVAR术后发生进展性T2EL的风险较高(图1)。

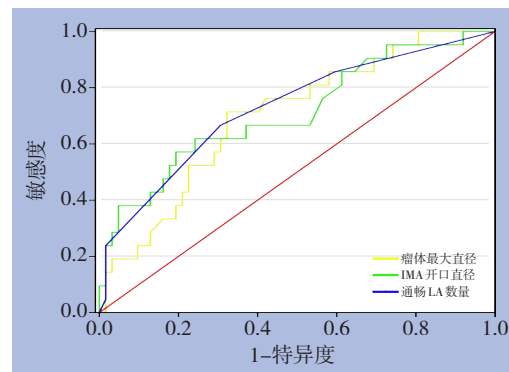


图1 AAA患者EVAR术进展性T2EL危险因素的ROC曲线

Figure 1 ROC curves of risk factors for progressive T2EL after EVAR in patients with abdominal aortic aneurysm

2.5 AAA患者EVAR术进展性T2EL的列线图预测模型的构建及评价

将筛选得到的进展性T2EL相关危险因素用于构建AAA患者EVAR术进展性T2EL的列线图预测模型(图2)。列线图预测模型显示,得分最高的危险因素是IMA开口直径,其次是瘤体最大直径和通畅LA数量,该预测模型的一致性指数为0.858(95% CI=0.768~0.948)。应用Bootstrap法重复抽样1000次进行内部验证,计算校准后的一致性指数为0.837。ROC曲线分析结果显示,该模型AUC为0.858,敏感度和特异度分别为0.619和0.952(图3)。Hosmer-Lemeshow拟合优度检验($\chi^2=6.515$, $P=0.590$)及校准曲线显示该模型具有良好的拟合度(图4)。临床决策曲线显示,若截断值为5%~60%,则该模型的临床有效性较好(图5)。

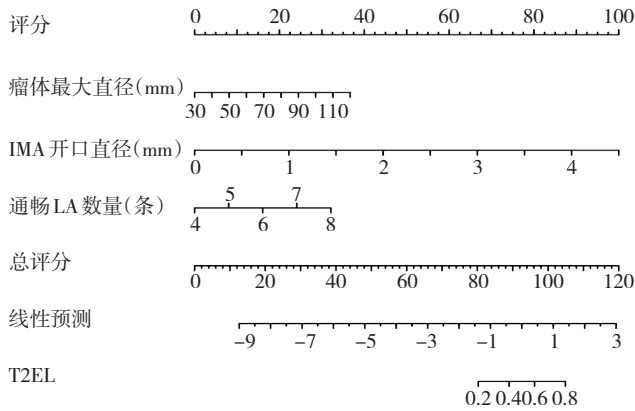


图2 AAA患者EVAR术后进展性T2EL的列线图预测模型
Figure 2 Nomogram prediction model for progressive T2EL after EVAR

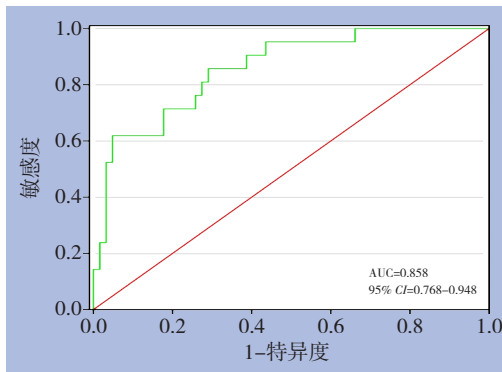


图3 列线图预测模型的ROC曲线
Figure 3 ROC curve of the nomogram prediction model

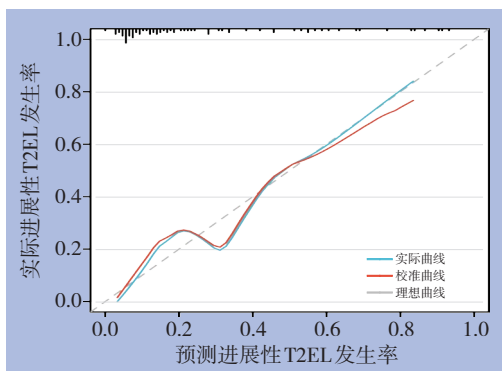


图4 列线图预测模型的校准曲线(红线为校准曲线,蓝线为实际观察值曲线,灰色虚线为理想拟合曲线,三线高度重合提示模型预测能力稳定)

Figure 4 Calibration curve of the nomogram prediction model (the red line represents the calibration curve, the blue line represents the observed values, and the gray dashed line represents the ideal reference line; close overlap of the three lines indicates good predictive performance)

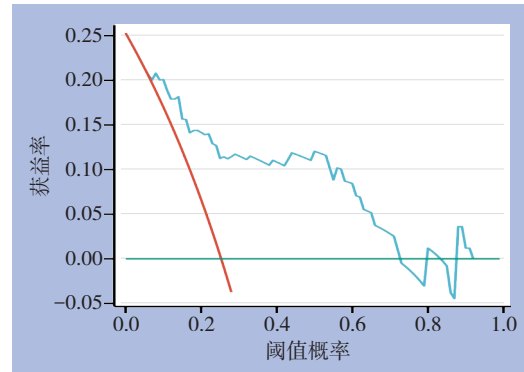


图5 列线图预测模型的临床决策曲线(蓝线为列线图预测曲线,红线为全获益,绿线为全不获益)

Figure 5 Decision curve analysis of the nomogram prediction model (the blue line represents the nomogram model, the red line represents the strategy of treating all patients, and the green line represents the strategy of treating none)

3 讨论

EVAR术后T2EL是因主动脉分支血管血流逆向灌注支架外瘤腔而形成,其发生与主动脉分支血管的解剖特征密切相关。虽然T2EL并不会立刻产生不良反应,但持续的逆向血流灌注会导致瘤腔扩张,动脉瘤破裂风险也随之增高,需再介入手术或开放手术的可能性也随之提高^[8-9]。Seike等^[10]对EVAR术后出现T2EL患者的10年随访结果显示,持续的T2EL导致AAA瘤腔扩张可能会继而引起Ia型内漏的发生,进一步加快瘤腔扩张的速度。因此,EVAR术后发生T2EL的AAA患者定期随访复查,监测动脉瘤直径及T2EL的变化情况是非常必要的。

本研究发现,进展组AAA患者的瘤体最大直径大于稳定组,差异有统计学意义。既往研究表明AAA的瘤体直径越大,瘤腔内的血流动力学环境越复杂^[11]。当瘤体直径较大时,血流在瘤腔内的流动模式会发生改变,如血流速度减缓、涡流增多。这种异常的血流动力学状态会使瘤腔内的压力分布不均匀,增加了瘤壁的张力,使得动脉瘤瘤腔更容易扩张^[12]。同时,较大的瘤体往往伴随着更复杂的解剖结构,如瘤颈更短、更扭曲,这使得在EVAR手术过程中释放支架时,支架与血管壁之间的贴合程度不够理想,支架外瘤腔存在不稳定的血流动力学环境,增加了内漏的发生风险^[13-15]。Erdemutu等^[16]提示AAA瘤体最大直径 ≥ 53.55 mm时,

患者发生 T2EL 相关再干预的风险更高。对于 AAA 瘤体最大直径较大的患者,可在 EVAR 术前或术中 使用弹簧圈或纤维蛋白胶预防性栓塞分支血管。目前已有一些研究证实预防性栓塞腹主动脉分支 血管可以降低 EVAR 术后 T2EL 发生率和再干 预率^[17-19]。

IMA 自腹主动脉前壁发出,供应降结肠、乙 状结肠、直肠上部的正常生理活动,其管径粗大, 是 T2EL 常见的来源动脉。Ide 等^[20]的研究表明 IMA 开口直径 ≥ 3 mm 的 AAA 患者,在 EVAR 术后血流更 易通过 IMA 逆向灌注支架外瘤腔形成 T2EL。并且, 当同时存在 ≥ 3 条未闭的 LA 时,患者发生 T2EL 的 风险更高^[21]。Ide 等^[22]的后续研究指出 EVAR 术前 IMA 未闭时,通畅 LA 数量在 T2EL 导致瘤腔扩张方 面具有较高的影响力;而当 IMA 闭塞时,通畅 LA 数量对瘤腔扩张的影响力降低。IMA 在 T2EL 的 发生和其导致瘤腔扩张中均有重要的作用,在本 研究提及的进展性 T2EL 危险因素中,IMA 开口直径 对发生进展性 T2EL 的作用最高。预防性栓塞 IMA 可以显著降低 T2EL 的发生率,但需权衡栓塞可能 带来的肠缺血等风险^[23-25],有待进一步前瞻性研 究。近年来,腹腔镜下 IMA 结扎术因其具有避免 造影剂使用和辐射暴露等优势,尤其适用于慢性 肾功能不全的患者,逐渐受到关注。该技术的成 功率高达 92.3%,并且在术后随访期间未发现 IMA 相关的 T2EL 复发^[26]。

LA 是腹主动脉的重要分支, EVAR 术后通畅 的 LA 数量是 T2EL 发生的危险因素,其数量越多, T2EL 的发生率越高^[27]。EVAR 术后支架外瘤腔内 的压力降低,与未闭的 LA 血压存在压力差,引起 LA 内的血流逆向灌注支架外瘤腔,导致 T2EL 的 发生。Seike 等^[28]发现 4 条或更多的未闭 LA 数量与 EVAR 术后持续性 T2EL 相关。本研究结果显示, 进展组 AAA 患者通畅 LA 数量更多, EVAR 术后 发生进展性 T2EL 的患者通畅 LA 数量的危险阈值为 6 条。针对通畅 LA 引起的 T2EL,除经动脉介入栓 塞手术干预外,超声引导下经皮经腹穿刺也是一种 可行的治疗方案,并且在后期的随访过程中显示 出良好的临床效果^[29-30]。

除本研究提及的 AAA 解剖特征外,瘤腔内附 壁血栓的体积也是 EVAR 术后 T2EL 发生的相关因 素。Gallitto 等^[31]提出,腹主动脉附壁血栓体积小于 AAA 体积的 40% 是 EVAR 术后 T2EL 发生的危险因

素,这与临床应用弹簧圈和纤维蛋白胶预防性栓 塞的机制相符。瘤腔内附壁血栓对支架外腹主动 脉分支血管有一定的封堵作用,可以降低分支血 管内血流逆向灌注支架外瘤腔的概率,是 T2EL 发 生的保护因素^[32]。外科医生可以根据术前 CTA 影 像结果,计算 AAA 瘤腔内附壁血栓的体积,进而 预测 EVAR 术后进展性 T2EL 的发生率。此外,本 研究未发现性别与进展性 T2EL 的发生存在关联, 尽管进展组女性比例低于稳定组 (9.5% vs. 29.0%),但差异无统计学意义。既往研究^[33]认为, 女性的生理机制可能更易于促进血栓形成,因此 瘤腔内能更快形成血栓,进而有效封闭 T2EL 的破 口。性别可能作为潜在混杂因素影响本研究结果, 但由于本研究样本量有限,该差异可能因统计效 能不足而未达显著性,未来需通过更大样本进一 步明确。

将本研究分析所得到的 AAA 患者 EVAR 术后 进展性 T2EL 的相关危险因素用于构建列线图预测 模型,通过 ROC 曲线、Hosmer-Lemeshow 拟合优度 检验、校准曲线和临床决策曲线验证了该预测模 型具有较好的准确率。临床医生在 EVAR 术前对患 者的 AAA 解剖条件进行评估的同时,可以参考该 预测模型预测术后进展性 T2EL 发生的可能性,采 取针对性的预防措施,降低因进展性 T2EL 导致动 脉瘤扩张、破裂的风险和进展性 T2EL 的再干 预率,减轻患者的经济负担。同时能够优化资源配 置,提高医疗效率,对患者、医疗资源及医疗决 策均有显著益处。本研究仍存在一定的局限性, 如本研究为单中心、回顾性研究,纳入的样本量 较小,研究结果可能会受到选择偏倚的影响,需 大样本量、多中心的长期随访结果来验证本研 究所构建的列线图预测模型,更加准确地分析 EVAR 术后进展性 T2EL 的相关危险因素和其发生的 可能。

综上所述, T2EL 是 EVAR 术后的常见并发症, 会导致动脉瘤破裂等不良后果。瘤体最大直径、 IMA 开口直径和通畅 LA 数量是 AAA 患者 EVAR 术 后进展性 T2EL 的相关危险因素。根据危险因素构 建的列线图预测模型在内部验证中显示出较好的 预测价值,但尚需外部验证进一步确认其泛化 能力。

作者贡献声明:孙元昊负责数据收集、初稿撰写和

根据修改意见进行修订;罗光泽负责数据收集和分析;秘家学、李鹏负责研究优化、文章修改;朱杰昌、范海伦对文章的知识性内容作批评性审阅;戴向晨负责研究选题、文章最终审阅及最终定稿。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Marecki HL, Finnesgard EJ, Nuvvula S, et al. Characterization and management of type II and complex endoleaks after fenestrated/branched endovascular aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2023, 78(1):29-37. doi:10.1016/j.jvs.2023.02.016.
- [2] Sirignano P, Mangialardi N, Nespola M, et al. Incidence and fate of refractory type II endoleak after EVAR: a retrospective experience of two high-volume Italian centers[J]. *J Pers Med*, 2022, 12(3):339. doi:10.3390/jpm12030339.
- [3] Akmal MM, Pabittei DR, Prapassaro T, et al. A systematic review of the current status of interventions for type II endoleak after EVAR for abdominal aortic aneurysms[J]. *Int J Surg*, 2021, 95:106138. doi:10.1016/j.ijsu.2021.106138.
- [4] Chun JY, de Haan M, Maleux G, et al. CIRSE standards of practice on management of endoleaks following endovascular aneurysm repair[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2024, 47(2):161-176. doi:10.1007/s00270-023-03629-1.
- [5] Katahashi K, Sano M, Takehara Y, et al. Flow dynamics of type II endoleaks can determine sac expansion after endovascular aneurysm repair using four-dimensional flow-sensitive magnetic resonance imaging analysis[J]. *J Vasc Surg*, 2019, 70(1):107-116. doi:10.1016/j.jvs.2018.09.048.
- [6] Nuckles B, Nadal L, Berger A, et al. Outcomes of type II endoleak treatment using ethylene vinyl alcohol copolymer (Onyx™) [J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2021, 55(1): 50-57. doi: 10.1177/1538574420964644.
- [7] Wanhainen A, Van Herzelee I, Bastos Goncalves F, et al. Editor's choice: European society for vascular surgery (ESVS) 2024 clinical practice guidelines on the management of abdominal aorto-iliac artery aneurysms[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2024, 67(2):192-331. doi:10.1016/j.ejvs.2023.11.002.
- [8] Knappich C, Kirchoff F, Fritsche MK, et al. Endovascular aortic repair with sac embolization for the prevention of type II endoleaks (the EVAR-SE study): study protocol for a randomized controlled multicentre study in Germany[J]. *Trials*, 2024, 25(1): 17. doi: 10.1186/s13063-023-07888-8.
- [9] Cheadle GA, Dwivedi AJ, Wayne EJ, et al. Transcaval coil embolization of type 2 endoleak after endovascular aortic repair: an institutional review[J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2024, 58(1):47-53. doi:10.1177/15385744231188803.
- [10] Seike Y, Matsuda H, Shimizu H, et al. Nationwide analysis of persistent type II endoleak and late outcomes of endovascular abdominal aortic aneurysm repair in Japan: a propensity-matched analysis[J]. *Circulation*, 2022, 145(14): 1056-1066. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.121.056581.
- [11] Saha SC, Francis I, Saha G, et al. Hemodynamic insights into abdominal aortic aneurysms: bridging the knowledge gap for improved patient care[J]. *Fluids*, 2024, 9(2): 50. doi: 10.3390/fluids9020050.
- [12] Zhan JM, Lu TD, Yang ZY, et al. Influence of the flow field and Vortex structure of patient-specific abdominal aortic aneurysm with intraluminal thrombus on the arterial wall[J]. *Eng Appl Comput Fluid Mech*, 2022, 16(1): 2100-2122. doi: 10.1080/19942060.2022.2131628.
- [13] 岳键金, 赵一鸣, 王家嵘, 等. 腹主动脉瘤腔内修复术后行交叉腿与平行腿技术的支架位移和位移力对照分析[J]. *生物医学工程学杂志*, 2022, 39(4):645-650. doi:10.7507/1001-5515.202107038.
- Yue JJ, Zhao YM, Wang JR, et al. Comparison of stent displacement and displacement force after endovascular aneurysm repair with cross-limb or parallel-limb stent[J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 2022, 39(4):645-650. doi:10.7507/1001-5515.202107038.
- [14] 于晓强, 岳嘉宁, 董智慧, 等. 复合支架方案在复杂肾下腹主动脉瘤腔内治疗中的应用及疗效观察[J]. *中华医学杂志*, 2016, 96(18):1430-1434. doi:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.18.009.
- Yu XQ, Yue JN, Dong ZH, et al. Application and effect observation of hybrid aortic stent grafts for endovascular repair in the treatment of complicated infrarenal abdominal aortic aneurysm[J]. *National Medical Journal of China*, 2016, 96(18):1430-1434. doi: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.18.009.
- [15] Voutsinas N, Kim E, Lookstein RA. Predictive factors and strategies to prevent the development of type 2 endoleaks following endovascular aneurysm repair[J]. *Semin Intervent Radiol*, 2020, 37(4):389-394. doi:10.1055/s-0040-1715868.
- [16] Erdemutu E, Zhou C, Ma M, et al. Endovascular repair of abdominal aortic aneurysm-related type II endoleak: a multicenter study on the possibility of further intervention[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2025, 12:1450942. doi:10.3389/fcvm.2025.1450942.
- [17] Takeuchi Y, Morikage N, Samura M, et al. Five-year follow-up of randomized clinical trial for pre-emptive inferior mesenteric artery embolization during endovascular aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2024, 80(3):693-701.e3. doi:10.1016/j.jvs.2024.04.058.
- [18] Habib M, D'Oria M, Budtz-Lilly J, et al. International cross-sectional survey on management of type II endoleak and the role of

- preemptive embolization[J]. *Ann Vasc Surg*, 2025, 115:53–59. doi: [10.1016/j.avsg.2025.02.027](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2025.02.027).
- [19] 谭程鹏, 容丹, 刘浩, 等. 腹主动脉瘤腔内修复术中栓塞肠系膜下动脉和腰动脉预防II型内漏的临床意义及研究进展[J]. *中国普通外科杂志*, 2024, 33(12):2051–2057. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2024.12.013](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.12.013).
- Tan CP, Rong D, Liu H, et al. Embolization of the inferior mesenteric artery and lumbar arteries during endovascular aortic repair for the prevention of type II endoleak: clinical significance and research progress[J]. *China Journal of General Surgery*, 2024, 33(12):2051–2057. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.2024.12.013](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.12.013).
- [20] Ide T, Masada K, Kuratani T, et al. Risk analysis of aneurysm sac enlargement caused by type II endoleak after endovascular aortic repair[J]. *Ann Vasc Surg*, 2021, 77: 208–216. doi: [10.1016/j.avsg.2021.06.013](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2021.06.013).
- [21] Kondov S, Dimov A, Beyersdorf F, et al. Inferior mesenteric artery diameter and number of patent lumbar arteries as factors associated with significant type 2 endoleak after infrarenal endovascular aneurysm repair[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2022, 35(1): ivac016. doi: [10.1093/ivctv/ivac016](https://doi.org/10.1093/ivctv/ivac016).
- [22] Ide T, Shimamura K, Shijo T, et al. Impact of patent lumbar arteries on aneurysm sac enlargement with type II endoleak after endovascular aneurysm repair[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2023, 66(4):513–520. doi: [10.1016/j.ejvs.2023.06.003](https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2023.06.003).
- [23] Niklas N, Malec M, Gutowski P, et al. Effectiveness of inferior mesenteric artery embolization on type II endoleak-related complications after endovascular aortic repair (EVAR): systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(18):5491. doi: [10.3390/jcm11185491](https://doi.org/10.3390/jcm11185491).
- [24] 凡杰夫, 陆清声. 腹主动脉瘤腔内修复术中内漏问题的处理要点、难点及思考[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(6):1121–1129. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250257](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250257).
- Fan JF, Lu QS. Key points, challenges, and considerations in managing endoleaks during endovascular aneurysm repair for abdominal aortic aneurysm[J]. *China Journal of General Surgery*, 2025, 34(6):1121–1129. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250257](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250257).
- [25] Suárez González LÁ, Martínez-Luengas IL, Del Canto Peruyera P, et al. Safety of preoperative branch embolization in patients undergoing evar[J]. *J Vasc Bras*, 2024, 23:e20220137. doi: [10.1590/1677-5449.202201372](https://doi.org/10.1590/1677-5449.202201372).
- [26] Roditis K, Tsiantoula P, Giannakopoulos NN, et al. Laparoscopic ligation of the inferior mesenteric artery: a systematic review of an emerging trend for addressing type II endoleak following endovascular aortic aneurysm repair[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(9): 2584. doi: [10.3390/jcm13092584](https://doi.org/10.3390/jcm13092584).
- [27] Ueda R, Esaki J, Tsubota H, et al. Impact of the lumbar arteries on aneurysm diameter and type 2 endoleak after endovascular aneurysm repair[J]. *Ann Vasc Surg*, 2024, 100: 138–147. doi: [10.1016/j.avsg.2023.10.013](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2023.10.013).
- [28] Seike Y, Matsuda H, Fukuda T, et al. The influence of 4 or more patent lumbar arteries on persistent type II endoleak and sac expansion after endovascular aneurysm repair[J]. *Ann Vasc Surg*, 2018, 50:195–201. doi: [10.1016/j.avsg.2017.12.014](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2017.12.014).
- [29] Chen JX, Stavropoulos SW. Type 2 endoleak management[J]. *Semin Intervent Radiol*, 2020, 37(4):365–370. doi: [10.1055/s-0040-1715873](https://doi.org/10.1055/s-0040-1715873).
- [30] Nishijima T, Oishi Y, Kimura S, et al. Efficacy of sac coil embolization in endovascular aortic repair for sac shrinkage in patients at a high risk of type II endoleak from lumbar arteries[J]. *Ann Vasc Surg*, 2024, 103: 122–132. doi: [10.1016/j.avsg.2023.12.069](https://doi.org/10.1016/j.avsg.2023.12.069).
- [31] Gallitto E, Gargiulo M, Mascoli C, et al. Persistent type II endoleak after EVAR: the predictive value of the AAA thrombus volume[J]. *J Cardiovasc Surg (Torino)*, 2018, 59(1):79–86. doi: [10.23736/S0021-9509.16.08842-X](https://doi.org/10.23736/S0021-9509.16.08842-X).
- [32] Pineda DM, Calligaro KD, Tyagi S, et al. Late type II endoleaks after endovascular aneurysm repair require intervention more frequently than early type II endoleaks[J]. *J Vasc Surg*, 2018, 67(2): 449–452. doi: [10.1016/j.jvs.2017.05.124](https://doi.org/10.1016/j.jvs.2017.05.124).
- [33] Schwaiger M, Edmondson SJ, Rabensteiner J, et al. Gender-specific differences in haemostatic parameters and their influence on blood loss in bimaxillary surgery[J]. *Clin Oral Investig*, 2022, 26(4):3765–3779. doi: [10.1007/s00784-021-04347-z](https://doi.org/10.1007/s00784-021-04347-z).

(本文编辑 熊杨)

本文引用格式: 孙元昊, 罗光泽, 秘家学, 等. 腹主动脉瘤EVAR术后进展性II型内漏的相关危险因素及风险预测模型研究[J]. *中国普通外科杂志*, 2025, 34(12): 2596–2604. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250360](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250360)

Cite this article as: Sun YH, Luo GZ, Bi JX, et al. Risk factors and a risk prediction model for progressive type II endoleak after EVAR for abdominal aortic aneurysm[J]. *Chin J Gen Surg*, 2025, 34(12):2596–2604. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250360](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250360)