

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.09.002  
文章编号: 1005-8982 (2026) 09-0007-07

影像诊断学专题·论著

## 术前超声斑块特征在评估颈动脉支架植入 术后再狭窄风险中的价值\*

张语嫣<sup>1</sup>, 彭雯佳<sup>2</sup>, 邵成伟<sup>2</sup>

(海军军医大学第一附属医院 1. 超声诊断科, 2. 影像医学科, 上海 200433)

**摘要:** **目的** 探讨术前超声斑块特征评估在颈动脉支架植入术(CAS)术后发生支架内再狭窄(ISR)中的价值。**方法** 采用回顾性分析方法,收集2022年6月—2024年9月海军军医大学第一附属医院200例实施CAS治疗的颈动脉狭窄患者的临床资料,根据CAS随访期间是否发生ISR,将入组患者分为ISR组(36例)与非ISR组(164例)。比较ISR组与非ISR组患者的临床资料及超声斑块特征。采用多因素一般Logistic回归模型分析CAS术后发生ISR的影响因素。绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析狭窄处收缩期峰值流速(PSV)对CAS术后发生ISR的预测价值。**结果** ISR组高血压患病率高于非ISR组( $P < 0.05$ )。ISR组斑块形状为不规则、回声性质为低回声、斑块内新生血管分级 $\geq 2$ 级的构成比及狭窄处PSV均高于非ISR组( $P < 0.05$ )。多因素一般Logistic回归分析结果显示:合并高血压[ $\hat{OR} = 2.034$ (95% CI: 1.085, 3.813)]、不规则斑块[ $\hat{OR} = 1.698$ (95% CI: 1.145, 2.518)]、低回声斑块[ $\hat{OR} = 1.625$ (95% CI: 1.149, 2.298)]、斑块内新生血管分级 $\geq 2$ 级[ $\hat{OR} = 2.231$ (95% CI: 1.301, 3.826)]、狭窄处PSV高[ $\hat{OR} = 1.882$ (95% CI: 1.254, 2.825)]均为CAS术后发生ISR的危险因素( $P < 0.05$ )。ROC曲线分析结果显示,狭窄处PSV预测CAS术后发生ISR的敏感性为72.21%(95% CI: 0.592, 0.824),特异性为75.62%(95% CI: 0.641, 0.899),曲线面积为0.788(95% CI: 0.707, 0.868)。**结论** 高血压、不规则斑块、低回声斑块、新生血管丰富及狭窄处PSV升高与CAS术后发生ISR关系密切,且狭窄处PSV具有良好的预测价值。

**关键词:** 颈动脉支架植入术; 支架内再狭窄; 术前超声斑块特征; 新生血管

**中图分类号:** R543.4

**文献标识码:** A

## The value of preoperative ultrasound plaque characteristics in evaluating the risk of in-stent restenosis after carotid artery stent implantation\*

Zhang Yu-yan<sup>1</sup>, Peng Wen-jia<sup>2</sup>, Shao Cheng-wei<sup>2</sup>

(1. Department of Ultrasonography, 2. Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of  
Naval Medical University, Shanghai 200433, China)

**Abstract: Objective** To analyze the value of preoperative ultrasound plaque characteristics in evaluating the risk of in-stent restenosis (ISR) after carotid artery stent implantation (CAS). **Methods** This study adopted a retrospective analysis method to collect clinical data of a total of 200 patients with carotid artery stenosis who underwent CAS treatment in our hospital. The selection period was from June 2022 to September 2024. According to whether ISR occurred during the follow-up period after CAS, all enrolled patients were divided into the ISR group (36 cases) and the non-ISR group (164 cases). The clinical data and ultrasound plaque characteristics of the ISR

收稿日期: 2026-01-16

\* 基金项目: 上海市自然科学基金(22ZR1478100)

[通信作者] 邵成伟, E-mail: 328336042@qq.com

group and the non-ISR group were compared, and the influencing factors of ISR after CAS were analyzed. The receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the evaluation value of peak systolic velocity (PSV) at the stenosis site for the occurrence of ISR after CAS surgery. **Results** The comparison of hypertension prevalence between the ISR group and the non-ISR group showed a statistically significant difference, indicating that the hypertension prevalence in the ISR group was higher than that in the non-ISR group ( $P < 0.05$ ). There were statistically significant differences in the composition ratios of plaque shape, echo nature, grade of new blood vessels within the plaque, and PSV at the stenosis site between the ISR group and the non-ISR group ( $P < 0.05$ ). The composition ratio of irregular plaque shape, low echo nature of echo, grade  $\geq 2$  of new blood vessels within the plaque, and PSV value at the stenosis site in the ISR group were higher than those in the non-ISR group. Multivariate general Logistic regression analysis was conducted. The results showed that hypertension [ $\hat{OR} = 2.034$  (95% CI: 1.085, 3.813)], irregular plaques [ $\hat{OR} = 1.698$  (95% CI: 1.145, 2.518)], hypoechoic plaques [ $\hat{OR} = 1.625$  (95% CI: 1.149, 2.298)], plaque neovascularization grade  $\geq 2$  [ $\hat{OR} = 2.231$  (95% CI: 1.301, 3.826)], and high PSV [ $\hat{OR} = 1.882$  (95% CI: 1.254, 2.825)] at the stenosis site were all risk factors for ISR after CAS ( $P < 0.05$ ). The ROC curve analysis showed that the PSV value at the stenosis site had a sensitivity of 72.21% (95% CI: 0.592, 0.824) and a specificity of 75.62% (95% CI: 0.641, 0.899) for predicting ISR after CAS surgery, with an area under the curve of 0.788 (95% CI: 0.707, 0.868). **Conclusion** Hypertension, irregular plaques, hypoechoic plaques, abundant neovascularization and elevated PSV at the stenosis site are closely related to the occurrence of ISR after CAS, and PSV at the stenosis site has good evaluation value.

**Keywords:** carotid artery stent implantation; in-stent restenosis; preoperative ultrasound plaque characteristics; new blood vessels

颈动脉支架植入术(carotid artery stenting, CAS)是治疗症状性和高危无症状性颈动脉狭窄的重要血运重建手段,可有效降低脑卒中风险<sup>[1-2]</sup>。然而,支架内再狭窄(in-stent restenosis, ISR)是影响CAS中远期疗效的主要并发症,其发生率较高,是导致血管再闭塞、临床症状复发及再次干预的主要原因<sup>[3]</sup>。ISR的发生机制涉及血管内皮损伤后的炎症反应、平滑肌细胞增殖与迁移,以及内膜过度增生等环节,其形成与患者临床特征、手术操作及血管解剖条件等多种因素密切相关<sup>[4]</sup>。因此,如何早期识别ISR高危患者并进行针对性干预,是改善CAS远期预后面临的重要临床问题。目前,ISR的风险评估主要依赖于患者年龄、糖尿病史、吸烟史等传统临床因素,但这些指标的预测效能有限<sup>[5]</sup>。近年来,随着影像技术的发展,术前对目标血管及斑块的精准评估已成为可能。血管超声不仅能评估管腔狭窄程度,更能清晰地显示斑块的形态学特征,而其特征与斑块的病理构成及稳定性密切相关,可能参与ISR的形成过程<sup>[6-7]</sup>。然而,目前,关于系统评估术前超声斑块特征对CAS术后ISR风险的预测价值,尤其是结合形态、回声及新生血管等参数的综合评估,相关研究尚不充分,有待进一步明确。基于此,本研究旨在探讨术前超声斑块特征评估在

预测CAS术后ISR风险中的价值,以期为临床早期识别高危患者、优化治疗策略提供参考依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用回顾性分析方法,收集2022年6月—2024年9月海军军医大学第一附属医院200例实施CAS治疗的颈动脉狭窄患者的临床资料。其中,男性146例,女性54例;年龄47~78岁,平均(62.56±7.14)岁;体质指数(body mass index, BMI)18~24 kg/m<sup>2</sup>,平均(21.44±1.52) kg/m<sup>2</sup>。本研究经医院医学伦理委员会审核批准(CHEC-Y2024-035)。

### 1.2 纳入与排除标准

**1.2.1 纳入标准** ①症状性颈动脉狭窄或无症状性颈动脉狭窄符合诊疗规范<sup>[8]</sup>,且经数字减影血管造影证实;②首次接受单侧CAS治疗,且手术成功(支架内残余狭窄率<30%);③术前1周内完成规范的颈动脉超声检查,图像资料清晰、完整,满足分析要求;④病历系统中具有完整的临床资料。

**1.2.2 排除标准** ①合并颈动脉夹层、动脉炎、纤维肌性发育不良等非动脉粥样硬化性狭窄;②既往对侧颈动脉已行支架植入或内膜剥脱术;③存在活动

性恶性肿瘤或严重心肝肾功能不全、凝血功能障碍;④围手术期发生严重并发症影响术后评估。

### 1.3 超声检查方法

患者均在术前1周内,由2名具有5年以上血管超声诊断经验的主治医师通过彩色多普勒超声诊断仪[飞利浦医疗(苏州)有限公司,国械注准20223060936,型号规格:EPIQ7]进行检查,该设备线阵探头的频率设置为5~12 MHz。检查在安静、温度适宜的环境中进行,患者取仰卧位,颈后垫枕,头部偏向对侧,充分暴露检查侧颈部。采用多切面连续扫描,依次检查颈总动脉、颈动脉分叉、颈内动脉及颈外动脉,重点观察与记录颈动脉责任斑块的图像特征。①形状:分为规则型(斑块表面光滑)、不规则型(斑块表面呈锯齿状、粗糙不平,或存在明确的、深度 $\geq 1$  mm的“火山口”样凹陷)。②回声性质:分为低回声(回声低于胸锁乳突肌)、等回声(回声类似胸锁乳突肌)、不均质回声(混合高、中、低回声,但无明显强回声伴声影)、强回声(伴有明显声影)。③钙化情况:观察斑块内是否存在点状、片状或弧形强回声后方声影,记录为“有钙化”或“无钙化”。④其他超声数据:原始管径(在狭窄近端1~2 cm处,颈内动脉管壁内膜-中膜内缘间的垂直距离)、残余管径(在灰阶超声图像上,于最狭窄处测量管腔残留的最小内径)、斑块长度(沿血管纵切面,测量斑块近端与远端边界之间的最大距离)、斑块厚度(在斑块最厚处,垂直于管壁测量其最大厚度)、狭窄处收缩期峰值流速(peak systolic velocity, PSV)。⑤使用超声造影评估斑块内新生血管,对比剂选用注射用六氟化硫微泡(声诺维)(Bracco International B.V.,瑞士,国药准字HJ20171213,规格:59 mg六氟化硫),采用双幅对比成像模式,动态观察斑块内对比剂灌注过程。根据斑块内增强强度及范围进行半定量分级:0级(无增强)、1级(轻度点状或线状增强)、2级(中度增强,范围 $<$ 斑块面积的50%)、3级(显著增强,范围 $\geq$ 斑块面积的50%);将 $\geq 2$ 级定义为新生血管丰富<sup>[9]</sup>。所有测量数据由上述2名超声医师在双盲条件下独立测量并记录,取其平均值用于统计分析。若意见不一致,则由第3位高级职

称医师复核后确定。

### 1.4 ISR评估及分组

对所有患者进行为期12个月的随访,评估支架通畅情况及是否存在ISR。经数字减影血管造影证实,随访期间支架内或相邻5 mm范围内管腔狭窄率 $>50\%$ ,即可确诊为ISR<sup>[10]</sup>。根据CAS后随访期间是否发生ISR,将入组患者分为ISR组(36例)与非ISR组(164例)。

### 1.5 检测指标

通过患者电子病历系统,采集所有入组患者的基线资料,包括性别、年龄、BMI、合并高血压、合并糖尿病、合并冠心病、支架类型、支架内径、总胆固醇(total cholesterol, TC)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)等。所有实验室指标均为入院后24 h内首次采集的标本检测所得。采集静脉血2 mL,在离心半径15 cm条件下,3 000 r/min离心20 min,所得血清用于检测,经全自动生化分析仪(上海科华实验系统有限公司,沪械注准20202220446,型号:ZY-1200M)测定TC、HDL-C、LDL-C水平。

### 1.6 统计学方法

数据分析采用SPSS 25.0统计软件。计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,比较用 $t$ 检验;计数资料以构成比或率(%)表示,比较用 $\chi^2$ 检验;影响因素的分析采用多因素一般Logistic回归模型;绘制受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组临床资料比较

ISR组与非ISR组性别构成、年龄、BMI、糖尿病患病率、冠心病患病率、支架类型构成、支架内径构成,以及TC、HDL-C、LDL-C水平比较,经 $\chi^2/t$ 检验,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。ISR组与非ISR组高血压患病率比较,经 $\chi^2$ 检验,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),ISR组高血压患病率高于非ISR组。见表1。

### 2.2 两组超声斑块特征比较

ISR组与非ISR组钙化情况构成、原始管径、残

表 1 两组临床资料比较

组别	n	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$ )	BMI/(kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	高血压 例(%)	糖尿病 例(%)	冠心病 例(%)
非 ISR 组	164	118/46	62.18 ± 6.95	21.40 ± 1.53	102(62.20)	58(35.37)	45(27.44)
ISR 组	36	28/8	63.28 ± 7.82	21.62 ± 1.48	30(83.33)	17(47.22)	11(30.56)
$\chi^2/t$ 值		0.509	0.380	0.786	5.878	1.771	0.142
P值		0.476	0.704	0.433	0.015	0.183	0.706

组别	支架类型 例(%)		支架内径 例(%)		TC/ (mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	HDL-C/ (mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )	LDL-C/ (mmol/L, $\bar{x} \pm s$ )
	开放式支架	闭合式支架	≤7 mm	>7 mm			
非 ISR 组	85(51.83)	79(48.17)	108(65.85)	56(34.15)	4.25 ± 0.98	1.12 ± 0.31	2.68 ± 0.82
ISR 组	18(50.00)	18(50.00)	25(69.44)	11(30.56)	4.41 ± 1.05	1.08 ± 0.29	2.75 ± 0.88
$\chi^2/t$ 值		0.040		0.171	0.876	0.709	0.458
P值		0.842		0.679	0.382	0.479	0.648

余管径、斑块长度、斑块厚度比较,经  $\chi^2/t$  检验,差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。ISR 组和非 ISR 组斑块形状构成比、回声性质构成比、斑块内新生血管分级构成比、狭窄处 PSV 比较,经  $\chi^2/t$  检验,差异

均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),ISR 组斑块形状为不规则构成比、回声性质为低回声构成比、斑块内新生血管分级  $\geq 2$  级构成比及狭窄处 PSV 值均高于非 ISR 组。见表 2。

表 2 两组超声斑块特征比较

组别	n	斑块形状 例(%)		回声性质 例(%)			钙化情况 例(%)		
		规则	不规则	低回声	等回声	不均质回声	强回声	有钙化	无钙化
非 ISR 组	164	96(58.54)	68(41.46)	28(17.07)	73(44.51)	48(29.27)	15(9.15)	87(53.05)	77(46.95)
ISR 组	36	12(33.33)	24(66.67)	15(41.67)	10(27.78)	8(22.22)	3(8.33)	16(44.44)	20(55.56)
$\chi^2/t$ 值			7.549			10.842			0.875
P值			0.006			0.013			0.350

组别	斑块内新生血管分级 例(%)		原始管径/ (mm, $\bar{x} \pm s$ )	残余管径/ (mm, $\bar{x} \pm s$ )	斑块长度/ (mm, $\bar{x} \pm s$ )	斑块厚度/ (mm, $\bar{x} \pm s$ )	狭窄处 PSV/ (cm/s, $\bar{x} \pm s$ )
	<2级	$\geq 2$ 级					
非 ISR 组	114(69.51)	50(30.49)	7.42 ± 0.89	1.18 ± 0.37	14.86 ± 3.51	4.42 ± 1.05	282.51 ± 50.18
ISR 组	13(36.11)	23(63.89)	7.55 ± 0.92	1.05 ± 0.34	15.21 ± 3.48	4.68 ± 1.12	332.64 ± 63.43
$\chi^2/t$ 值		14.209	0.789	1.936	0.543	1.329	5.162
P值		0.001	0.431	0.054	0.588	0.185	0.000

### 2.3 CAS 术后发生 ISR 的影响因素

以术后是否发生 ISR (否=0,是=1) 为因变量,单因素分析中差异有统计学意义的高血压 (否=0,是=1)、斑块形状 (规则=0,不规则=1)、回声性质 (等回声/不均质回声/强回声=0,低回声=1)、斑块内新生血管分级 (<2 级=0,  $\geq 2$  级=1)、狭窄处 PSV (实测值) 为自变量,进行多因素一般 Logistic 回归分析,结果显示:合并高血压 [ $\hat{O}R = 2.034$  (95% CI: 1.085, 3.813)]、不规则斑块 [ $\hat{O}R = 1.698$  (95% CI: 1.145, 2.518)]、低回声斑块 [ $\hat{O}R = 1.625$  (95% CI:

1.149, 2.298)]、斑块内新生血管分级  $\geq 2$  级 [ $\hat{O}R = 2.231$  (95% CI: 1.301, 3.826)]、狭窄处 PSV 高 [ $\hat{O}R = 1.882$  (95% CI: 1.254, 2.825)] 均为 CAS 术后发生 ISR 的危险因素 ( $P < 0.05$ )。见表 3。

### 2.4 狭窄处 PSV 预测 CAS 术后发生 ISR 的价值

ROC 曲线分析结果显示,狭窄处 PSV 预测 CAS 术后发生 ISR 的截断值为 309.05 cm/s,敏感性为 72.21% (95% CI: 0.592, 0.824),特异性为 75.62% (95% CI: 0.641, 0.899),曲线下面积为 0.788 (95% CI: 0.707, 0.868)。见图 1。

表3 CAS术后发生ISR的多因素一般Logistic回归分析参数

自变量	$b$	$S_b$	Wald $\chi^2$ 值	$P$ 值	$\hat{OR}$ 值	95% CI	
						下限	上限
合并高血压	0.710	0.321	4.904	0.027	2.034	1.085	3.813
不规则斑块	0.529	0.201	6.935	0.008	1.698	1.145	2.518
低回声斑块	0.486	0.177	7.537	0.006	1.625	1.149	2.298
斑块内新生血管分级 $\geq 2$ 级	0.802	0.275	8.505	0.004	2.231	1.301	3.826
狭窄处PSV升高	0.632	0.207	9.319	0.002	1.882	1.254	2.825

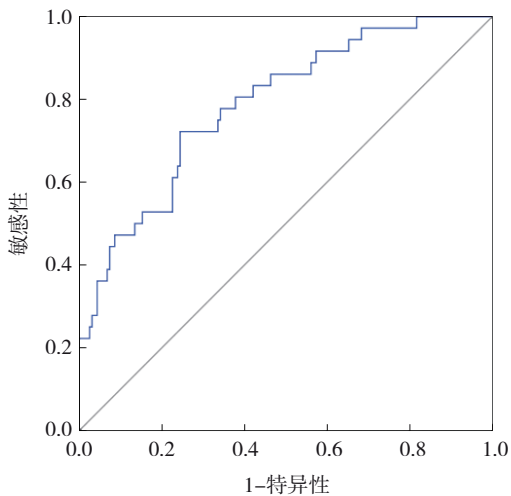


图1 狭窄处PSV值预测CAS术后发生ISR的ROC曲线

### 3 讨论

CAS术后ISR的核心发生机制在于血管壁的损伤性反应与修复过程的失衡。支架的机械性扩张不可避免地造成血管内皮损伤,继而引发局部炎症反应、血管平滑肌细胞的激活、增殖与迁移,最终导致新生内膜过度增生<sup>[11]</sup>。持续的血管壁损伤与过度的内膜增生可引发显著的管腔再狭窄,导致血流动力学障碍,严重影响CAS的远期通畅率与临床获益<sup>[12]</sup>。血管超声作为评估颈动脉斑块与管壁结构的关键无创方法,能够直观显示管腔狭窄程度与斑块形态<sup>[13-14]</sup>。因此,深入挖掘术前超声斑块多特征参数的应用价值,对于实现CAS患者的个体化风险预测和优化围手术期治疗决策具有重要意义。本研究结果表明,ISR组合并高血压的占比高于非ISR组,且多因素一般Logistic回归分析结果显示:合并高血压为CAS术后发生ISR的独立危险因素,提示高血压与CAS术后ISR的发生密切相关。其机制可能在于,持续升高的血压可增加血管壁的剪切力与机械应力,加剧支架对血管壁的刺激,

从而强化局部炎症反应,并促进血管平滑肌细胞的异常增殖与迁移<sup>[15]</sup>。同时,高血压常伴随内皮功能障碍、氧化应激增强及肾素-血管紧张素系统激活,这些因素可进一步破坏血管稳态,加速新生内膜的增生与血管重塑过程,最终导致ISR的发生<sup>[16]</sup>。陈佳珑等<sup>[17]</sup>研究发现,合并高血压是CAS患者术后1年内发生ISR的最佳预测因子,与本研究结果相似。本研究结果显示,ISR组斑块形状为不规则、回声性质为低回声、斑块内新生血管分级 $\geq 2$ 级的占比及狭窄处PSV值均高于非ISR组,且多因素一般Logistic回归分析结果显示:不规则斑块、低回声斑块、斑块内新生血管分级 $\geq 2$ 级、狭窄处PSV升高均为CAS术后发生ISR的独立危险因素,提示上述术前超声斑块特征与CAS术后ISR的发生密切相关。不规则斑块通常具有薄纤维帽或存在表面溃疡,内皮屏障功能受损。在CAS术中,支架的扩张会对血管壁产生机械应力,而不规则斑块因其结构缺陷,更易发生斑块破裂或内膜撕裂,暴露其下方的胶原、脂质核心等促血栓和促炎物质,从而刺激内膜过度增生,促进ISR发生<sup>[18-19]</sup>。低回声斑块在超声上多反映斑块内富含脂质坏死核心,这类斑块纤维帽薄,不仅本身性质脆弱,其伴随的炎症细胞浸润及氧化应激状态可释放大量细胞因子与生长因子,在支架植入后持续刺激血管平滑肌细胞迁移与增殖,加剧血管壁损伤修复反应,增加ISR风险<sup>[20-21]</sup>。超声造影显示斑块内新生血管丰富( $\geq 2$ 级)是评估斑块炎症活跃性和代谢需求的直接功能学指标,提示斑块内部存在活跃的血管生成,而这些新生血管结构不完整、通透性高,不仅是炎症细胞浸润和脂质渗出的通道,其本身也容易破裂出血,进一步加重局部炎症状态,为内膜增生提供微环境,推动ISR进程<sup>[22]</sup>。狭窄处PSV升高可量化术前颈动脉狭窄导

致的局部血流动力学紊乱程度，反映局部血流动力学负荷加重，高流速与高剪切力可直接损伤血管内皮，并激活血小板与炎性介质，协同促进血管平滑肌细胞增殖与细胞外基质沉积，共同导致ISR的发生<sup>[23-24]</sup>。上述超声特征分别从斑块的形态稳定性、成分活性、炎症状态及血流动力学影响等不同层面，共同构成了促进CAS术后ISR发生的多重生物学与力学机制。本研究ROC曲线分析结果显示，狭窄处PSV评估CAS术后发生ISR的敏感性为72.21%，特异性为75.62%，表明狭窄处PSV对于CAS术后ISR的发生具有一定的预测价值，可作为临床评估ISR风险的一个实用参考指标。其较高的敏感性意味着能够较为有效地识别出那些术后发生ISR风险较高的患者，而较好的特异性则有助于减少不必要的过度干预和担忧。这一结果与既往研究中关于血流动力学参数在血管再狭窄发生中扮演重要角色的观点相符<sup>[25]</sup>，进一步证实了术前通过超声检测狭窄处PSV在CAS患者风险分层中的临床意义。临床医生可结合患者的PSV值，综合判断其术后ISR的潜在风险，从而制订更为个体化的术前评估策略及术后随访计划，以改善患者的预后。此外，本研究存在一定局限性。首先，作为单中心、回顾性研究，样本量相对有限；其次，ISR的诊断主要基于术后1年的影像学结果，缺乏更长时间的随访数据，未能观察其远期演变规律；同时，研究未将患者用药依从性、支架及术后相关内容、手术操作细节等潜在影响因素纳入分析，可能对结果产生一定干扰。未来需开展前瞻性、多中心、大样本的长期随访研究，并结合更多影像与分子标志物进行综合分析。

综上所述，高血压、不规则斑块、低回声斑块、新生血管丰富及狭窄处PSV升高与CAS术后发生ISR关系密切，且狭窄处PSV对评估ISR具有一定的预测价值。

#### 参考文献:

- [1] BATISTA S, OLIVEIRA L D B, SOUSA M P, et al. Transradial artery access for carotid artery stenting: a pooled analysis[J]. *Neuroradiol J*, 2024, 37(5): 546-555.
- [2] 马修尧, 刘彬, 任超, 等. 支架联合抽吸取栓术治疗老年颅内大血管急性闭塞的疗效观察[J]. *中国现代医学杂志*, 2022, 32(2): 54-57.
- [3] LEE J Y, KYE M S, KIM J, et al. Cutting balloon angioplasty for severe in-stent restenosis after carotid artery stenting: long-term outcomes and review of literature[J]. *Neurointervention*, 2024, 19(1): 24-30.
- [4] ELJACK A, SHIH E, MEIDAN T, et al. Drug-coated balloon angioplasty for carotid artery in-stent restenosis: case series[J]. *J Endovasc Ther*, 2024, 31(2): 305-311.
- [5] MIHÁLY Z, VÉRTES M, ENTZ L, et al. Treatment and predictors of recurrent internal carotid artery in-stent restenosis[J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2021, 55(4): 374-381.
- [6] 衡海艳, 蒋燕, 杨红, 等. CT血管造影检查急性脑梗死患者大脑中动脉粥样硬化斑块的特征及其临床意义[J]. *中国现代医学杂志*, 2023, 33(10): 18-22.
- [7] 谭家力, 冯辉, 段洋, 等. 基于血管内超声评价冠状动脉CT血管造影对支架内再狭窄的检测效果[J]. *实用临床医药杂志*, 2022, 26(10): 15-19.
- [8] 中华医学会外科学分会血管外科学组. 颈动脉狭窄诊治指南[J]. *中国血管外科杂志(电子版)*, 2017, 9(3): 169-175.
- [9] 陶均佳, 赵奕文, 王琮, 等. 超微血流成像技术和超声造影诊断颈动脉斑块内新生血管的对比分析[J]. *中西医结合心脑血管病杂志*, 2020, 18(20): 3482-3485.
- [10] NICOLAIS C, LAKHTER V, VIRK H U H, et al. Therapeutic options for in-stent restenosis[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2018, 20(2): 7.
- [11] MEGALY M, ALANI F, CHENG C I, et al. Risk factors for the development of carotid artery in-stent restenosis: multivariable analysis[J]. *Cardiovasc Revasc Med*, 2021, 24: 65-69.
- [12] 熊敏俊, 侯春霞, 杨菲菲, 等. 晚期支架内再狭窄患者的远期预后分析[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2023, 15(10): 1246-1249.
- [13] 王华, 李天天. 常规超声、超微血管成像和超声造影诊断颈动脉狭窄的对比研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2021, 31(5): 62-67.
- [14] 商瑞苗, 孔敏刚. 基于超声造影定量分析评估颈动脉低回声斑块对脑梗死复发的预测价值[J]. *中华全科医学*, 2025, 23(4): 640-642.
- [15] VÉRTES M, NGUYEN D T, SZÉKELY G, et al. Middle and distal common carotid artery stenting: long-term patency rates and risk factors for in-stent restenosis[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2020, 43(8): 1134-1142.
- [16] 张舟, 袁琪, 朴哲, 等. 颈动脉狭窄患者支架植入术后并发症危险因素分析[J]. *中风与神经疾病杂志*, 2021, 38(10): 1107-1109.
- [17] 陈佳珑, 郁杨, 杨勇, 等. 颈动脉支架植入术后支架内再狭窄的列线图风险预测模型的构建和验证[J]. *实用放射学杂志*, 2025, 41(8): 1375-1378.
- [18] GU N, CHEN P K, WANG X, et al. Association between the neutrophil-to-lymphocyte ratio and in-stent neointimal hyperplasia and plaque vulnerability: an optical coherence tomography study[J]. *J Cardiovasc Pharmacol*, 2024, 84(5): 506-514.
- [19] 汪川, 张帆, 李平, 等. 冠状动脉内膜剥脱斑块脂质分析及影响术后狭窄机制初探[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2022, 38(1): 44-48.
- [20] 赖丹惠, 江燕辉, 叶思婷, 等. 颈动脉斑块超声影像组学特征对颈动脉支架置入术后狭窄的预测能力[J]. *实用医学杂志*, 2025, 41(5): 742-750.

- [21] 龚宇,于森,田甜,等.高分辨率磁共振血管壁成像评估大脑中动脉狭窄斑块特征与支架内再狭窄的相关性[J].介入放射学杂志,2024,33(12):1282-1287.
- [22] 汪彤,郭芳芳,陈荣,等.斑块易损特征对颈动脉支架植入术后再狭窄的影响[J].中国医学影像技术,2021,37(10):1456-1460.
- [23] 张茜,勉丽,王霞.多项超声技术联合探查颈动脉斑块预测缺血性脑卒中复发的价值[J].中华全科医学,2024,22(7):1204-1208.
- [24] 王磊,杜长春,黄丙森.血管内超声特征对不稳定型心绞痛病人PCI术后支架内再狭窄风险的预测价值[J].中西医结合心脑血管病杂志,2023,21(9):1687-1690.
- [25] 杨凯,万林枫,陈莉,等.颈动脉支架成形术后支架内再狭窄的血流动力学分析[J].中华血管外科杂志,2022,7(2):122-131.  
(张西倩 编辑)

**本文引用格式:** 张语嫣,彭雯佳,邵成伟.术前超声斑块特征在评估颈动脉支架植入术后再狭窄风险中的价值[J].中国现代医学杂志,2026,36(9):7-13.

**Cite this article as:** ZHANG Y Y, PENG W J, SHAO C W. The value of preoperative ultrasound plaque characteristics in evaluating the risk of in-stent restenosis after carotid artery stent implantation[J]. China Journal of Modern Medicine, 2026, 36(9): 7-13.