

本文引用: 刘焯鼎, 陈方红, 陈伟楚, 等. 基于超微血管成像血流分级指标联合血清学指标的颈动脉斑块脱落风险预测模型的构建分析[J]. 中国动脉硬化杂志, 2024, 32(4): 332-338. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2024.04.008.

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2024)32-04-0332-07

基于超微血管成像血流分级指标联合血清学指标的 颈动脉斑块脱落风险预测模型的构建分析

刘焯鼎, 陈方红, 陈伟楚, 程焯

丽水市中心医院超声医学科, 浙江省丽水市 323000

[摘要] **[目的]** 探讨基于超微血管成像(SMI)获得的血流分级指标联合血清学指标构建的预测模型在评估颈动脉斑块脱落风险中的应用价值。**[方法]** 选取2019年2月—2021年2月在丽水市中心医院就诊并确诊为颈动脉斑块的患者122例,采用SMI观察颈动脉斑块内血流分级及斑块特征,并记录患者基线临床资料。所有患者均进行为期2年随访,以发生短暂性脑缺血发作(TIA)或急性缺血性脑卒中(AIS)为终点事件分为斑块脱落组和未脱落组,对比分析两组临床资料,多因素回归分析影响颈动脉斑块脱落的相关因素。根据SMI超声特征和血清学指标采用R软件建立列线图模型并评估模型的效能。**[结果]** 2年随访期间,除去10例失访患者最终剩余112例患者中共出现21例TIA和14例AIS,分组后对比分析显示,斑块脱落组SMI血流分级、中性粒细胞/淋巴细胞比值(NLR)、基质金属蛋白酶9(MMP-9)、低密度脂蛋白胆固醇(LDLC)水平均高于未脱落组,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。多因素Logistic回归分析显示SMI血流3级(OR=38.095)、LDLC(OR=19.730)、NLR(OR=34.525)、MMP-9(OR=1.225)是颈动脉斑块脱落的独立危险因素($P < 0.05$)。R软件建立列线图模型带入ROC曲线分析显示,列线图模型在早期预测斑块脱落的AUC为0.917,灵敏度为82.86%,特异度为90.91%。**[结论]** 通过SMI获得颈动脉斑块内的血流分级联合血清学指标构建的预测模型能够早期预警斑块脱落,指导临床早干预以降低TIA和AIS发生的风险。

[关键词] 超微血管成像; 颈动脉斑块; 斑块脱落; 列线图模型

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

Construction and analysis of a risk predictive model for carotid plaque shedding based on superb microvascular imaging blood flow grading indicators combined with serological indicators

LIU Yeding, CHEN Fanghong, CHEN Weichu, CHENG Ye

Ultrasound Medicine Department of Lishui Central Hospital, Lishui, Zhejiang 323000, China

[ABSTRACT] **Aim** To explore the application value of a predictive model constructed based on superb microvascular imaging (SMI) blood flow grading indicators and serological indicators in evaluating the risk of carotid plaque shedding. **Methods** A total of 122 patients diagnosed with carotid plaque in Lishui Central Hospital from February 2019 to February 2021 were selected. SMI was used to observe the blood flow grading and plaque characteristics in carotid plaque, and baseline clinical data of the patients were recorded. All patients were followed up for a period of 2 years, with the occurrence of transient ischemic attack (TIA) or acute ischemic stroke (AIS) as the endpoint event, and were divided into plaque shedding group and non-shedding group. Clinical data of the two groups were compared and analyzed, and multiple regression analysis was conducted to identify the relevant factors affecting carotid plaque shedding. According to the SMI ultrasound characteristics and serological indicators, R software was adopted to establish the nomogram model and evaluate effectiveness of the model. **Results** During the 2-year follow-up period, 21 TIA cases and 14 AIS cases were found in the remaining 112 patients excluding 10 lost to follow up. The SMI blood flow grading, neutrophil to lymphocyte ratio (NLR), matrix metalloproteinase-9 (MMP-9), and low density lipoprotein cholesterol (LDLC) levels in the plaque

[收稿日期] 2023-08-23

[修回日期] 2024-02-18

[作者简介] 刘焯鼎,主治医师,研究方向为超声医学(外周血管),E-mail:liuyedinglyd@126.com。通信作者陈方红,主任医师,研究方向为超声医学(心脏血管),E-mail:hhuyinghy@126.com。

shedding group were higher than those in the non-shedding group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that SMI blood flow grade 3 (OR = 38.095), LDLC (OR = 19.730), NLR (OR = 34.525) and MMP-9 (OR = 1.225) were independent risk factors for carotid plaque shedding ($P < 0.05$). The R software established a column chart model and applied it to the ROC curve analysis. The AUC of the column chart model in early prediction of plaque shedding was 0.917, with a sensitivity of 82.86% and a specificity of 90.91%. **Conclusion** The predictive model constructed by combining blood flow grading within carotid artery plaques and serological indicators through SMI can provide early warning of plaque shedding and guide clinical early intervention to reduce the risk of TIA and AIS.

[KEY WORDS] superb microvascular imaging; carotid artery plaque; plaque shedding; nomograph model

研究显示,脑血管事件的发生与颈动脉斑块的稳定性密切相关,斑块不稳定已成为缺血性脑卒中的第一大原因^[1]。颈动脉斑块的稳定性受到多种因素的影响,如炎症、基质金属蛋白酶(matrix metalloproteinase, MMP)、脂代谢异常、内部新生血管形成等^[2]。斑块内新生血管形成被认为是可以早期评估斑块稳定性的关键指标^[3],以往临床上多通过核磁共振造影来明确,但造影剂造成的损伤及昂贵的检查费用使得临床上广泛开展受限。超微血管成像(superb microvascular imaging, SMI)作为一种能够准确分辨组织微血管内血流状态的一种工具,最初被用于评估肿瘤内微血管侵犯情况以了解肿瘤生长活跃度^[4-5]。研究表明,SMI有助于准确捕捉斑块内低速血流情况,实现对新生血管数量及分布的可视化展现,利于斑块稳定性的评估^[6]。但针对动脉斑块稳定性及预测斑块脱落风险报道较少^[7],本研究旨在通过SMI获得的斑块内血流分级指标联合血清学指标来建立预测模型,评估其在早期预警颈动脉斑块脱落风险中的价值。

1 资料和方法

1.1 研究对象

共纳入2019年2月—2021年2月在丽水市中心医院确诊的颈动脉斑块患者122例,其中男80例,女42例,年龄50~78岁,平均(62.61±9.74)岁。纳入标准:(1)内膜中膜凸向管腔厚度 ≥ 1.5 mm,且颈动脉未完全闭塞,符合《血管和浅表器官超声检查指南》^[8]中关于颈动脉斑块的标准;(2)管腔狭窄度 $< 50\%$;(3)颈动脉斑块患者Crouse积分 ≥ 2 分^[9];(4)临床资料完整且患者能配合随访;(5)患者及家属书面知情同意。排除标准:(1)既往存在脑卒中、颅脑损伤或脑血管畸形者;(2)合并代谢性疾病或合并心(射血分数 $< 50\%$ 或符合心力衰竭的诊断标准)、肝(转氨酶高于正常高值的5倍以

上或达到肝功能衰竭的诊断标准)、肺(达到慢性阻塞性肺疾病的诊断标准)、肾(符合慢性肾功能不全的诊断标准)功能障碍者;(3)合并颈部肿瘤压迫可能导致脑卒中或短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)者。本研究开展前获得本院伦理委员会审核并批准,符合《赫尔辛基宣言》,批准文号:科研伦审(2023)第(174)号,所有患者均知情同意。

1.2 SMI 检查

彩色超声诊断仪(型号HERA W10,韩国三星公司),探头频率9~14 MHz,患者平卧位,头偏向检查对侧,充分暴露颈动脉,首先采用常规模式确定目标斑块位置,选择最大的斑块定位后将检查参数调至SMI模式,分别在横断面、纵断面扫描颈动脉、动脉分叉处、颈动脉球部,选择目标斑块纵切面最厚处,开启灰阶模式进行扫描,扫描深度3 cm,持续60 s,观察目标斑块内血流信号情况。根据文献^[10],SMI血流分级为0~3级,0级:斑块内未见血流信号;1级:斑块内可见1个或数个点状血流增强信号;2级:斑块内可见点状或1~3条线状血流增强信号;3级:斑块内可见多处线状增强信号,部分贯穿整个斑块。

1.3 临床资料收集

收集患者的性别、年龄、体质指数(body mass index, BMI)、吸烟史(吸烟 > 10 支/天,持续1年以上或现戒烟但既往吸烟 > 10 支/天并持续1年以上)、血压(收缩压、舒张压)、基础疾病(冠心病、高血压)等临床资料。高血压(收缩压或/和舒张压 $\geq 140/90$ mmHg)、冠心病(结合病史、临床症状及冠状动脉造影狭窄 $> 50\%$ 以上来确诊)诊断标准参照《内科学》第9版中的诊断标准。

1.4 实验室指标检测

于患者首次确诊颈动脉斑块时抽取静脉血,测定甘油三酯(triglyceride, TG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein, LDL-C)。

protein cholesterol, LDLC)、高密度脂蛋白胆固醇 (high density lipoprotein cholesterol, HDLC)、C 反应蛋白 (C-reactive protein, CRP) 及 MMP-9 水平, 采用全自动血细胞分析仪测定中性粒细胞、淋巴细胞水平, 计算中性粒细胞/淋巴细胞比值 (neutrophil to lymphocyte ratio, NLR), 检测试剂盒均由广东科瑞生物科技有限公司提供。

1.5 随访及分组

随访 2 年, 随访截止时间 2023 年 2 月 28 日, 随访期间所有患者均给予常规降血脂、扩血管治疗, 阿托伐他汀钙 (商品名立普妥, 辉瑞制药, 20 mg/片)

20 mg, 口服, 1 次/天; 阿司匹林肠溶片 (昆明云健制药有限公司, 25 mg/片) 100 mg, 口服, 1 次/天。记录所有患者出现急性缺血性脑卒中 (acute ischemic stroke, AIS) 或 TIA 情况, 缺血性脑卒中前若有 TIA 一并记为 AIS。所有诊断均经专科医生综合评估并经超声及 CT 造影确认为颈动脉斑块脱落引起。截止末次随访, 共 10 例失访病例, 最终 112 例颈动脉斑块患者发生 TIA 21 例和 AIS 14 例, 据此分为斑块脱落组 ($n=35$) 和未脱落组 ($n=77$)。相关病例图片示例见图 1 和图 2。

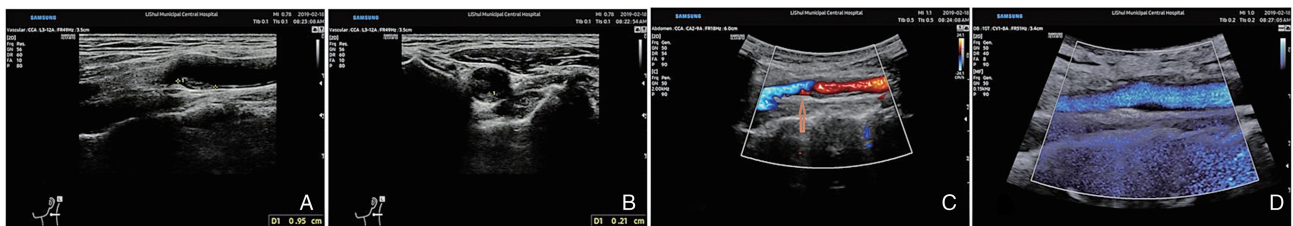


图 1. 颈动脉斑块超声检查示例 1

男性患者, 64 岁。A、B 为在二维图像模式下, 患者左侧颈动脉球部后壁可见厚约 2.1 mm 等回声扁平斑块; C 为 CDFI 显示斑块内未见明显血流信号, 纤维帽远心段可见异常血流; D 为 SMI 模式下斑块远心段未见异常血流, 纤维帽完整, 考虑图 1C 异常血流为伪像, 观察斑块内血流信号, 对比图 1A 斑块未见明显强化, 根据 SMI 血流分级为 0 级。

Figure 1. Example 1 of carotid artery plaque ultrasound examination

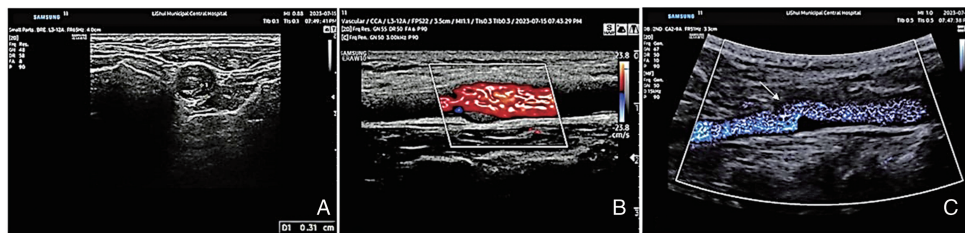


图 2. 颈动脉斑块超声检查示例 2

男性患者, 82 岁。A 为在二维图像模式下, 患者颈部右侧球部可见厚约 3.1 mm 等回声扁平斑块; B 为 CDFI 显示斑块内未见明显血流信号, 纤维帽完整; C 为 SMI 模式下斑块最厚处观察斑块内血流信号, 对比图 2B 斑块远心段可见线状血流增强, 根据 SMI 血流分级为 2 级。

Figure 2. Example 2 of carotid artery plaque ultrasound examination

1.6 统计学分析

采用 SPSS 25.0 软件进行数据分析, 计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 正态性检验采用独立样本 t 检验, 非正态分布的计量资料组间比较采用非参数检验; 计数资料以例 (%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验; 等级资料采用秩和检验; 多因素分析采用 Logistic 回归分析; 使用 R 语言 4.3.0 版本建立斑块脱落的列线图模型, 计算 C-index, 绘制校准曲线, ROC 曲线评估模型在预测斑块脱落中的价值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般临床资料比较

经过对比, 两组患者的一般临床资料差异无统计学意义 ($P > 0.05$; 表 1)。

2.2 实验室和超声指标比较

两组患者在 SMI 血流分级、NLR、MMP-9、LDLC 水平方面差异具有统计学意义, 且斑块脱落组 NLR、MMP-9、LDLC 与未脱落组相比分别增加了 28.05%、24.56%、11.21% (均 $P < 0.05$; 表 2)。

表 1. 两组一般临床资料比较

Table 1. Comparison of general clinical data between the two groups

| 项目 | 斑块脱落组 (n=35) | 未脱落组 (n=77) | P |
|--------------------------|-----------------|----------------|-------|
| 性别/[例(%)] | | | 0.957 |
| 男 | 23(65.71) | 51(66.23) | |
| 女 | 12(34.29) | 26(33.77) | |
| 年龄/岁 | 62.91±8.75 | 62.48±9.11 | 0.815 |
| BMI/(kg/m ²) | 28.31±2.74 | 28.18±2.99 | 0.827 |
| 吸烟/[例(%)] | 21(60.00) | 54(70.13) | 0.291 |
| 收缩压/mmHg | 132.73±23.15 | 130.74±25.38 | 0.694 |
| 舒张压/mmHg | 72.34±15.29 | 71.84±16.42 | 0.879 |
| 高血压/[例(%)] | 19(54.29) | 40(51.95) | 0.818 |
| 冠心病/[例(%)] | 21(60.00) | 42(54.55) | 0.589 |

表 2. 两组实验室和超声指标比较

Table 2. Comparison of laboratory and ultrasonic indexes between the two groups

| 项目 | 斑块脱落组 (n=35) | 未脱落组 (n=77) | P |
|-----------------|-----------------|----------------|--------|
| TC/(mmol/L) | 4.01±1.13 | 3.98±1.24 | 0.903 |
| TG/(mmol/L) | 1.55±0.41 | 1.51±0.38 | 0.615 |
| LDLC/(mmol/L) | 2.38±0.31 | 2.14±0.27 | <0.001 |
| HDLC/(mmol/L) | 1.16±0.28 | 1.19±0.31 | 0.626 |
| NLR | 3.15±0.44 | 2.46±0.37 | <0.001 |
| CRP/(mg/L) | 19.18±5.34 | 18.92±5.59 | 0.817 |
| MMP-9/(μg/L) | 20.44±5.76 | 16.41±5.08 | <0.001 |
| SMI 血流分级/[例(%)] | | | 0.018 |
| 0 | 1(2.86) | 20(25.97) | |
| 1 | 10(28.57) | 19(24.68) | |
| 2 | 10(28.57) | 17(22.08) | |
| 3 | 14(40.00) | 21(27.27) | |

2.3 影响颈动脉斑块脱落的相关因素分析

将上述存在差异的因素首先进行单因素分析,对于单因素分析显示有差异的因素再进行多因素 Logistic 回归分析,结果显示 SMI 血流 3 级(OR=38.095)、LDLC(OR=19.730)、NLR(OR=34.525)、MMP-9(OR=1.225)是颈动脉斑块脱落的独立危险因素($P<0.05$;表 3 和表 4)。

表 3. 影响颈动脉斑块脱落的单因素分析

Table 3. Single factor analysis of influencing carotid plaque shedding

| 相关变量 | β | SE | Wald | P | OR | 95% CI | |
|----------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|---------|
| | | | | | | 下限 | 上限 |
| LDLC | 1.635 | 0.749 | 4.771 | 0.029 | 5.130 | 1.183 | 22.251 |
| NLR | 3.187 | 0.649 | 24.146 | 0.000 | 24.218 | 6.793 | 86.341 |
| MMP-9 | 0.159 | 0.045 | 12.290 | 0.000 | 1.172 | 1.073 | 1.281 |
| SMI 血流分级 | | | 6.871 | 0.016 | | | |
| 1 级 | 2.354 | 1.097 | 4.607 | 0.032 | 10.526 | 1.227 | 90.311 |
| 2 级 | 2.802 | 1.086 | 6.650 | 0.010 | 16.471 | 1.959 | 138.500 |
| 3 级 | 2.254 | 1.094 | 4.241 | 0.039 | 9.524 | 1.115 | 81.345 |

注:空白表示不适用。

表 4. 影响颈动脉斑块脱落的多因素 Logistic 回归分析

Table 4. Logistic regression analysis of multiple factors affecting carotid plaque shedding

| 相关变量 | β | SE | Wald | P | OR | 95% CI | |
|----------|---------|-------|--------|-------|--------|--------|---------|
| | | | | | | 下限 | 上限 |
| LDLC | 2.982 | 1.149 | 6.738 | 0.009 | 19.730 | 2.076 | 187.507 |
| NLR | 4.007 | 0.891 | 20.228 | 0.000 | 34.525 | 9.591 | 315.260 |
| MMP-9 | 0.203 | 0.067 | 9.111 | 0.003 | 1.225 | 1.074 | 1.397 |
| SMI 血流分级 | | | 12.213 | 0.007 | | | |
| 1 级 | 2.198 | 1.362 | 2.604 | 0.107 | 9.008 | 0.624 | 130.050 |
| 2 级 | 1.523 | 1.390 | 1.201 | 0.273 | 4.587 | 0.301 | 69.955 |
| 3 级 | 3.912 | 1.354 | 8.349 | 0.004 | 38.095 | 3.520 | 710.451 |
| 常量 | -24.896 | 5.121 | 23.631 | 0.000 | 0.000 | | |

注:空白表示不适用。

2.4 颈动脉斑块脱落风险的列线图模型构建

以独立预测因素构建颈动脉斑块脱落的列线图模型,总分 0~180 分,对应颈动脉斑块脱落概率为 0.1~0.99。经过计算得出 C-index 为 0.927(95% CI:0.889~0.984),且模型校准曲线与理想模型接近(图 3 和图 4)。

2.5 列线图模型在早期预测颈动脉斑块脱落中的价值

ROC 曲线分析显示,列线图模型在早期预测斑块脱落的 AUC 为 0.917,灵敏度为 82.86%,特异度为 90.91%(图 5)。

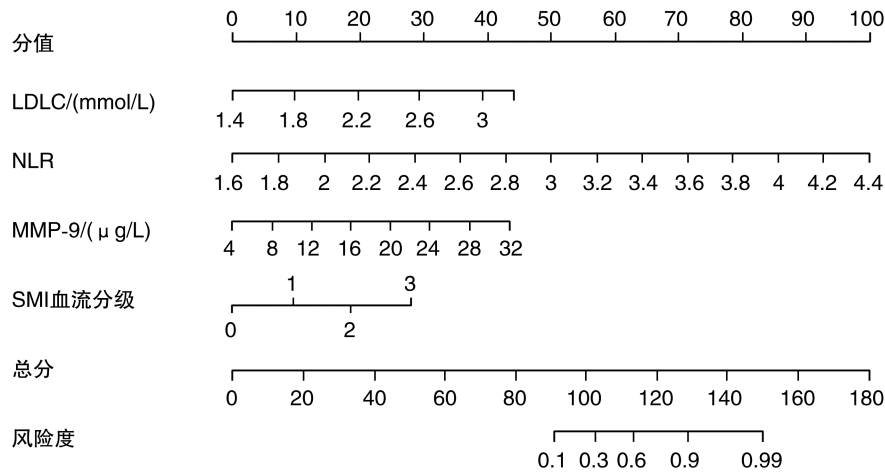


图 3. 预测动脉斑块脱落的列线图模型

Figure 3. Nomogram model for predicting carotid plaque shedding

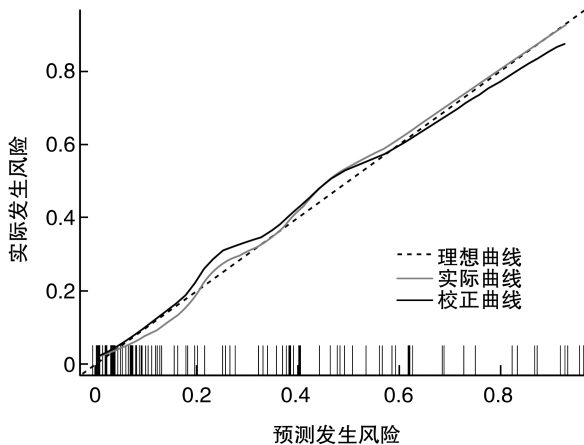


图 4. 列线图模型预测颈动脉斑块脱落的内部校正曲线

Figure 4. Internal correction curve of nomogram model for predicting carotid plaque shedding

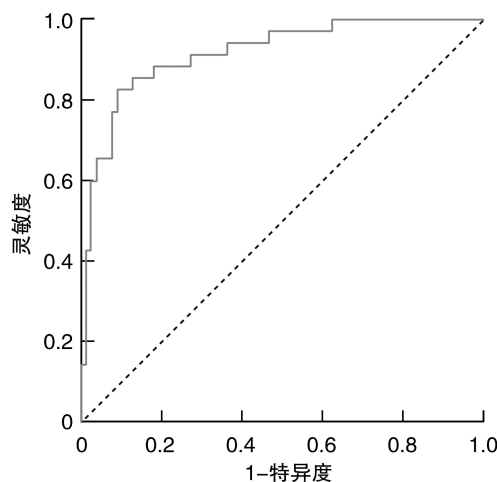


图 5. 列线图模型在早期预测颈动脉斑块脱落的 ROC 曲线

Figure 5. ROC curve of nomogram model in early prediction of carotid plaque shedding

3 讨论

病理学研究表明,不稳定斑块的特征主要有脂质内核大、含大量巨噬细胞在内的炎症细胞浸润、斑块内新生血管形成^[11]。有研究表明,斑块内新生血管形成是导致斑块不稳定的主要因素之一^[12]。颈动脉斑块作为缺血性脑血管疾病的危险因素之一,除了能够导致颈动脉狭窄引起脑部血流动力学改变造成脑血管疾病,还可由于不稳定斑块在血流动力学改变状态下脱落形成栓子堵塞脑血管造成缺血性脑卒中。不稳定斑块是指存在血栓形成倾向或纤维帽不稳定容易引发斑块破裂的斑块。因此,评估颈动脉斑块脱落风险对于早期预警 AIS 和 TIA 风险极为重要。

MMP-9 作为一种能够降解细胞外基质的蛋白酶,在动脉粥样斑块的形成及不稳定性改变中发挥着重要作用,当粥样斑块形成后,正常的血液内的氧气不能弥散至血管外膜,导致颈动脉壁内皮细胞缺氧,缺氧会诱导血管内皮细胞产生一系列炎症因子和 MMP 的表达^[13]。MMP-9 的表达升高会降解和重塑细胞外基质,增加管径和内膜面积,为斑块生长提供空间,当这种过程到达一定程度后就会导致斑块破裂。动物模型研究表明,动脉壁不稳定斑块内 MMP-9 的表达明显升高^[14]。炎症也是影响斑块稳定性的关键因素之一,国外研究显示,不稳定斑块的患者体内炎症因子水平普遍升高^[15]。在炎症标志物方面,动物模型显示,动脉粥样硬化斑块中存在大量中性粒细胞和淋巴细胞浸润,中性粒细胞可以通过释放大量生物活性物质介导炎症反应和氧化应激反应,如花生四烯酸代谢物、细胞毒性

氧衍生自由基、髓过氧化物酶等^[16]。此外,机体的内源性糖皮质激素在炎症状态下会逐渐升高,抑制免疫调节和淋巴细胞凋亡。NLR 在客观上反应了机体炎症状态的平衡性,NLR 水平越高说明患者机体炎症反应越严重。一项关于冠状动脉粥样硬化性心脏病的研究表明,NLR 升高的冠心病患者具有更脆弱的斑块成分^[17]。本研究中,经过 2 年随访,共有 35 例患者因为颈动脉斑块脱落导致 TIA 或 AIS,发生率为 31.25%,略高于国内相关报道^[18],这可能是由于国内外相关研究均仅将 AIS 作为评判结局指标,未将 TIA 纳入结局引起的。但临床实践表明,引起 TIA 除了脑血管痉挛外,微小动脉粥样斑块脱落也是引起 TIA 的重要因素^[19]。经过多因素 Logistic 回归分析显示,SMI 血流 3 级、LDLC、NLR、MMP-9 是颈动脉斑块脱落的独立相关因素。

既往研究表明,斑块内的新生血管极易破裂出血导致血栓,栓子脱落后堵塞相应血管分支,造成缺血性脑卒中^[20]。新生血管在血管内皮生长因子的刺激下大量生成,这种新生血管是缺乏基底膜和纤维结缔组织支撑的,管壁脆性大、通透性高,极易发生白细胞和红细胞外渗,临床上成为斑块内出血^[21]。新生血管破裂出血会刺激粥样斑块内部大量的巨噬细胞分泌 MMP 和胶原蛋白酶,进而分解斑块表面的纤维帽,加剧斑块内部胆固醇沉积,且炎症介质和炎性细胞也会通过新生血管沉积于内膜中膜处的细胞外基质中,最终导致动脉斑块坏死核心区越来越大,斑块稳定性减弱。国外研究表明,动脉粥样硬化斑块内新生血管的增殖程度与斑块稳定性密切相关,斑块内新生血管是斑块不稳定的重要特征,早期准确判断斑块内新生血管情况可降低心脑血管事件发生风险^[22]。本研究中,斑块脱落组 SMI 血流分级多为 2 级和 3 级,且常规超声多为低回声斑块。以独立预测因素构建颈动脉斑块脱落的列线图模型,C-index 为 0.927,具有较好的预测效能;ROC 曲线分析显示,模型在早期预测斑块脱落的 AUC 为 0.917,灵敏度为 82.86%,特异度为 90.91%。SMI 的自适应技术和消除组织运动导致的伪影技术可以更加清晰地展现斑块内的血流信息,甚至对于小于 0.1 mm 的微小血管也能很好地分辨。相比于 CEUS 其具有能够长期随访、无创伤和无造影剂损伤的优点。国内针对 SMI 技术已经开展了一系列研究,结果显示,SMI 在评估斑块内新生血管情况上与病理检查结果具有高度一致性,能够通过评估血流分级来判断斑块内新生血管情

况^[23]。Crouse 积分是累计颈动脉内斑块厚度,为定量评价冠状动脉血管狭窄程度的可靠标准,与颈总动脉内膜中膜厚度具有一致性,总计积分越高,提示病变情况越严重^[9],本研究纳入 Crouse 积分 ≥ 2 分,狭窄程度相对较重的患者进行分析,以便更好地评估风险预后。

研究的局限性:本研究为单一中心研究,样本量较小,后续还要进一步增大规模来进一步论证 SMI 技术的优势和该模型的准确性。

综上所述,通过 SMI 分析颈动脉斑块内的微血管形成联合血清学指标构建的预测模型能够早期预警斑块脱落,指导临床早期干预 TIA 和 AIS 发生的风险。

[参考文献]

- [1] 方磊, 郝艳, 方慧, 等. DSCTA 对颈动脉斑块特征与急性缺血性脑卒中的相关性研究[J]. 医学影像学杂志, 2022, 32(2): 209-212.
FANG L, XI Y, FANG H, et al. The correlation between carotid plaque characteristics in dual source computed tomography angiography and acute ischemic stroke[J]. J Med Imaging, 2022, 32(2): 209-212.
- [2] 黄毅军, 史伟浩, 朱磊, 等. 颈动脉斑块稳定性的研究进展[J]. 实用临床医药杂志, 2022, 26(1): 134-138, 148.
HUANG Y J, SHI W H, ZHU L, et al. Research progress of carotid atherosclerotic stability[J]. J Clin Med, 2022, 26(1): 134-138, 148.
- [3] EVDKIMENKO A N, ANUFRIEV P L, KULICHENKOVA K N, et al. Morphometric characteristics of neovascularization of carotid atherosclerotic plaques[J]. Arkh Patol, 2018, 80(2): 24-29.
- [4] 李婉莹, 蔡胜, 李建初, 等. 超声微血管成像技术鉴别甲状腺良恶性结节应用进展[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(6): 949-952.
LI W Y, CAI S, LI J C, et al. Application progresses of microvascular ultrasonographic imaging in differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules[J]. Chin J Med Imaging Technol, 2021, 37(6): 949-952.
- [5] 黄珊珊, 张维, 谢昭鹏, 等. 超声造影联合微血管成像技术与钆塞酸二钠增强 MRI 评价原发性肝癌 TACE 术后复发的诊断效能对照分析[J]. 现代生物医学进展, 2021, 21(17): 3289-3294.
HUANG S S, ZHANG W, XIE Z P, et al. Diagnostic effect of contrast-enhanced ultrasound combined with microvascular imaging and Gd-EOB-DTPA-enhanced MRI for hepatocellular carcinoma recurred after TACE[J]. Prog Mod Biomed, 2021, 21(17): 3289-3294.
- [6] 王湘竹, 王琳, 卢瑞刚, 等. SMI 技术检测颈动脉斑块内新生血管的应用[J]. 影像科学与光化学, 2021, 39(4): 569-573.
WANG X Z, WANG L, LU R G, et al. Clinical application of SMI technology in detecting neovascularization in carotid plaque[J]. Imaging Sci Photochem, 2021, 39(4): 569-573.

- [7] 王 骕, 赖志昆, 冯其茂. 颈动脉粥样硬化斑块超微血管成像技术研究进展[J]. 血管与腔内血管外科杂志, 2021, 7(3): 332-335.
WANG S, LAI Z K, FENG Q M. Technological advances in carotid atherosclerotic plaques by superb microvascular imaging[J]. J Vasc Endovasc Surg, 2021, 7(3): 332-335.
- [8] 中国医师协会超声医师分会. 血管和浅表器官超声检查指南[M]. 北京: 人民军医出版社, 2011.
Ultrasound Physician Branch of the Chinese Medical Association. Guide to ultrasound examination of blood vessels and superficial organs [M] Beijing: People's Military Medical Publishing House, 2011.
- [9] 潘兴邦, 李凡, 陈晨, 等. 脂蛋白 α 、载脂蛋白B/A-1与颈动脉Crouse积分联合检测对冠状动脉病变程度的预测价值[J]. 中国分子心脏病学杂志, 2021, 21(2): 3856-3860.
PAN X B, LI F, CHEN C, et al. Predictive value of combined examination of lipoprotein a, apolipoprotein B/A-1 and carotid crouse score in the degree of coronary artery disease[J]. Mol Cardiol China, 2021, 21(2): 3856-3860.
- [10] 张力维, 谌雪, 王义成, 等. 颈动脉斑块SMI分级联合血清同型半胱氨酸对进展性缺血性脑卒中的预测价值[J]. 中国超声医学杂志, 2022, 38(2): 125-128.
ZHANG L W, SHEN X, WANG Y C, et al. The value of carotid plaque SMI grade combined with serum homocysteine in predicting progressive ischemic stroke[J]. Chin J Ultrasound Med, 2022, 38(2): 125-128.
- [11] ZHOU Y, WANG C. Superb microvascular imaging for detecting neovascularization of carotid plaque compared with contrast-enhanced ultrasound: a protocol for systematic review and Meta analysis[J]. Medicine (Baltimore), 2020, 99(35): e21907.
- [12] ZHU X, DING C. Letter by Zhu and Ding regarding article, carotid plaque neovascularization detected with superb microvascular imaging ultrasound without using contrast media [J]. Stroke, 2020, 51(1): e11.
- [13] 李梦馨, 庞萌, 李健, 等. 预测颈动脉粥样硬化易损斑块的新型生物标志物研究进展[J]. 中国动脉硬化杂志, 2022, 30(8): 714-718.
LI M X, PANG M, LI J, et al. Research progress of novel biomarkers for predicting vulnerable plaque in carotid atherosclerosis[J]. Chin J Arterioscler, 2022, 30(8): 714-718.
- [14] WU L N, WANG W F, WANG X W, et al. MMP-10 rs17435959 polymorphism is associated with the formation and stability of carotid atherosclerosis plaque: a case-control study [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2021, 30(10): 106045.
- [15] LI X, LI J, WU G. Relationship of neutrophil-to-lymphocyte ratio with carotid plaque vulnerability and occurrence of vulnerable carotid plaque in patients with acute ischemic stroke [J]. Biomed Res Int, 2021, 2021: 6894623.
- [16] KWON S S, YOON S Y, JEONG S Y, et al. Neutrophil-lymphocyte ratio and carotid plaque burden in patients with essential thrombocythemia and polycythemia vera [J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis, 2022, 32(8): 1913-1916.
- [17] WEN H, YU H. Correlation analysis of carotid plaque in young patients with newly diagnosed type 2 diabetes and platelet-to-lymphocyte ratio and neutrophil-lymphocyte ratio [J]. Vascular, 2023, 31(1): 90-97.
- [18] 季春香, 杨俊威, 欧阳丽娟. 颈动脉斑块SMI评价其稳定性及发生斑块脱落风险预测价值研究[J]. 黑龙江医药, 2019, 32(4): 768-771.
JI C X, YANG J W, OU YANG L C. Evaluation of the stability of carotid plaque SMI and the predictive value of plaque risk [J]. Heilongjiang Med J, 2019, 32(4): 768-771.
- [19] HUANG S, WU X, ZHANG L, et al. Assessment of carotid plaque stability using contrast-enhanced ultrasound and its correlation with the expression of CD147 and MMP-9 in the plaque [J]. Front Comput Neurosci, 2021, 15: 778946.
- [20] ZAMANI M, SKAGEN K, RUSSELL D, et al. Response by Zamani et al to letter regarding article, carotid plaque neovascularization detected with superb microvascular imaging ultrasound without using contrast media [J]. Stroke, 2020, 51(1): e12.
- [21] GAO J, KING J, CHATTERJI M, et al. Superb microvascular imaging-based vascular index to assess adult hepatic steatosis: a feasibility study [J]. Ultrasound Med Biol, 2022, 48(3): 480-487.
- [22] KANDEMIRLI S G, CICEK F, ERDEMLI GURSEL B, et al. Superb microvascular imaging in assessment of synovitis and tenosynovitis in juvenile idiopathic arthritis [J]. Ultrasound Q, 2021, 37(1): 56-62.
- [23] 李良, 刘艳莉. 颈部血管超声对脑梗死合并颈动脉狭窄病变的诊断效果评价[J]. 贵州医药, 2023, 47(11): 1802-1804.
LI L, LIU Y L. Evaluation of the diagnostic effect of neck vascular ultrasound on cerebral infarction combined with carotid artery stenosis [J]. Guizhou Med J, 2023, 47(11): 1802-1804.

(此文编辑 文玉珊)