·论 著· DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2026.04.015

超声弹性成像参数 B/A 比值联合血清 PON-1、sCD40L 对颈动脉斑块稳定性的诊断价值

曲 燕[1],孔晓阳[2],吕新华[3]

1.河北省邯郸市人民医院体检科,河北邯郸 056002;2.河北省邯郸市人民医院彩超室,河北邯郸 056002;3.天津市美年大健康体检中心超声科,天津 300202

摘 要:目的 探讨超声弹性成像参数 B/A 比值联合血清对氧磷酶-1(PON-1)、可溶性 CD40 配体(sCD40L)对脑梗死患者颈动脉斑块稳定性的诊断价值。**方法** 选取 2022 年 1 月至 2024 年 1 月邯郸市人民医院收治的 225 例脑梗死患者作为研究组,另选取同期在邯郸市人民医院体检的 225 例体检健康者作为对照组。对患者进行颈动脉超声检查,测量颈动脉内膜中层厚度(IMT),计算弹性应变率 B/A 比值。根据颈动脉 IMT 将患者分为有斑块组和无斑块组;依据斑块分型结果将有斑块组患者分为稳定斑块组和不稳定斑块组。采用酶联免疫吸附试验(ELISA)检测所有研究对象血清 PON-1、sCD40 水平;采用 Pearson 相关分析有斑块组患者血清 PON-1、sCD40L 水平与 B/A 比值的相关性;采用多因素 Logistic 回归分析颈动脉斑块不稳定的影响因素;绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析 B/A 比值及血清 PON-1、sCD40L 对颈动脉不稳定斑块的诊断价值,比较曲线下面积(AUC)差异。**结果** 研究组血清 PON-1 水平低于对照组($P<0.05$),sCD40L 水平高于对照组($P<0.05$)。有斑块组 131 例,无斑块组 94 例。有斑块组血清 PON-1 水平低于无斑块组($P<0.05$),sCD40L 水平高于无斑块组($P<0.05$)。稳定斑块组 59 例,不稳定斑块组 72 例。不稳定斑块组合并高血压比例及低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、sCD40L 水平均高于稳定斑块组($P<0.05$),血清 PON-1 水平及 B/A 比值均低于稳定斑块组($P<0.05$)。在校正 LDL-C、合并高血压后,多因素 Logistic 回归分析结果显示,B/A 比值升高、血清 PON-1 水平升高均是颈动脉斑块不稳定的保护因素($P<0.05$),血清 sCD40 水平升高是颈动脉斑块不稳定的危险因素($P<0.05$)。B/A 比值、PON-1、sCD40L 及 3 项联合诊断颈动脉不稳定斑块的 AUC 分别为 0.873、0.713、0.871、0.976,3 项联合诊断的 AUC 大于 B/A 比值、PON-1、sCD40L 单独诊断的 AUC($Z=2.751$、3.032、2.856,均$P<0.05$)。**结论** 超声弹性成像参数 B/A 比值及血清 PON-1、sCD40L 对颈动脉不稳定斑块均有一定的诊断价值,且 3 项联合对颈动脉不稳定斑块的诊断效能更高。

关键词:超声弹性成像; 对氧磷酶-1; 可溶性 CD40 配体; 颈动脉斑块; 稳定性; 诊断

中图法分类号:R543.4;R446.1;R445.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9455(2026)04-0524-07

Diagnostic value of ultrasound elastographic parameter B/A ratio combined with serum PON-1 and sCD40L for carotid plaque stability

QU Yan[1],*KONG Xiaoyang*[2],*LYU Xinhua*[3]

1.*Department of Physical Examination,Handan Municipal People's Hospital,Handan,Hebei* 056002,*China*;2.*Color Ultrasound Room,Handan Municipal People's Hospital,Handan,Hebei* 056002,*China*;3.*Department of Ultrasonography,Tianjin Meinian Health Checkup Center,Tianjin* 300202,*China*

Abstract:Objective To explore the diagnostic value of ultrasound elastographic parameter B/A ratio combined with serum paraoxonase-1 (PON-1) and soluble CD40 ligand (sCD40L) for the carotid plaque stability in the patients with cerebral infarction. **Methods** A total of 225 patients with cerebral infarction admitted and treated in the Handan Municipal People's Hospital from January 2022 to January 2024 were selected as the study group,and 225 healthy individuals who underwent physical examination in this hospital during the same period were enrolled as the control group. All patients underwent the carotid ultrasound examination and the carotid intima-media thickness (IMT) was measured. The elastic strain rate B/A ratio was calculated. The patients were divided into the plaque group and non-plaque group based on carotid IMT. These patients in the plaque group were further divided into the stable plaque subgroup and unstable plaque subgroup according to the plaque typing results. The serum PON-1 and sCD40L levels in all study subjects were detected by the

作者简介:曲燕,女,主治医师,主要从事甲状腺癌、颈动脉粥样硬化方向的研究。

引用格式:曲燕,孔晓阳,吕新华.超声弹性成像参数 B/A 比值联合血清 PON-1、sCD40L 对颈动脉斑块稳定性的诊断价值[J].检验医学与临床,2026,23(4):524-530.

enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). The Pearson correlation was used to analyze the correlation between serum PON-1 and sCD40L levels with the B/A ratio in the plaque group. The multivariate Logistic regression was used to analyze the influencing factors of unstable carotid plaques. The receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to analyze the diagnostic value of B/A ratio, serum PON-1 and sCD40L for unstable carotid plaques, and the differences in the areas under the curves (AUCs) were compared. **Results** The serum PON-1 level in the study group was lower than that in the control group ($P<0.05$), while the sCD40L level was higher than that in the control group ($P<0.05$). There were 131 cases in the plaque group and 94 cases in the non-plaque group. The serum PON-1 level in the plaque group was lower than that in the non-plaque group ($P<0.05$), and the sCD40L level was higher than that in the non-plaque group ($P<0.05$). There were 59 cases in the stable plaque subgroup and 72 cases in the unstable plaque subgroup. The proportion of complicating hypertension and the levels of low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) and sCD40L in the unstable plaque subgroup were higher than those in the stable plaque subgroup ($P<0.05$), while the serum PON-1 levels and the B/A ratio were lower than those in the unstable plaque group ($P<0.05$). After adjusting for LDL-C and complicating hypertension, the multivariate Logistic regression analysis results showed that the B/A ratio increase and serum PON-1 level increase were the protective factors for unstable carotid plaques ($P<0.05$), while the serum sCD40L level increase was a risk factor of unstable carotid plaques ($P<0.05$). The AUCs of B/A ratio, serum PON-1 and sCD40L alone and their combination for diagnosing unstable carotid plaques were 0.873, 0.713, 0.871 and 0.976, respectively. The AUC of the 3-item combination diagnosis was larger than that of B/A ratio, PON-1 and sCD40L alone ($Z=2.751$, 3.032, 2.856; all $P<0.05$). **Conclusion** The ultrasound elastographic parameter B/A ratio, serum PON-1 and sCD40L levels all have certain diagnostic value for carotid plaque instability, and the 3-item combination could have high diagnostic efficiency for unstable carotid plaques.

Key words: ultrasound elastography; paraoxonase 1; soluble CD40 ligand; carotid plaque; stability; diagnosis

颈动脉斑块的稳定性是评估心血管疾病风险的一个重要因素[1]。颈动脉斑块是动脉粥样硬化的一种表现，其在颈动脉内壁形成，随着时间的推移可能会增大，影响血液流动[2]。斑块的稳定性取决于其组成成分和结构特征：稳定斑块表现为厚纤维帽和小脂质核心，这种结构具有较高的机械强度；而不稳定斑块则以薄纤维帽和大脂质核心为典型特征，这种结构容易在血流动力学的影响下破裂，形成血栓，增加心肌梗死或脑卒中的发生风险[3-4]。因此，早期识别和管理颈动脉斑块，对降低脑梗死等心脑血管事件的发生风险至关重要。

目前临床常通过影像学、病理切片及生物标志物评估斑块的稳定性。病理切片的制备需依赖组织活检，适用性差；超声弹性成像技术已在肝脏、乳腺等多个方面显示出其应用价值，且在评估颈部硬化斑块的稳定性方面具有潜在的应用前景，但其易受操作者经验、患者血压波动及斑块位置等因素影响，单独应用存在局限性[5-7]；而血清指标具有表达稳定、操作简单、适用性广等优点，可作为影像学评估的有力补充。对氧磷酶-1(PON-1)是一种与高密度脂蛋白相关的酯酶，具有抗氧化和抗炎特性，其活性降低与颈动脉斑块稳定性密切相关[8]。可溶性 CD40 配体(sCD40L)是一种炎症因子，通过结合 CD40 受体，激活内皮细胞和单核细胞，促使其分泌促凝物质及炎症因子，一方面增强血小板活化、抑制纤溶系统形成微血栓，另一方面触发血管壁炎症反应，促使巨噬细胞转化为泡沫细胞并降解纤维帽基质，最终导致斑块脂质核心扩大、纤维帽变薄，显著增加斑块破裂风险[9-10]。由此可见，将超声弹性成像技术与生化指标相结合，可能有助于提高对颈动脉斑块稳定性诊断的准确性，从而弥补单一超声弹性成像技术的局限性。然而，目前关于这种联合检测方法在颈动脉斑块稳定性评估中的研究相对较少。因此，本研究的目的是探索超声弹性成像 B/A 比值联合血清 PON-1、sCD40L 对颈动脉斑块稳定性的诊断价值。现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　选取 2022 年 1 月至 2024 年 1 月邯郸市人民医院收治的 225 例脑梗死患者作为研究组。纳入标准：(1)符合脑梗死的诊断标准[11]，且有明确的临床诊断及影像学证据支持；(2)年龄≥40 岁；(3)无严重心、肺、肾等重要脏器功能障碍，确保患者能够安全完成研究；(4)均进行颈动脉超声检查。排除标准：(1)存在由其他原因导致的脑梗死，如心源性栓塞或血管炎等，以确保研究针对颈动脉斑块的评估；(2)有严重出血倾向或使用抗凝药物；(3)有精神障碍或认知障碍，无法配合完成研究；(4)存在活动性感染或恶

性肿瘤等严重疾病。研究组中男 119 例、女 106 例，年龄 40～86 岁、平均(55.37±6.78)岁。另选取同期在邯郸市人民医院体检的 225 例体检健康者作为对照组，其中男 126 例、女 99 例，年龄 41～83 岁、平均(55.61±7.12)岁。研究组和对照组年龄、性别比较，差异均无统计学意义($P>0.05$)。本研究经邯郸市人民医院医学伦理委员会批准(2021-11096)。所有研究对象或其家属同意参与本研究并签署知情同意书。

1.2　方法

1.2.1　颈动脉超声检查　所有患者均在入院后治疗前，采用西门子公司 ACUSON Sequoia 超声系统进行双侧颈动脉检查，探头频率 5～12 MHz。首先使用灰阶超声成像技术获取清晰颈动脉图像，测量颈动脉内膜中层厚度(IMT)，并评估是否存在粥样硬化斑块和血管狭窄情况。随后切换为弹性成像模式，选择感兴趣区域颈动脉粥样硬化斑块(A 区)，测量应变率 A 值，测量与 A 区等深度软组织区域(B 区)应变率 B 值，若存在多个斑块则取斑块较大者；计算弹性应变率 B/A 比值。B/A 比值反映了斑块的硬度。根据颈动脉超声检查结果，将颈动脉 IMT≥1.5 mm 或发现粥样硬化斑块者纳入有斑块组，将 IMT<1.5 mm 且未见斑块者纳入无斑块组[12]。

1.2.2　血清 PON-1、sCD40L 水平检测　于所有患者入组当日、健康体检者体检当日，采集 5 mL 空腹静脉血，置于有促凝剂的试管中，以 3 000 r/min 离心 15 min 后，分离血清并置于－80 ℃冰箱中保存待测。后续采用酶联免疫吸附试验(ELISA)测定所有研究对象血清 PON-1、sCD40L 水平。PON-1 ELISA 试剂盒(货号：SEA243Ra)由杭州吴鑫生物科技股份有限公司提供；sCD40L ELISA 试剂盒(货号：SBJ-R0638)由南京森贝伽生物科技有限公司提供。

1.2.3　其他资料收集　收集所有患者体质量指数(BMI)、吸烟史、饮酒史、合并症(糖尿病、高血压)，以及入院时甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平等资料。

1.2.4　治疗及斑块分型　根据相关指南[13]对于超声评估显示颈动脉狭窄率≥50%的患者，进行颈动脉内膜剥脱术治疗。本研究中有斑块组患者均符合此手术指征并接受了手术治疗。术后获得的斑块标本经连续切片并完成组织病理学检查后，参照斑块分型标准[14]进行分类。根据斑块分型结果，将患者划分为稳定斑块组(Ⅰ～Ⅳ型)和不稳定斑块组(Ⅴ、Ⅵ型)。

1.3　统计学处理　采用 SPSS25.0 软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示，2 组间比较采用独立样本 t 检验；计数资料以例数、百分率表示，组间比较采用 χ^2 检验；采用 Pearson 相关分析有斑块组患者血清 PON-1、sCD40L 水平与 B/A 比值的相关性；采用多因素 Logistic 回归分析颈动脉斑块不稳定的影响因素；绘制受试者工作特征(ROC)曲线分析各指标对颈动脉不稳定斑块的诊断价值，曲线下面积(AUC)的比较采用 DeLong 检验。检验水准 $\alpha=0.05$，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结　　果

2.1　研究组和对照组血清 PON-1、sCD40L 水平比较　研究组血清 PON-1 水平低于对照组($P<0.05$)，sCD40L 水平高于对照组($P<0.05$)。见表 1。

表 1　研究组和对照组血清 PON-1、sCD40L 水平比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	PON-1(ng/mL)	sCD40L(U/L)
对照组	225	186.57±20.16	2.66±0.33
研究组	225	124.04±13.54	4.59±0.91
t		38.623	－29.907
P		<0.001	<0.001

2.2　有斑块组和无斑块组血清 PON-1、sCD40L 水平比较　有斑块组 131 例，无斑块组 94 例。有斑块组血清 PON-1 水平低于无斑块组($P<0.05$)，sCD40L 水平高于无斑块组($P<0.05$)。见表 2。

表 2　有斑块组和无斑块组血清 PON-1、sCD40L 水平比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	PON-1(ng/mL)	sCD40L(U/L)
无斑块组	94	134.58±15.24	3.71±0.45
有斑块组	131	116.47±12.88	5.23±1.02
t		9.630	－13.528
P		<0.001	<0.001

2.3　稳定斑块组和不稳定斑块组基线资料比较　稳定斑块组 59 例，不稳定斑块组 72 例。不稳定斑块组合并高血压比例及 LDL-C 水平均高于稳定斑块组($P<0.05$)。见表 3。

2.4　稳定斑块组和不稳定斑块组血清 PON-1、sCD40L 水平以及 B/A 比值比较　不稳定斑块组血清 PON-1 水平及 B/A 比值低于稳定斑块组($P<0.05$)，sCD40L 水平高于稳定斑块组($P<0.05$)。见表 4。

2.5　有斑块组患者血清 PON-1、sCD40L 水平与 B/A 比值的相关性　Pearson 相关分析结果显示，有斑块组患者血清 PON-1 水平与 B/A 比值呈正相关($r=0.583$，$P<0.05$)，sCD40L 水平与 B/A 比值呈负相关($r=-0.741$，$P<0.05$)。

2.6　多因素 Logistic 回归分析颈动脉斑块不稳定的影响因素　以颈动脉斑块稳定性(不稳定＝1，稳定＝0)为因变量，以 PON-1(原值输入)、sCD40L(原值输入)、B/A 比值(原值输入)、LDL-C(原值输入)、合并

高血压(是=1，否=0)为自变量，进行多因素 Logistic 回归分析。结果显示，B/A 比值升高、血清 PON-1 水平升高均是颈动脉斑块不稳定的保护因素($P<0.05$)，血清 sCD40L、LDL-C 水平升高及合并高血压均是颈动脉斑块不稳定的危险因素($P<0.05$)。在校正 LDL-C、合并高血压后，B/A 比值升高、血清 PON-1 水平升高仍是颈动脉斑块不稳定的保护因素($P<0.05$)，血清 sCD40 水平升高仍是颈动脉斑块不稳定的危险因素($P<0.05$)。见表 5。

表 3　稳定斑块组和不稳定斑块组基线资料比较[n(%)或 $\bar{x}\pm s$]

组别	n	年龄(岁)	性别		BMI(kg/m^2)	有饮酒史	有吸烟史
			男	女			
稳定斑块组	59	55.45±5.02	31(52.54)	28(47.46)	21.24±2.31	26(44.07)	24(40.68)
不稳定斑块组	72	56.21±4.85	35(48.61)	37(51.39)	21.62±2.45	34(47.22)	33(45.83)
t/χ^2		−1.142	0.218		−0.906	0.130	0.351
P		0.255	0.654		0.367	0.718	0.554

组别	n	合并高血压	合并糖尿病	TC (mmol/L)	TG (mmol/L)	HDL-C (mmol/L)	LDL-C (mmol/L)
稳定斑块组	59	22(37.29)	34(57.63)	4.26±1.08	1.07±0.28	1.46±0.36	2.53±0.43
不稳定斑块组	72	45(62.50)	39(54.17)	4.39±1.12	1.12±0.31	1.51±0.39	3.16±0.51
t/χ^2		8.249	0.157	−0.672	−0.959	−0.756	−7.542
P		0.004	0.692	0.503	0.339	0.451	<0.001

表 4　稳定斑块组和不稳定斑块组血清 PON-1、sCD40L 水平以及 B/A 比值比较($\bar{x}\pm s$)

组别	n	PON-1 (ng/mL)	sCD40L (U/L)	B/A 比值
稳定斑块组	59	120.11±9.54	4.12±1.01	4.36±0.57
不稳定斑块组	72	113.49±7.85	6.14±1.53	2.45±0.38
t		4.358	−8.703	22.901
P		<0.001	<0.001	<0.001

2.7　B/A 比值及血清 PON-1、sCD40L 对颈动脉不稳定斑块的诊断价值　以颈动脉斑块稳定性(不稳定=1，稳定=0)为状态变量，以 B/A 比值、PON-1、sCD40L 及 3 项联合为检验变量，绘制 ROC 曲线。3 项联合采用 Logistic 回归模型的预测概率值：Logit(P) = −5.426 − 2.417$X_{\text{B/A比值}}$ − 1.785$X_{\text{PON-1}}$ + 0.051X_{sCD40L}。结果显示，B/A 比值、PON-1、sCD40L 单独及 3 项联合诊断颈动脉不稳定斑块的 AUC 分别为 0.873、0.713、0.871、0.976，3 项联合诊断的 AUC 大于 B/A 比值、PON-1、sCD40L 单独诊断的 AUC(Z=2.751、3.032、2.856，均 $P<0.05$)。见表 6 和图 1。

表 5　多因素 Logistic 回归分析颈动脉斑块不稳定的影响因素

因素	β	SE	$Wald\chi^2$	OR	OR 的 95%CI	P
校正前						
PON-1	−0.414	0.152	7.419	0.661	0.491～0.890	0.006
sCD40L	0.987	0.341	8.383	2.684	1.376～5.237	0.004
B/A 比值	−0.865	0.361	5.743	0.421	0.207～0.854	0.017
LDL-C	0.854	0.257	11.042	2.349	1.419～3.887	0.001
合并高血压	1.259	0.421	8.943	3.522	1.543～8.038	0.003
常数项	−2.957	0.886	11.135	—	—	—
校正后						
PON-1	−1.785	0.655	7.466	0.167	0.046～0.603	0.006
sCD40L	0.051	0.019	7.199	1.052	1.014～1.092	0.007
B/A 比值	−2.417	0.765	9.981	0.089	0.020～0.400	0.002
常数项	−5.426	1.784	9.247	—	—	—

注：—表示无数据。校正前后是指校正 LDL-C、合并高血压前后。

表 6　B/A 比值及血清 PON-1、sCD40L 对颈动脉不稳定斑块的诊断价值

指标	AUC	AUC 的 95%*CI*	灵敏度(%)	特异度(%)	最佳截断值	*P*	约登指数
PON-1	0.713	0.624～0.802	74.62	64.76	115.28 ng/mL	＜0.001	0.394
sCD40L	0.871	0.811～0.930	87.34	67.73	5.46 U/L	＜0.001	0.551
B/A 比值	0.873	0.811～0.935	85.63	79.98	2.87	＜0.001	0.656
3 项联合	0.976	0.956～0.996	95.16	90.49	—	＜0.001	0.857

注：—表示无数据；3 项联合采用 Logistic 回归模型的预测概率值。

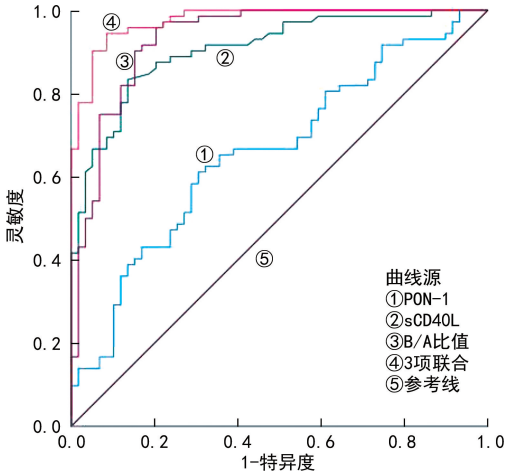

图 1　B/A 比值及血清 PON-1、sCD40L 诊断颈动脉不稳定斑块的 ROC 曲线

3　讨　论

颈动脉斑块是动脉粥样硬化在血管壁形成的沉积物，主要由胆固醇、钙质等构成，其增大会导致血管狭窄甚至堵塞，影响脑部供血。不稳定斑块因纤维帽薄、炎症活跃更易破裂，一旦破裂可迅速形成血栓，引发脑梗死等严重后果，因此需早期筛查与干预[15-16]。开发一种既简便又有效的斑块稳定性诊断方法，对早期识别颈动脉不稳定斑块、预防病情恶化至关重要。

超声弹性成像技术是一种先进的诊断手段，能够通过数字化手段对组织的力学特性进行定量分析，基于生物力学和弹性力学的原理，通过数字图像和信号处理技术的应用，超声弹性成像能够分析并区分组织的力学特性，并通过颜色编码直观地展示这些差异[17]。既往报道，超声弹性成像评估颈动脉斑块易损性的灵敏度为 80.41%，对颈动脉斑块易损性具有一定的诊断效能[18]。王明侠等[6]发现，超声弹性成像技术通过量化斑块应变率比值可有效评估颈动脉斑块的稳定性，其对脑梗死风险的预测价值高。本研究结果显示，不稳定斑块组中超声弹性成像参数 B/A 比值低于稳定斑块组，B/A 比值诊断颈动脉不稳定斑块的 AUC 为 0.873，与王明侠等[6]的研究结果类似，进一步验证了超声弹性成像技术在评估颈动脉斑块稳定性方面的有效性和可靠性。但超声弹性成像通常用于浅表组织，对于深层组织或器官的探测能力有限，且目前对于组织的硬度没有一个统一的量化标准，这可能导致不同设备或不同操作者之间检测结果存在差异[7]。因此，需要联合其他实验室指标进行诊断。

PON-1 是一种在肝脏合成的酶，在血液中可调节胆固醇的逆向运输，抑制氧化应激和炎症反应，从而在抗动脉粥样硬化中发挥作用，而降低其活性会增加动脉粥样硬化的发生风险[19-20]。有研究显示，对于高血压及老年颈动脉狭窄患者，血清 PON-1 水平降低是斑块不稳定的危险因素[21-22]。本研究显示，脑梗死患者血清 PON-1 水平降低，有斑块组血清 PON-1 水平低于无斑块组，不稳定斑块组其水平进一步降低，其水平升高为颈动脉斑块不稳定的保护因素，这与先前的研究[20]一致，进一步表明 PON-1 与颈动脉斑块不稳定有关。推测 PON-1 可能通过分解氧化型低密度脂蛋白(ox-LDL)中的氧化脂质和动脉壁细胞中的脂质过氧化物，抑制动脉粥样硬化斑块形成；在氧化应激增强的病理状态下，PON-1 被大量消耗，导致其血清水平降低[8,23]。

sCD40L 属于肿瘤坏死因子超家族，是免疫和炎症调节中的关键分子。研究表明，CD40/CD40L 信号通路在动脉粥样硬化的进程中扮演着重要角色，影响细胞功能，与斑块稳定性有关[24]。在慢性炎症中，血清 sCD40L 能激活血管壁内的炎症反应，促使斑块内巨噬细胞转变为泡沫细胞，激活炎症细胞，并促进其释放细胞活性因子，可能削弱斑块的纤维帽，增加斑块的脆弱性，从而影响斑块的稳定性[25-26]。CD40/CD40L 信号通路在动脉粥样硬化斑块中呈现激活状态，这种异常活化可能通过干扰血管细胞功能而影响斑块的稳定性[27]。本研究结果显示，与对照组相比，研究组患者血清 sCD40L 水平显著升高。进一步分析显示，有颈动脉斑块的患者血清 sCD40L 水平高于无斑块患者，且在不稳定斑块组中血清 sCD40L 水平又高于稳定斑块组；血清 sCD40L 水平升高是颈动脉斑块不稳定的危险因素。这与潘阿莉等[28]的研究结果一致，提示 sCD40L 可能参与了不稳定斑块的形成过程。可能的机制是 sCD40L 水平升高与炎症反应加剧、血管壁内免疫细胞活化以及斑块内细胞外基质降解均有关，这些因素共同推动动脉粥样硬化斑块进展和不稳定性增加[27-28]。血管炎症反应通过双重机制削弱斑块稳定性：一方面促进巨噬细胞吞噬 ox-LDL 形成泡沫细胞，扩大脂质核心；另一方面刺激基质金属蛋白酶分泌，降解纤维帽结构。这种脂核扩张与纤维帽变薄的协同作用，最终显著增大斑块破裂

风险[29]。

本研究相关性分析结果显示，血清 PON-1 水平与 B/A 比值呈正相关，血清 sCD40L 水平与 B/A 比值呈负相关，这进一步表明了 PON-1、sCD40L 水平与颈动脉斑块有关。B/A 比值降低直接反映了斑块质地更软、弹性更差，通常对应于较大的脂质核心和较薄的纤维帽，是斑块易损的力学表征[30]。PON-1 水平降低则提示局部抗氧化保护机制减弱，氧化应激加剧，不利于斑块稳定[31]。sCD40L 水平升高则标志着更强的炎症反应和血小板活性，这 2 种过程会协同促进基质金属蛋白酶的表达与活化，从而降解细胞外基质、削弱纤维帽结构[32]。因此，B/A 比值、sCD40L、PON-1 这 3 项指标分别从不同但相互关联的维度，共同调控斑块的稳定性。B/A 比值、sCD40L、PON-1、LDL-C、合并高血压均为颈动脉斑块不稳定的影响因素，这强调了在评估颈动脉斑块稳定性时应考虑多种生物标志物和临床因素的重要性。本研究 ROC 曲线分析结果显示，B/A 比值、PON-1、sCD40L 3 项联合诊断颈动脉不稳定斑块的 AUC 为 0.976，大于各项指标单独诊断的 AUC，表明超声弹性成像与血清 PON-1、sCD40L 联合诊断能够更全面地反映颈动脉斑块的不稳定性，提高诊断的准确性和可靠性。

综上所述，超声弹性成像参数 B/A 比值及血清 PON-1、sCD40L 水平对颈动脉斑块不稳定性均有一定的诊断价值，且 3 项联合可显著提升诊断效能，展现出潜在的临床实用价值。但本研究为单中心研究，且未进行随访，未来需进一步验证并探索上述指标在不同患者群体中的适用性和潜在的干预策略。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献　曲燕：负责研究设计、实施研究过程、数据分析与论文撰写；孔晓阳：负责实施研究过程、数据采集与处理；吕新华：负责实施研究过程、资料搜集整理。

参考文献

[1] BOS D，ARSHI B，VAN DEN BOUWHUIJSEN Q J A，et al. Atherosclerotic carotid plaque composition and incident stroke and coronary events[J]. J Am Coll Cardiol，2021，77(11)：1426-1435.

[2] VAN DER TOORN J E，BOS D，IKRAM M K，et al. Carotid plaque composition and prediction of incident atherosclerotic cardiovascular disease[J]. Circ Cardiovasc Imaging，2022，15(3)：e013602.

[3] WANG J，WANG L，SHEN Y，et al. Relationship between carotid artery angle and plaque morphology in acute cerebral infarction patients[J]. Neurologist，2022，27(5)：240-244.

[4] BIR S C，KELLEY R E. Carotid atherosclerotic disease：a systematic review of pathogenesis and management[J]. Brain Circ，2022，8(3)：127-136.

[5] LI H L，BHATT M，QU Z，et al. Deep learning in ultrasound elastography imaging：a review[J]. Med Phys，2022，49(9)：5993-6018.

[6] 王明侠，彭玉荣. 超声弹性成像检测应变率比值、剪切波速度与颈动脉斑块稳定性及脑梗死发病的关系[J]. 中南医学科学杂志，2022，50(5)：736-739.

[7] 郭晓波，陈金玉，檀融融. 超声弹性成像联合血清 miR-26b-5p 及环氧化酶-2 检测对早期子宫肌瘤的临床诊断价值[J]. 中国医学装备，2024，21(3)：82-86.

[8] 姚峰. 急性脑梗死病人血清对氧磷酶 1 活性与颈动脉粥样硬化斑块的关系[J]. 中西医结合心脑血管病杂志，2020，18(19)：3301-3304.

[9] 张巧云，金迺光，王晓娜，等. 血清可溶性 CD40 配体及基质金属蛋白酶 9 水平在老年缺血性脑卒中患者颈动脉斑块不稳定中的诊断价值[J]. 中华老年多器官疾病杂志，2024，23(5)：360-364.

[10] 卢才磊. 脑栓死患者血清 sCD40L、FGF23、Hcy、hs-CRP 水平及其与颈动脉斑块的关系[J]. 河南医学研究，2024，33(23)：4348-4351.

[11] 中华医学会神经病学分会，中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2014[J]. 中华神经科杂志，2015，48(4)：246-257.

[12] 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，2011：23-29.

[13] 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/CD]. 中国血管外科杂志(电子版)，2017，2(3)：169-175.

[14] STARY H C. Natural history and histological classification of atherosclerotic lesions：an update[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol，2000，20(5)：1177-1178.

[15] 赵凤依，孙丽坤，常玮鑫，等. 脑梗死病人血清 STAT3、Wnt5A 水平与颈动脉粥样硬化斑块稳定性的关系[J]. 中西医结合心脑血管病杂志，2025，23(14)：2221-2224.

[16] 郝烘玉，邢星，褚红珊，等. 急性脑梗死患者小而密低密度脂蛋白及脂蛋白(a)水平与颈动脉斑块稳定性的相关性分析[J]. 中华老年心脑血管病杂志，2025，27(3)：327-331.

[17] DAVIDHI A，RAFAILIDIS V，DESTANIS E，

et al. Ultrasound elastography:another piece in the puzzle of carotid plaque vulnerability? [J]. Med Ultrason,2022,24(3):356-363.
[18] 胡六妹,曾瑶琪. 超声弹性成像联合超微血流成像对颈动脉斑块的易损性评估分析[J]. 医学影像学杂志,2023,33(4):688-691.
[19] LIOUDAKI S,VERIKOKOS C,KOURAKLIS G,et al. Paraoxonase-1 and symptomatic status in carotid artery disease[J]. Ann Vasc Surg,2020,64:355-360.
[20] KHALIL A,FULOP T,BERROUGUI H. Role of paraoxonase1 in the regulation of high-density lipoprotein functionality and in cardiovascular protection[J]. Antioxid Redox Signal,2021,34(3):191-200.
[21] 王诗奇,周丽,邹武松. 高血压患者血清血管性血友病因子、对氧磷脂酶 1 和脂蛋白(a)水平的变化及与颈动脉斑块形成的关系[J]. 中华高血压杂志,2020,28(4):381-384.
[22] 张彩霞,马媛媛,崔二平,等. 血清 Lp-PLA2、PON-1 及 vWF 水平对老年颈动脉狭窄患者颈动脉斑块稳定性的影响及临床预测价值[J]. 分子诊断与治疗杂志,2023,15(10):1698-1702.
[23] DURRINGTON P,SORAN H. Paraoxonase 1:evolution of the enzyme and of its role in protecting against atherosclerosis[J]. Curr Opin Lipidol,2024,35(4):171-178.
[24] 邹美娜,许小扬,毕国荣,等. 血清可溶性 CD40 配体与急性脑梗死患者颈动脉斑块的关系[J]. 国际神经病学神经外科学杂志,2020,47(4):382-386.
[25] PEREIRA-DA-SILVA T,NAPOLEÀO P,PINHEIRO T,et al. The proinflammatory soluble CD40 ligand is associated with the systemic extent of stable atherosclerosis[J]. Medicina (Kaunas),2021,57(1):39.
[26] PROFUMO E,BUTTARI B,TOSTI M E,et al. Increased circulating levels of MIP-1α and CD14 are associated with the presence of severe stenosis and hypoechoic plaques in patients with carotid atherosclerosis[J]. Int J Immunopathol Pharmacol,2023,37:3946320231160411.
[27] 董亚楠,刘斌,胡琨,等. 可溶性 CD40 配体、脂蛋白相关磷脂酶 A2 和超敏 C 反应蛋白与急性脑梗死患者颈动脉粥样硬化斑块形成及类型的相关性[J]. 兰州大学学报(医学版),2020,46(1):48-52.
[28] 潘阿莉,方无杰,洪亮,等. 血清 sCD40L、PTX3 及 GFAP 在急性脑梗死患者中的变化及对病情、预后的评估作用[J]. 解放军医药杂志,2022,34(5):111-114.
[29] 杜宇平,陈阳. sCD147、sCD40L、miR-21 与 ACI 患者颈动脉粥样斑块类型及预后的关系[J]. 检验医学,2022,37(7):636-640.
[30] 李娜,马红伟,郭婵婵,等. 超声弹性成像在评估脑梗死患者颈动脉斑块稳定性及预后中的应用价值[J]. 中国医师进修杂志,2025,48(8):734-737.
[31] DORNAS W,SILVA M. Modulation of the antioxidant enzyme paraoxonase-1 for protection against cardiovascular diseases[J]. Nutr Metab Cardiovasc Dis,2024,34(12):2611-2622.
[32] CHEN C,ZHENG M,WANG W,et al. Elevated circulating inflammatory biomarker levels in the SIRT1-NF-κB-sCD40L pathway in patients with acute myocardial infarction:a case-control study[J]. Ann Med,2023,55(2):2284366.

(收稿日期:2025-01-15 修回日期:2026-01-19)
(编辑:陈秋莲 周晓凤)

(上接第 523 页)

[29] LI Y,LI H L,SUN M H,et al. Silibinin alleviates acute liver failure by modulating AKT/GSK3β/Nrf2/GPX4 pathway[J]. Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol,2025,398(6):7625-7639.
[30] 李金凤,崔梦祥,龙奕妃,等. NADH 通过 SIRT1/Nrf2 通路缓解小鼠抗结核药物性肝损伤及凋亡[J]. 安徽医科大学学报,2023,58(12):2089-2094.
[31] GONG J Y,REN H,CHEN H Q,et al. Magnesium isoglycyrrhizinate attenuates anti-tuberculosis drug-induced liver injury by enhancing intestinal barrier function and inhibiting the LPS/TLRs/NF-κB signaling pathway in mice[J]. Pharmaceuticals (Basel),2022,15(9):1130.

(收稿日期:2024-12-06 修回日期:2026-01-05)
(编辑:陈秋莲 周晓凤)