

剪切波弹性成像技术评价颈动脉斑块易损性

程巧, 邓又斌, 黄哲, 樊昕颖, 孙杰, 毕小军

【摘要】 目的:探讨超声剪切波弹性成像技术对颈动脉斑块易损性的诊断价值。**方法:**76 例颈动脉斑块患者共检出斑块 94 个。所有患者行常规超声、超声增强和剪切波弹性成像检查,测量斑块的杨氏模量值(包括平均值、最小值和最大值),评估斑块的强化程度,根据二维超声和超声增强表现评估斑块的风险等级。**结果:**76 例中,颈动脉常规超声检出 94 个斑块,其中软斑块 43 个,混合斑块 35 个,硬斑块 16 个。随着斑块硬度增加,斑块的杨氏模量(YM)值增加,三组斑块间 YM 平均值、最小值和最大值的差异均有统计学意义($F=296.28, 259.09, 252.81, P$ 均 <0.05)。超声增强显示 I 级斑块 13 个, II 级斑块 18 个, III 级斑块 21 个, IV 级斑块 42 个;随着强化程度的增加,斑块的 YM 值降低,不同强化程度之间斑块的 YM 平均值、最小值和最大值的差异均具有统计学意义($F=158.74, 143.76, 155.00, P$ 均 <0.05)。超声检查评估为低风险斑块 30 个,高风险斑块 64 个,两组斑块的 YM 平均值、最小值和最大值的差异均具有统计学意义($t=13.86, 11.93, 13.31, P$ 均 <0.05),低风险斑块的杨氏模量值高于高风险斑块。**结论:**应用超声剪切波弹性成像技术可以较准确的评估颈动脉斑块的类型,在一定程度上可反映斑块内新生血管的数量,评估斑块风险等级,有助于更全面地评估颈动脉斑块的性质。

【关键词】 颈动脉; 动脉粥样硬化; 斑块; 剪切波弹性成像; 超声造影

【中图分类号】 R445.1; R534.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)12-1587-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.12.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of shear wave elastography in evaluating carotid artery plaque vulnerability CHENG Qiao, DENG You-bin, HUANG Zhe, et al. Department of Ultrasound, Tongji Hospital, Huangzhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, China

【Abstract】 Objective: To evaluate the diagnostic value of ultrasound shear wave elastography in carotid artery plaque vulnerability. **Methods:** 76 patients with 94 carotid plaques were included. Routine ultrasound, contrast-enhanced ultrasound (CEUS) and shear-wave elastography examination were performed respectively. The ultrasound examination results and the contrast-enhanced ultrasound grade was recorded. Young's modulus was calculated by the software of the instrument, evaluate the risk of plaque based on two-dimensional ultrasound and CEUS. **Results:** In 76 patients, 94 carotid plaques were detected by conventional ultrasound, including 43 soft plaques, 35 mixed plaques and 16 hard plaques. With the increase of plaque hardness, the Young's modulus of plaque increased. The difference of Young's modulus of soft plaque, mixed plaque and hard plaque among the three groups was statistically significant ($F=296.28, 259.09$ and 252.81 ; all $P<0.05$). The results of contrast-enhanced ultrasound showed 13 plaques of grade I, 18 plaques of grade II, 21 plaques of grade III, and 42 plaques of grade IV. As the contrast-enhanced ultrasound grade increases, the Young's modulus of the plaques decreases. The difference of Young's modulus of plaques with different intensities was statistically significant ($F=158.74, 143.76$ and 155.00 ; all $P<0.05$). There were 30 low-risk plaques and 64 high-risk plaques. The difference of Young's modulus values between the two groups was statistically significant ($t=13.86, 11.93$ and 13.31 ; all $P<0.05$), the Young's modulus values of low-risk plaques were higher than those of high-risk plaques. **Conclusion:** The application of shear wave elastography can accurately evaluate the degree of stiffness of carotid plaque, reflect the number of new vessels in the plaque to some extent and evaluate the risk level of plaque, which is conducive to a more comprehensive evaluation.

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院超声影像科

作者简介: 程巧(1997-), 女, 湖北广水人, 硕士研究生, 主要从事心血管系统超声诊断工作。

通讯作者: 毕小军, E-mail: Bixiaojun@aliyun.com

tion of the nature of carotid plaque.

【Key words】 Carotid artery; Atherosclerotic; Plaque; Shear wave elastography; Contrast-enhanced ultrasound

脑卒中是常见的脑血管疾病之一,随着年龄的增长,其发病率呈逐渐上升的趋势,对人类健康产生严重威胁。颈动脉易损性斑块引起的血栓栓塞占有缺血性卒中的 20%~30%^[1-2]。斑块易损性的早期诊断对临床心血管疾病的治疗及预后意义重大^[3]。斑块的易损性与许多组织学特征有关,如斑块内新血管形成、脂质核心、纤维帽的厚度及炎性浸润、斑块内存在出血、溃疡等。作为一种评估颈动脉斑块易损性的常用方法,超声具有简单、准确、安全、无创和重复性好等优势。剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)技术可用于量化斑块内部组织结构的弹性,对颈动脉斑块易损性进行评估^[4]。本研究将 SWE 定量参数与常规二维超声以及超声对比增强(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)结果进行对照分析,旨在评估 SWE 技术对颈动脉斑块易损性的诊断效能。

材料与方法

1. 一般资料

纳入 2020 年 8—12 月在本院就诊的 76 例经超声检查发现有颈动脉斑块的患者,其中 18 例有多发斑块。76 例中,男 56 例,女 20 例,年龄 41~78 岁,平均(62±11)岁;心率 51~101 次/分,平均(74±21)次/分;有糖尿病 21 例(27.63%),高血压 39 例(51.31%)。实验室检查:甘油三酯 0.47~2.78 mmol/L,平均(1.69±0.93) mmol/L;高密度脂蛋白 0.55~1.58 mmol/L,平均(1.05±0.42) mmol/L;低密度脂蛋白 1.19~3.95 mmol/L,平均(2.85±0.84) mmol/L。

排除标准:①对超声对比剂过敏;②呼吸幅度过大,弹性图像无法稳定;③神志不清,无法配合检查;④心律失常。

本研究符合道德标准,检查前已获得所有患者的知情同意且签署知情同意书。

2. 超声检查方法

所有患者行颈动脉常规超声、CEUS 以及 SWE 检查。

颈动脉常规超声检查:使用 GE Logiq E9 超声诊断仪,线阵探头频率 6~13 MHz,对斑块的二维常规参数进行记录并存储图像。根据回声特点对斑块进行分类:①软斑块内部回声为无、等或低回声,其内部成分复杂,含较多新生血管,不稳定易溃疡破裂,出血脱落;②硬斑块主要为强回声,后方可有声影,内部成分较稳定,有钙盐沉积;③混合斑块内部回声不均^[5]。

CEUS 检查:确定目标斑块后,保持探头稳定,切换到 CEUS 模式,在患者肘前静脉推注 Sonazoid 对比剂混合液 1.0 mL,然后推注 10 mL 生理盐水冲管。注射对比剂后观察 2~3 min,观察斑块强化及消退情况,将斑块强化程度分为 4 级:无明显增强为 I 级;斑块内有 1~2 处呈点状增强,为 II 级;斑块内有 3~4 处呈点状增强或 1~2 处呈线状增强,为 III 级;斑块内有 4 处以上点状增强或 2 处以上线状增强为 IV 级^[6]。

SWE 检查:使用法国声科影像剪切波弹性成像超声诊断仪,探头 L15-4,频率 4~15 MHz,在二维模式下探查目标斑块,然后保持探头稳定,使探头与皮肤保持轻微接触,嘱患者屏住呼吸,在不施压状态下选择弹性成像模式,获得稳定图像后,在心动周期为收缩期时保存图像。弹性图上的蓝色和红色区域分别对应于杨氏模量(Young's modulus, YM)低(软)和 YM 高(硬)。使用超声诊断仪内置分析系统的 Q-BOX 功能,将取样框置于斑块内,面积设定为 1 mm²,尽量覆盖斑块,测量目标斑块的 YM 值(包括平均值、最小值和最大值),每一目标斑块重复测量 3 次,取 3 次的平均值^[4]。

3. 分析方法

由本科室高年资超声诊断医师采用双盲法完成斑块的二维超声诊断和 CEUS 图像分析,对斑块的 SWE 测量由另一位经验丰富的超声诊断医师完成,由第三位医师完成所有患者检查数据的整理和分析。根据斑块的二维超声和 CEUS 表现,在本研究中内部为强回声、以强回声为主的混合回声、以等低回声为主的混合回声以及等低回声分别记为 0~3 分;将 CEUS 显示的强化程度 I~IV 级分别记为 0~3 分。每例患者将 2 种评分的分值相加,将总分为 0~3 分的斑块定义为低风险斑块,4~6 分的斑块定义为高风险斑块。

4. 统计学方法

使用 SPSS 24.0 统计软件对所有数据进行统计学分析。将符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示,不同风险等级斑块的两组间比较采用独立样本 *t* 检验,不同斑块分型、不同超声增强程度斑块的组间比较使用方差分析。以 *P* < 0.05 为差异具有统计学意义。

结 果

本研究中 76 例患者共检出 94 个斑块,其中 18 例为多发斑块,58 例为单发斑块。

1. 常规超声表现与 SWE 结果的相关性

本组 76 例患者中,经颈动脉常规二维超声共检出 94 个斑块,其中软斑块 43 个、硬斑块 16 个、混合斑块 35 个(图 1~3)。三种类型斑块的平均、最小及最大 YM 值及组间比较结果见表 2。本组结果显示,三种类型的斑块之间平均、最小及最大 YM 值的差异均具有统计学意义($P<0.05$)。

2. CEUS 表现与 SWE 结果的相关性

CEUS 显示斑块可呈不同程度的强化,其中 I 级 13 个,II 级 18 个,III 级 21 个,IV 级 42 个。不同增强强度间斑块的平均、最小和最大 YM 值的差异均有统

计学意义($P<0.05$);随着强化程度的增加,斑块的杨氏模量值降低(表 2)。

3. 不同风险等级与 SWE 的相关性结果

本研究中共检出低风险斑块 30 个,高风险斑块 64 个。两组斑块的平均、最小及最大 YM 值进行比较,差异均具有统计学意义($P<0.05$);高风险斑块的 YM 值低于低风险斑块(表 3)。

讨 论

随着我国心脑血管疾病的发病率呈逐年上升趋势,其高危险性不容忽视。动脉粥样硬化形成的易损

表 1 不同斑块分型间杨氏模量值的比较 /kPa

指标	软斑块	混合斑块	硬斑块	F 值	P 值
平均 YM 值	18.75±4.80	43.67±9.49	73.93±10.81	296.28	0.000
最小 YM 值	14.42±4.25	37.29±10.10	67.27±10.88	259.09	0.000
最大 YM 值	23.63±6.63	50.19±10.29	81.33±11.58	252.81	0.000

表 2 CEUS 不同强化程度斑块的 YM 值 /kPa

指标	I 级	II 级	III 级	IV 级	F 值	P 值
平均 YM 值	76.88±9.35	51.57±10.16	35.58±6.71	20.06±8.84	158.74	0.000
最小 YM 值	69.88±9.74	45.52±12.15	29.41±6.50	15.67±7.72	143.76	0.000
最大 YM 值	85.20±8.78	57.92±9.33	41.88±7.87	24.87±10.23	155.00	0.000

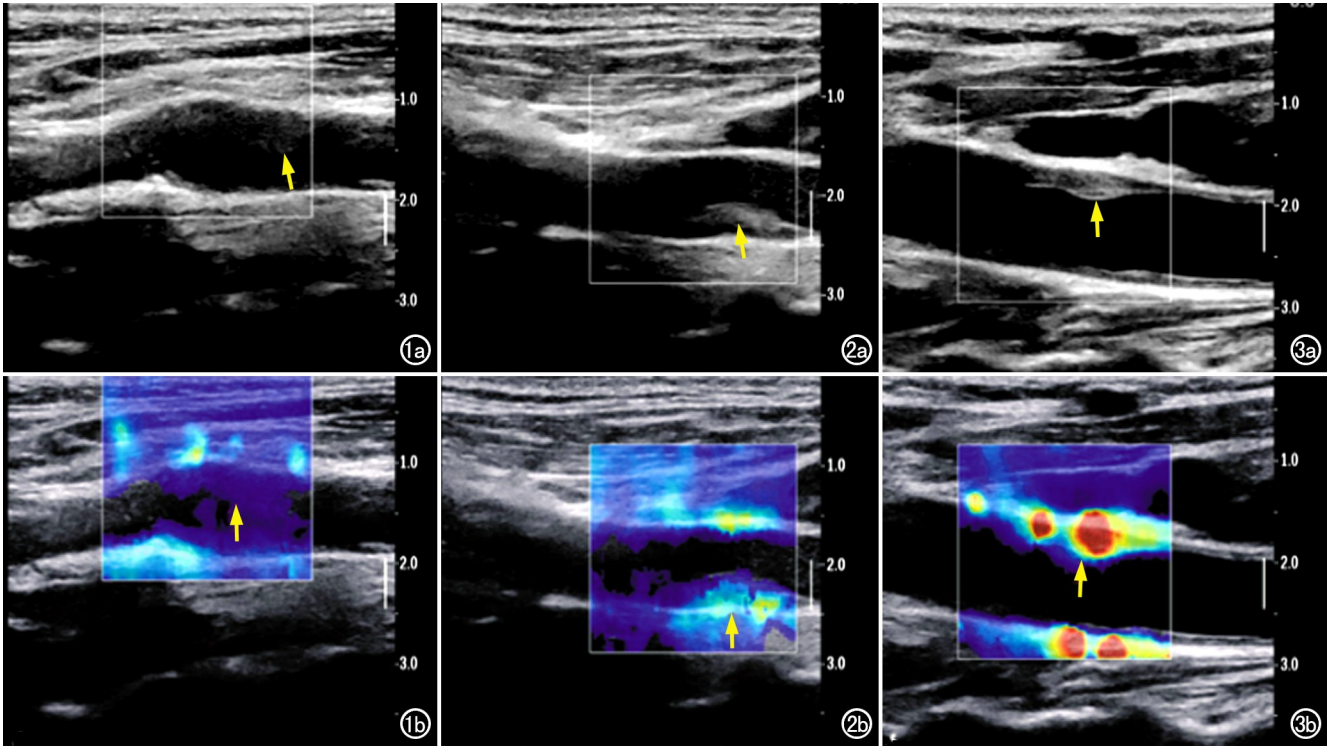


图 1 颈动脉壁软斑块。a)二维超声声像图显示管腔上方斑块回声以低回声为主,内部存在极低回声区(箭),提示为软斑块;b)SWE 图像,显示斑块处呈蓝色(箭),提示斑块质地较软。图 2 颈动脉壁混合斑块。a)二维超声声像图显示管腔下方斑块为内部回声强弱不均的混合回声(箭),提示为混合斑块;b)SWE 图像,显示斑块处呈红蓝色混杂(箭),提示斑块质地处于软硬之间。图 3 颈动脉壁硬斑块。a)二维超声声像图显示管腔上方斑块为内部回声为以强回声为主的混合回声(箭),提示为硬斑块;b)SWE 图像,显示斑块处呈红色(箭),提示斑块质地较硬。

表 3 不同风险等级斑块杨氏模量值 /kPa

指标	高风险斑块	低风险斑块	t 值	P 值
平均 YM 值	25.31±10.91	63.25±15.06	12.36	0.000
最小 YM 值	20.25±9.70	56.84±15.43	11.93	0.000
最大 YM 值	30.62±12.37	70.37±15.62	13.31	0.000

斑块破裂以及血栓形成将导致急性心脑血管意外。因此,颈部血管斑块的筛查对预防心脑血管疾病至关重要。

斑块易损性的一个潜在标志是测量斑块内的应力分布。将 SWE 应用于颈动脉斑块易损性是近年来的研究热点。SWE 的原理是将定向力施加到组织产生剪切波,然后进行声波采集,通过检测其在组织中的传播速度可判断组织硬度^[7-8]。目前,SWE 已在甲状腺、乳腺和肝脏等器官组织得到广泛应用,证实了 SWE 的可靠性以及实用性^[9-13]。斑块内部的成分,如薄纤维帽、脂质核心以及新生血管等,均会影响斑块本身的弹性,这表明弹性成像在确定斑块易损性方面可发挥重要作用^[14]。通过 YM 计算的 SWE 速度测量值可以判断斑块的硬度,斑块越硬,传播速度越快^[15]。

随着动脉粥样硬化斑块内新生血管数目的增多,斑块内部成分不稳定,更易破溃出血,这与其易损性关系紧密^[16]。CEUS 具有高空间和时间分辨率,超声对比剂微泡在动脉中,可增强血液散射信号强度,从而显示血流的存在,有利于确定斑块溃疡和低回声部分,以及检测斑块内新血管形成并进行分级,在评价颈动脉斑块易损性方面具有重要价值^[17]。

因此,本研究对检出的斑块同时进行常规超声、CEUS 以及 SWE 检查,对斑块的 SWE 测量数据与 CEUS 和常规二维超声表现的相关性进行研究。本组研究显示,随着斑块回声增强,YM 值逐渐降低,斑块的 YM 值与斑块硬度呈负相关,软斑块的平均、最小和最大 YM 值最低,其次为混合斑块,硬斑块的 YM 值最大,3 组间 YM 值的差异有统计学意义($P < 0.05$),这与国内外研究结果相吻合^[18-20]。对斑块的 SWE 测量指标与 CEUS 表现的相关性分析结果显示,随斑块内新生血管的增多,通过 SWE 技术得到的平均、最小和最大 YM 值逐渐减低,提示新生血管增多的斑块内组织成分相对疏松,斑块硬度较低,因此 SWE 可以在一定程度上反映新生血管的数量。本研究结合二维超声和 CEUS 评估斑块的风险等级,结果显示高风险斑块的平均、最小和最大 YM 值分别较低风险斑块低 37.94(60%)、36.59(66%)和 39.75(57%)Kpa。Garrard 等^[21]学者的研究结果亦证实 SWE 可区分易损性与稳定性斑块,易损性斑块平均 YM 值较稳定性斑块低 29Kpa(37%),提示 SWE 在评估颈动脉斑块易损性方面具有重要意义。通过 SWE 技术测

得的斑块 YM 值越小,提示斑块可能含有较多新生血管,斑块质地相对较软,风险等级较高,为易损性斑块的概率较大。

为减少实验误差,提高研究的可靠性以及准确性,结合既往的研究方法,本研究中对以下几点进行了改进:①选取相同心动周期(收缩期)进行 YM 值的测量,以减少由于斑块的受力不同而产生的误差;②选取厚度 ≥ 2 mm 的斑块,以利于斑块的二维超声观察以及 CEUS 对新生血管的显示;③由于加压的力度会影响对斑块成分的评估,因此操作者在超声检查过程中尽量保证探头轻触皮肤,不对其施压;④本研究采用在斑块内使用 Q-BOX 功能选取多个感兴趣区进行 YM 测量,与以往的手动勾画 ROI 比较,能避免颈动脉搏动使斑块边缘图像不稳定带来的误差。

CEUS 图像上可能存在假增强伪影,观察者不同对这种表现的判断存在一定差异,诊断存在一定的主观性,且 CEUS 检查的价格高昂;常规二维超声对于斑块内部复杂病理结构的诊断有限;早期的弹性成像方法容易受到不同操作者手动加压方式的影响,因此重复性较差。与上述技术相比,本研究中采用的 SWE 技术对操作者的依赖性较小,可以避免检查者判断的主观性,能比较客观、精准地反映斑块的性质。因此,随着技术的不断成熟,SWE 可为临床提供更可靠的影像学信息。

本研究的局限性:①当剪切波通过动脉血时,可能会受到伪影的严重影响。②操作者使用 SWE 技术测量较大斑块时会受切面选择的影响,测值可能存在选择偏倚。③虽然选择在同一心动周期进行测量,但颈动脉的搏动仍会对图像的稳定性造成影响。此外,由于颈动脉与斑块是各向异性的,计算杨氏模量的简单物理方程(为肝脏等各向同性组织开发的方程)可能不适用于颈动脉,这也导致本研究可能存在一定的误差^[22]。但随着技术的进一步发展,其性能的优化和标准化,上述局限性将得到改善和解决。④本研究的样本量较小,未来将扩大样本量对该技术进行进一步研究探讨。

综上所述,SWE 技术与二维超声以及 CEUS 相比,具有便捷和高效等优势,可以反映斑块内新生血管的数量、评估斑块的软硬程度及风险等级,能为斑块的易损性评估提供更客观和准确的信息,有助于更全面地评估颈动脉斑块并预测心血管疾病的风险。

参考文献:

[1] Cattaneo M, Staub D, Porretta AP, et al. Contrast-enhanced ultrasound imaging of intraplaque neovascularization and its correlation to plaque echogenicity in human carotid arteries atherosclerosis[J/OL]. Int J Cardiol, 2016, 223: 917-922. [Epub 2016 Aug 16]. DOI:

- 10.1016/j.ijcard.2016.08.261.
- [2] Liem MI, Kennedy F, Bonati LH, et al. Investigations of carotid stenosis to identify vulnerable atherosclerotic plaque and determine individual stroke risk[J]. *Circ J*, 2017, 81(9): 1246-1253.
- [3] Kolodgie FD, Yahagi K, Mori H, et al. High-risk carotid plaque: lessons learned from histopathology[J]. *Semin Vasc Surg*, 2017, 30(1): 31-43.
- [4] Sarvazyan AP, Rudenko OV, Swanson SD, et al. Shear wave elasticity imaging: a new ultrasonic technology of medical diagnostics[J]. *Ultrasound Med Biol*, 1998, 24(9): 1419-1435.
- [5] 勇强, 张蕾, 王丽娟, 等. 颈动脉斑块风险等级的超声评价[J]. *血管与腔内血管外科杂志*, 2016, 2(4): 278-281.
- [6] 邹午龙, 宋则周, 张艳明, 等. Logistic 回归模型评估颈动脉斑块新生血管的超声造影分级预测重度脑白质病变的价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2018, 34(1): 1-5.
- [7] Bamber J, Cosgrove D, Dietrich CF, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography[J]. *Ultraschall Med*, 2013, 34(2): 169-184.
- [8] Cosgrove D, Piscaglia F, Bamber J, et al. EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography[J]. *Ultraschall Med*, 2013, 34(3): 238-253.
- [9] 欧阳向柳, 郑立春, 王艳滨, 等. 剪切波弹性成像诊断¹⁸F-FDG PET/CT 显像甲状腺局灶性高代谢偶发瘤[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(10): 1479-1483.
- [10] 崔智飞, 张波涛, 李蒙迪, 等. 超声探头压力对甲状腺实时剪切波弹性成像杨氏模量值的影响[J]. *放射学实践*, 2018, 33(5): 520-524.
- [11] 李易凤, 陈武, 刘晓芳, 等. 剪切波弹性成像在乳腺结节 BI-RADS 3、4a 类中的应用价值[J]. *中国超声医学杂志*, 2020, 36(7): 613-616.
- [12] 叶蕾, 王立平, 王心宇, 等. 实时剪切波弹性成像对乳腺小肿块的各向异性与良恶性的评估价值[J]. *放射学实践*, 2019, 34(3): 337-341.
- [13] 王鹏, 唐少珊, 任卫东. 实时剪切波弹性成像测量脾脏硬度评价肝硬化门静脉高压[J]. *中国医学影像技术*, 2018, 34(5): 697-700.
- [14] Huang C, He Q, Huang M, et al. Non-invasive identification of vulnerable atherosclerotic plaques using texture analysis in ultrasound carotid elastography: an In vivo feasibility study validated by magnetic resonance imaging[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2017, 43(4): 817-830.
- [15] Zamani M, Skagen K, Scott H, et al. Advanced ultrasound methods in assessment of carotid plaque instability: a prospective multimodal study[J/OL]. *BMC Neurol*, 2020, 20(1): e39. DOI: 10.1186/s12883-020-1620-z.
- [16] Shah F, Balan P, Weinberg M, et al. Contrast-enhanced ultrasound imaging of atherosclerotic carotid plaque neovascularization: a new surrogate marker of atherosclerosis[J]. *Vasc Med*, 2007, 12(4): 291-297.
- [17] Kim HS, Woo JS, Kim BY, et al. Biochemical and clinical correlation of intraplaque neovascularization using contrast-enhanced ultrasound of the carotid artery[J]. *Atherosclerosis*, 2014, 233(2): 579-583.
- [18] Di Leo N, Venturini L, de Soccio V, et al. Multiparametric ultrasound evaluation with CEUS and shear wave elastography for carotid plaque risk stratification[J]. *J Ultrasound*, 2018, 21(4): 293-300.
- [19] Lou Z, Yang J, Tang L, et al. Shear wave elastography imaging for the features of symptomatic carotid plaques: a feasibility study[J]. *J Ultrasound Med*, 2017, 36(6): 1213-1223.
- [20] 王艳红, 钱林学, 胡向东, 等. 剪切波弹性成像技术评估颈动脉斑块硬度[J]. *临床和实验医学杂志*, 2015, 14(4): 327-330.
- [21] Garrard JW, Ummur P, Nduwayo S, et al. Shear wave elastography may be superior to grey scale median for the identification of carotid plaque vulnerability: a comparison with histology[J]. *Ultraschall Med*, 2015, 36(4): 386-390.
- [22] Pruijsen JT, de Korte CL, Voss I, et al. Vascular shear wave elastography in atherosclerotic arteries: a systematic review[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(9): 2145-2163.

(收稿日期: 2021-02-14 修回日期: 2021-06-03)