

· 临床研究 ·

超微血流成像联合高级动态血流成像鉴别最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性的价值

周卫卫, 李健, 刘芳欣, 许廷兰

摘要 **目的** 探讨超微血流成像(SMI)联合高级动态血流成像(ADF)鉴别最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性的临床价值。**方法** 选取我院经手术病理证实的 78 例女性乳腺结节患者(共 81 个病灶),其中良性结节 47 个,恶性结节 34 个,均行 SMI 和 ADF 获取病灶血流分级和血管形态特征,比较良恶性结节上述检查结果的差异。分析 SMI、ADF 及两者联合应用鉴别 BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性的诊断效能,采用 *Kappa* 检验分析其与病理结果的一致性。**结果** SMI 检查显示乳腺良恶性结节血流分级和血管形态特征比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$);ADF 检查显示乳腺良恶性结节血流分级和血管形态特征比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。SMI 准确诊断 BI-RADS 4 类乳腺良性结节 38 个,恶性结节 28 个,诊断灵敏度、特异度、准确率分别为 82.35%、80.85%、81.48%;ADF 准确诊断 BI-RADS 4 类乳腺良性结节 32 个,恶性结节 25 个,诊断灵敏度、特异度、准确率分别为 73.53%、68.09%、70.37%;两者联合应用准确诊断 BI-RADS 4 类乳腺良性结节 35 个,恶性结节 33 个,诊断灵敏度、特异度、准确率分别为 97.06%、74.47%、83.95%。SMI、ADF 及两者联合应用与病理结果的一致性均中等($Kappa=0.632, 0.406, 0.685$, 均 $P < 0.05$)。**结论** SMI 联合 ADF 可以提高最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性的鉴别诊断效能,具有一定的临床价值。

关键词 超微血流成像;高级动态血流成像;BI-RADS 分类;乳腺结节,良恶性

[中图法分类号]R445.1;R737.9

[文献标识码]A

Value of superb microvascular imaging combined with advanced dynamic flow in differentiating benign and malignant BI-RADS category 4 breast nodules with a maximum diameter of ≤ 10 mm

ZHOU Weiwei, LI Jian, LIU Fangxin, XU Tinglan

Department of Ultrasound, Bozhou People's Hospital, Bozhou 236800, China

ABSTRACT **Objective** To explore the clinical value of superb microvascular imaging (SMI) combined with advanced dynamic flow (ADF) in differentiating benign and malignant BI-RADS category 4 breast nodules with a maximum diameter of ≤ 10 mm. **Methods** A total of 78 female patients with 81 breast nodules confirmed by surgical pathology in our hospital were enrolled, including 47 benign nodules and 34 malignant nodules. All patients underwent SMI and ADF examinations to obtain blood flow grading and vascular morphology characteristics. The differences of above examination results between the benign and malignant nodules were compared. The diagnostic performance of SMI, ADF, and their combined application in differentiating benign and malignant BI-RADS category 4 breast nodules was analyzed, and the consistency with pathological results was assessed by the *Kappa* test. **Results** There were significant differences in blood flow grading and vascular morphology characteristics between benign and malignant nodules by both SMI and ADF (all $P < 0.001$). SMI accurately diagnosed 38 benign nodules and 28 malignant nodules, with a sensitivity, specificity, and accuracy of 82.35%, 80.85%, and 81.48%, respectively. ADF accurately diagnosed 32 benign nodules and 25 malignant nodules, with a sensitivity, specificity, and accuracy of 73.53%, 68.09%, and 70.37%, respectively. The combined application of SMI and ADF accurately diagnosed 35 benign nodules and 33 malignant nodules, with a sensitivity, specificity, and accuracy of 97.06%, 74.47%, and 83.95%, respectively. The consistency between SMI, ADF, and their combined application with pathological results was moderate ($Kappa=0.632, 0.406, 0.685$,

respectively, all $P < 0.05$). **Conclusion** The combination of SMI and ADF can improve the diagnostic performance in differentiating benign and malignant BI-RADS category 4 breast nodules with a maximum diameter of ≤ 10 mm, which have a certain clinical value.

KEY WORDS Superb microvascular imaging; Advanced dynamic flow; BI-RADS category; Breast nodules, benign and malignant

乳腺微小癌是指病灶最大径 ≤ 10 mm 的乳腺癌,其具有恶性征象不明显、体积小、症状不典型等特点^[1],临床早期筛查手段有限,检出率不高。BI-RADS 分类虽可提高乳腺结节的诊断准确率^[2],但乳腺微小癌常因影像学表现不典型被归为 BI-RADS 4 类,临床需进行穿刺活检以明确诊断,该方法有创,患者接受度不高,故选择合适的手段无创、准确地判定最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性对临床制定治疗方案及评估预后均有重要意义。超声具有价廉、重复性好、无创等优势,可作为乳腺疾病筛查及诊断的首选方法,不仅可以客观反映结节的形态学特征,还可显示其周围血流情况^[3-4]。其中超微血流成像(superb microvascular imaging, SMI)和高级动态血流成像(advanced dynamic flow, ADF)是临床常用的无创探查血流的超声技术,SMI 通过分析噪声的运动特性,采用自适应算法识别和消除组织运动伪影,有利于显示低速微小血流^[5];ADF 采用宽带发射和接收多普勒成像技术,具有较高的时间和空间分辨率,可以多角度成像,提供高灵敏度和宽视野的血流动态图像^[6]。既往已有研究^[7-8]将其应用于乳腺结节良恶性的鉴别诊断,基于此,本研究旨在探讨 SMI 联合 ADF 鉴别最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性的临床价值。

资料与方法

一、研究对象

选取 2020 年 6 月至 2024 年 3 月我院经病理确诊的 78 例女性乳腺结节患者,其中良性结节 47 例(47 个结节),年龄 26~56 岁,平均(45.15 $\pm$ 6.89)岁,结节最大径 3~10 mm,平均(6.55 $\pm$ 1.42)mm;恶性结节 31 例(34 个结节),年龄 29~63 岁,平均(46.31 $\pm$ 6.52)岁,结节最大径 3~10 mm,平均(6.56 $\pm$ 1.59)mm。两组年龄、结节最大径比较差异均无统计学意义。纳入标准:①常规超声检查发现乳腺实性结节;②结节最大径 ≤ 10 mm 且 BI-RADS 分类为 4 类;③接受 SMI 和 ADF 检查;④经穿刺活检或手术获得病理结果;⑤结节分类及诊断依据参考 2012 年版 WHO 乳腺肿瘤组织学分类^[9]。排除标准:①患侧乳腺有外科治疗史或放化疗治疗史;

②临床资料不完整。本研究经我院医学伦理委员会批准,所有患者均知情同意。

二、仪器与方法

1. 仪器:使用 GE Logiq E11 和迈瑞 Resona 7EXP 彩色多普勒超声诊断仪, L3-12-D 探头,频率 4~12 MHz; L11-3U 探头,频率 3~10 MHz。

2. 超声检查:患者取平卧位,以乳头为中心应用常规超声顺时针观察乳腺结节位置、数目及大小,然后启动 SMI,避免对结节加压,根据其内血流速度调整速度标尺,并调整增益以改善图像显示效果,确保能够清晰显示低速微小血管的血流信号,获取感兴趣区的血流情况,在血流束显示最为丰富的切面记录结节的血管形态特征;ADF 检查时将取样框定位于结节,适当调节大小以清晰显示其内血流情况并储存图像。所有超声检查及图像判读由 2 名具有 5 年以上乳腺超声工作经验的医师采用双盲法完成,若意见存在分歧则经商讨或求助上级医师得出一致结论。

3. 诊断标准:①结节血流分级采用 Adler 半定量法^[10],具体为:0 级,未探及血流信号;I 级,可探及 1 个或 2 个点状血流信号;II 级,可探及 1 条主要血管或数条小血管;III 级,可探及 ≥ 4 条血管。本研究将血流分级 0~I 级结节判为良性,II~III 级结节判为恶性。②结节血管形态特征评估采用左文思等^[11]方法,具体为:无血管型,未探及明显血流信号;线型,可探及 1~2 条细线状血流信号;树枝型,血管分布呈树枝样,管径较为均匀;残根型,血管走行紊乱,病灶周围可探及 2 条以下的血管,增粗扭曲排列;蟹足型,病灶周围可探及 2 条以上较粗血管,呈放射状或微小毛刺状。本研究将血管形态特征表现无血管型、线型和树枝型的结节判为良性,残根型和蟹足型的结节判为恶性。③SMI 联合 ADF 诊断良恶性标准:采用并联方法,若其中 1 种方法诊断为恶性,即为恶性^[12]。

三、统计学处理

应用 SPSS 22.0 统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用独立样本 t 检验;计数资料以频数或率表示,采用 χ^2 检验;等级资料比较采用秩和检验。绘制四格表计算 SMI、ADF 及两者联合应用鉴别最大径 ≤ 10 mm

BI-RADS 4类乳腺结节良恶性的诊断效能。一致性分析采用Kappa检验, $Kappa \geq 0.7$ 为一致性好, $Kappa$ 0.4~0.7为一致性中等, $Kappa < 0.4$ 为一致性差。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、BI-RADS分类及病理结果

47个良性结节中, BI-RADS分类4A类41个, 4B类6个, 其中纤维腺瘤28个, 导管内乳头状瘤14个, 积乳囊肿2个, 不典型增生2个, 腺病1个; 34个恶性结节中, BI-RADS分类4A类10个, 4B类15个, 4C类9个, 其中浸润性癌28个, 导管内癌5个, 浸润性微乳头状癌1个。

二、SMI和ADF对BI-RADS 4类乳腺结节的诊断结果

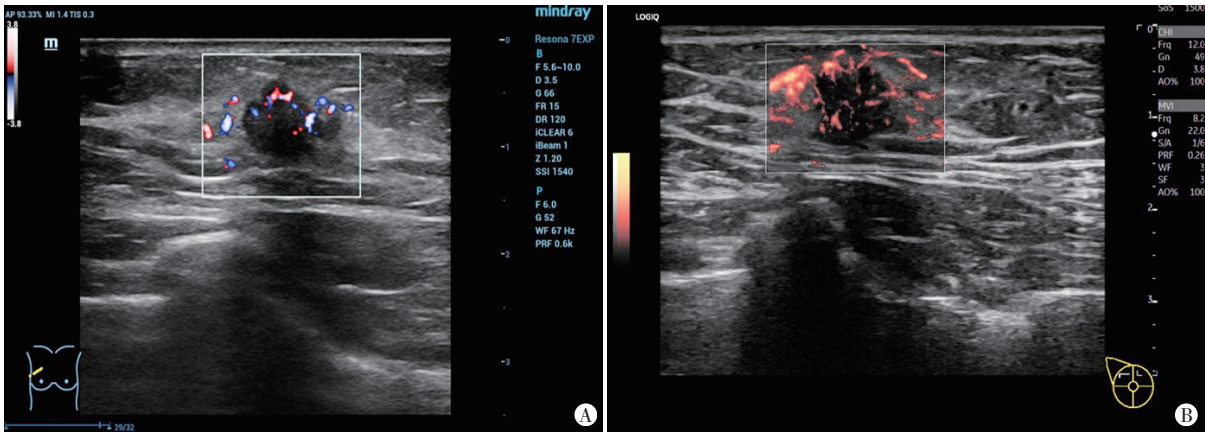
BI-RADS 4类乳腺良恶性结节的超声图见图1, 2。

1. 47个良性结节中, SMI检出血流分级0级24个、

I级18个、II级3个、III级2个, 血管形态为无血管型24个、线型11个、树枝型9个、残根型2个、蟹足型1个; 34个恶性结节中, SMI检出血流分级0级1个、I级2个、II级10个、III级21个, 血管形态为无血管型1个、线型1个、树枝型6个、残根型18个、蟹足型8个。SMI诊断良恶性结节血流分级和血管形态特征比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。见表1。

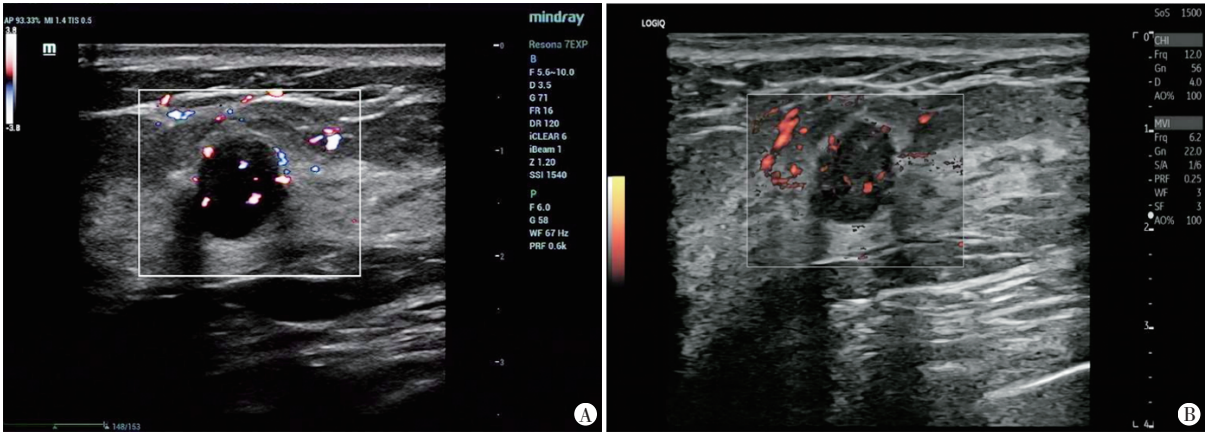
2. 47个良性结节中, ADF检出血流分级0级26个、I级18个、II级2个、III级1个, 血管形态为无血管型26个、线型9个、树枝型7个、残根型4个、蟹足型1个; 34个恶性结节中, ADF检出血流分级0级6个、I级7个、II级9个、III级12个, 血管形态为无血管型6个、线型2个、树枝型8个、残根型11个、蟹足型7个。ADF诊断良恶性结节血流分级和血管形态特征比较差异均有统计学意义(均 $P < 0.001$)。见表2。

三、SMI、ADF及两者联合应用对BI-RADS 4类乳腺结节的诊断效能



A: ADF示结节内探及多个血流信号, 血流分级Ⅲ级, 血管形态为蟹足型; B: SMI示结节内及其周边探及较丰富的血流信号, 见穿支血流及细小血流分支, 血流分级Ⅲ级, 血管形态为蟹足型

图1 BI-RADS 4类乳腺恶性结节患者(52岁, 乳腺浸润性癌)ADF和SMI图



A: ADF示结节内探及多个点状条状血流信号, 血流分级Ⅱ级, 血管形态为线型; B: SMI示结节内及其周边探及丰富点状及短条状血流信号, 血流分级Ⅲ级, 血管形态为线型

图2 BI-RADS 4类乳腺良性结节患者(46岁, 乳腺纤维腺瘤)ADF和SMI图

表 1 SMI 诊断 BI-RADS 4 类乳腺良恶性结节血流分级和血管形态比较 个

病理结果	血流分级				血管形态				
	0 级	I 级	II 级	III 级	无血管型	线型	树枝型	残根型	蟹足型
良性(47)	24	18	3	2	24	11	9	2	1
恶性(34)	1	2	10	21	1	1	6	18	8
χ^2/Z 值	45.606				42.421				
<i>P</i> 值	<0.001				<0.001				

表 2 ADF 诊断 BI-RADS 4 类乳腺良恶性结节血流分级和血管形态比较 个

病理结果	血流分级				血管形态				
	0 级	I 级	II 级	III 级	无血管型	线型	树枝型	残根型	蟹足型
良性(47)	26	18	2	1	26	9	7	4	1
恶性(34)	6	7	9	12	6	2	8	11	7
χ^2/Z 值	24.071				20.781				
<i>P</i> 值	<0.001				<0.001				

SMI 准确诊断 BI-RADS 4 类乳腺良性结节 38 个,恶性结节 28 个,诊断灵敏度、特异度、准确率分别为 82.35%、80.85%、81.48%;ADF 准确诊断 BI-RADS 4 类乳腺良性结节 32 个,恶性结节 25 个,诊断灵敏度、特异度、准确率分别为 73.53%、68.09%、70.37%;两者联合应用准确诊断 BI-RADS 4 类乳腺良性结节 35 个,恶性结节 33 个,诊断灵敏度、特异度、准确率分别为 97.06%、74.47%、83.95%。见表 3。

表 3 SMI、ADF 及两者联合应用诊断结果 个

方法	病理结果	
	良性	恶性
SMI		
良性	38	6
恶性	9	28
ADF		
良性	32	9
恶性	15	25
联合应用		
良性	35	1
恶性	12	33

四、一致性分析

SMI、ADF 及两者联合应用鉴别诊断 BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性与病理结果的一致性均为中等($Kappa=0.632、0.406、0.685$,均 $P<0.05$)。

讨 论

影像学检查是乳腺癌早期筛查的主要手段,其中超声具有无创、实时及组织分辨率高等优势,已成为乳腺病变筛查和诊断的首选影像学检查方法。目前乳腺结节的超声诊断主要以 BI-RADS 分类为依据,但由于最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4 类乳腺结节因体积较

小,常规超声观察其形态、走行及回声特征存在重叠,导致鉴别诊断存在一定困难,因此亟需寻找一种更加精准、可靠的影像学检查方法以提高对 BI-RADS 4 类乳腺结节的诊断效能。近年来,SMI 和 ADF 在乳腺病变的超声筛查和诊断中逐渐得到应用,ADF 技术主要反映结节的新生血管血流情况,但对微血管的评估效果较为有限;而 SMI 包括彩色模式和灰阶模式,具有高帧频成像、运动伪像小的优点,可显示低速血管微小血管,弥补了 ADF 的不足,联合应用可进一步提高对 BI-RADS 4 类乳腺结节的诊断准确性。基于此,本研究旨在探讨 SMI 联合 ADF 鉴别最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性的临床价值。

结节内新生血管形成与其大小有一定关系,恶性结节多为血管依赖性病变,其形成、浸润、转移与新生血管及微血管发育相关,故检测新生血管血流情况和血管形态有助于判定结节良恶性^[13]。本研究 SMI、ADF 检查结果显示,良性结节以 0、I 级血流分级多见,而恶性结节以 II、III 级血流分级多见;良恶性结节血流分级和血管形态特征比较差异均有统计学意义(均 $P<0.001$),提示血流分级越高,血管形态越杂乱,BI-RADS 4 类乳腺结节的恶性占比越高。既往研究^[14]显示,乳腺恶性结节血流分级 II、III 级占比更高,本研究结果与其一致。

既往研究^[15]显示,BI-RADS 分类联合 SMI 在乳腺结节良恶性鉴别诊断中具有一定价值,本研究在此基础上进一步联合 ADF,结果显示 SMI 联合 ADF 鉴别诊断 BI-RADS 4 类乳腺结节良恶性的灵敏度、特异度、准确率分别为 97.06%、74.47%、83.95%,联合应用的灵敏度较单独 SMI、ADF 的灵敏度(82.35%、73.53%)显著提高,分析原因主要在于 SMI 和 ADF 在血流检测方面

具有互补性。SMI采用先进的滤波技术,不仅能够有效消除组织运动的伪影干扰,还可精准检测低速微小血流信号,从而清晰显示病灶内部及周围微血管形态学特征,在识别恶性肿瘤新生血管方面具有显著优势,提高了恶性结节的检出率^[16]。然而,单独使用SMI仍可能漏诊部分低流速的恶性结节,ADF作为一种动态血流成像技术,能够实时、精准地观察结节内部及周围的血流方向、流速、分布特征^[17],弥补了SMI在动态血流评估方面的局限性。因此,二者联合应用可最大限度地降低假阴性率,提高恶性结节的检出率。本研究联合应用的特异度(74.47%)虽较单独SMI的特异度(80.85%)有所下降,但仍优于单独ADF的特异度(68.09%),这可能与ADF对部分良性结节的血流信号放大作用有关,导致部分炎性病变或增生性病变的血流表现与恶性结节相似,使假阳性率有所增加。本研究联合应用的准确率(83.95%)仍保持在较高水平,这得益于SMI在血管形态特征分析方面具有较高的分辨率,可有效识别恶性结节常见的紊乱、新生血管模式,从而减少了对部分良性结节的误诊。

本研究一致性分析显示,SMI、ADF及两者联合应用鉴别诊断BI-RADS 4类乳腺结节良恶性与病理结果的一致性均为中等($Kappa=0.632、0.406、0.685$,均 $P<0.05$),且联合应用与病理结果的一致性仍高于单独使用SMI或ADF,进一步证实了两种技术联合应用具有互补的优势。提示将SMI与ADF联合应用可作为鉴别诊断BI-RADS 4类乳腺结节良恶性的优化方案,提高对乳腺病变的精准评估能力,为临床决策提供更可靠的影像学依据。

综上所述,SMI联合ADF能够准确显示结节血流分级,并获取其血管形态特征,可以有效提高鉴别最大径 ≤ 10 mm BI-RADS 4类乳腺结节良恶性的诊断效能,具有较好的临床价值。但本研究为回顾性研究,样本量较小,今后将进一步行大样本、前瞻性研究深入探讨。

参考文献

- [1] 胡姣姣,沈燕,刘森,等. BI-RADS分类联合超声造影及剪切波弹性成像在乳腺微小癌中的诊断价值研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2021, 32(7): 466-469, 475.
- [2] Luo WQ, Huang QX, Huang XW, et al. Predicting breast cancer in breast imaging reporting and data system (BI-RADS) ultrasound category 4 or 5 lesions: a nomogram combining radiomics and BI-RADS[J]. Sci Rep, 2019, 9(1): 11921.
- [3] Wang YW, Kuo TT, Chou YH, et al. Breast tumor classification using short-ResNet with Pixel-based tumor probability map in ultrasound images[J]. Ultrason Imaging, 2023, 45(2): 74-84.
- [4] Aristokli N, Polycarpou I, Themistocleous SC, et al. Comparison of the diagnostic performance of magnetic resonance imaging (MRI), ultrasound and mammography for detection of breast cancer based on tumor type, breast density and patient's history: a review[J]. Radiography (Lond), 2022, 28(3): 848-856.
- [5] 张剑,陈卉,徐斌,等. 超微血管成像、高级动态血流显像、彩色多普勒血流显像对乳腺微小癌的诊断价值及其与病理肿瘤微血管密度的相关性研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2019, 28(9): 787-793.
- [6] 沈萍,龚兆萍,汪敏. 超微血管成像联合剪切波弹性成像在乳腺肿瘤患者良恶性鉴别诊断中的应用及其对诊断价值的影响[J]. 生物医学工程与临床, 2018, 22(4): 418-422.
- [7] 高艳,王会,杨林,等. 超微血流显像联合剪切波弹性成像在最大径 ≤ 2 cm乳腺癌诊断与病理评估中的应用价值[J]. 现代生物医学进展, 2022, 22(20): 3991-3996.
- [8] 陈欣,肖晓云,吴欢,等. 微细血流成像技术在乳腺肿瘤鉴别中的应用[J]. 中国超声医学杂志, 2016, 32(5): 407-410.
- [9] Sinn HP, Kreipe H. A brief overview of the WHO classification of breast tumors, 4th edition, focusing on issues and updates from the 3rd edition[J]. Breast Care (Basel), 2013, 8(2): 149-154.
- [10] Adler DD, Carson PL, Rubin JM, et al. Doppler ultrasound color flow imaging in the study of breast cancer: preliminary findings[J]. Ultrasound Med Biol, 1990, 16(6): 553-559.
- [11] 左文思,金林原,刘新桥,等. 微血管成像联合超声造影5分法对BI-RADS 4类乳腺肿块的诊断价值[J]. 中国超声医学杂志, 2021, 37(9): 974-978.
- [12] 边今怡. 剪切波弹性成像联合超微血管三维立体成像技术对乳腺癌的诊断价值[D]. 大连: 大连医科大学, 2023.
- [13] Zhan J, Diao XH, Jin JM, et al. Superb microvascular imaging—a new vascular detecting ultrasonographic technique for vascular breast masses: a preliminary study[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(5): 915-921.
- [14] 屈茜萍,张杰,胡晓莉,等. 超声“萤火虫”成像联合超微血流显像对乳腺肿块良恶性的鉴别诊断价值[J]. 西部医学, 2023, 35(4): 613-618.
- [15] 李茂谊,罗琴音,陈琛,等. 超微血管成像技术在乳腺超声影像报告和数据库4类乳腺肿块定性诊断中的应用价值[J]. 广西医学, 2019, 41(15): 1902-1905.
- [16] Kisely S, Alotiby MKN, Protani MM, et al. Breast cancer treatment disparities in patients with severe mental illness: a systematic review and Meta-analysis[J]. Psychooncology, 2023, 32(5): 651-662.
- [17] 钟传钰,郑元义. 超声超分辨率微血流成像研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2021, 37(12): 1799-1805.

(收稿日期: 2024-07-04)