



· 论 著 ·

乳腺病灶周围2 mm组织弹性参数对BI-RADS 4类肿块的鉴别诊断价值

邢肖肖^{1,2}, 钱 丰², 张 琪², 刘水清², 谢 潇², 赵 诚¹

1. 青岛大学附属医院超声科, 山东 青岛 266500 ;

2. 苏州大学附属第三医院超声科, 江苏 常州 213000

[摘要] 目的: 通过回顾性研究乳腺影像报告和数据系统 (Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS) 4类肿块, 探讨声触诊弹性成像 (sound touch elastography, STE) 中肿块的杨氏模量硬度值 (Young's modulus of mass, E) 及其周围2 mm壳的杨氏模量硬度值 (Young's modulus of 2 mm shell, S) 对乳腺BI-RADS 4类肿块的鉴别诊断价值。方法: 选取2018年1月—2020年12月于苏州大学附属第三医院就诊的210个BI-RADS 4类乳腺肿块作为训练组, 68个BI-RADS 4类肿块作为验证组, 定量评估病变区 (E_{\max} , E_{mean} , E_{\min} , E_{sd}) 及病变周围宽度为2 mm的腺体组织 (S_{\max} , S_{mean} , S_{\min} , S_{sd}) 的硬度值。以病理学检查结果为金标准, 选取训练组对BI-RADS 4类肿块STE中诊断性能最高的弹性参数, 取其截断值对68个BI-RADS 4类肿块作为验证组进行性能评估, 再分别对本研究组中BI-RADS 4A、4B、4C的肿块进行性能评估。结果: STE中肿块周围2 mm的壳 (S_{\max}) 模量值诊断效能最高。应用 S_{\max} 的最佳截断值 (91.73 kPa) 对68例BI-RADS 4类肿块进行性能评估, 曲线下面积 (area under curve, AUC) 为0.774, BI-RADS 4A组AUC为0.822, 约登指数0.64; BI-RADS 4B组AUC为0.703, 约登指数0.41; BI-RADS 4C组AUC 0.501, 约登指数0.002。结论: STE中 S_{\max} 是鉴别诊断乳腺良恶性病变的重要辅助参数, 对鉴别BI-RADS 4A类乳腺肿块更有价值, 可减少BI-RADS 4A类肿块的不必要活检。

[关键词] 乳腺肿块; 声触诊弹性成像; 乳腺影像报告和数据系统

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2022.05.013

中图分类号: R737.9; R445.1 文献标志码: A 文章编号: 2096-6210(2022)05-0536-07

Application value of 2 mm tissue elasticity parameter around breast lesion to BI-RADS 4 masses XING Xiaoxiao^{1,2}, QIAN Feng², ZHANG Qi², LIU Shuiqing², XIE Xiao², ZHAO Cheng¹ (1. Department of Ultrasound, The Affiliated Hospital of Qingdao University, Qingdao 266500, Shandong Province, China; 2. Departments of Ultrasound, The Third Affiliated Hospital of Soochow University, Changzhou 213000, Jiangsu Province, China)

Correspondence to: ZHAO Cheng E-mail: zhaochengdr@163.com

[Abstract] **Objective:** To investigate the application value of Young's modulus of mass (E) and surrounding Young's modulus of 2 mm shell (S) in sound touch elastography (STE) for breast BI-RADS 4 masses by retrospective study. **Methods:** A total of 210 Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) 4 breast masses treated in The Third Affiliated Hospital of Soochow University from January 2018 to December 2020 were selected as the training group and 68 BI-RADS 4 masses as the verification group. The hardness of the lesion area (E_{\max} , E_{mean} , E_{\min} , E_{sd}) and the glandular tissue around the lesion (S_{\max} , S_{mean} , S_{\min} , S_{sd}) were quantitatively evaluated. Taking the pathological results as the gold standard, the elastic parameters with the highest diagnostic performance in STE of BI-RADS 4 masses in the training group were selected, and their cutoff values were used to evaluate the performance of 68 BI-RADS 4 masses as the verification group, and then the performance of BI-RADS 4A, 4B and 4C masses in this study group were evaluated respectively. **Results:** The diagnostic efficiency of the S_{\max} modulus of 2 mm around the mass was the highest in STE imaging. The best cut-off value of S_{\max} (91.73 kPa) was used to evaluate the performance of 68 cases of BI-RADS 4 masses. The area under curve (AUC) was 0.774, AUC 0.822 and Youden index 0.64 in BI-RADS 4A group; AUC 0.703 and Youden index 0.41 in BI-RADS 4B group, AUC 0.50 and Youden index 0.002 in BI-RADS 4C group, respectively. **Conclusion:** The value of

基金项目: 山东省自然科学基金 (ZR2021MH403)

通信作者: 赵 诚 E-mail: zhaochengdr@163.com

S_{\max} modulus in STE is an important auxiliary parameter in the differential diagnosis of benign and malignant breast lesions, and it is more valuable in distinguishing BI-RADS 4A breast masses, which can reduce the unnecessary biopsy of BI-RADS 4A masses.

[Key words] Breast mass; Sound touch elastography; Breast Imaging Reporting and Data System

乳腺癌既是全球女性最常见的恶性肿瘤，也是癌症死亡的主要病因^[1]。目前，乳腺超声及乳腺X线摄影是乳腺癌诊断和筛查最常用的方法，但乳腺X线摄影对致密性乳腺存在假阴性，超声检查对乳腺病变有较高的灵敏度，但特异度较低。声触诊弹性成像（sound touch elastography, STE）作为一种新的无创技术，可定量地评估乳腺肿块硬度。2018年欧洲超声医学和生物学联合会（European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology, EFSUMB）指南^[2]提出，弹性成像可提高乳腺癌诊断效能，可以辅助常规超声检查诊断。因此，本研究通过应用STE技术对乳腺影像报告和数据库系统（Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS）4类乳腺肿块及其周围2 mm的腺体组织进行定量硬度评估，探讨各弹性参数在鉴别BI-RADS 4类乳腺良恶性病变中的临床价值。

1 资料和方法

1.1 一般资料

选取2018年1月—2020年12月青岛大学附属医院采用超声BI-RADS评估为BI-RADS 4类的乳腺肿块患者210例作为训练组，其中BI-RADS 4A类肿块83例，BI-RADS 4B类肿块49例，BI-RADS 4C类肿块78例；另选取同时期在本院就诊的68例BI-RADS 4类乳腺肿块作为验证组，其中BI-RADS 4A类肿块23例，BI-RADS 4B类肿块20例，BI-RADS 4C类肿块25例。纳入标准：术前均行常规超声及STE检查；肿块必须为BI-RADS 4A、4B、4C类且直径在3 cm以下；弹性超声图像必须包括肿块周边至少2 mm的腺体组织；患者在超声检查前不得对肿块进行干预性的放疗等治疗。本研究经过医院医学伦理委员会审阅同意。

1.2 仪器与方法

采用深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司的

Resona 7超声诊断仪，使用5~14 MHz的线阵探头及STE成像软件。由2名弹性超声经验丰富的医师完成检查。在STE检查中，探头轻贴、垂直于肿块表面的皮肤，以杨氏模量值作为弹性测量模式，将最大弹性值调整为180 kPa。弹性感兴趣区（region of interest, ROI）包含肿块、皮下脂肪层、胸大肌层。Xu等^[3]的研究表明肿瘤周边1~3 mm的腺体组织的最大硬度值对于乳腺良恶性病变的鉴别诊断最为准确。而Xie等^[4]的研究显示，肿瘤周边2 mm壳的最大硬度值对乳腺癌的诊断性能最好。因此本研究选取肿块周围2 mm的腺体组织进行研究分析，STE图像的可信度指数>95%，每个肿块的弹性参数值保留3帧稳定STE图像，分别手动描绘肿块ROI，自动测量周围2 mm腺体组织的定量弹性图（图1），肿块区弹性参数为肿块的杨氏模量最大硬度值（maximum Young's modulus of mass, E_{\max} ）、平均值（ E_{mean} ）、最小值（ E_{\min} ）、离散值（ E_{sd} ），肿块周围2 mm腺体组织弹性参数为壳的杨氏模量最大硬度值（maximum Young's modulus of 2 mm shell, S_{\max} ）、平均值（ S_{mean} ）、最小值（ S_{\min} ）、离散值（ S_{sd} ），取其平均值，以减少测量误差。

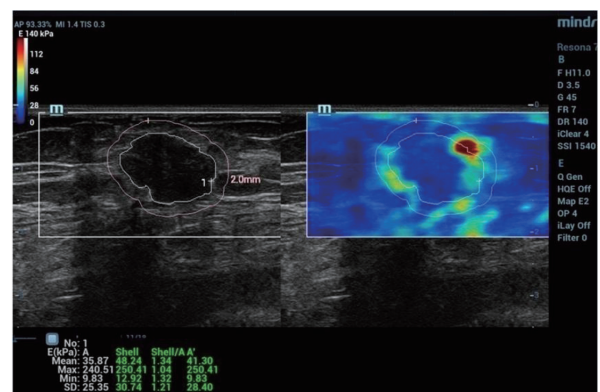


图1 乳腺肿块STE的声像图

STE弹性图像左上角的红色表示病变的硬区，蓝色表示病变的软区。沿着肿块边缘手动描绘ROI为肿块内部， $E_{\max}=240.51$ kPa；其外缘粉色描述ROI为肿块周围宽2 mm腺体组织 $S_{\max}=250.41$ kPa。

1.3 统计学处理

本研究呈正态分布的连续计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 非正态分布采用Mann-Whitney U 检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。采用SPSS 25软件进行统计学分析, 通过受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析, 用约登指数(灵敏度+特异度-1)来确定弹性参数最佳截断值。使用MedCalc统计软件绘制ROC曲线, 比较分析曲线下面积(area under curve, AUC), 评价各组的诊断性能。

2 结果

本研究共纳入210例BI-RADS 4类患者为训练组, 以组织病理学检查结果为金标准, 恶性肿块113例, 年龄(55.46 ± 11.77)岁, 病理学类型包括浸润性导管癌102例, 原位癌7例, 浸润性黏液腺癌1例, 实体乳头状癌1例, 浸润性小叶癌及乳腺肉瘤样癌各1例。良性肿块97例, 年龄

(42.13 ± 11.79)岁, 包括乳腺纤维腺瘤74例, 其他良性病变23例。良恶性组患者年龄比较差异有统计学意义($t=8.17, P < 0.001$)。

另选取同时期在本院就诊的BI-RADS 4类68例作为验证组, 以组织病理学检查结果为金标准, 恶性肿块37例, 年龄(55.87 ± 9.34)岁, 良性肿块31例, 年龄(40.58 ± 12.23)岁。训练组及验证组年龄比较差异无统计学($P=0.351$)。

2.1 BI-RADS 4类肿块STE各弹性参数良恶性的诊断对比

表1总结了乳腺良恶性肿块的 E_{\max} 、 E_{mean} 和 E_{sd} 及肿块周围2 mm壳的 S_{\max} 、 S_{mean} 、 S_{sd} 弹性测量值, 恶性肿块的 E_{\max} 、 E_{mean} 和 E_{sd} 均显著高于良性肿块($P=0.000$), 恶性病变与良性病变之间的 E_{\min} 差异无统计学意义($P=0.087$)。恶性肿块周围2 mm壳的 S_{\max} 、 S_{mean} 和 S_{sd} 均显著高于良性肿块($P=0.000$), 恶性病变与良性病变之间的 S_{\min} 差异无统计学意义($P=0.102$)。

表1 BI-RADS 4类肿块STE各弹性参数良恶性的诊断对比

组别	E_{\max}	E_{mean}	E_{\min}	E_{sd}	S_{\max}	S_{mean}	S_{\min}	S_{sd}
恶性组($n=113$)	135.81	39.75	10.82	12.41	163.27	49.48	10.32	22.74
良性组($n=97$)	85.51	30.81	9.81	10.65	90.96	32.37	9.54	14.77
Z值	-6.44	-5.38	-1.71	-6.62	-7.82	-7.00	-1.63	-6.64
P值	0.000	0.000	0.087	0.000	0.000	0.000	0.102	0.000

各弹性参数单位均为kPa。

2.2 STE中各弹性参数的诊断能力分析

BI-RADS 4类肿块及周围2 mm壳的STE弹性参数的诊断效能详见表2和图2。 E_{\max} ($P < 0.000 1$)的截断值为72.12 kPa, 灵敏度、特异度、阳性似然比(positive likelihood ratio, LR^+)及阴性似然比(negative likelihood ratio, LR^-)分别为90.18%、53.61%、1.94及0.18。 E_{mean} ($P < 0.000 1$)的截断值为30.31 kPa, 灵敏度、特异度、 LR^+ 及 LR^- 分别为83.93%、58.76%、2.04及0.27。 E_{sd} ($P < 0.000 1$)的截断值为9.33 kPa, 灵敏度、特异度、 LR^+ 及 LR^- 分别为95.54%、42.27%、1.65及0.11。病变区中 E_{\max} 的诊断性能最好, AUC为0.762。

S_{\max} ($P < 0.000 1$)的截断值为91.73 kPa, 灵敏度、特异度、 LR^+ 及 LR^- 分别为87.50%、64.95%、2.50及0.19。 S_{mean} ($P < 0.000 1$)的截断值为34.28 kPa, 灵敏度、特异度、 LR^+ 及 LR^- 分别为85.84%、65.98%、2.52及0.21。 S_{sd} ($P < 0.000 1$)的截断值为12.3, 灵敏度、特异度、 LR^+ 及 LR^- 分别为90.18%、48.45%、1.75及0.20。

上述6个参数对乳腺良恶性病变的鉴别价值依次为 $S_{\max} > S_{\text{mean}} > S_{\text{sd}} > E_{\max} > E_{\text{sd}} > E_{\text{mean}}$, 其灵敏度均大于80%。最优参数为 S_{\max} 。

2.3 训练组和验证组的诊断能力分析

基于表2, S_{\max} 显示出最优的诊断性能。将 S_{\max} 的截断值91.73 kPa, 应用于训练组中, AUC

为 0.753 ± 0.02 (95% CI 0.696~0.811) ; 应用于验证组中, AUC值为 0.774 ± 0.05 (95% CI 0.673~0.875) ; 说明 S_{\max} 弹性参数具有良好的诊断能力 (表3, 图3)。

表2 BI-RADS 4类肿块 (E) 及周围2 mm壳 (S) 的弹性参数的诊断效能

弹性参数	截断值/kPa	灵敏度/%	特异度/%	P值	约登指数	AUC	95% CI
E_{\max}	72.12	90.18	53.61	0.000	0.44	0.762	0.697~0.827
E_{mean}	30.31	83.93	58.76	0.000	0.43	0.719	0.648~0.791
E_{sd}	9.33	95.54	42.27	0.000	0.37	0.728	0.660~0.797
S_{\max}	91.73	87.50	64.96	0.000	0.52	0.814	0.756~0.872
S_{mean}	34.28	85.84	65.98	0.000	0.51	0.783	0.721~0.849
S_{sd}	12.30	90.18	48.45	0.000	0.42	0.769	0.706~0.833

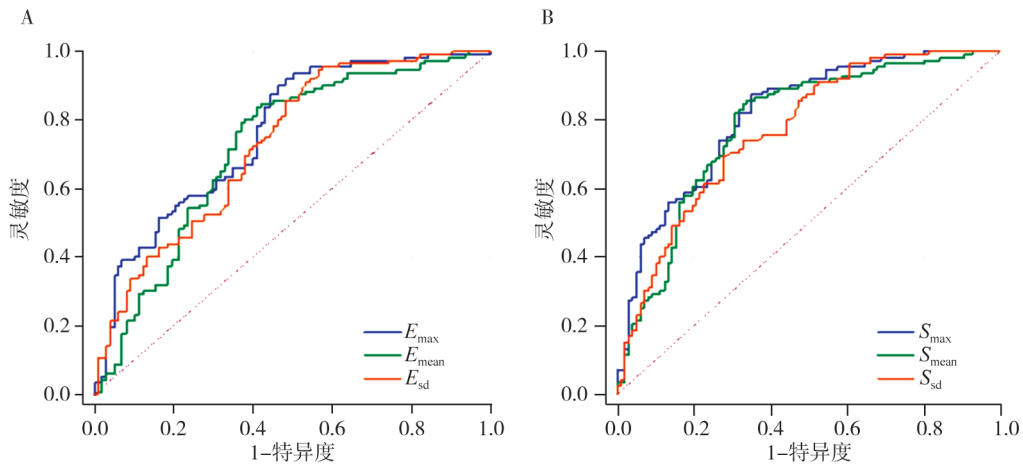


图2 STE中各弹性参数的ROC曲线

A: 肿块内部弹性参数中 E_{\max} 的诊断性能最好。B: 肿块周围2 mm壳的弹性参数中 S_{\max} 的诊断性能最好。

表3 训练组和验证组的诊断能力分析

组别	准确度	灵敏度/%	特异度/%	约登指数	AUC	95% CI
训练组	0.62	86.73	63.73	0.506	0.753	0.696~0.811
验证组	0.63	83.78	73.97	0.547	0.774	0.673~0.875

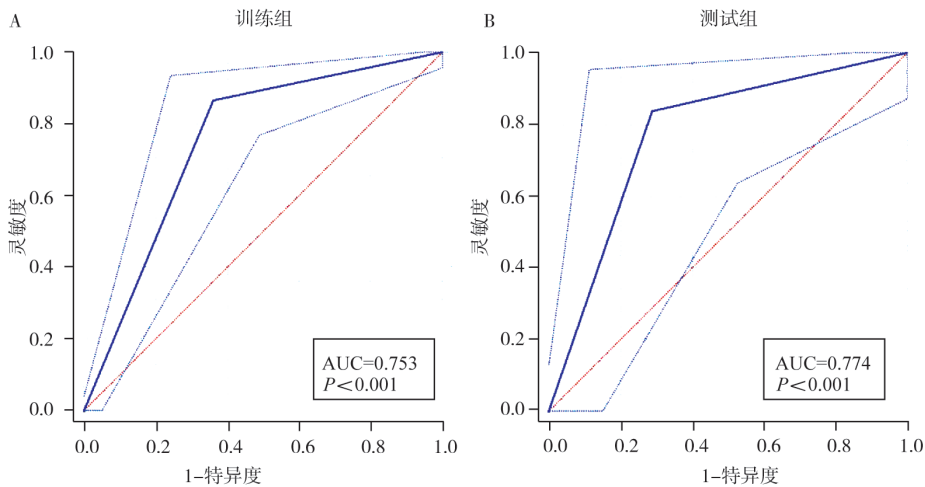


图3 训练组及测试组诊断乳腺癌的ROC曲线

A: 将 S_{\max} 的截断值91.73 kPa, 应用于训练组中, AUC为0.753; B: 将 S_{\max} 的截断值91.73 kPa, 应用于验证组中, AUC为0.774。

2.4 S_{\max} 对BI-RADS 4A、4B、4C类肿块的诊断能力分析

本研究训练组及验证组共纳入278例BI-RADS 4类肿块, 为进一步验证区分度, 分别对BI-RADS 4A、4B、4C肿块绘制ROC曲线。BI-RADS 4A类肿块105例, 恶性肿瘤15例, 良性肿块90例; BI-RADS 4B类肿块68例, 恶性肿瘤42例, 良性肿块26例; BI-RADS 4C类肿块102例, 恶性肿瘤91例, 良性肿块

11例。将 S_{\max} 的截断值应用于BI-RADS 4A、4B、4C组患者中, AUC分别为 0.822 ± 0.04 (95% CI 0.742~0.903)、 0.703 ± 0.05 (95% CI 0.589~0.817)、 0.501 ± 0.04 (95% CI 0.408~0.595), BI-RADS 4A、4B、4C组的约登指数分别为0.644、0.406、0.002 (表4)。BI-RADS 4A类肿块AUC及约登指数最大, 说明 S_{\max} 对BI-RADS 4A类肿块的诊断价值最高、诊断效果最好。

表4 S_{\max} 对BI-RADS 4A、4B、4C类肿块的诊断能力分析

组别	准确度	灵敏度/%	特异度/%	约登指数	AUC	95% CI
BI-RADS 4A	0.74	93.33	71.11	0.644	0.822	0.742~0.903
BI-RADS 4B	0.71	71.43	69.23	0.406	0.703	0.589~0.817
BI-RADS 4C	0.82	91.21	9.09	0.002	0.501	0.408~0.595

3 讨 论

目前, 常规超声对乳腺疾病的评估主要依据2013年美国放射学会 (American College of Radiology, ACR) 制订的BI-RADS分类标准^[5], 此标准减少了超声科医师的主观经验依赖, 对乳腺肿块的特征进行评估, 可明显提高诊断灵敏度, 但特异度偏低。乳腺弹性成像为超声影像提供了新的成像模式, STE技术能够实时提供病变组织的硬度定量的弹性信息, 在一定程度上克服了应变式弹性成像 (strain elastography, SE) 手动激励造成的操作者依赖性, 具有较好的可重复性。本研究应用迈瑞超声诊断仪Resona 7的STE技术通过无压力采集图像, 将ROI沿着肿块轮廓进行描述, 包括最大病变区域及病变周围2 mm的腺体组织, 从而获得病变组织定量参数的杨氏模量值 (E) 及肿块周边2 mm壳的定量参数的杨氏模量值 (S), 探讨分析STE各弹性参数的诊断价值, 为鉴别乳腺肿块良恶性判断提供一定的影像学参考依据。

通常, 乳腺良性肿块和恶性肿瘤的硬度不同, 通过剪切波弹性超声的定量参数评估乳腺肿块的硬度来鉴别肿块良恶性已有报道^[6-7]。既往

文献^[8-10]报道剪切波弹性定量参数在鉴别乳腺良恶性肿瘤方面虽表现各不相同, 但均具有良好的诊断效能。既往研究^[11-13]认为弹性剪切波定量参数中 E_{\max} 诊断性能最好。Evans等^[14]建议应用 E_{mean} 或 E_{sd} 来鉴别乳腺病变, E_{sd} 反映肿块内弹性的均匀性, 恶性肿瘤与乳腺良性肿块相比, 其内部质地更僵硬, 更不均匀。Tozaki等^[15]研究发现恶性乳腺病变在彩色弹性图上表现出典型的肿瘤边缘硬度增加。Zhou等^[16]报道了一些肿瘤周边硬度增加是恶性肿瘤的迹象, 弹性超声表现为“硬环征”。本研究利用STE技术采集各弹性参数 (肿块的 E_{\max} 、 E_{means} 、 E_{\min} 、 E_{sd} 及2 mm壳的 S_{\max} 、 S_{mean} 、 S_{\min} 、 S_{sd}) 并进行统计, 重点分析乳腺肿块本身及周围组织的硬度信息, 其中 E_{\max} 、 E_{mean} 、 E_{sd} 、 S_{\max} 、 S_{mean} 、 S_{sd} 在良恶性病变中差异有统计学意义 ($P < 0.001$)。本研究经ROC曲线分析, 所有参数的灵敏度均大于80%, 研究结果显示在评估乳腺肿块内部及周围2 mm壳的定量弹性参数对乳腺病变的诊断价值中, S_{\max} 表现出最好的诊断效能, S_{\max} 截断值为91.73 kPa时, S_{\max} 的AUC为0.841, 灵敏度为87.50%, 特异度为64.96%。这与Yang等^[7]和Zhang等^[17]的研究结果一致, 但后者是选择宽度为1 mm的周围组织进行研究, 而前者选择1~3 mm的瘤周组织进行

研究,意味着肿块周围1~3 mm的腺体组织均具有较好的诊断价值。Park等^[18]通过以2 mm ROI线性排列在肿瘤内部、瘤周边界及肿瘤周围组织上,结果表明恶性肿瘤呈“快速增减”型,最大硬度值出现在距肿瘤边缘2~4 mm的腺体组织,结果与本研究相似。对于恶性乳腺肿瘤的周围组织通常比内部病变更僵硬这一现象,可解释为瘤周存在与癌症成纤维细胞相关的异常僵硬的胶原蛋白,以及癌细胞浸润到病变周围组织中,引起的促结缔组织增生反应增加了肿瘤周边组织的硬度^[14-16]。本研究 E_{\min} 及 S_{\min} 差异均无统计学意义($P>0.05$),与Zhou等^[16]的研究一致。一种解释为恶性病变内部出现坏死、液化区域,弹性定量参数显示 E_{\min} 较低,肿瘤内部较肿块周边组织更软。另一种解释是,恶性肿瘤周围区域较硬致剪切波能量衰减,导致肿瘤内部为低剪切波振幅,表现为 E_{\min} 较低^[14-19]。

在本研究中,为进一步证实肿块周围组织“硬环征”的诊断性能,重点分析了壳的弹性参数 S_{\max} 的诊断性能,评价其诊断价值。我们将 S_{\max} 以91.73 kPa为截断值,分别应用于训练组及验证组中,训练组的AUC为0.753,验证组的AUC为0.774,说明 S_{\max} 弹性参数在鉴别乳腺良恶性肿瘤方面具有良好的诊断能力。Zhou等^[16]认为由于剪切波能量的衰减,导致肿瘤内部低剪切波振幅,而肿瘤周围组织僵硬,出现“僵硬边缘征”。在乳腺癌浸润性生长过程中,肿瘤组织向周围浸润使得肿块周围的组织僵硬更为显著^[17]。STE作为一种新型弹性成像技术,可以同时提供肿块区和肿块周围组织的弹性特征,有助于识别“硬环征”^[19]。

2015年国际超声工程联合会(World Federation of Ultrasound in Medicine and Biology, WFUMB)发表的指南^[20]中提出弹性超声成像升降级应用只能针对BI-RADS 3类或4A类的乳腺结节,不建议对4B以上的乳腺结节进行降级。BI-RADS 4类病变的恶性风险为2%~95%,尤其是BI-RADS 4A类肿块(恶性风险为2%~10%)。Lin等^[21]研究低度可疑肿块的恶性率为3.9%,意味着90%以上的良性病变接受了不必要的穿刺

活检等检查。因此本研究将BI-RADS 4类肿块进行亚分组后,将 S_{\max} 参数的截断值91.73 kPa分别应用于BI-RADS 4A、4B、4C组,AUC分别为0.822、0.703、0.501,约登指数分别为0.644、0.406、0.002,研究显示 S_{\max} 参数对BI-RADS 4A组诊断效果最好,真实性最大。提示我们在实际工作中可应用 S_{\max} 弹性参数来减少BI-RADS 4A类病变不必要的活检。

本研究结果证实超声STE弹性定量参数中肿块周围2 mm组织的最大硬度值(S_{\max})的诊断效能最高,特别是应用在BI-RADS 4A类低度可疑肿块中,STE可作为一项辅助诊断,帮助超声分类系统减少乳腺良性肿块不必要的活检,从而提高诊断的可信度。

[参 考 文 献]

- [1] BRAY F, FERLAY J, SOERJOMATARAM I, et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries [J]. CA A Cancer J Clin, 2018, 68(6): 394-424.
- [2] SÄFTOIU A, GILJA O H, SIDHU P S, et al. The EFSUMB guidelines and recommendations for the clinical practice of elastography in non-hepatic applications: update 2018 [J]. Ultrascall Med, 2019, 40(4): 425-453.
- [3] XU Y J, GONG H L, HU B, et al. Role of “stiff rim” sign obtained by shear wave elastography in diagnosis and guiding therapy of breast cancer [J]. Int J Med Sci, 2021, 18(15): 3615-3623.
- [4] XIE X, ZHANG Q, LIU S, et al. Value of quantitative sound touch elastography of tissues around breast lesions in the evaluation of malignaney [J]. Clin Radiol, 2021, 76(1): 79.e21-79.e79.e28.
- [5] Mendelson E B, Böhm-Vélez M, Berg W A, et al. (2013) ACR BI-RADS ultrasound [M] // ACR BI-RADS Atlas, Breast Imaging Reporting and Data System. 5th ed. Reston: American College of Radiology, 2013: 128-130.
- [6] 王 颖, 孔文韬, 周玮珺, 等. 剪切波弹性成像技术在定性及定量诊断乳腺肿块中的应用价值 [J]. 中华医学杂志, 2019, 99(27): 2111-2114.
- [7] YANG H, XU Y Y, ZHAO Y N, et al. The role of tissue elasticity in the differential diagnosis of benign and malignant breast lesions using shear wave elastography [J]. BMC Cancer, 2020, 20(1): 930.
- [8] LIU B X, ZHENG Y L, HUANG G L, et al. Breast lesions: quantitative diagnosis using ultrasound shear wave elastography—a systematic review and meta: analysis [J]. Ultrasound Med Biol, 2016, 42(4): 835-847.

- [9] 郑梅娟, 薛恩生, 林振湖, 等. BI-RADS联合弹性评分及弹性应变率比值对乳腺病灶的诊断价值 [J] . 肿瘤影像学, 2020, 29(5): 436-441.
- [10] 李 娅, 汤四新, 张 恒. 超声BI-RADS分级结合SWE技术在诊断乳腺良恶性病变中的价值 [J] . 肿瘤影像学, 2020, 29(4): 393-396.
- [11] 史宪全, 李俊来, 李秋洋, 等. 超声剪切波弹性模量参数在评估乳腺良恶性病灶中的应用价值比较 [J] . 中国医学科学院学报, 2015, 37(3): 294-299.
- [12] WANG Z L, LI J L, LI M, et al. Study of quantitative elastography with supersonic shear imaging in the diagnosis of breast tumours [J] . Radiol Med, 2013, 118(4): 583-590.
- [13] LEE E J, JUNG H K, KO K H, et al. Diagnostic performances of shear wave elastography: which parameter to use in differential diagnosis of solid breast masses? [J] . Eur Radiol, 2013, 23(7): 1803-1811.
- [14] EVANS A, WHELEHAN P, THOMSON K, et al. Quantitative shear wave ultrasound elastography: initial experience in solid breast masses [J] . Breast Cancer Res, 2010, 12(6): R104.
- [15] TOZAKI M, FUKUMA E. Pattern classification of ShearWave™ elastography images for differential diagnosis between benign and malignant solid breast masses [J] . Acta Radiol, 2011, 52(10): 1069-1075.
- [16] ZHOU J Q, ZHAN W W, CHANG C, et al. Breast lesions: evaluation with shear wave elastography, with special emphasis on the “stiff rim” sign [J] . Radiology, 2014, 272(1): 63-72.
- [17] ZHANG L, XU J F, WU H Y, et al. Screening breast lesions using shear modulus and its 1 mm shell in sound touch elastography [J] . Ultrasound Med Biol, 2019, 45(3): 710-719.
- [18] PARK H S, SHIN H J, SHIN K C, et al. Comparison of peritumoral stromal tissue stiffness obtained by shear wave elastography between benign and malignant breast lesions [J] . Acta Radiol, 2018, 59(10): 1168-1175.
- [19] ITOH A, UENO E, TOHNO E, et al. Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis [J] . Radiology, 2006, 239(2): 341-350.
- [20] BARR R G, NAKASHIMA K, AMY D, et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: part 2: breast [J] . Ultrasound Med Biol, 2015, 41(5): 1148-1160.
- [21] LIN X, CHANG C, WU C J, et al. Confirmed value of shear wave elastography for ultrasound characterization of breast masses using a conservative approach in Chinese women: a large-size prospective multicenter trial [J] . Cancer Manag Res, 2018, 10: 4447-4458.

(收稿日期: 2022-01-17 修回日期: 2022-03-29)