

· 专家述评 ·



周建桥，上海交通大学医学院附属瑞金医院超声医学科主任医师，博士研究生导师，2020年度上海智慧工匠，2023年度上海优秀学术带头人。长期从事甲状腺、乳腺等浅表器官的常规超声诊断、超声引导下介入诊断与介入治疗研究、分子影像学研究。

2013年版超声BI-RADS出版10年：回顾与展望

卫旻炎，周建桥

上海交通大学医学院附属瑞金医院超声医学科，上海 200025

[摘要] 自2013年美国放射学会出版第二版乳腺影像报告和数据系统（Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS）后，乳腺超声的临床实践与科学研究均从中获益。本文总结了2013年版超声BI-RADS出版这10年间，乳腺超声影像技术临床应用与革新、存在的问题与面临的挑战及未来的发展机遇，以期为临床诊治、指南推广与应用提供帮助。

[关键词] 乳腺超声；乳腺影像报告和数据系统；超声；弹性成像；人工智能

中图分类号：R737.9；R445.1 文献标志码：A DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2024.01.003

The second edition of ultrasound BI-RADS published for a decade: retrospection and prospect WEI Minyan, ZHOU Jianqiao (Department of Ultrasound, Ruijin Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200025, China)

Correspondence to: ZHOU Jianqiao E-mail: zhousu30@126.com

[Abstract] Since the American College of Radiology published the second edition of the Breast Imaging Reporting and Data System (BI-RADS) in 2013, both the clinical practice and scientific research of breast ultrasound have greatly benefited. This article summarized the clinical applications and innovations, existing issues and challenges, as well as future development opportunities of breast ultrasound imaging technology in the ten years since the publication of the second edition of Ultrasound BI-RADS in 2013. The aim was to provide valuable insights and assistance for clinical diagnosis and treatment, guideline promotion, and application.

[Key words] Breast ultrasound; Breast Imaging Reporting and Data System; Ultrasound; Elastography; Artificial intelligence

19世纪80年代，美国放射学会（American College of Radiology, ACR）提出，需要一个系统的、标准化的评估体系以提高乳腺病变影像诊断的准确度和一致性，并于1993年出版了首版乳腺影像报告和数据系统（Breast Imaging Reporting

and Data System, BI-RADS），此后进行了4次版本的修订与更新。由于超声在乳腺病变的诊断过程中有着越来越重要的价值，2003年ACR出版了第一版超声BI-RADS，并在2013年第二版进行了较多内容扩充。从出版到现在，这10年间

基金项目：国家自然科学基金（82071928）

通信作者：周建桥 E-mail: zhousu30@126.com

2013年版超声BI-RADS规范了乳腺超声成像, 实现了临床获益, 也促进了乳腺超声的科研工作。乳腺超声影像技术在持续发展, 多模态超声、超声人工智能等科技进步给超声BI-RADS在临床上的应用提出了新挑战, 同时也带来更多机遇。本文总结这10年间, 2013年版超声BI-RADS的临床应用概况, 以及技术革新给超声BI-RADS带来的挑战与机遇, 以期为临床诊治、指南推广与应用提供帮助。

1 基于传统超声的BI-RADS的临床应用

乳腺超声成像的质量保证是乳腺病变诊断中不可或缺的一环。2013年版超声BI-RADS强调了乳腺超声成像质控的重要性, 并且为保证乳腺超声的图像质量提供了可靠依据。中国《乳腺疾病超声检查质量控制专家共识(2019版)》也明确说明了乳腺超声成像中仪器调节的重要性, 并提出应利用BI-RADS分类对病灶进行分类、生成结构式报告以便于质量控制^[1]。2022年的一项调查^[2]显示, 在中国, 2013年版超声BI-RADS的平均使用率为87%, 其使用率与所在区域人均GDP、医院等级、高学历医师比例以及医师年龄 ≤ 35 岁的比例呈正相关。超声BI-RADS通过标准的诊断, 使不同地域、不同单位、不同学科医师之间的交流更为顺畅, 能够更准确地传达患者信息, 有助于提高诊断一致性, 减少误诊的风险。需要注意的是, 对超声BI-RADS的正确理解至关重要, 对超声从业人员进行专业的培训可提高其诊断能力^[3]。

目前进行的针对乳腺病变的超声研究多呈现前瞻性、多中心、人工智能逐步参与的趋势。超声BI-RADS通过标准化的评估体系推动了乳腺病变超声影像学研究的深入和广泛开展。He等^[4]利用计算机辅助诊断对中国9家医院的313例患者的乳腺病变进行了超声BI-RADS分类, 并以病理组织学检查结果为金标准评估其诊断效能, 结果显示计算机辅助诊断可提高诊断准确度、特异度和阳性预测值。

此外, 超声BI-RADS的应用使患者能够更好地了解乳腺病变的情况, 从而更主动地参与治疗决策过程, 有利于医患和谐沟通^[5]。

2 超声技术的革新在BI-RADS分类中的应用

2.1 超声弹性成像

弹性成像是利用向组织内施加力使得组织产生一定的形变, 由于组织弹性软硬不同, 信号变化的不同可反映其软硬程度。目前临床上用于诊断乳腺疾病的弹性成像技术主要有两种, 即应变弹性成像(strain elastography, SE)和剪切波弹性成像(shear wave elastography, SWE)。

超声弹性成像作为2013年版超声BI-RADS唯一新纳入词典的新技术, ACR肯定了其术语名称和定义的重要性, 然而仅给出了质软、质中和质硬3种定义, 却没有明确这3种质地与弹性图像或弹性模量之间存在着何种对应关系, 也没有阐述软硬度与BI-RADS分类的内在联系^[6]。SE评估乳腺病变一般使用广为人知的5分评分法, 后续还有使用半定量的应变比或直径比; 利用SWE还可以实现半定量或定量研究, 常用指标包括最大弹性模量值(E_{max})、平均弹性模量值(E_{mean})、最小弹性模量值(E_{min}), 以及病灶周围可见环状硬度增高区域所提示的“硬环征”等^[7]。虽然单独使用SWE并不能代替常规超声, 甚至其诊断效能会低于常规超声, 但SWE联合常规超声检查可以显著提升病变良恶性鉴别能力, 实现BI-RADS降级, 减少不必要的短期随访和穿刺活检。

虽然弹性成像可以提供乳腺病灶更多的临床信息, 但受到病灶大小与深度、患者呼吸、应变力的不稳定性、仪器供应商设置截止值不同等影响^[8], 弹性成像在临床中的应用依然存在一定的局限性。

2.2 超声造影(contrasted-enhanced ultrasound, CEUS)技术

CEUS是利用乳腺恶性病灶内微血管生长、分布、血流灌注通常与良性病变不同的特点, 在临床上通过静脉注射含有惰性气体的纯血池微泡超声造影剂[如声诺维(SonoVue)、示卓安(Sonazoid)等], 定性观察病灶部位增强时间快慢、均匀性、强度、范围、边缘、灌注缺损、血管生长及灌注等信息, 也可定量分析峰值强度(peak intensity, PI)、达峰时间(time to peak,

TTP)、上升斜率(ascending slope, AS)、曲线下面积(area under curve, AUC)等参数,从而为临床提供更多诊断信息。Wubulhasimu^[9]等进行的一项meta分析显示,在常规超声的基础上增加CEUS检查可提高乳腺病变良恶性鉴别诊断的性能,尤其是在超声BI-RADS 3~5类的病变中表现出高灵敏度。

袁聪聪等^[10]对超声诊断为BI-RADS 4A~4C类的患者进行CEUS检查,并选择病理学检查结果为单纯乳腺导管原位癌(ductal carcinoma *in situ*, DCIS)及DCIS伴浸润性乳腺癌的患者进行定量分析,发现单纯DCIS患者AUC大、AS高、PI均值高、TTP均值小,且AUC和AS在组间的差异有统计学意义。超声BI-RADS分类联合CEUS还可应用于乳腺非肿块型病变(non-mass lesion, NML)的良恶性鉴别,提高超声对NML的诊断效能^[11-12]。对于淋巴结阴性、乳房腺体致密的年轻女性易出现乳腺X线摄影与常规超声BI-RADS分类不一致的情况,亦有研究^[13]采用CEUS进行重新评估,以减少误诊的可能。

2.3 超微血流成像(superb microvascular imaging, SMI)

肿瘤因其快速生长需要大量营养及氧气供给,往往有新生血管多、可见穿支血管、血管放射性生长等特点,可作为良恶性病变诊断的理论基础。与临床上评价血流状况时广泛采用的彩色多普勒血流成像(color doppler flow imaging, CDFI)相比,SMI通过消除杂波,可保留低速血流信号,提高对肿瘤内微血管显像的灵敏度。

Zhu等^[14]基于超声BI-RADS分类前瞻性地分析了CDFI和SMI对恶性肿瘤的检出率,结果表明,与CDFI(80.00%)相比,SMI的准确度(86.67%)明显更高($P < 0.001$)。微血管密度(micro vessel density, MVD)常被用作SMI定量分析中评价肿瘤生长的指标,高MVD意味着浸润性癌转移风险的增加。Park等^[15]的研究利用SMI对BI-RADS 4A类的乳腺肿块进行MVD参数测定与分析,活检建议的阳性预测值和AUC均有

所提高,且灵敏度没有下降。

2.4 超声-光散射成像(diffuse optical tomography, DOT)

DOT是利用在500~900 nm的近红外光波段下采集乳腺病灶内血红蛋白和脱氧血红蛋白参数,作为肿瘤血管生成和肿瘤缺氧的指标。DOT可作为传统超声检查的补充,结合超声形态特征对乳腺病变进行诊断可提高诊断的灵敏度。

Poplack等^[16]进行的一项前瞻性研究结果表明,超声引导下的DOT可以实现乳腺病变的超声BI-RADS降级,减少了23.5%的不必要活检,且不同于CEUS, DOT无需静脉注射造影剂,可规避超声造影剂过敏等潜在的不良反应风险。亦有研究^[17]表明, DOT虽然可提高BI-RADS最终评估的观察者间一致性,但良恶性鉴别效能并无提升。

2.5 三维超声成像技术

三维超声成像技术通过对全乳腺进行连续的动态扫查,并对感兴趣区(region of interest, ROI)进行三维重建,从而实现对乳腺及周围组织多切面、多方位的观察。三维超声下,恶性乳腺肿块往往表现出边缘毛刺、“汇聚征”^[18]、放射样血管等征象,可与乳腺良性病变相鉴别。

自动乳腺全容积成像(automated breast volume scanner, ABVS)通过对乳腺整体进行扫描,并自动调节其深度、频率、聚焦、增益等参数,构建全乳房三维结构。Girometti等^[19]基于超声BI-RADS分类发现ABVS与常规超声在对乳腺肿块的超声表征上有一致性,且ABVS有更好的组织学一致性。此外,在基于超声BI-RADS特征评估诊断效能过程中,ABVS还展现出图像可重复性高、清晰度高、可脱机离线分析、省时快捷等优点,同时克服了常规超声检查对操作者的依赖。但ABVS需处理的ROI数据量大,且无法在单独使用时评估腋窝区域及淋巴结情况^[20],故在临床应用中存在局限性。

3 2013年版超声BI-RADS的不足之处

3.1 超声新技术未融入超声BI-RADS

超声弹性成像、CEUS、SMI、DOT等新技术在乳腺疾病的诊断中显示出了潜在的价值,然

而2013年版超声BI-RADS并未充分整合这些新技术,除超声弹性成像外,其他新技术甚至未在2013年版超声BI-RADS中被提及。另外,由于新技术的产生,BI-RADS的术语存在待补充之处,如2013年版超声BI-RADS乳腺影像词典忽视了ABVS需要对乳腺病变进行冠状面上的成像结果描述^[21]。

3.2 NML的超声词典待补充

BI-RADS的重要内容之一是乳腺影像词典,主要用于对乳腺及乳腺病变特征的规范描述。超声BI-RADS有关“非肿块异常”未来需进一步明确,以减少临床实践中超声科医师使用时的困惑。非肿块异常可归纳为导管异常、腺体低回声区、结构变形、多个小囊肿、无明确导管异常或低回声区的回声灶5个亚型,而NML应狭义地特指乳腺超声检查中非肿块低回声区域^[22]。在磁共振成像检查中对NML有明确的描述与分类^[23],而在超声BI-RADS中,除肿块章节外,仅将钙化、相关特征、特殊征象单独成章,而NML因不符合超声BI-RADS中肿块的定义而缺失合适的描述术语。在临床上,常见如导管内乳头状瘤、上皮增生、硬化性腺病和乳腺炎等乳腺良性疾病,以及DCIS、浸润性导管癌、浸润性小叶癌、炎性乳腺癌等恶性病变均有可能表现为NML,因而临床上对与乳腺肿块相区别的NML进行规范化表述,甚至采用不同的恶性风险分层方法都有着较为强烈的需求。

目前,有研究^[24]使用超声BI-RADS对乳腺NML的恶性风险进行分层,其灵敏度、阳性预测值均较高;亦有研究^[25]发现,相较于普通超声,SWE对NML的诊断性能更佳,可提高阳性预测值,减少不必要的超声BI-RADS 4A类病灶的活检。

3.3 超声BI-RADS 4类的亚分类划分原则待明确

超声BI-RADS 4类病灶恶性可能为3%~94%,跨度太大常给临床决策带来诸多不便,2013年版超声BI-RADS将其分为4A、4B和4C共3个亚类。不同国家和地区也利用分类进行了多中心验证,如Gu等^[26]通过对中国32家医院

2 094例肿块进行前瞻性研究得出超声BI-RADS 4A、4B及4C类的阳性预测值分别为7.4%、61.4%及93.0%。但关于亚分类的具体判定原则,在2013年版超声BI-RADS中有所缺失。有部分研究者提出了亚分类划分方法。如Jales等^[27]提出,超声BI-RADS 4A类的标准:①具有良性特征(低回声、椭圆形、边缘光整、平行位生长、无血供或稀疏血供)的可触及的肿块;②最多只具有以下超声特征中的一种,非平行位、丰富血供、边缘微小分叶、形态不规则,其他均符合良性特征的肿块。超声BI-RADS 4C类的标准:①平行位生长的边缘毛刺肿块;②无论何种形状、生长方位或血管分布的边缘成角或模糊的肿块。而超声BI-RADS 4B类则包含:①复杂囊实性肿块;②其他属于4类但不属于超声BI-RADS 4A和超声BI-RADS 4C类别的肿块。

3.4 需与不同国家国情、医疗状况相适应

由于超声BI-RADS最早是基于Stavros标准^[28]由ACR编写出版,其就诊模式主要基于美国的医疗状况,因此在其他国家和地区的使用过程中,可能会出现一些不适配的情况。如BI-RADS 0类是指完整的检查流程未能完成,通常只有在乳腺筛查时使用,而在一般诊断过程中,在美国乳腺超声检查和乳腺X线摄影检查会在同一个科室完成,故一般不应使用BI-RADS 0类。但在中国,放射诊断科和超声医学科相互独立存在,BI-RADS 0类的使用因而会存在一定的理解性差异^[6]。

另外,人种之间的不同可能也会影响BI-RADS的解读,如Interlenghi等^[29]指出亚洲女性的乳房密度高于高加索女性,可能影响病变与周围组织之间的关系,因此目前即使基于多中心研究^[30-31]所提出的操作指南往往也仅适用于同一国家内。

4 对超声BI-RADS的未来展望

4.1 人工智能(artificial intelligence, AI)与超声BI-RADS

常见的AI模型有机器学习、深度学习(deep learning, DL)、卷积神经网络等^[32]。Gu等^[33]利用DL进行了前瞻性的多中心研究,可

对乳腺病变同时进行二元良恶性分类和超声BI-RADS分类,以此尝试构建乳腺病变风险分类系统,其表现与经验丰富的超声科医师相似。

通过监督学习、无监督学习或强化学习, AI在乳腺癌筛查、检测、鉴别诊断、分子亚型、治疗反应和预后预测等方面都具有重要价值,超声影像组学逐渐得到发展。超声影像组学可通过深度挖掘超声影像数据,找出疾病内涵特征,从而反映人体“基因-细胞-组织-影像”间的变化与联系,对乳腺肿瘤分型、指导治疗方案选择和患者预后分析有着重要作用^[34]。目前利用影像组学原理,已有基于超声BI-RADS对乳腺病变超声图像进行高通量特征提取,以用于常规超声图像的良恶性病变鉴别的研究^[35]。虽然有诸多研究^[36]显示,超声影像组学的诊断效能可与超声专家相媲美,但目前多为回顾性、小样本研究,需要大规模、高质量的数据以进行前瞻性、多中心研究验证。

4.2 多模态超声与超声BI-RADS

广义的多模态研究往往是基于乳腺X线摄影、超声、磁共振成像等影像学检查^[37],随着超声新技术的发展,超声已逐步发展出狭义的多模态趋势。既往研究^[38]表明,如仅使用灰阶超声对乳腺病变的诊断灵敏度仅为87%,特异度为72%;CEUS对乳腺病变的诊断灵敏度为93%,特异度为86%,而如果联合使用CEUS与灰阶超声的双模态诊断,灵敏度可提升至94%,特异度为86%。另有研究^[39]表明,由于超声BI-RADS 4类结节恶性概率跨度大,单模态的灰阶成像、超声弹性成像、ABVS的灵敏度和特异度均 $\leq 85\%$,效果难以令人满意,而如果三者联合分析诊断,灵敏度则提升至98.8%,特异度提升至91.1%,达到较为理想的水平。Liu等^[40]使用常规超声+CEUS+SWE多模态结合进行研究,结论与上述一致。Kapetas等^[41]将常规超声、CDFI、弹性成像、CEUS多模态超声进行定量多参数综合研究,展现出较佳的乳腺癌诊断性能。亦有Li等^[42]对乳腺肿块性病变与NML进行了多模态的相关研究,结果表明,常规超声、CEUS、SWE多模态超声联合对乳腺肿块性病变与乳腺NML的

良恶性鉴别均有重要的诊断价值,尤其是可显著提高对肿块性病变的诊断效能。

但多模态超声面临着标准化和一致性的问题,这与超声BI-RADS的初衷不谋而合。另外,多模态超声各技术的复杂性可能对不同地区、不同医疗机构和医师的技术水平提出了一定的要求,限制了其在某些医疗条件下的推广和应用,对超声医师进行规范化的统一培训和教育尤为重要^[43]。

4.3 远程超声与超声BI-RADS

随着通信技术、互联网和便携式超声的不断发展,远程超声可以对乳腺影像数据进行云端传输或储存,实现远程会诊,使得优质医疗资源得以下沉。在协助诊断层面,目前远程超声主要存在异步和同步两种模式。异步模式是收集、存储乳腺超声检查图像及数据,发送给会诊端专家进行解释,不需要实时在线交流。但可能存在数据远程传输速度较慢,传输过程中图像压缩导致图像分辨率下降、患者失访等问题^[44]。同步模式是指会诊端专家实时指导远程端操作医师或机器人进行超声检查,并将超声画面实时传输,从而给出准确的诊疗方案。He等^[45]利用基于5G技术远程机器人超声系统为中国偏远及乡村地区提供有效的乳腺检查,可获得与普通超声质量相当的乳腺检查图像和一致的超声BI-RADS分类诊断结果。另外,不同于以往需要医师线下实地教学,远程超声还有利于超声从业人员的培训与教育,未来可在一定程度上推进超声BI-RADS在更大区域内的应用。但远程超声所需基础建设的复杂性、信息传输的安全性和培训和操作的规范性依然在一定程度上限制着其发展。

5 总结与展望

自2013年版超声BI-RADS出版,10年里乳腺超声影像技术迎来了多项技术革新和推广应用——从弹性成像的蓬勃发展,再到CEUS、SMI、DOT、三维成像等新技术的引入,都为医师提供了更全面、精准的诊断工具,为患者带来更优质的医疗服务。然而,完美的标准其实并不存在,超声BI-RADS在推广和应用中也遇到了需要深入研究并解决的难题。此外,人工智能、互

联通信等科技发展也给BI-RADS未来的发展带来更多的机遇与可能性。

总而言之, 乳腺超声影像技术已经进入蓬勃发展的时期, 随着新理论的提出, 新技术的升级, 未来充满了更多的可能性和挑战。我们可以期待超声BI-RADS朝着更便捷、更智能、更精准、更全面的方向继续发展, 为临床诊治、指南推广和实际应用提供更为创新和高效的解决方案。

[参 考 文 献]

- [1] 国家超声医学质量控制中心, 中华医学会超声医学分会. 乳腺疾病超声检查质量控制专家共识 (2019版) [J] . 中华超声影像学杂志, 2020, 29(1): 1-5.
- [2] GAO L Y, LI J C, GU Y, et al. Breast ultrasound in Chinese hospitals: a cross-sectional study of the current status and influencing factors of BI-RADS utilization and diagnostic accuracy [J] . Lancet Reg Health West Pac, 2022, 29: 100576.
- [3] YOON J H, LEE H S, KIM Y M, et al. Effect of training on ultrasonography (US) BI-RADS features for radiology residents: a multicenter study comparing performances after training [J] . Eur Radiol, 2019, 29(8): 4468-4476.
- [4] HE P, CHEN W, BAI M Y, et al. Deep learning-based computer-aided diagnosis for breast lesion classification on ultrasound: a prospective multicenter study of radiologists without breast ultrasound expertise [J] . AJR Am J Roentgenol, 2023, 221(4): 450-459.
- [5] WEI Q, YAN Y J, WU G G, et al. The diagnostic performance of ultrasound computer-aided diagnosis system for distinguishing breast masses: a prospective multicenter study [J] . Eur Radiol, 2022, 32(6): 4046-4055.
- [6] 詹维伟, 周建桥. 乳腺超声影像报告与数据系统解读 [M] . 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [7] 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.
- [8] BARTOLOTTA T V, ORLANDO A A M, DIMARCO M, et al. Diagnostic performance of 2D-shear wave elastography in the diagnosis of breast cancer: a clinical appraisal of cutoff values [J] . Radiol Med, 2022, 127(11): 1209-1220.
- [9] WUBULIHASIMU M, MAIMAITUSUN M, XU X L, et al. The added value of contrast-enhanced ultrasound to conventional ultrasound in differentiating benign and malignant solid breast lesions: a systematic review and meta-analysis [J] . Clin Radiol, 2018, 73(11): 936-943.
- [10] 袁聪聪, 陈 曼. 乳腺导管原位癌超声造影特征的临床研究 [J] . 肿瘤影像学, 2018, 27(1): 12-16.
- [11] 高峰, 贾 超, 李 刚, 等. 超声造影BI-RADS分类诊断乳腺非肿块型病变良恶性的应用研究 [J] . 肿瘤影像学, 2020, 29(6): 525-530.
- [12] CAI Y Y, DU Y C, ZHAO L, et al. The kinetic quantitative characteristics of non-mass breast lesions with contrast-enhanced ultrasound: a prospective study [J] . Br J Radiol, 2023, 96(1152): 20221002.
- [13] SHAO S H, LI C X, YAO M H, et al. Incorporation of contrast-enhanced ultrasound in the differential diagnosis for breast lesions with inconsistent results on mammography and conventional ultrasound [J] . Clin Hemorheol Microcirc, 2020, 74(4): 463-473.
- [14] ZHU Y C, ZU D M, ZHANG Y, et al. A comparative study on superb microvascular imaging and conventional ultrasonography in differentiating BI-RADS 4 breast lesions [J] . Oncol Lett, 2019, 18(3): 3202-3210.
- [15] PARK A Y, KWON M, WOO O H, et al. A prospective study on the value of ultrasound microflow assessment to distinguish malignant from benign solid breast masses: association between ultrasound parameters and histologic microvessel densities [J] . Korean J Radiol, 2019, 20(5): 759-772.
- [16] POPLACK S P, YOUNG C A, HAGEMANN I S, et al. Prospective assessment of adjunctive ultrasound-guided diffuse optical tomography in women undergoing breast biopsy: impact on BI-RADS assessments [J] . Eur J Radiol, 2021, 145: 110029.
- [17] KIM M J, KIM J Y, YOUNG J H, et al. US-guided diffuse optical tomography for breast lesions: the reliability of clinical experience [J] . Eur Radiol, 2011, 21(7): 1353-1363.
- [18] ZHENG F Y, YAN L X, HUANG B J, et al. Comparison of retraction phenomenon and BI-RADS US descriptors in differentiating benign and malignant breast masses using an automated breast volume scanner [J] . Eur J Radiol, 2015, 84(11): 2123-2129.
- [19] GIROMETTI R, ZANOTEL M, LONDERO V, et al. Automated breast volume scanner (ABVS) in assessing breast cancer size: a comparison with conventional ultrasound and magnetic resonance imaging [J] . Eur Radiol, 2018, 28(3): 1000-1008.
- [20] GIROMETTI R, ZANOTEL M, LONDERO V, et al. Comparison between automated breast volume scanner (ABVS) versus hand-held ultrasound as a second look procedure after magnetic resonance imaging [J] . Eur Radiol, 2017, 27(9): 3767-3775.
- [21] TANG G X, AN X, XIANG H L, et al. Automated breast ultrasound: interobserver agreement, diagnostic value, and associated clinical factors of coronal-plane image features [J] . Korean J Radiol, 2020, 21(5): 550-560.
- [22] TSUNODA H, MOON W K. Beyond BI-RADS: nonmass abnormalities on breast ultrasound [J] . Korean J Radiol, 2024, 25(2): 134-145.
- [23] PARK K W, PARK S, SHON I, et al. Non-mass lesions detected by breast US: stratification of cancer risk for clinical management [J] . Eur Radiol, 2021, 31(3): 1693-1706.
- [24] LIN M N, WU S Z. Ultrasound classification of non-mass breast lesions following BI-RADS presents high positive predictive

- value [J] . PLoS One, 2022, 17(11): e0278299.
- [25] LI J N, LIU Y C, LI Y B, et al. Comparison of diagnostic potential of shear wave elastography between breast mass lesions and non-mass-like lesions [J] . Eur J Radiol, 2023, 158: 110609.
- [26] GU Y, TIAN J W, RAN H T, et al. The utility of the fifth edition of the BI-RADS ultrasound lexicon in category 4 breast lesions: a prospective multicenter study in China [J] . Acad Radiol, 2022, 29(Suppl 1): S26-S34.
- [27] JALES R M, SARIAN L O, TORRESAN R, et al. Simple rules for ultrasonographic subcategorization of BI-RADS[®]-US 4 breast masses [J] . Eur J Radiol, 2013, 82(8): 1231-1235.
- [28] STAVROS A T, THICKMAN D, RAPP C L, et al. Solid breast nodules: use of sonography to distinguish between benign and malignant lesions [J] . Radiology, 1995, 196(1): 123-134.
- [29] INTERLENGHI M, SALVATORE C, MAGNI V, et al. A machine learning ensemble based on radiomics to predict BI-RADS category and reduce the biopsy rate of ultrasound-detected suspicious breast masses [J] . Diagnostics, 2022, 12(1): 187.
- [30] BADER W, VOGEL-MINEA C M, BLOHMER J U, et al. Best practice guideline – DEGUM recommendations on breast ultrasound [J] . Ultraschall Med, 2022, 43(6): 570-582.
- [31] EXPERT PANEL ON BREAST IMAGING, KLEIN K A, KOCHER M, et al. ACR appropriateness criteria[®] palpable breast masses: 2022 update [J] . J Am Coll Radiol, 2023, 20(5S): S146-S163.
- [32] LI J W, SHENG D L, CHEN J G, et al. Artificial intelligence in breast imaging: potentials and challenges [J] . Phys Med Biol, 2023, 68(23). Doi: 10.1088/1361-6560/acfade.
- [33] GU Y, XU W, LIU T, et al. Ultrasound-based deep learning in the establishment of a breast lesion risk stratification system: a multicenter study [J] . Eur Radiol, 2023, 33(4): 2954-2964.
- [34] 郭 翌, 周世崇, 余锦华, 等. 影像组学的前沿研究与未来挑战 [J] . 肿瘤影像学, 2017, 26(2): 81-90.
- [35] QIAO M Y, HU Y Z, GUO Y, et al. Breast tumor classification based on a computerized breast imaging reporting and data system feature system [J] . J Ultrasound Med, 2018, 37(2): 403-415.
- [36] 周 瑾, 常 才, 周世崇. 多模态超声组学在乳腺癌术前诊断中的研究进展 [J] . 肿瘤影像学, 2021, 30(5): 327-331.
- [37] 谢亚咩, 朱 樱, 柴维敏, 等. 对乳腺肿块构建多模态影像 BI-RADS预测模型的研究 [J] . 肿瘤影像学, 2021, 30(5): 362-367.
- [38] LI Q, HU M, CHEN Z K, et al. Meta-analysis: contrast-enhanced ultrasound versus conventional ultrasound for differentiation of benign and malignant breast lesions [J] . Ultrasound Med Biol, 2018, 44(5): 919-929.
- [39] 杨秋晔, 蔡丽珊, 林壮腾, 等. 多模态超声检查在乳腺良恶性结节鉴别诊断中的应用 [J] . 中国肿瘤临床与康复, 2017, 24(6): 647-650.
- [40] LIU G, ZHANG M K, HE Y, et al. BI-RADS 4 breast lesions: could multi-mode ultrasound be helpful for their diagnosis? [J] . Gland Surg, 2019, 8(3): 258-270.
- [41] KAPETAS P, CLAUSER P, WOITEK R, et al. Quantitative multiparametric breast ultrasound: application of contrast-enhanced ultrasound and elastography leads to an improved differentiation of benign and malignant lesions [J] . Invest Radiol, 2019, 54(5): 257-264.
- [42] LI S Y, NIU R L, WANG B, et al. Determining whether the diagnostic value of B-ultrasound combined with contrast-enhanced ultrasound and shear wave elastography in breast mass-like and non-mass-like lesions differs: a diagnostic test [J] . Gland Surg, 2023, 12(2): 282-296.
- [43] EGHTEHARI M, CHONG A, RAKOW-PENNER R, et al. Current status and future of BI-RADS in multimodality imaging, from the AJR special series on radiology reporting and data systems [J] . AJR Am J Roentgenol, 2021, 216(4): 860-873.
- [44] 陈 淼, 庄淑莲, 张建兴, 等. 自动乳腺容积超声 (ABUS) 联合远程诊断的临床价值 [J] . 中国超声医学杂志, 2022, 38(12): 1358-1362.
- [45] HE T, PU Y Y, ZHANG Y Q, et al. 5G-based telerobotic ultrasound system improves access to breast examination in rural and remote areas: a prospective and two-scenario study [J] . Diagnostics, 2023, 13(3): 362.

(收稿日期: 2024-02-01 修回日期: 2024-02-04)