

DOI:10.3969/j.issn.1000-9760.2019.05.003

乳腺癌影像学诊断进展*

李昆临¹ 于 乐¹ 综述 刘 欢^{1,2,3,△} 李建军^{2,3,△} 审校

(¹ 济宁医学院临床医学院, 济宁 272013; ² 济宁医学院附属医院; ³ 济宁医学院乳腺研究所, 济宁 272029)

摘 要 乳腺癌是成年女性最常见的恶性肿瘤,发病呈现年轻化趋势,严重威胁女性的健康。有效的影像学诊断能及时准确发现乳腺病变,是乳腺疾病最重要的辅助检查手段之一。医学影像学技术在乳腺癌诊断方面的发展及其在临床的广泛应用,使得早期诊断乳腺肿瘤的特异度和灵敏度显著提高,大大提高了乳腺癌患者的生存率。目前常用的影像学检查主要是钼靶 X 线及超声技术,并辅以 MRI、PET 等检查手段。本文主要综述了乳腺癌影像学诊断方面的进展。

关键词 乳腺癌;影像学;诊断

中图分类号:R445.2 文献标识码:A 文章编号:1000-9760(2019)10-315-06

Advances in imaging diagnosis of breast cancer

LI Kunlin¹, YU Le¹, LIU Huan^{1,2,3}, LI Jianjun^{2,3}

(¹ School of Clinical Medicine, Jining Medical University, Jining 272013, China;

² Affiliated Hospital of Jining Medical University,

³ Institute of Breast Research, Jining Medical University, Jining 272029, China)

Abstract: Breast cancer is the most common malignant tumor in adult women. The incidence of breast cancer tends to be younger, which seriously threatens women's health. Effective imaging diagnosis can detect breast lesions in time and accurately, which is one of the most important auxiliary means for breast diseases. The development of medical imaging technology in the diagnosis of breast cancer and its wide application in clinic have greatly improved the specificity and sensitivity of early detection of breast cancer, and greatly improved the survival rate of breast cancer patients. At present, the commonly used imaging examinations are mainly molybdenum target X-ray and ultrasonography supplemented by MRI, PET and other examinations. This article reviews the advances in imaging diagnosis of breast cancer.

Keywords: Breast cancer; Imaging; Diagnosis

乳腺癌是一种异质性疾病,是成年女性最常见的恶性肿瘤^[1]。目前,乳腺癌的病因尚未完全阐明。有研究发现乳腺癌的发生与遗传、环境以及肥胖等因素有关,激素替代疗法也可能导致乳腺癌。因此,需要建立有效的诊断系统,以便能够筛查、诊断和指导治疗乳腺癌。美国放射学院(ACR)建议使用标准化的 BI-RADS 描述乳腺癌分期。乳腺相关的影像学检查技术,如钼靶 X 线、超声、MRI 等以及新兴的 PET、分子成像、多参数 MRI 等自应用

于临床以来,极大提高了乳腺癌检出的敏感度及特异度,并在乳腺癌早期筛查、术前评估、新辅助化疗(neoadjuvant chemotherapy, NAC)的预后评价等方面发挥了积极作用,较大程度上降低了乳腺癌患者的死亡率。影像学检查已经成为乳腺癌最常用、有效的辅助检查。

1 乳腺钼靶 X 线检查

乳腺钼靶 X 线检查是常被用来早期发现和诊断以钙化为主要表现的乳腺癌的医学影像学检查技术。相比其他影像学检查技术,钼靶 X 线检查能明显发现乳腺组织内的细小钙化灶,并能从病变

* [基金项目] 济宁医学院博士启动基金(2017JYQD14)

△ [通信作者] 刘欢, E-mail: liuhuan198609@163.com

李建军, E-mail: lixv@sohu.com

的范围、形态以及分布特点上进行定性诊断,具有无可替代性(表 1)。应用于早期筛查的乳腺 X 光片已被证明可以降低乳腺癌患者的死亡率。

1.1 全场数字乳房 X 线摄影 (full field digital mammography, FFDM)

FFDM 作为传统的乳房 X 线检查是目前乳腺癌筛查的标准方法,在发现和评估多数乳房钙化以及检测导管原位癌(DCIS)等方面发挥着重要作用,具有较高的灵敏度。FFDM 及其他 X 线检查都依赖于病变组织和正常乳腺组织的细微形态学和密度的差异,而这种差异可以被重叠的致密乳腺腺体组织所掩盖。因此,重叠的乳腺纤维腺体组织是其检查的一个重要限制,这种重叠降低了乳腺癌筛查敏感度,特别是对致密型乳腺的可疑乳房钙化的评估方面,特异度不高,在实际临床工作中受到较大限制^[2]。

表 1 乳腺各种成像技术概述

检查技术	原理	优势	劣势
乳腺钼靶 X 线检查	根据正常乳腺组织与乳腺癌组织密度不同鉴别	对细微钙化敏感,价格低廉,应用广泛,为首选的检查方法,多用于早期筛查	易受组织重叠的影响,敏感度不高
乳腺超声检查	利用超声波通过不同组织界面产生不同的反射与折射,对回声信号处理得到相应声像图	能较好地显示血流信号,判断病灶内血管丰富程度,无电离辐射,简单易行,适用于哺乳期妇女	对于微小病灶及钙化灶不如钼靶 X 线检查敏感
乳腺磁共振检查	根据体内不同组织氢原子核共振进而成像	对于软组织分辨率高,克服了组织重叠性,对于检测有无淋巴结转移及远侧转移有较高实用价值	对于钙化性的乳腺癌不如钼靶 X 线敏感,价格较为昂贵,不适用于乳腺癌的筛查
乳腺乳腺正电子发射断层扫描	根据示踪剂能被肿瘤组织细胞的高特异性摄取的特点,进而获得功能和代谢信息	通常与 CT、MRI 结合使用增加定位准确性,对于有无远处转移及骨转移敏感	价格较高,临床应用推广受到限制

1.2 对比增强光谱乳房 X 线摄影 (contrast enhanced spectrum mammography, CESM)

CESM 是近年来发展起来的基于造影剂的新型乳腺 X 线摄影技术。CESM 的图像质量较高,在检出乳腺癌的敏感度方面上与 MRI 表现相似甚至

优于 MRI,其成本与传统的乳腺 X 线检查相当^[3]。与 FFDM 相比,CESM 具有高空间分辨率和良好的可见度,以及能较好地显示可疑钙化及病变血管等优点,因此 CESM 提高了乳腺癌诊断的敏感度,特异度和置信度。尤其对于致密型乳腺,其可以更准确地评估乳腺钙化灶,现已被美国食品药品监督管理局(FDA)批准用于诊断评估^[4]。但是 Houben 等^[3]研究指出,这些改进并没有对乳腺外科手术的决策产生相关的影响,因此,其在临床上的应用价值仍有待进一步研究。

1.3 数字乳腺断层摄影 (digital breast tomography, DBT)

DBT 较好地解决了乳腺纤维腺体组织重叠的问题,较大程度上避免了因重叠乳腺组织掩盖的乳腺癌变组织导致的漏诊,从而提高了乳腺癌检出的敏感度,进而降低假阳性率。与 FFDM 相比,DBT 产生的二维合成乳房 X 线图(SM 图像)在不增加辐射剂量的情况下,对乳腺癌的诊断效率有了明显的提高,尤其是在致密型的乳腺中具有更高的应用价值。此外,有研究发现,DBT 提高了对具有较低组织学等级、HER-2 阴性、以及具有结构畸变的病变组织的检出率,但其仍然受乳腺组织重叠等方面的限制^[5]。

2 乳腺超声检查

超声检查 (ultrasound, VS) 是辅助诊断乳腺癌的重要技术之一,因其具有简便快捷、高效廉价以及适用范围广等特点,在临床上被广泛应用(见表 1)。因此,超声检查技术常与钼靶 X 线摄影结合作为乳腺癌筛查和诊断的首选组合方法。

2.1 B 型超声 (B-mode ultrasonography, B 超)

B 型超声是乳腺癌筛查最常用的超声检查方法,目前在临床上广泛应用。肿块是乳腺癌最常见的临床表现,呈角状边缘,通常具有毛刺样回声图像,其冠状面成像显示为特异的“汇聚”征,表现为病灶的周边呈现条索状的中高回声并与条状的低回声相互交错,同时向四周放射伸展的星芒状声像。钙化也是乳腺癌超声的另外一种常见表象,表现为低回声的病灶内出现沙砾样的强回声点,边缘模糊,多呈泥沙样、细粒状,密集成簇,且密度不均、粒微小、大小不等^[6]。此外,由于恶性肿瘤形态不规则,生长常脱离正常组织平面导致纵径(L)增大,纵径通常大于横径(T),故纵横比(L/T) > 1,

临床上常以 0.77 作为初步判断乳腺良恶性肿瘤的临界值。

2.2 弹性超声 (ultrasounic elastography, UE)

组织的应变与应变率和测量硬度称为弹性,是生物学组织的固有属性。UE 是根据组织弹性的不同进行诊断的新型超声检查技术。乳腺肿块较正常乳腺组织硬度大、弹性小,发生形变的能力差,上述特征在恶性肿瘤中的表现则更加明显^[7]。因此,通过对乳腺组织的弹性分析对于指导乳腺疾病的诊断具有重要意义。目前,UE 分为应变弹性超声成像 (strain elastography, SE) 和横波弹性超声成像 (shear wave elastography, SWE)。前者通过操作者手动按压乳房以促进乳腺组织的变形,其变形程度用相关的颜色表示,不同的颜色代表不同弹性的乳腺组织,从而鉴别正常乳腺组织与病变乳腺组织;后者通过设备产生振动能量,在超声波的干预下使感兴趣的区域发生变形,进而区分不同弹性的组织。唐帆等^[8]通过对 82 个乳腺癌病例的研究结果表明,上述两种方法较 B 超均提高了超声检出乳腺恶性病变组织的能力,SE 及 SWE 对乳腺良恶性肿块诊断的特异度和灵敏度也明显高于乳腺钼靶 X 线检查。SE 及 SWE 能对病变进行定量和定性分析,在 SWE 中主要对组织弹性进行直接的定量分析,而 SE 的主要是对病变组织弹性进行定性评估^[9]。但是 SE 技术须通过操作者在乳房上主动施加一定的压力来获取超声弹性成像,由于不同操作者的手法和技巧可能不同,人为依赖性较强,因此在临床上应鉴别可能出现的假阴性或假阳性结果。

2.3 超声造影 (contrast-enhanced ultrasound, CEUS)

CEUS 是一种新型的超声功能成像技术,通过静脉滴注含有微泡的造影剂,能实时显示肿瘤微血管灌注及血供情况,从而提供重要的诊断信息,其已成为动态对比增强磁共振成像 (dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI) 技术和其他成像方法的理想替代检查技术^[10]。乳腺肿瘤具有较多新生血管及血流丰富等特征,在 CEUS 上表现为多普勒信号的增强,显示了肿瘤的灌注特性,通过观察异常组织血液灌注或血管充盈等特征诊断乳腺肿瘤疾病^[11]。研究表明 CEUS 与 MRI 在评估肿瘤大小上具有较高的一致性^[12]。萧晓云等^[13]研究发现,与 US 相比,CEUS 对毫米级

乳腺病变的评估具有更高的诊断特异性和较高的敏感性,并可以减少不必要的穿刺活检。有研究发现,CEUS 在乳腺良恶性病变的鉴别方面也有较高的临床应用价值^[14]。相关研究还发现,CEUS 显示 NAC 治疗后乳腺癌组织的新生血管减少,异质性增加,该特征表明 CEUS 也是评估接受 NAC 患者治疗反应的一种有价值的影像学方法,在预测残余肿瘤信号方面可能更加准确^[12,15]。

2.4 自动乳房容积超声 (automatic breast volume ultrasound, ABVS)

ABVS 是一种基于 US 的新型超声检查技术,弥补了传统超声的部分功能的缺陷。ABVS 提供乳腺组织的三维立体结构图像,能多重分析与重建,可以获得自动化的、高分辨率的信息以及具有回看图像的功能。与单一使用乳腺钼靶 X 线技术相比,ABVS 显著提高了乳腺癌的检出率^[16]。相较弹性超声而言,ABVS 可以较大程度上降低对操作者的依赖性,并能获得高质量的图像质量,进而提高乳腺癌诊断的特异度^[17]。研究显示,ABVS 也可以用于患者 NAC 的监测^[18]。

3 乳腺磁共振检查

磁共振成像 (magnetic resonance imaging, MRI) 是一种成熟的乳腺成像方法,具有多种临床应用价值,包括对良性和恶性乳腺肿瘤进行非侵入性鉴别诊断、术前分期、复发的检测、种植体评估以及高危患者的预后评价等^[19]。由于 MRI 对软组织具有较高的分辨率等特点,当在乳腺钼靶 X 线、CT 或超声检查中发现可疑肿瘤组织病灶时, MRI 可以提供进一步的分析诊断,并且可以避免不必要的活组织检查 (见表 1)。

3.1 动态对比增强 MRI (dynamic contrast enhanced magnetic resonance imaging, DCE-MRI)

目前, DCE-MRI 是最成熟的乳腺 MRI 成像技术,在乳腺癌鉴别诊断、指导治疗以及预后监测等方面发挥了重要作用,临床上被广泛认可^[20]。在 DCE-MRI 中,当施用造影剂检查时,其可以识别增强动力学不同的乳腺组织。乳腺良性病变增强扫描时一般呈缓慢、连续的增强曲线 (I 型),其典型的形态特征包括圆形或椭圆形的肿块,外有深色包膜并伴有均匀的慢-中的持久增强。有研究发现,97% ~ 100% 的组织学证实的良性病变显示边缘平滑,这一特征对乳腺良、恶性病变的鉴别具有极高

的临床应用价值。中度或较强的增强,随后表现为平台期或持续增强(II型)表示良性或恶性病变。乳腺恶性病变组织通常较大,形态呈针状或不规则状,边缘不齐,多具有强大的异常脉管系统并且血管通透性较高,以满足其对癌症组织氧气和营养素的高代谢需求。由于血管通透性、密度和间质液的增加,在恶性肿瘤中通常可见快速初始增强和消退(III型),表现为“快进快出”的特点^[21]。

3.2 高场强的 MRI (high field intensity magnetic resonance)

3TMRI 下的乳腺成像比低场强 MRI 在时间和空间分辨率上都有了提升。随着场强的增大,信噪比(signal to noise ratio, SNR)呈线性提高,SNR 的改进缩短了成像时间,进一步提高了组织的空间分辨率。由于光谱分离增加了高场强下的脂水共振,3TMRI 较低场强 MRI 具有了更好的脂肪抑制功能,更均匀和更有效的脂肪抑制提高了病变组织检出的灵敏度^[22]。

3.3 弥散加权成像 (diffusion-weighted imaging, DWI)

DWI 是肿瘤磁共振成像的重要部分,是一种基于水分子在正常乳腺组织与病变乳腺组织扩散程度的不同来成像的方法,以用来检测肿瘤的方法^[23]。由于恶性肿瘤细胞密度增加,细胞外空间压缩和微观结构等变化,水分子在癌症中的布朗运动受到限制,从而降低了表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值,其与肿瘤细胞的恶性程度呈高度负相关。因此,根据乳腺癌组织在 DWI 上显示高信号和 ADC 图上显示较低信号的水分子扩散受限图像的特点,可用于诊断乳腺癌以及监测乳腺癌患者对相关治疗的反应。DWI 不需要造影剂,是一个相对快速的乳腺癌检出的影像学技术。有研究表明,联合使用 DCE-MRI 和 DWI 较单独使用 DCE-MRI 或 DWI 有助于提高鉴别良性或恶性乳腺病变的灵敏度和特异性^[24-25]。此外,研究证明在已知乳腺癌的条件下, DWI 还可应用于监测甚至预测乳腺癌患者对 NAC 的反应^[22]。相对于 DCE-MRI, DWI 能提高检测癌症组织病理变化的灵敏度。不仅如此, DWI 还可以检测淋巴结是否发生了癌组织转移。Kim 等^[26]通过对乳腺癌病人 253 个腋窝淋巴结的回顾性研究发现,乳腺癌转移的淋巴结 ADC 值明显降低,因此, DCE-MRI 和 DWI 组合有助于预测腋窝淋巴结受累情况。

DWI 对预测乳腺癌 NAC 反应具有较高准确性,因而 DWI 的非对比 MRI 检查技术是一种可能替代 DCE-MRI 的方法。

3.4 氢质子磁共振波谱 (hydrogen proton magnetic resonance spectroscopy, ¹H-MRS)

¹H-MRS 作为一种新型的磁共振成像技术,近年来得到了广泛的研究。¹H-MRS 是无创的乳腺癌磁共振检查方法,用于评估感兴趣组织或某个特定区域的组织代谢情况。¹H-MRS 生成的化学光谱代表感兴趣区域组织的代谢物的信息,每个峰的位置由相关的化学公式决定,峰下的面积代表不同代谢物的浓度。¹H-MRS 在乳腺成像中的原理通常是基于对总胆碱(tCho)峰的检测,根据 3.2ppm 水溶性胆碱代谢物总池中的三甲胺基团引起的共振的结果,包括乳腺癌在内的恶性肿瘤中通过¹H-MRS 检查检测到胆碱水平升高^[27]。Jenson 等^[28]研究发现,光谱中胆碱峰的存在与高级别乳腺病变、Ki-67 的高表达及病变区域较大有关,并在常规 DCE-MRI 检查中加入¹H-MRS 能够提高乳腺癌诊断的特异度,减少不必要的乳腺活检。除了 tCho 之外,也能通过¹H-MRS 检测脂质的其他代谢产物监测 NAC,用于改善乳腺癌的治疗和预后^[29]。

4 乳腺正电子发射断层扫描 (positron emission tomography, PET)

近年来,乳腺 PET 技术已作为乳腺癌诊疗工作中重要的补充检查手段,目前在临床上已被推广。PET 是利用乳腺癌与正常乳腺组织对示踪剂吸收能力不同的特性,通过对示踪剂的追踪来进行肿瘤组织的定位,应用标准摄取值(standard uptake value, SUV)、代谢体积(metabolic volume, MTV)以及糖酵解总量(total Glycolysis, TLG)等指标检测乳腺癌变组织的检查技术(见表 1)。临床上应用的主要是 PET 与 CT 的结合设备,即 PET-CT,以增加病灶定位的准确度,克服单纯的 PET 检查定位不准确等缺陷。¹⁸F-脱氧葡萄糖(¹⁸F-FDG)是乳腺 PET-CT 扫描常用的示踪剂,能提供乳腺癌病灶的解剖学和生物学等信息,因此,其在乳腺癌诊断、预测疗效及预后中有重要的价值, SUVmax 是目前¹⁸F-FDG PET-CT 最常用的半定量分析指标。Chen 等^[30]研究发现, SUVmax 与癌组织的大小, BI-RADS 级别以及是否发生区域淋巴结转移等因素相关:乳腺癌级别越高,则病变区域的 SUV、MTV、

TLG 越高;同时伴有淋巴结转移者,其 SUV、MTV、TLG 等参数较不伴淋巴结转移者高,因此,PET-CT 在诊断乳腺癌有无淋巴结转移及指导医生对患者进行个性化诊疗具有较高的应用价值。但由于 PET-CT 辐射量较大,且费用昂贵,因此,在规模推广方面受到一定限制。相较 PET-CT 而言,PET-MR 是一种新型 PET 检查技术,具有辐射量较低、组织分辨率高,同时具有 MRI 及 PET 优势等特点。Botsikas 等^[31]通过对 80 例乳腺癌患者的 PET-CT 和 PET-MR 的对照研究发现,二者对于确定乳腺癌的分期并无明显差异,但对于微小病灶及骨转移患者,PET-MR 则具有更高的敏感度。

5 小结与展望

综上所述,影像学检查作为乳腺癌辅助检查的重要组成部分,在乳腺癌诊断方面发挥了重要作用。传统的检查方式如钼靶 X 线、多普勒超声等已经广泛普及,新兴技术如 MRS、PET 等在临床上的应用为乳腺癌的诊断注入了新的活力。因此,临床上医师需要根据患者自身情况要选择不同的检查手段才能互通有无,弥补不足,提高乳腺癌诊断的准确性。

参考文献:

- [1] DeSantis CE, Ma J, Goding SA, et al. Breast cancer statistics, 2017, racial disparity in mortality by state [J]. *CA Cancer J Clin*, 2017, 67 (6): 439-448. DOI: 10.3322/caac.21412.
- [2] Choi G, Woo OH, Shin HS, et al. Comparison of two-dimensional synthesized mammogram (2DSM) and conventional full-field digital mammogram (FFDM) for evaluation of breast cancer [J]. *Clin Imaging*, 2017, 43: 170-174. DOI:10.1016/j.clinimag.2017.03.004.
- [3] Houben IP, Vanwetwinkel S, Kalia V, et al. Contrast-enhanced spectral mammography in the evaluation of breast suspicious calcifications: diagnostic accuracy and impact on surgical management [J]. *Acta Radiol*, 2019, 60(9): 1110-1117. DOI:10.1177/0284185118822639.
- [4] Kim G, Phillips J, Cole E, et al. Comparison of Contrast-Enhanced Mammography With Conventional Digital Mammography in Breast Cancer Screening: A Pilot Study [J]. *J Am Coll Radiol*, 2019, DOI: 10.1016/j.jacr.2019.04.007.
- [5] Lee SH, Jang MJ, Kim SM, et al. Factors Affecting Breast Cancer Detectability on Digital Breast Tomosynthesis and Two-Dimensional Digital Mammography in Patients with Dense Breasts [J]. *Korean J Radiol*, 2019, 20(1): 58-68. DOI:10.3348/kjr.2018.0012.
- [6] 段婧,赵成茂,汪学昌,等. 乳腺癌微钙化超声征象及预后因素分析 [J]. *中国医药*, 2019, 14 (7): 1015-1018. DOI:10.3760/j.issn.1673-4777.2019.07.015.
- [7] Ma Y, Zhang S, Li J, et al. Comparison of strain and shear-wave ultrasonic elastography in predicting the pathological response to neoadjuvant chemotherapy in breast cancers [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27 (6): 2282-2291. DOI:10.1007/s00330-016-4619-5.
- [8] 唐帆,曹春莉,曹玉文,等. 超声弹性成像技术与乳腺 X 线摄影对乳腺良恶性肿瘤的诊断价值 [J]. *实用医学杂志*, 2019, 35 (11): 1832-1836. DOI: 10.3969/j.issn.1006-5725.2019.11.030.
- [9] EFC F, Gianini AC, Marcomini K, et al. The Feasibility of Classifying Breast Masses Using a Computer-Assisted Diagnosis (CAD) System Based on Ultrasound Elastography and BI-RADS Lexicon [J]. *Technol Cancer Res Treat*, 2018, 17: 1533033818763461. DOI: 10.1177/1533033818763461.
- [10] Liu G, Wang ZL, Zhang MK, et al. Breast hamartoma: Ultrasound, elastosonographic, and contrast-enhanced ultrasound features [J]. *J Cancer Res Ther*, 2019, 15 (4): 864-870. DOI:10.4103/jcrt.JCRT_711_18.
- [11] Li CY, Gong HY, Ling LJ, et al. Diagnostic performance of contrast-enhanced ultrasound and enhanced magnetic resonance for breast nodules [J]. *J Biomed Res*, 2018, 32(3): 198-207. DOI:10.7555/JBR.32.20180015.
- [12] Lee SC, Grant E, Sheth P, et al. Accuracy of Contrast-Enhanced Ultrasound Compared With Magnetic Resonance Imaging in Assessing the Tumor Response After Neoadjuvant Chemotherapy for Breast Cancer [J]. *J Ultrasound Med*, 2017, 36 (5): 901-911. DOI: 10.7863/ultra.16.05060.
- [13] Xiao X, Jiang Q, Wu H, et al. Diagnosis of sub-centimetre breast lesions: combining BI-RADS-US with strain elastography and contrast-enhanced ultrasound-a preliminary study in China [J]. *Eur Radiol*, 2017, 27 (6): 2443-2450. DOI:10.1007/s00330-016-4628-4.
- [14] Ma X, Liu R, Zhu C, et al. Diagnostic Value of Contrast-Enhanced Sonography for Differentiation of Breast Lesions: A Meta-analysis [J]. *J Ultrasound Med*, 2016, 35 (10): 2095-2102. DOI:10.7863/ultra.15.10005.
- [15] Zhang Q, Yuan C, Dai W, et al. Evaluating pathologic response of breast cancer to neoadjuvant chemotherapy with computer-extracted features from contrast-enhanced

- ultrasound videos [J]. *Phys Med*, 2017, 39: 156-163. DOI:10.1016/j.ejomp.2017.06.023.
- [16] Wilczek B, Wilczek HE, Rasouliyan L, et al. Adding 3D automated breast ultrasound to mammography screening in women with heterogeneously and extremely dense breasts: Report from a hospital-based, high-volume, single-center breast cancer screening program [J]. *Eur J Radiol*, 2016, 85 (9): 1554-1563. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.06.004.
- [17] Girometti R, Zanoteli 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. DOI: 10.1007/s00330-017-5074-7.
- [18] Pinker K, Bogner W, Baltzer P, et al. Clinical application of bilateral high temporal and spatial resolution dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging of the breast at 7° T [J]. *Eur Radiol*, 2014, 24 (4): 913-920. DOI: 10.1007/s00330-013-3075-8.
- [19] Partridge SC, Nissan N, Rahbar H, et al. Diffusion-weighted breast MRI: Clinical applications and emerging techniques [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2017, 45 (2): 337-355. DOI: 10.1002/jmri.25479.
- [20] Allarakha A, Gao Y, Jiang H, et al. Predictive ability of DWI/ADC and DCE-MRI kinetic parameters in differentiating benign from malignant breast lesions and in building a prediction model [J]. *Discov Med*, 2019, 27 (148): 139-152.
- [21] Mus RD, Borelli C, Bult P, et al. Time to enhancement derived from ultrafast breast MRI as a novel parameter to discriminate benign from malignant breast lesions [J]. *Eur J Radiol*, 2017, 89: 90-96. DOI: 10.1016/j.ejrad.2017.01.020.
- [22] Heller SL, Heacock L, Moy L. Developments in Breast Imaging: Update on New and Evolving MR Imaging and Molecular Imaging Techniques [J]. *Magn Reson Imaging Clin N Am*, 2018, 26 (2): 247-258. DOI: 10.1016/j.mric.2017.12.003.
- [23] Deike-Hofmann K, Kuder T, König F, et al. Diffusion-weighted breast imaging [J]. *Radiologe*, 2018, 58 (Suppl 1): 14-19. DOI: 10.1007/s00117-018-0423-3.
- [24] Zhang L, Tang M, Min Z, et al. Accuracy of combined dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and diffusion-weighted imaging for breast cancer detection: a meta-analysis [J]. *Acta Radiol*, 2016, 57 (6): 651-660. DOI: 10.1177/0284185115597265.
- [25] Akin Y, Ugurlu M U, Kaya H, et al. Diagnostic Value of Diffusion-weighted Imaging and Apparent Diffusion Coefficient Values in the Differentiation of Breast Lesions, Histopathologic Subgroups and Correlation with Prognostic Factors using 3.0 Tesla MR [J]. *J Breast Health*, 2016, 12 (3): 123-132.
- [26] Kim EJ, Kim SH, Kang BJ, et al. Diagnostic value of breast MRI for predicting metastatic axillary lymph nodes in breast cancer patients: diffusion-weighted MRI and conventional MRI [J]. *Magn Reson Imaging*, 2014, 32 (10): 1230-1236. DOI: 10.1016/j.mri.2014.07.001.
- [27] Fardanesh R, Marino MA, Avendano D, et al. Proton MR spectroscopy in the breast: Technical innovations and clinical applications [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 50 (4): 1033-1046. DOI: 10.1002/jmri.26700.
- [28] Jensen LR, Huuse EM, Bathen TF, et al. Assessment of early docetaxel response in an experimental model of human breast cancer using DCE-MRI, ex vivo HR MAS, and in vivo 1H MRS [J]. *NMR Biomed*, 2010, 23 (1): 56-65. DOI: 10.1002/nbm.1426.
- [29] Thakur SB, Horvat JV, Hancu I, et al. Quantitative in vivo proton MR spectroscopic assessment of lipid metabolism: Value for breast cancer diagnosis and prognosis [J]. *J Magn Reson Imaging*, 2019, 50 (1): 239-249. DOI: 10.1002/jmri.26622.
- [30] Chen S, Ibrahim NK, Yan Y, et al. Risk stratification in patients with advanced-stage breast cancer by pretreatment [(18) F] FDG PET/CT [J]. *Cancer*, 2015, 121 (22): 3965-3974. DOI: 10.1002/cncr.29565.
- [31] Botsikas D, Bagetakos I, Picarra M, et al. What is the diagnostic performance of 18-FDG-PET/MR compared to PET/CT for the N- and M-staging of breast cancer? [J]. *Eur Radiol*, 2019, 29 (4): 1787-1798. DOI: 10.1007/s00330-018-5720-8.

(收稿日期 2019-09-08)

(本文编辑:石俊强)