

· 综述 ·

乳腺癌影像学诊断研究进展

陈武飞 刘海泉 滑炎卿

乳腺癌目前已跃升为女性最常见的恶性肿瘤,全球每年乳腺癌发病率近1400万人次,死亡人数高达45.9万^[1,2]。2008年中国女性乳腺癌新发病例数占所有恶性肿瘤的14.2%,约为16.9万^[3]。乳腺癌患者的5年生存率与肿瘤分期和进展有着直接的关系,早期乳腺癌约为98.3%,中期乳腺癌约为83.5%,伴有远处转移者则仅为23.3%^[4]。所以,乳腺癌的早期发现、早期诊断和早期治疗一直是临床医师关注的焦点,同时也是胸部影像学关注的重点和难点。目前,乳腺癌的影像学检查主要依赖于超声和钼靶检查,随着CT功能显像、磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)和分子影像学的快速发展,近年乳腺癌的筛查和诊断又有了新的突破。本文复习了国内外近期的文献,就乳腺癌的影像学检查和诊断进展情况予以综述。

一、乳腺钼靶检查

乳腺钼靶(Mammography)是低能量X线(20~30 kV)软组织摄影在乳腺成像中的应用,它是诊断乳腺疾病最具价值的影像学检查方法之一。钼靶操作简便,检查费用低,受主观因素影响小,诊断乳腺癌的敏感性约71%~96%^[5],尤其对诊断乳腺癌价值较大的微小钙化的显示率明显高于其他影像学方法。国外学者^[6,7]的一组Meta分析证实,钼靶的早期应用可以提高乳腺癌检出率约25%,并且大大降低了患者死亡率。Smith等^[5]研究发现约1/6的乳腺癌死亡人群年龄在40~50岁,成为导致女性过早死亡的首要病因,因此推荐女性乳腺癌常规钼靶筛查应该从40岁开始。不过,乳腺钼靶检查也存在一些局限。如对于致密型乳腺而言,部分病灶容易被临近高密度的腺体组织所掩盖,难以准确评价肿瘤与周围结构的关系,此型乳腺癌的诊断敏感性仅为48%~70%^[8]。另外,乳腺钼靶对于某些类型乳腺癌如导管癌的检查缺乏特异性,诊断假阳性率较高^[9]。

钙化是乳腺癌最主要的钼靶诊断征象,乳腺的钙化可以有多种形态,如细线状、分支状、成簇、营养不良性钙化等。良性钙化可分为血管性钙化、分泌型钙化以及丝虫病钙化等。导管内癌的钙化多沿导管走行、分布或散布于导管和腺泡等乳腺实质内。由于导管内癌常局限于相应节段的导管内,因此,成簇的微小钙化出现时,应高度怀疑乳腺癌^[10]。另外,密度是诊断乳腺癌的重要依据,乳腺钼靶图像密度值的差异反映了乳腺胶原纤维以及上皮、非上皮细胞的组成成分不同,高密度的异常影像与侵袭性乳腺癌有密切的关系^[11]。

全数字化乳腺钼靶(full-field digital mammography, FFDM)及计算机辅助检测(computer-aided detection, CAD)是乳腺钼靶与计算机技术发展结合的新应用,由于其更高的对比度及空间分辨率,对乳腺微小病变的检测敏感性更高。由于数字成像原理的影响,FFDM与传统钼靶(screen-film mammography, SFM)对于相同病灶的不同兴趣点的显示能力不完全相同,如FFDM显示

钙化的敏感性反而较SFM低,但在显示肿块大小及非对称性病灶的敏感性较SFM明显提高^[12]。CAD检测乳腺癌的整体敏感度约为91%,其中对混合性肿块和微小钙化的敏感度为100%,结构扭曲型肿块为75%,对1~10mm肿块的敏感度可以达到83%^[13]。

二、乳腺超声检查

乳腺超声以其多角度、方便快捷、无创无辐射、可重复性强等优点,已广泛应用于临床乳腺癌的筛选与普查当中,尤其对于孕期和哺乳期妇女而言,超声检查更便于其动态观察和监测^[14]。对于钼靶不易显示的致密性乳腺癌而言,超声检查则更具优势^[15]。超声分子影像鉴别乳腺肿块良恶性的敏感性为84%,特异性为89%^[16]。

1. 二维超声成像和三维超声成像:二维声像(two-dimensional ultrasonic imaging)是指将从乳腺内不同组织及病变反射的回波信号以光点形式组成灰度调制型图像,依据声像确定病变内部结构及后方衰减,从而判断病变的性质。三维声像(three-dimensional ultrasonic imaging)建立在二维声像基础之上,其显示更为直观、信息更丰富、病灶的空间定位和容积测量更准确,弥补了二维声像的不足。

早期乳腺癌多为局限在输乳管或终末小叶单位内的恶变,由于其尚未突破基底膜或小叶间基质,所以尽管上述组织学特点使得早期乳腺癌病灶边缘毛糙不光滑,但很少出现典型的毛刺征、角状征、蟹足征的超声表现^[17]。严松莉^[18]将乳腺癌二维征象分为8种表现型:(1)超声肿块测量小于临床触诊;(2)肿块纵横比>1,形态不规则;(3)肿块边界有毛刺,无包膜;(4)肿块周围厚薄不均的高回声环即恶性环;(5)肿块内部低回声;(6)微钙化灶;(7)肿块后方回声可衰减、不衰减、增强等形式;(8)局部腺体结构紊乱。超声对于非侵袭性乳腺癌的检出是非特异性的,与病变组织的大小、形态以及深度有关,肿块内部丰富的血流可提高诊断的阳性率^[19]。

2. 彩色多普勒超声成像:彩色多普勒超声技术包括彩色多普勒血流成像(color Doppler flow imaging, CDFI)和能量多普勒(power Doppler imaging, PDI)。CDFI采用红细胞频移及其变化来反映血流信息,但其信噪比(signal noise ratio, SNR)较低,检测低速血流及新生微血管有一定限制。PDI通过检测多普勒频谱中幅度信号,无角度依赖性和混叠现象,提高了对低速血流的检出率。Shen等^[20]通过研究发现乳腺癌患者CDFI血流信号与诺丁汉预后指数(Nottingham prognostic index, NPI)呈正相关,多普勒血流信号的测量可以作为乳腺癌患者的预后指标之一。Tozaki等^[21]在评估PDI对BI-RADS 3~4级的乳腺癌患者的诊断价值时指出,虽然PDI可提高恶性肿瘤的检出率,却同时牺牲了诊断特异度及准确率。Gokalp等^[22]则认为PDI及频谱分析对于BI-RADS诊断没有帮助,但当频谱分析的阻力指数(resistivity index, RI)>1时,肿瘤的恶性率将明显增加。

乳腺癌细胞不断分泌血管生成因子,刺激产生较多走行紊乱、缺乏完整基膜并具侵袭性的新生血管,这些病理生理改变成为多普勒超声诊断的基础。乳腺癌的血流多为低速高阻的动脉性频谱,表现为内部与周边相连的丰富血流,某些类型的乳腺

癌,如囊性乳腺癌则主要以内部血流为主^[23]。Kavtaradze等^[24]发现乳腺癌的血流分布多集中在肿块周边。多普勒联合二维超声对乳腺癌诊断的准确性、敏感性及特异性分别达到94.2%、99%及92.6%,明显提高了乳腺癌的诊断准确率^[25]。

三、乳腺 MRI

1. 常规 MRI: MRI 是目前发现乳腺小叶癌最敏感的影像学手段,对肿瘤结构的软组织分辨率高,对淋巴结的评价也优于传统 X 线。MRI 平扫对乳腺癌形态学的研究、动态增强扫描对病灶血流动力学研究国内外均较成熟。

乳腺癌的形态多不规则,边缘可见毛刺,也可表现为圆形、分叶状结节。乳腺癌内的纤维成分越多则信号强度越低,水分及细胞含量越多则信号强度越高。另外,乳腺癌多合并有囊变、坏死或出血,使得其内信号不均匀,周边可见乳头凹陷、皮肤水肿等征象^[26]。Scaranelo等^[27]认为乳腺 MRI 检查的最佳时间为月经周期的第二周。

常规 MRI 检查的敏感性相对较高,但特异性低、检查费用高、对微小钙化的显示能力不足、成像质量易受呼吸运动影响为其缺点^[28]。同时,对比剂注射后扫描时相选择不佳、病灶局限在观察窗的边缘以及乳腺线圈伪影造成 MRI 的假阳性率相对较高^[8]。常规动态增强 MRI 对于内生性乳腺癌诊断的总体敏感性约为94%~99%,特异度则相对较低,约为37%~86%^[29]。

2. 弥散加权成像(diffusion weighed imaging, DWI): DWI 是目前唯一能够观察活体水分子微观扩散运动的功能影像学检查方法。通过对被测量组织的表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值进行量化分析,可对病变的性质进行推测。DWI 是一种非侵袭性的成像手段,对组织的细微结构有很高的敏感度,并且能够在细胞水平上进行显像^[30]。

作为形态学测量的一种补充, DWI 可提高 MRI 的特异性, DWI 辅助 MRI 诊断乳腺癌的总体特异度 > 90%, 有助于肿块良恶性的鉴别。通过对 SNR 的测量, ADC 值的分析以及对水分子的布朗运动进行量化分析,可以减少对病灶评估的主观性^[29-31]。b 值对于恶性肿瘤的 ADC 值有很大的指导意义,通过排除低 b 值, ADC 值表现为双指数,这就说明微灌注对于扩散信号有影响,因此,低 b 值在 ADC 值的计算中应当引起注意^[32]。在新型靶向治疗的早期术后评估方面, DWI 起到越来越重要的作用,弥补了实验室早期诊断的不足。

3. 计算机辅助诊断: MRI 计算机辅助成像(computer-aided detection, CAD)诊断乳腺癌的敏感性为89%,特异性为82%,与经验丰富的影像科医师诊断的敏感性、特异性并无太大差异,但对于那些没有经验的医师, CAD 确实可以帮助提高其诊断准确率^[33]。

四、乳腺分子影像学检查

1. 正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography, PET): PET 显像主要用于组织器官的代谢显像,通过放射性示踪剂检测肿瘤细胞的新陈代谢,从分子水平上对乳腺癌进行精确诊断。目前国内在临床上广泛使用的显像剂是¹⁸F 标记的脱氧葡萄糖(¹⁸F-deoxyglucose, ¹⁸F-FDG),该显像剂是葡萄糖的衍生物,被细胞摄取后只能被酰化成氟-2-脱氧葡萄糖-6-磷酸盐,而滞留于细胞内。乳腺癌 FDG 的摄取通常依赖肿瘤组织学与生物学特性,浸润性导管癌比浸润性小叶癌有更高的摄取,而导管内原位癌摄取较低。

2. PET/CT 显像:近年来, PET 与 CT 联合应用在核医学领域中已经取代了单一的 PET 模式。PET/CT 不但形态学定位更为精确,而且能为 PET 的衰减校正提供图谱,从而对乳腺癌的评

估更为精确,且在高分化乳腺癌及炎性乳癌的分期评估中非常敏感^[34]。研究表明^[35], PET/CT 诊断乳腺癌的总体敏感性达到89%,特异性为80%。同时,¹⁸F-FDG-PET/CT 是乳腺癌治疗终末期评估最佳的影像手段^[36],在检测乳腺癌腋窝淋巴结转移及远处转移方面得到广泛的应用。PET/CT 检测腋窝淋巴结转移的敏感性为37.5%,特异性为95.8%;检测远处转移的敏感性为100%,特异性为96.4%^[37]。然而, PET/CT 对鉴别乳腺肿块良恶性方面的价值却十分有限,而且由于空间分辨率的限制, PET 对早期淋巴结浸润和微转移病灶显示明显不足^[38]。

五、乳腺癌影像检查展望

1. 乳腺光声 CT(photoacoustic CT, PCT)检查: PCT 是一种基于聚焦线阵探测器的快速计算机断层成像技术。它是以前脉冲激光作为激发源,以检测超声信号为信息载体,通过相应的图像重建算法重建组织内部结构和功能信息的成像方法,在乳腺肿瘤检测中具备很大的潜能。由于乳腺癌在生长过程中伴随微血管的增生,肿瘤病变还会引起组织内血红蛋白流分布的改变,从而引起局部组织对光敏感度的改变。癌组织和正常组织光吸收的差异可达5倍以上,使得光声成像被认为是进行癌症早期诊断的有效方法。由于光声信号携带了组织的光吸收特征信息,所以 PCT 既能反映组织的结构形态、生理特征,同时也可提供组织代谢的差异信息和病变特征^[39]。

PCT 空间分辨率较高,可以显示血红蛋白的分布及氧化程度,这种特性有助于乳腺癌的诊断与鉴别^[40]。Heijblom等^[41]认为 PCT 显示乳腺肿瘤与正常组织的对比度高于常规钼靶。Xi 等^[42]设计的应用氨基末端标记磁化氧化铁纳米粒子的尿激酶纤维蛋白酶原激活物受体(NIR830-ATF-IONP)的动物实验,所产生的高分辨率近红外线(high-resolution near-infrared light, HNIR)与光声 CT 所产生的 NIR 联合显像,可使实验鼠乳腺癌的肿瘤信号较对照组高出4~10倍。NIR830-ATF-IONP 甚至可显示皮下组织内直径仅3.1 mm 的肿瘤,表明 PCT 与 NIR830-ATF-IONP 结合应用于临床可大幅度提高乳腺癌诊断的敏感性及特异性。

2. 正电子发射乳腺显像(positron emission mammography, PEM): PEM 是乳腺专用的正电子发射断层成像设备,其成像原理与临床应用的人体 PET 基本相同,都是将能发射正电子的核素作为特异性示踪剂注入患者体内,示踪剂发射的正电子与人体内的电子湮没产生一对 γ 光子,这对光子被探测器记录并储存下来,通过图像重建就可以得到示踪剂在患者体内的分布情况,从而实现肿瘤的早期发现和定位。

癌变过程中乳腺组织功能的改变往往要早于结构的改变,使用 PEM 获得的乳腺结构信息对乳腺癌的早期发现、早期诊断及选择合适的治疗方案具有非常重要的意义。PEM 在毫米级以及低分化肿瘤早期诊断的显示方面比 PET 的敏感性更高,前者的敏感性约为95%,而后者仅为87%,因此, PET 有比 PET/CT 更高的检出率,甚至较 MRI 更敏感^[34,43]。PEM 对 ≥ 8 mm 的病灶的敏感度高于90%,特异度约为98%^[44]。尽管如此, Vappou 等^[45]依然强调 PEM 的临床应用还需要更为深入的研究。

3. 超声弹性成像(ultrasonic elastography): 超声弹性成像是根据各种组织间弹性系数的差异及交变振动后其应变能力不同,收集被测体的某时间段内的各个片段信号,用自相关法综合分析(combined autocorrelation method, CAM)以灰阶或彩色编码成像,来判别病变组织的弹性大小,从而推断某些病变的可能性。超声弹性成像主要反映组织的力学特征,发明这项技术的最初目的是希望能够量化组织的硬度,随着技术的发展显示出

在评价活体组织的生化特征中有不同于传统技术的新亮点^[46]。

超声弹性成像大致可分为血管内弹性成像及组织弹性成像。血管内成像可以评估粥样硬化斑块的成分、血栓的硬度及介入疗效。组织弹性成像可用于鉴别肿块的良恶性。恶性肿瘤的弹性影像一般较灰阶超声大,而良性病变的弹性成像比灰阶超声小或相近^[47]。超声弹性成像与乳腺的黏滞性有关,影响乳腺黏滞性的因素有多种,比如腺体组织与年龄有关,脂肪组织与哺乳期和体重指数(body mass index, BMI)有关,这些因素都会影响超声弹性成像的测量^[48]。Itoh等^[49]应用超声弹性成像诊断乳腺恶性疾病的敏感性、特异性和准确性分别为86.9%、92.1%和89.8%。目前,超声弹性成像的原理、检查方法以及其表现的相应病理学基础仍在研究中。

六、小结

无创性乳腺影像检查技术研究方兴未艾,为乳腺癌的早期发现、早期诊断创造了条件,但目前的各种技术均非完美无缺,如乳腺X线钼靶摄影对致密型腺体内的病变不敏感,超声对微小钙化及小病灶容易漏诊。MRI、PET、PET/CT虽对肿瘤的早期发现、远处转移及临床分期具有独特的优越性,但价格昂贵,不宜作为常规筛查方法。因此,对于乳腺癌的早期诊断,需各自扬长避短,相互补充,综合应用,从不同角度反映病变的特征,才能提高乳腺癌的术前正确诊断率。

参 考 文 献

- [1] Jemal A, Siegel R, Xu J, et al. Cancer statistics, 2010. *CA Cancer J Clin*, 2010, 60: 277-300.
- [2] Youlten DR, Cramb SM, Dunn NA, et al. The descriptive epidemiology of female breast cancer; an international comparison of screening, incidence, survival and mortality. *Cancer Epidemiol*, 2012, 36: 237-248.
- [3] 张敏璐, 黄哲宙, 郑莹. 中国2008年女性乳腺癌发病、死亡和患病情况的估计及预测. *中华流行病学杂志*, 2012, 33: 1049-1051.
- [4] Ravert PK, Huffaker C. Breast cancer screening in women: An integrative literature review. *J Am Acad Nurse Pract*, 2010, 22: 668-673.
- [5] Smith RA, Kerlikowske K, Miglioretti DL, et al. Clinical decisions. Mammography screening for breast cancer. *N Engl J Med*, 2012, 367: e31.
- [6] Islam SR, Aziz SM. Mammography is the most effective method of breast cancer screening. *Mymensingh Med J*, 2012, 21: 366-371.
- [7] Autier P, Boniol M. Breast cancer screening; evidence of benefit depends on the method used. *BMC Med*, 2012, 10: 163.
- [8] Giess CS, Frost EP, Birdwell RL. Difficulties and errors in diagnosis of breast neoplasms. *Semin Ultrasound CT MR*, 2012, 33: 288-299.
- [9] Krontiras H, Bramlett R, Umphrey H. How do I screen patients for breast cancer? *Curr Treat Options Oncol*, 2013, 14: 88-96.
- [10] Lai KC, Slanetz PJ, Eisenberg RL. Linear breast calcifications. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 199: W151-157.
- [11] Boyd NF, Martin LJ, Yaffe MJ, et al. Mammographic density and breast cancer risk; current understanding and future prospects. *Breast Cancer Res*, 2011, 13: 223.
- [12] Hoff SR, Abrahamsen AL, Samset JH, et al. Breast cancer; missed interval and screening-detected cancer at full-field digital mammography and screen-film mammography--results from a retrospective review. *Radiology*, 2012, 264: 378-386.
- [13] Murakami R, Kumita S, Tani H, et al. Detection of Breast Cancer with a Computer-Aided Detection Applied to Full-Field Digital Mammography. *J Digit Imaging*. 2013 Jan 15.
- [14] Rim A, Chellman-Jeffers M. Trends in breast cancer screening and diagnosis. *Cleve Clin J Med*, 2008, 75: 2-9.
- [15] Hooley RJ, Andrejeva L, Scoult LM. Breast cancer screening and problem solving using mammography, ultrasound, and magnetic resonance imaging. *Ultrasound Q*, 2011, 27: 23-47.
- [16] Bachawal SV, Jensen KC, Lutz AM, et al. Earlier detection of breast cancer with ultrasound molecular imaging in a transgenic mouse model. *Cancer Res*, 2013, 73: 1689-1698.
- [17] Nothacker M, Duda V, Hahn M, et al. Early detection of breast cancer: benefits and risks of supplemental breast ultrasound in asymptomatic women with mammographically dense breast tissue. A systematic review. *BMC Cancer*, 2009, 9: 335-343.
- [18] 严松莉. 乳腺超声与病理. 北京: 人民卫生出版社, 2009: 5-6.
- [19] Wang LC, Sullivan M, Du H, et al. US Appearance of Ductal Carcinoma in Situ. *Radiographics*, 2013, 33: 213-228.
- [20] Shen ZY, Hu B, Wu MF. Correlation between Blood Flow Signal of Color Flow Imaging and Nottingham Prognostic Index in Patients with Breast Carcinoma. *Breast Care (Basel)*, 2012, 7: 126-130.
- [21] Tozaki M, Fukuma E. Does power Doppler ultrasonography improve the BI-RADS category assessment and diagnostic accuracy of solid breast lesions? *Acta Radiol*, 2011, 52: 706-710.
- [22] Gokalp G, Topal U, Kizilkaya E. Power Doppler sonography: anything to add to BI-RADS US in solid breast masses? *Eur J Radiol*, 2009, 70: 77-85.
- [23] Shaheen R, Sohail S, Siddiqui KJ. Neovascularity patterns in breast carcinoma: correlation of Doppler ultrasound features with sonographic tumour morphology. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2010, 20: 162-168.
- [24] Kavtaradze SN, Mosidze TG. Importance of color Doppler in diagnostics of breast diseases. *Georgian Med News*, 2010, 178: 15-19.
- [25] Svensson WE, Pandian AJ, Hashimono H. The use of breast ultrasound color Doppler vascular pattern morphology improves diagnostic sensitivity with minimal change in specificity. *Ultraschall Med*, 2010, 31: 466-474.
- [26] Renz DM, Böttcher J, Baltzer PA, et al. The contralateral synchronous breast carcinoma: a comparison of histology, Localization, and magnetic resonance imaging characteristics with the primary index cancer. *Breast cancer Res treat*, 2010, 120: 449-459.
- [27] Scaranelo A. Breast screening with magnetic resonance imaging. *CMAJ*, 2012, 184: E877.
- [28] Argus A, Mahoney MC. Indications for breast MRI: case-based review. *AJR Am J Roentgenol*, 2011, 196: W51-14.
- [29] Thomassin-Naggara I, De Bazelaire C, Chopier J, et al. Diffusion-weighted MR imaging of the breast: advantages and pitfalls. *Eur J Radiol*, 2013, 82: 435-443.
- [30] Bains LJ, Zweifel M, Thoeny HC. Therapy response with diffusion MRI: an update. *Cancer Imaging*, 2012, 12: 395-402.
- [31] Stijnen S, Gielen E, Bevernage C, et al. Magnetic resonance imaging: value of diffusion-weighted imaging in differentiating benign from malignant breast lesions. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2013, 166: 215-220.
- [32] Nilsen LB, Fangberget A, Geier O, et al. Quantitative analysis of diffusion-weighted magnetic resonance imaging in malignant breast lesions using different b value combinations. *Eur Radiol*, 2013, 23: 1027-1033.
- [33] Dorrius MD, Jansen-van der Weide MC, van Ooijen PM, et al. Computer-aided detection in breast MRI: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol*, 2011, 21: 1600-1608.
- [34] Kalles V, Zografos GC, Provatoopoulou X, et al. The current status of positron emission mammography in breast cancer diagnosis. *Breast Cancer*, 2013, 20: 123-130.
- [35] Herranz M, Ruibal A. Optical imaging in breast cancer diagnosis: the next evolution. *J Oncol*, 2012, 2012: 863747.
- [36] Avril N, Sassen S, Roylance R. Response to therapy in breast cancer. *J Nucl Med*, 2009, 50 Suppl 1: 55S-63S.
- [37] Choi YJ, Shin YD, Kang YH, et al. The Effects of Preoperative (18) F-FDG PET/CT in Breast Cancer Patients in Comparison to the Conventional Imaging Study. *J Breast Cancer*, 2012, 15: 441-448.

[38] Groheux D, Espi  M, Giacchetti S, et al. Performance of FDG PET/CT in the Clinical Management of Breast Cancer. *Radiology*, 2013, 266: 388-405.

[39] Beard P. Biomedical photoacoustic imaging. *Interface Focus*, 2011, 1: 602-631.

[40] Kitai T, Torii M, Sugie T, et al. Photoacoustic mammography: initial clinical results. *Breast Cancer*. 2012 Apr 7.

[41] Heijblom M, Piras D, Xia W, et al. Visualizing breast cancer using the Twente photoacoustic mammoscope: what do we learn from twelve new patient measurements?. *Opt Express*, 2012, 20: 11582-11597.

[42] Xi L, Grobmyer SR, Zhou G, et al. Molecular photoacoustic tomography of breast cancer using receptor targeted magnetic iron oxide nanoparticles as contrast agents. *J Biophotonics*. 2012 Nov 2.

[43] Eo JS, Chun IK, Paeng JC, et al. Imaging sensitivity of dedicated positron emission mammography in relation to tumor size. *Breast*, 2012, 21: 66-71.

[44] Macdonald LR, Wang CL, Eissa M, et al. Positron emission mammography (PEM): effect of activity concentration, object size, and object contrast on phantom lesion detection. *Med Phys*, 2012, 39: 6499-6508.

[45] Vappou J. Magnetic resonance-and ultrasound imaging-based elasticity imaging methods: a review. *Crit Rev Biomed Eng*, 2012, 40: 121-134.

[46] Greene LR, George RF. Radiologist views of positron emission mammography. *Radiol Technol*, 2012, 84: 18-30.

[47] 赵子卓, 罗葆明. 超声弹性成像基本原理及技术. *中国医疗器械信息*, 2008, 14: 6-8.

[48] Rzymiski P, Sk rzeswska A, Skibińska-Zielińska M, et al. Factors influencing breast elasticity measured by the ultrasound Shear Wave elastography-preliminary results. *Arch Med Sci*, 2011, 7: 127-133.

[49] Itoh A, Ueno E, Tohno E, et al. Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis. *Radiology*, 2006, 239: 341-350.

(收稿日期: 2013-02-16)

(本文编辑: 吴莹)

陈武飞, 刘海泉, 滑炎卿. 乳腺癌影像学诊断研究进展[J/CD]. *中华临床医师杂志: 电子版*, 2013, 7(11): 4973-4976.

