

## 计算机辅助系统在诊断乳腺良恶性肿瘤中的应用

吴秀明<sup>1</sup>, 王霞丽<sup>2</sup>, 吕国荣<sup>2</sup>, 魏梦婉<sup>3</sup>, 杜永兆<sup>2,3</sup>, 柳培忠<sup>2,3</sup>

1. 福建医科大学附属泉州第一医院超声科, 福建 泉州 362000; 2. 泉州医学高等专科学校省级母婴健康服务应用技术协同创新中心, 福建 泉州 362000; 3. 华侨大学工学院, 福建 泉州 362000

**【摘要】目的:**探讨计算机辅助诊断系统在良恶性肿瘤检测与特征提取基础上的分类对于乳腺肿瘤的诊断价值。**方法:**回顾性分析乳腺超声检查发现肿瘤且经过病理学证实的617例患者影像资料,采用手工提取的方式得到乳腺超声图像的感兴趣区域及病灶轮廓,再利用方向梯度直方图(HOG)、局部二值模式(LBP)和灰度共生矩阵(GLCM)3个特征进行乳腺肿瘤的良恶性病变真假阳性检测;最后用受试者操作特征曲线(ROC)分别分析每个特征对于两类病变判别的诊断性能和应用所有特征集合的分类诊断性能。**结果:**多特征融合方法的各项诊断效能及ROC曲线下面积(AUC)值均优于单特征LBP、HOG、GLCM( $P$ 值均 $<0.05$ )。与人工诊断相比,多特征融合的敏感性无显著差异,但特异度显著升高达98.57%( $Z$ 值=2.25,  $P<0.05$ ),同时AUC值为0.985,显著优于人工诊断的0.910( $Z$ 值=1.99,  $P<0.05$ )。**结论:**计算机辅助系统乳腺超声肿瘤良恶性检测的算法是有效的,能够对乳腺癌鉴别诊断提供有益的参考。

**【关键词】**计算机辅助诊断;超声;乳腺肿瘤;特征提取;SVM分类器

**【中图分类号】**R319;R737.9

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2020)03-0374-05

## Application of computer-aided detection in ultrasound diagnosis of benign and malignant breast tumors

WU Xiuming<sup>1</sup>, WANG Xiali<sup>2</sup>, LYU Guorong<sup>2</sup>, WEI Mengwan<sup>3</sup>, DU Yongzhao<sup>2,3</sup>, LIU Peizhong<sup>2,3</sup>

1. Department of Ultrasound, Quanzhou First Hospital Affiliated to Fujian Medical University, Quanzhou 362000, China; 2. Collaborative Innovation Center for Maternal and Infant Health Service Application Technology, Quanzhou Medical College, Quanzhou 362000, China; 3. Engineering Institute, Huaqiao University, Quanzhou 362000, China

**Abstract: Objective** To explore the diagnostic value of computer-aided detection in breast tumors based on the detection of benign and malignant tumors and feature extraction. **Methods** The ultrasound images of 617 patients with breast tumors detected by ultrasound and confirmed by pathology were analyzed retrospectively. The regions of interest and lesion contours in the breast ultrasound images were obtained by manual extraction, and then 3 features, namely histogram of oriented gradient (HOG), local binary pattern (LBP) and gray level co-occurrence matrix (GLCM), were used to detect the true or false positive of benign and malignant breast tumors. Finally, receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the diagnostic performance of each feature for two types of lesions, and the diagnostic performance of feature set for classification. **Results** The diagnostic performance and area under ROC curve (AUC) of the detection with the combination of multiple features were superior to those obtained by every single feature (LBP, HOG or GLCM) (all  $P<0.05$ ). The detection with the combination of multiple features had a sensibility similar to that of manual diagnosis, and a significantly increased specificity which was up to 98.57% ( $Z$  value=2.25,  $P<0.05$ ), and a AUC of 0.985 which was obviously higher than 0.910 of manual diagnosis ( $Z$  value=1.99,  $P<0.05$ ). **Conclusion** The computer-aided detection for the ultrasound detection of benign and malignant breast tumors is proved to be effective and can provide useful reference for the differentiation and diagnosis of breast tumors.

**Keywords:** computer-aided detection; ultrasound; breast tumor; feature extraction; support vector machine classifier

**【收稿日期】**2019-12-11

**【基金项目】**国家自然科学基金(61605048);福建省泉州市科技计划项目(2018N081S)

**【作者简介】**吴秀明, 硕士, 主治医师, 主要研究方向: 妇产超声和乳腺超声, E-mail: wxming1981@163.com

**【通信作者】**吕国荣, 硕士, 教授, 主任医师, 研究方向: 产科超声和介入超声, E-mail: lgr\_feus@sina.com

## 前言

乳腺癌严重影响着女性健康,根据世界卫生组织的数据,乳腺癌的发病率一直呈上升趋势,而早期诊断和治疗是提高乳腺癌生存率的重要手段<sup>[1]</sup>。超声是目前最常用的乳腺肿瘤早期检查手段之一,然

而正确解读超声图像依赖医师的临床经验,主观性因素的干扰影响其可靠性及可重复性<sup>[2-3]</sup>。利用计算机辅助技术(Computer Aided Detection, CAD)可有效地区分乳腺肿块良恶性,但鲜有报道<sup>[4-8]</sup>。因此,本研究探讨CAD在良恶性检测与特征提取基础上的分类对于乳腺肿瘤的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 病例资料

回顾性分析2017年1月~2018年12月于泉州市第一医院乳腺超声影像检查发现肿瘤的1 016例患者超声影像资料,有既往乳腺手术史和影像图片质量不佳、临床资料不完整的病例给予剔除,最终获得617例乳腺超声图像,根据BI-RADS评分系统对其实

施分级诊断<sup>[9]</sup>,诊断结果为恶性267例,良性350例,所有病例均经过超声科医师诊断及术后病理学证实,且超声图片质量合格,临床资料完整。

1.2 仪器与方法

采用PHILIPS iu22、PHILIPS iu Elite等彩超诊断仪,探头频率12 MHz。患者取仰卧位,于乳腺各个象限作纵切面和横切面扫查。在病灶位置重点观察肿块的边缘形态、周围声晕、内部回声、后方衰减等,采集不加彩色血流、不加标注的原始图像供计算机分析。

1.3 计算机辅助乳腺肿瘤良恶性检测方法

CAD肿瘤良恶性检测方法流程如图1所示,主要包括图像预处理、特征提取及分类器设计等几个部分。

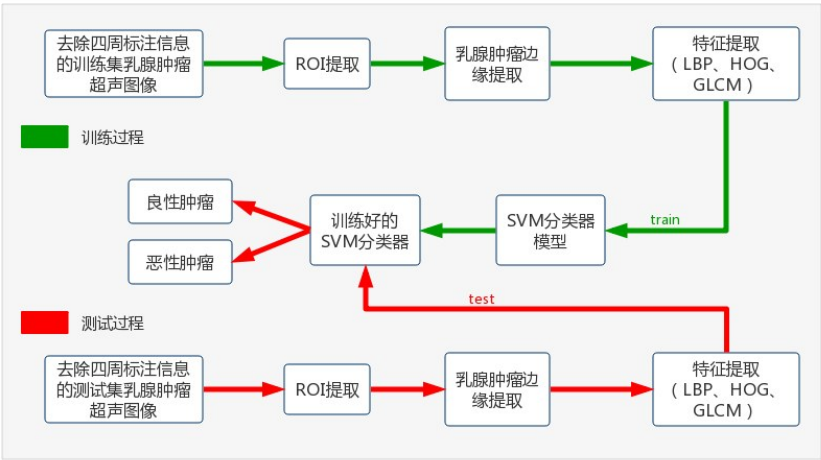


图1 CAD乳腺肿瘤良恶性检测方法流程图

Fig.1 Flowchart of benign and malignant breast tumors detection by computer-aided detection

感兴趣区域(Region of Interest, ROI);方向梯度直方图(Histogram of Oriented Gradient, HOG);局部二值模式(Local Binary Pattern, LBP);灰度共生矩阵(Gray-level Co-occurrence Matrix, GLCM);支持向量机(Support Vector Machine, SVM)

1.4 图像预处理

如图2所示,图像边缘有很多文本及其他干扰信息,有必要为图像选择ROI。但是由于肿瘤的大小、形状及其在图像中的分布位置并不固定,很难自动选取ROI和肿瘤轮廓。因此,为了保证ROI和肿瘤轮廓的准确性,我们采用人工提取的方式,过程如图3所示。

1.5 特征提取

目前对超声图像提取的特征主要包括形态学、统计学、纹理以及分布等特征。本文主要采用图像的形态学特征及纹理特征,是图像物体表面的重要特性,包含了图像中各像素间的空间分布关系。利用HOG<sup>[10]</sup>计算和统计图像局部区域梯度方向直方图

来形成特征,利用LBP<sup>[11]</sup>描述图像局部纹理特征,利用GLCM<sup>[12]</sup>提取包括能量、熵、对比度、相关度等纹理特征,结合HOG、LBP及GLCM的特征提升乳腺肿瘤良恶性检测的效果。

1.6 SVM分类器算法

本文对SVM分类器进行研究<sup>[13]</sup>,具体方法是利用核函数将原始数据映射到高维空间,得到决策超平面。

1.7 人工诊断方法

由两名熟悉超声仪器、具有医学专业主治医师以上职称的医师联合提出诊断。

1.8 统计学方法

采用SPSS 19.0软件进行数据处理,计量数据用

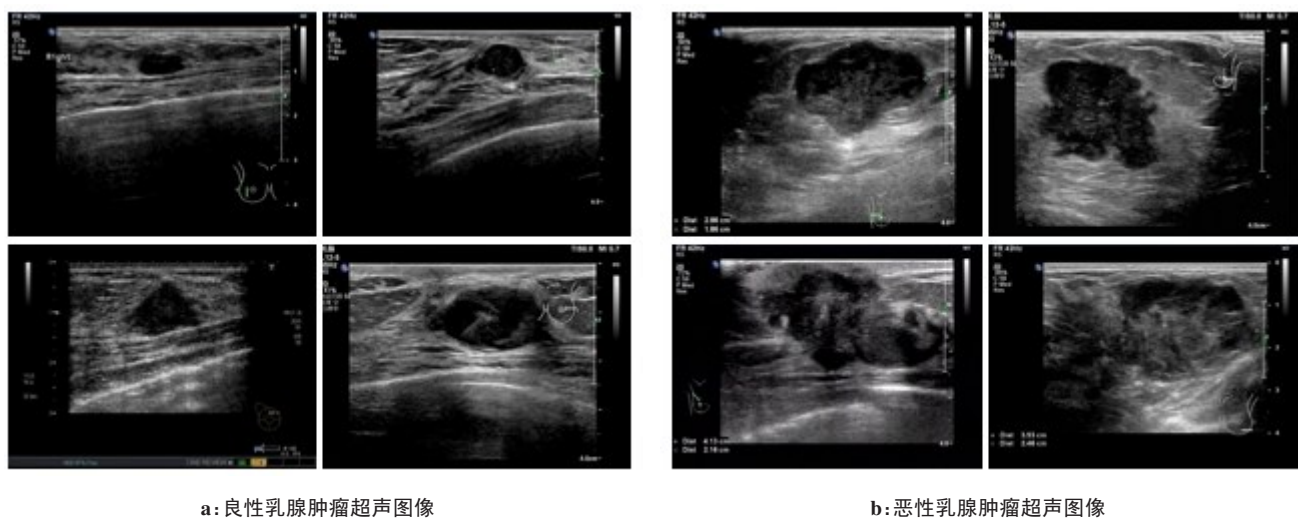


图2 乳腺超声图像样本  
Fig.2 Samples of breast ultrasound images

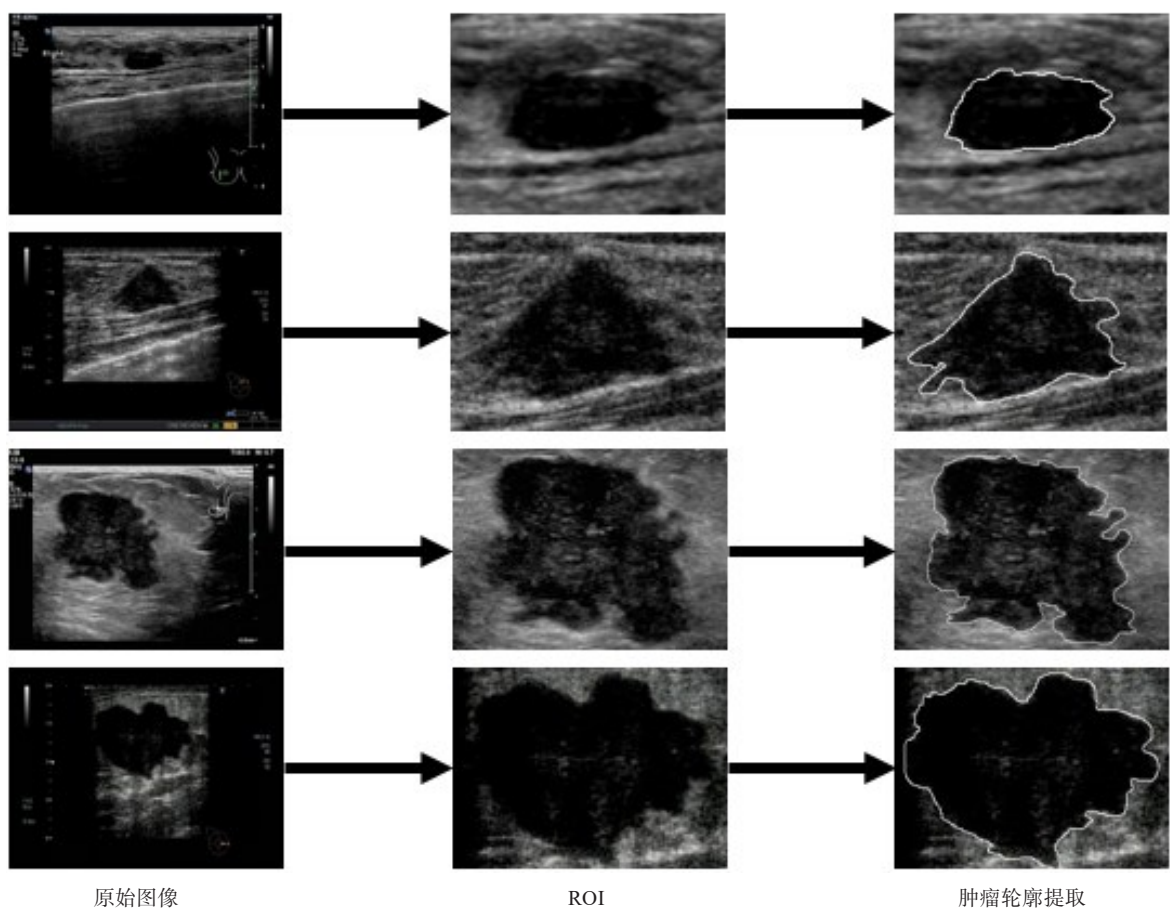


图3 图像预处理过程  
Fig.3 Image preprocessing

均数±标准差表示。计算人工诊断、HOG、LBP、GLCM单特征以及三特征融合CAD方法鉴别良恶性肿瘤的敏感性、特异性、阴性预测值、阳性预测值、准确率及ROC曲线下面积(AUC)值。组间比较采用 $\chi^2$ 检验,AUC值的比较采用McNemar配对检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

利用如图1所示的CAD乳腺肿瘤良恶性检测方法,对所有乳腺肿瘤病例进行训练及测试,基于SVM分类算法的各种特征提取方法得到的对比结果如表1所示。



表1 SVM分类算法结果  
Tab.1 Classification results based on support vector machine

特征	敏感性/%	特异性/%	阳性预测值/%	阴性预测值/%	准确率/%	AUC
LBP	80.77 <sup>a</sup>	84.28 <sup>a</sup>	81.77 <sup>a</sup>	87.08 <sup>a</sup>	80.65 <sup>a</sup>	0.889
HOG	75.44 <sup>a</sup>	82.81 <sup>a</sup>	76.54 <sup>a</sup>	75.55 <sup>a</sup>	82.26 <sup>a</sup>	0.863
GLCM	82.61 <sup>a</sup>	80.26 <sup>a</sup>	81.21 <sup>a</sup>	80.00 <sup>a</sup>	84.67 <sup>a</sup>	0.881
人工诊断	95.13	89.71 <sup>a</sup>	87.58 <sup>a</sup>	96.02	92.06	0.910
多特征融合	98.50	98.57	98.13	99.85	98.54	0.985

a表示与多特征融合相比, $P<0.05$

多特征融合方法的各项诊断效能及AUC值均优于单特征LBP、HOG、GLCM( $P$ 值均 $<0.05$ ),见图4。与人工诊断相比,多特征融合的敏感性无显著差异,但特异度显著升高达98.57%( $Z$ 值=2.25,  $P<0.05$ ),同时AUC值为0.985,显著优于人工诊断的0.910( $Z$ 值=1.99,  $P<0.05$ )。

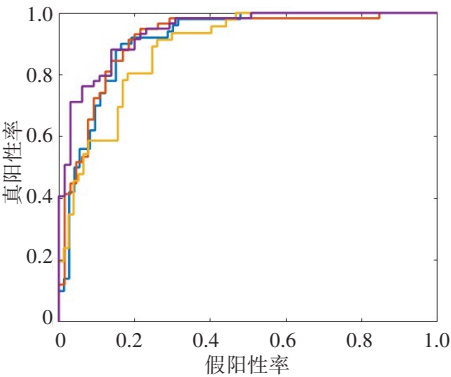


图4 SVM分类算法结果的ROC曲线比较  
Fig.4 Comparison of receiver operating characteristic curves of classification results based on support vector machine  
紫色:多特征融合;蓝色:LBP;橙色:GLCM;黄色:HOG

3 讨论

上世纪90年代以来,乳腺癌的发病率逐年升高。根据世界卫生组织的数据,乳腺癌每年造成50多万人死亡,每年有170万新病例被确诊为乳腺癌<sup>[14]</sup>。超声检查因其无创性、可重复性强、费用低等优点,是目前最常用的乳腺肿瘤早期筛查手段之一<sup>[15]</sup>。然而,正确解读超声图像需要医生具备较高的技术和临床经验,且诊断结果往往较为主观,容易导致漏诊和误诊<sup>[16]</sup>。部分无法直接通过影像结果确诊的患者需要进行活检,但活检是一种侵入性检查,并且大部分检查结果是良性的,这将给患者的生理和心理健康带来危害<sup>[17]</sup>。因此,利用CAD对乳腺肿瘤进行良恶性分析的方法应运而生。CAD可以从超声图像中

检测出人眼无法获取的信息,如纹理信息、边缘信息等,给医生提供可靠的辅助诊断意见,不仅利于缓解医生的工作负荷,减少因医生经验不足或视觉疲劳等主观原因引起的误诊,也为病人降低了活检率,减轻痛苦。

鉴于此,CAD技术的研究应用也在国内外受到了广泛关注。对于乳腺超声图像肿瘤良恶性检测的研究方法主要分为两大类:(1)基于手工提取特征的方法: Gomez等<sup>[5]</sup>通过提取病灶周围最小边界矩形区域计算出灰度共生矩阵,并分别从6个量化水平、4个方向和10个距离计算出22个共生统计量,采用Fisher线性判别分析对纹理特征的判别能力进行评价;汪源源等<sup>[5]</sup>提出基于形态特征判别超声图像中乳腺肿瘤的良恶性方法,先提取超声图像中乳腺肿瘤的边缘,然后对所得边缘计算相应的3种形态参数,最后分别采用Fisher线性判据、误差反向传播神经网络和径向基函数神经网络对形态参数进行分类<sup>[18]</sup>;吴英等<sup>[7]</sup>探讨采用迁移学习方法对乳腺良恶性肿瘤超声图像分类的价值,指出乳腺恶性肿瘤的边缘模糊度、硬度、肿瘤后方与周围区域回声差异、邻域灰度差矩阵粗糙度及水平方向高频分量和垂直方向低频分量的直方图能量均明显高于良性肿瘤。(2)基于深度学习自动提取特征的方法: Shi等<sup>[19]</sup>使用深度多项式网络从超声图像中提取纹理特征,再进行良恶性分类; Qi等<sup>[20]</sup>将采用卷积神经网络构建的Mt-Net和Sn-Net两个子网络连接起来,对乳腺肿瘤图像进行深度学习特征提取。这些研究显示多特征融合方法的各项诊断效能及AUC值均优于单特征LBP、HOG、GLCM( $P$ 值均 $<0.05$ ),表明基于计算机辅助技术的乳腺超声图像诊断可以有效区分肿块的良恶性,在临床诊断上有很大的应用前景。

本文提出一种基于超声图像的HOG、LBP和GLCM 3个特征融合的计算机辅助诊断乳腺良恶性肿瘤方法。结果表明,联合多种纹理特征的多特征

融合方法比单个纹理特征在诊断乳腺疾病方面的各项效果更好。本研究结果还表明,通过多特征融合方法对超声乳腺肿瘤进行自动分类的诊断效能优于人工诊断分类( $P<0.05$ ),有效减少人为诊断所需要耗费的精力和时间,有望为临床鉴别提供辅助诊断依据。由于本文的实验数据来自不同超声设备及不同操作医生,实验结果受其影响。希望在今后的进一步研究中,能够解决超声设备及检查人员等存在的问题。

## 【参考文献】

- [1] FITZMAURICE C, DICKER D, PAIN A, et al. The global burden of cancer 2013[J]. JAMA Oncol, 2015, 1(4): 505-527.
- [2] 张松松, 张玉梅, 尹逊娣, 等. 超声弹性成像定量分析诊断 BI-RADS 4 类乳腺肿块良恶性[J]. 中国医学影像技术, 2016, 32(7): 1065-1069.  
ZHANG S S, ZHANG Y M, YIN X D, et al. Ultrasound elastography in the quantitative analysis diagnosis of benign and malignant BI-RADS type 4 breast masses[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2016, 32(7): 1065-1069.
- [3] 李俏颖, 周定中. 超声与 MRI 诊断乳腺癌及不同病理分型影像特点分析[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(2): 205-209.  
LI Q Y, ZHOU D Z. Ultrasound and MRI diagnosis of breast cancer and analysis of imaging characteristics of different pathological types [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(2): 205-209
- [4] QI X, ZHANG L, CHEN Y, et al. Automated diagnosis of breast ultrasonography images using deep neural networks[J]. Med Image Anal, 2018, 52: 185-198.
- [5] GOMEZ W, PEREIRA C A, INFANTOSI F C. Analysis of co-occurrence texture statistics as a function of gray-level quantization for classifying breast ultrasound[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2012, 31(10): 1889-1899.
- [6] 汪源源, 沈嘉琳, 王涌, 等. 基于形态特征判别超声图像中乳腺肿瘤良恶性的[J]. 光学精密工程, 2006, 14(2): 334-340.  
WANG Y Y, SHENG J L, WANG Y, et al. Discrimination of benign and malignant breast tumors in ultrasound images based on morphological features[J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(2): 334-340.
- [7] 吴英, 罗良平, 许波, 等. 基于迁移学习的乳腺肿瘤超声图像智能分类诊断[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(3): 357-361.  
WU Y, LUO L P, XU B, et al. Intelligent classification and diagnosis of breast tumor ultrasound image based on transfer learning [J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2019, 35(3): 357-361.
- [8] ARDAKANI A A, GHARBALI A, MOHAMMADI A. Classification of breast tumors using sonographic texture analysis[J]. J Ultrasound Med, 2015, 34(2): 225-231.
- [9] 彭梅, 詹韵韵, 姜凡, 等. 超声乳腺影像报告数据系统 3~5 级评分标准的初探[J]. 中国超声医学杂志, 2014, 30(3): 202-206.  
PENG M, ZHAN Y Y, JIANG F, et al. Preliminary study on the grading standard of 3~5 grades in the data reporting system of ultrasonic breast image [J]. Chinese Journal of Ultrasound in Medicine, 2014, 30(3): 202-206.
- [10] DALAL N, TRIGGS B. Histograms of oriented gradients for human detection[C]//International Conference on computer vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE Computer Society, 2005, 1: 886-893.
- [11] OJALA T, PIETIKAINEN M, HARWOOD D. A comparative study of texture measures with classification based on featured distributions [J]. Pattern Recogn, 1996, 29(1): 51-59.
- [12] HARALICK R M, SHANMUGAM K. Textural features for image classification[J]. IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern, 1973, 3(6): 610-621.
- [13] CHANG C C, LIN C J. LIBSVM: a library for support vector machines [J]. ACM Trans Intell Syst Technol, 2011, 2(3): 27.
- [14] GIGER M L, KARSSEMEIJER N, SCHNABEL J A. Breast image analysis for risk assessment, detection, diagnosis, and treatment of cancer[J]. Annu Rev Biomed Eng, 2013, 15(1): 327-357.
- [15] 蒋天安, 陈文, 罗葆明, 等. 乳腺超声若干临床常见问题专家共识(2018 版)[J]. 中国超声医学杂志, 2018, 34(10): 865-870.  
JIANG T A, CHEN W, LUO B M, et al. Expert consensus 2018 on some common clinical problems of breast ultrasound[J]. Chinese Journal of Ultrasound in Medicine, 2018, 34(10): 865-870.
- [16] CHEN D R, CHANG R F, CHEN C J, et al. Classification of breast ultrasound images using fractal feature[J]. Clin Imaging, 2005, 29(4): 235-245.
- [17] ELMORE J G, LONGTON G M, CARNEY P A, et al. Diagnostic concordance among pathologists interpreting breast biopsy specimens [J]. JAMA, 2015, 313(11): 1122-1132.
- [18] HAN S, KANG H K, JEONG J Y, et al. A deep learning framework for supporting the classification of breast lesions in ultrasound images [J]. Phys Med Biol, 2017, 62(19): 7714.
- [19] SHI J, ZHOU S, LIU X, et al. Stacked deep polynomial network based representation learning for tumor classification with small ultrasound image dataset[J]. Neurocomputing, 2016, 194(19): 87-94.
- [20] QI X, ZHANG L, CHEN Y, et al. Automated diagnosis of breast ultrasonography images using deep neural networks[J]. Med Image Anal, 2019, 52: 185-198.

(编辑:陈丽霞)