

静态超声弹性成像： 主观还是客观？定性还是定量？

Ultrasound Elastography: Quantitative or Qualitative? Objective or Subjective?

李添捷^{1,2}, 郑永平², 汪源源¹

1. 复旦大学电子工程系 生物医学工程专业, 上海 200433; 2. 香港理工大学 医疗科技及资讯学系, 香港

LI Tian-jie^{1,2}, ZHENG Yong-ping²,
WANG Yuan-yuan¹

1. Department of Electronic Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China; 2. Department of Health Technology and Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China

[摘要] 静态超声弹性成像(Ultrasound Elastography)利用超声探测技术, 检查组织的弹性特征, 在一定程度上量化反映了医生在触诊中的主观感受, 在科学研究和临床实践中有广泛的应用价值。本文综述了该项技术的研究背景、研究进展, 并对其临床中遇到的问题做了初步的分析和探讨。以期通过今后的研究, 帮助医生更好地获得弹性图像(Elastogram), 继而做出客观诊断。

[关键词] 弹性成像; 静态超声弹性成像; 计算机辅助诊断; 乳腺; 甲状腺; 癌症诊断

Abstract: Ultrasound elastography reveals the elastic property of biological tissues. It quantifies the characteristics felt by palpation to some extent, and thus has an extensive value in scientific studies and clinical practices. After reviewing its background and study progress, this paper provides a preliminary analysis and discussion of the problems encountered in clinical practice. Further studies are expected to help doctors better assess the elastogram of tissues for objective diagnosis.

Key words: elasticity imaging; ultrasound elastography; computer aided diagnosis; breast; thyroid; cancer diagnosis

[中图分类号] R445.1 [文献标志码] B

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2011.01.002

[文章编号] 1674-1633(2011)01-0004-04

1 研究背景

正常组织与病灶结构成分的不同很大程度上造成了其力学特性的差异, 俗称“硬度”不同。通过离体组织弹性特征的测量, 已证实这些差异的存在^[1]。在传统的体检中, 医生往往通过触诊来感知受检者体表及脏器的硬度, 发现异常。但这样的检查缺乏量化, 灵敏度低, 且受医生诊断经验限制, 容易误诊, 于是弹性成像技术应运而生。

该项技术的实现需要解决的首要问题是如何选择物理参数, 来近似触诊中医生对组织硬度的主观感受。理论研究认为, 若忽略组织的粘性, 并将其假设为各向同性的匀质材料, 便可以仅用杨氏模量 (Young's modulus) 和泊松比 (Poisson's ratio) 两个参数描述一定负载下组织的响应^[2]。

下一步便是弹性参数的测量, 它包含两方面的研究:

收稿日期: 2010-11-01

基金项目: 香港理工大学内地大学博士联合培养计划(G-U803)及研究项目(J-BB69)支持。

通讯作者: 郑永平, 教授。

通讯作者邮箱: ypzhang@iee.org

激励的施加和应变的探测。常用的应变探测方法有磁共振成像 (Magnetic Resonance Imaging, MRI)^[3-5] 和超声成像 (Ultrasound Imaging)^[6-17]。在众多弹性成像技术的研究中, 有的旨在提供量化的弹性参数值, 有的则仅提供定性的组织硬度分布^[18]。

根据激励的时间特性, 可以将现有的基于超声检测的弹性成像总结为三类^[19]: 采用静态或准静态力的施压式弹性成像 (Compression Elastography or Strain Imaging)、采用低频瞬时振动的瞬时弹性成像 (Transient Elastography) 和采用低频简谐波的振动声弹性成像 (Vibration Sonoelastography)。也可以根据激励的空间特性将超声弹性成像分为两类^[18]: 采用施加于组织表面的外部激励 (External Excitation) 成像方式和采用施加于组织内感兴趣区域的内部激励 (Internal Excitation) 的成像方式。后者可以由生物组织自发产生, 用于心脏和血管的弹性成像^[13-14], 也可以通过声辐射力 (Acoustic Radiation Force) 来生成强制性的内应力^[15-17]。

实际上,弹性成像 (Elastography) 一词最早由 Ophir 等人提出^[6],因此狭义的弹性成像仅指这种静态力激励下的成像技术^[20]。本文接下来将这种成像技术的研究进展作简单回顾,并对临床应用中影响医生客观诊断的主观因素做初步的探讨和分析,以期在今后的研究中加以解决。

2 成像技术的研究进展

在典型的静态力激励下的超声弹性成像中,一个缓慢的单轴外力被施加到生物组织表面,使之产生微幅应变。通过跟踪应变前后超声信号的变化,就可以估计出与外力对应的组织应变。进而由生物组织的数学模型,得到组织弹性特征的分布。由于此处假设外力是缓慢、单轴的,应变是微幅的,因此生物组织的数学模型被大大简化,即可用胡克定律 (Hooke's law) 来描述受力条件下组织的应变过程,用以计算组织各处的杨氏模量^[2]。有研究采用气囊和心血管自身的收缩和舒张,产生静态或准静态力,将弹性超声成像的原理用于心脏和血管的弹性成像之中^[9, 13-14],国内的研究小组也在此方面作了一些尝试^[21-23]。

跟踪组织应变前后的超声信号,估计轴向应变是弹性成像的关键技术。早期的算法有时域互相关散斑跟踪技术^[6]和基于相位的位移监测技术^[7]。为了提高应变估计的准确性和算法的稳定性,各研究小组在算法层面做了很多有益的尝试^[21, 24-30],其中也包括了我们的研究小组的一些研究和讨论^[31]。静态弹性成像算法的另一个重要研究方向是非轴向位移的估计。有文献指出非轴向运动会在相当程度上妨碍轴向应变的估计,同时任何三维物体的运动必需通过包括轴向在内的三个分量上运动来完全表征^[32],这或许也是不同类型弹性图 (elastogram) 研究的发端。这些弹性图描述的组织弹性特征包括轴向应变、横向应变、泊松比,以及多孔介质的孔弹性^[2, 33]。

应变滤波器 (Strain Filter) 理论^[34]的建立和发展使静态弹性成像技术的量化评价成为可能。其基本思想是将组织的应变视为真实信号,应变的估计为观察信号,从而给出两者信噪比 (Elastographic Signal-to-noise ratio, SNRe) 的上界。根据应变滤波器的结果,可进一步定义对比度噪声比 (Elastographic Contrast-to-noise ratio, CNRe)、动态范围 (Dynamic Range, DR) 和灵敏度 (Sensitivity) 等概念,从而定量的评价不同算法和系统参数对成像效果的影响^[2, 35]。

3 静态弹性成像应用中影响医生客观诊断的主观因素

目前,静态弹性成像技术在乳腺、前列腺、甲状腺、肝脏、心血管、热损伤评估等领域的科学研究和临床实践中均有

所应用,但大部分的临床诊断报告还是针对乳腺实质性疾病^[36-44]和甲状腺结节^[45-47]的鉴别诊断。

日本 HITACHI 公司最早将实时组织弹性成像 (Real-time Elastograph Imaging, RTE) 的功能加载到他们的超声成像设备中。然而实际应用中,如何利用弹性图像客观地鉴别病灶的良恶性,并非预想的那么容易。例如在乳腺实质性疾病的良恶性鉴别中,弹性检查对恶性病灶的准确性从 80.4%~91.4% 不等,敏感性和特异性则分别从 69.7%~96.2%、76.9%~95.7% 变化。进一步的研究发现,诊断效果还会因病灶的大小和深度而大相径庭^[38-40, 43]。下面将基于乳腺病灶良恶性鉴别的研究报道,及实际应用中发现的问题,并结合静态弹性成像的原理加以分析。

3.1 弹性检查操作中的主观因素

如前所述,为了简化生物组织的数学模型,静态弹性成像中往往假设外力是单轴缓慢施加的,并且要求组织形变较小来保证数学上对弹性模型线性假设的有效性,这就对医生使用手持式超声探头时的施力提出了要求。具体来说操作者在检查组织弹性时,必须同时考虑施力的频率、大小、方向。早期的临床研究往往缺乏对所施压力的量化考量,因此在一定程度上造成诊断结果的差异。HITACHI 公司针对这一难题,设计了专门的指示器,将操作者施加的压力分为 7 级,用以提示操作。国内的研究小组通过深入的研究发现,该力指示器提示 2~3 级时,乳腺病灶良恶性识别的准确性最高^[48]。

该研究小组同时也发现弹性感兴趣区域 (Region of Interest, ROI) 面积的选择对诊断结果也有不可忽视的影响,并建议将 ROI 大小调至病灶两倍面积以上^[49]。我们认为 ROI 之所以会对诊断结果造成影响,可能是由于这些研究采用的弹性成像设备只是将感兴趣区域内组织的弹性特征映射到彩色空间加以显示,而未给出病灶组织弹性的绝对测量值,致使显示结果随着 ROI 大小而改变,进而造成诊断结果的差异。

力指示器的设计和 ROI 选择的量化考虑,无疑会对组织弹性检查的标准化起到重要的作用。如何进一步完善弹性检查的操作,从而减少操作者主观因素对诊断结果的影响,并尽可能地降低操作的复杂性,仍然是今后研究的重要方向。

3.2 评分标准对诊断的影响

弹性图像评分标准提出的初衷或许是为弹性诊断提供一个量化参考,从而帮助医生更好地理解弹性图,更客观简便地做出判断,减少个人经验、能力,甚至心情等主观因素对诊断结果的影响。目前普遍采用的评判标准包括 Itoh 等人提出的 5 分法^[37]和 Scaperrotta 等人提出的改进 5 分法,改进的方法特别补充了囊性病灶弹性图红绿蓝三色条状分布的特殊情况^[38]。

然而这些评分标准采用了大量模糊性的字眼,使得医生的诊断带有很强的主观性,给标准的推广和应用造成了一定的障碍。有国内的研究小组针对乳腺弹性图像的评分标准作了一系列研究,为明确评分标准的描述,先后报道了7分法、8分法、改良5分法。最近的研究还提出了应变率评分法^[50]。在该方法中,医生需要借助计算机辅助软件圈划病灶和周围正常组织,计算得到两者应变的比值,继而由该比值直接获得病灶良恶性的判断,据报道新方法对乳腺病灶良恶性鉴别更精确稳定^[40]。

那么弹性图上是否存在应变率以外的其他特征,可以进一步提高病灶良恶性的鉴别的效果?这些特征又是否可以与传统的乳腺超声检查相结合,或者像美国放射学院乳腺影像报告和数据系统(American College of Radiology Breast Imaging Reporting and Data System, BI-RADS)那样作为弹性检查时公用的参考标准?此外这些特征是否会在实际应用中增加检查的复杂性增加医生的负担?

我们认为,作为一种新型的成像技术,静态弹性超声对传统的超声检查做了一些有益的补充,但目前对弹性图像所含信息的理解比较表面,缺乏系统的研究。另一方面,当传统超声图像中的特征信息和弹性超声信息同时摆在眼前的时候,如何帮助医生客观地理解综合这些信息?现有的研究大都只是从决策级上直接对超声检查的结果进行综合,因而没有能够充分利用不同图像中提供的特征信息,或是由医生直接对不同图像进行综合考量,增加了诊断的复杂程度^[38, 42]。或许计算机辅助诊断系统(Computer Aided Diagnosis System, CAD)会是一个很好的解决方案。首先,借助计算机可以系统地得到弹性图中各种特征的量化值,以便进一步分析这些特征与病灶良恶性的相关程度;另外,可以在特征级上将弹性检查与传统超声检查得到的组织特征加以选择和整合,而医生看到的将是较为简单直观的客观评价参考,而不是一大堆复杂的特征数据。

4 展望未来

静态弹性成像技术的发展将拓宽其在科研和临床领域的各项应用。尤其在乳腺病灶和甲状腺结节良恶性鉴别中,已被证明具有相当的临床价值。近来还出现了一些能够显示被测组织绝对硬度的仪器,如何将这绝对硬度值更好地结合到传统超声平台,继而用于临床诊断,需要深入的研究。此外,进一步规范弹性检查的操作过程和计算机辅助诊断系统的开发,以及加载弹性成像功能的超声设备性价比的提高^[51],有望让该项技术为临床诊断提供真正客观量化的诊断参考,帮助医生更全面地了解病例,做出准确的诊断。

致谢

本课题得到了香港理工大学内地大学博士联合培养计划(G-U803)及研究项目(J-BB69)的支持。

[参考文献]

- [1] Krouskop TA, Wheeler TM, Kallel F, et al. Elastic moduli of breast and prostate tissues under compression[J]. Ultrasonic Imaging, 1998, 20(4): 260-274.
- [2] Ophir J, Alam SK, Garra B, et al. Elastography: ultrasonic estimation and imaging of the elastic properties of tissues[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part H: Journal of Engineering in Medicine, 1999, 213(3): 203-233.
- [3] Plewes DB, Betty I, Urchuk SN, et al. Visualizing tissue compliance with MR imaging[J]. J Magn Reson Imaging, 1995, 5(6): 733-738.
- [4] Fowlkes JB, Emelianov SY, Pipe JG, et al. Magnetic resonance imaging techniques for detection of elasticity variation[J]. Med Phys, 1995, 22(11): 1771-1778.
- [5] Muthupillai R, Lomas D, Rossman P, et al. Magnetic resonance elastography by direct visualization of propagating acoustic strain waves[J]. Science, 1995, 269(5232): 1854-1857.
- [6] Ophir J, Céspedes I, Ponnekanti H, et al. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues[J]. Ultrasonic Imaging, 1991, 13(2): 111-134.
- [7] O'Donnell M, Skovoroda AR, Shapo BM, et al. Internal displacement and strain imaging using ultrasonic speckle tracking[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 1994, 41(3): 314-325.
- [8] Lerner RM, Huang SR, Parker KJ. "Sonoelasticity" images derived from ultrasound signals in mechanically vibrated tissues[J]. Ultrasound Med Biol, 1990, 16(3): 231-239.
- [9] de Korte CL, Céspedes EI, van der Steen AFW, et al. Intravascular elasticity imaging using ultrasound: Feasibility studies in phantoms[J]. Ultrasound Med Biol, 1997, 23(5): 735-746.
- [10] Yamakoshi Y, Sato Ji, Sato T. Ultrasonic imaging of the internal vibration of soft tissue under forced vibration[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, 1990, 37(2): 45-53.
- [11] Parker KJ, Fu D, Graceswki SM, et al. Vibration sonoelastography and the detectability of lesions[J]. Ultrasound in medicine & biology, 1998, 24(9): 1437-1447.
- [12] Sandrin L, Tanter M, Catheline S, et al. Shear modulus imaging with 2-D transient elastography[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 2002, 49(4): 426-435.
- [13] Konofagou EE, D'Hooge J, Ophir J. Myocardial elastography:

- a feasibility study in vivo[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2002, 28(4): 475–482.
- [14] Mai JJ, Insana MF. Strain imaging of internal deformation[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2002, 28(11): 1475–1484.
- [15] Nightingale KR, Palmeri ML, Nightingale RW, et al. On the feasibility of remote palpation using acoustic radiation force[J]. *J Acoust Soc Am*, 2001, 110(1): 625–634.
- [16] Fatemi M, Greenleaf JF. Ultrasound-stimulated vibro-acoustic spectrography[J]. *Science*, 1998, 280(5360): 82–85.
- [17] Konofagou E, Thierman J, Hynynen K. A focused ultrasound method for simultaneous diagnostic and therapeutic applications—a simulation study[J]. *Phys Med Biol*, 2001, 46(11): 2967.
- [18] Greenleaf JF, Fatemi M, Insana M. Selected methods for imaging elastic properties of biological tissues[J]. *Annu Rev Biomed Eng*, 2003, (5): 57–78.
- [19] Taylor LS, Porter BC, Rubens DJ, et al. Three-dimensional sonoelastography: principles and practices[J]. *Phys Med Biol*, 2000, 45(6): 1477–1494.
- [20] 罗建文, 白净. 超声弹性成像的研究进展[J]. *中国医疗器械信息*, 2005, 11(5): 23–31.
- [21] Wan MX, Li YM, Li JB, et al. Strain imaging and elasticity reconstruction of arteries based on intravascular ultrasound video images[J]. *IEEE T Bio-med Eng*, 2001, 48(1): 116–120.
- [22] Luo J, Ying K, Bai J. Elasticity reconstruction for ultrasound elastography using a radial compression: an inverse approach[J]. *Ultrasonics*, 2006, 44(Supplement 1): 195–198.
- [23] 刘科, 朱新建, 邵金华, 等. 血管内超声弹性成像中成像参数的比较研究[J]. *航天医学与医学工程*, 2010, 23(2): 147–152.
- [24] Alam KS, Ophir J. Reduction of signal decorrelation from mechanical compression of tissues by temporal stretching: Applications to elastography[J]. *Ultrasound Med Biol*, 1997, 23(1): 95–105.
- [25] Alam SK, Ophir J, Konofagou EE. An adaptive strain estimator for elastography[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 1998, 45(2): 461–472.
- [26] Kallel F, Ophir J. A least-squares strain estimator for elastography[J]. *Ultrasonic Imaging*, 1997, 19(3): 195–208.
- [27] Talhami HE, Wilson LS, Neale ML. Spectral tissue strain: a new technique for imaging tissue strain using intravascular ultrasound[J]. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 1994, 20(8): 759–772.
- [28] Konofagou EE, Varghese T, Ophir J, et al. Power spectral strain estimators in elastography[J]. *Ultrasound Med Biol*, 1999, 25(7): 1115–1129.
- [29] Varghese T, Konofagou EE, Ophir J, et al. Direct strain estimation in elastography using spectral cross-correlation[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2000, 26(9): 1525–1537.
- [30] Liu K, Zhang PF, Shao JH, et al. A 2D strain estimator with numerical optimization method for soft-tissue elastography[J]. *Ultrasonics*, 2009, 49(8): 723–732.
- [31] Zhou YJ, Zheng YP. A motion estimation refinement framework for real-time tissue axial strain estimation with freehand ultrasound[J]. *Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, IEEE Transactions on*, 2010, 57(9): 1943–1951.
- [32] Konofagou EE, Kallel F, Ophir J. Three-dimensional motion estimation in elastography[C]. *IEEE Symposium on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 1998: 1745–1748.
- [33] Righetti R, Ophir J, Srinivasan S, et al. The feasibility of using elastography for imaging the Poisson's ratio in porous media[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2004, 30(2): 215–228.
- [34] Varghese T, Ophir J. A theoretical framework for performance characterization of elastography: The strain filter[J]. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 1997, 44(1): 164–172.
- [35] 罗建文, 白净. 超声弹性成像中应变滤波器的理论及其发展[J]. *国外医学生物医学工程分册*, 2004, 27(6): 326–331.
- [36] Giuseppetti GM, Martegani A, Di Cioccio B, et al. Elastosonography in the diagnosis of the nodular breast lesions: preliminary report[J]. *Radiologia Medica*, 2005, 110(1–2): 69–76.
- [37] Itoh A, Ueno E, Tohno E, et al. Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis[J]. *Radiology*, 2006, 239(2): 341–350.
- [38] Scaperrotta G, Ferranti C, Costa C, et al. Role of sonoelastography in non-palpable breast lesions[J]. *Eur Radiol*, 2008, 18(11): 2381–2389.
- [39] Regini E, Bagnera S, Tota D, et al. Role of sonoelastography in characterising breast nodules. Preliminary experience with 120 lesions[J]. *Radiologia Medica*, 2010, 115(4): 551–562.
- [40] Zhi H, Xiao XY, Yang HY, et al. Ultrasonic Elastography in Breast Cancer Diagnosis: Strain Ratio vs 5-point Scale[J]. *Acad Radiol*, 2010, 17(10): 1227–1233.
- [41] Zhi H, Ou B, Luo BM, et al. Comparison of ultrasound elastography, mammography, and sonography in the diagnosis of solid breast lesions[J]. *J Ultras Med*, 2007, 26(6): 807–815.
- [42] Zhu QL, Jiang YX, Liu JB, et al. Real-time ultrasound elastography: Its potential role in assessment of breast lesions[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2008, 34(8): 1232–1238.
- [43] 富丽娜, 王怡, 王涌. 超声弹性成像与常规超声联合应用在

下转第21页

- [4] Zheng YP, Mak AFT. Effective elastic properties for lower limb soft tissues from manual indentation experiment[J]. IEEE Trans Rehabil Eng,1999,7(3):257-267.
- [5] Siu PM, Tam BT, Chow DH, et al. Immediate effects of 2 different whole-body vibration frequencies on muscle peak torque and stiffness[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2010,91(10):1608-1615.
- [6] Leung SF, Zheng YP, Choi CYK, et al. Quantitative measurement of post-irradiation neck fibrosis based on the young modulus-description of a new method and clinical results[J]. Cancer,2002,95(3):656-662.
- [7] Zheng YP, Choi YKC, Wong K, et al. Biomechanical assessment of plantar foot tissue in diabetic patients using an ultrasound indentation system [J]. Ultrasound Med Biol,2000,26(3):451-456.
- [8] 李进嵩,黄晶,邓辉胜,等.介入超声印压系统检测软组织力学特性实验研究[J].中国医学物理学杂志,2008,25(2):591-597.
- [9] 李进嵩,黄晶,邓辉胜,等.犬离体心肌应力-应变关系超声印压方法研究[J].中国医学物理学杂志,2008,25(3):649-653.
- [10] Lu MH, Zheng YP, Huang QH. A novel noncontact ultrasound indentation system for measurement of tissue material properties using water jet compression[J]. Ultrasound Med Biol, 2005,31(6):817-826.
- [11] Lu MH, Zheng YP, Huang QH, et al. Noncontact evaluation of articular cartilage degeneration using a novel ultrasound water jet indentation system[J]. Ann Biomed Eng, 2009,37(1):164-175.
- [12] Lu MH, Zheng YP, Huang QH. A novel method to obtain modulus image of soft tissues using ultrasound water jet indentation: a phantom study [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2007,54(1):114-121.
- [13] Duda GN, Kleemann RU, Bluecher U, et al. A new device to detect early cartilage degeneration[J]. Am J Sports Med, 2004,32(3):693-698.
- [14] 张立强, 杨米雄. 骨性关节炎疾病改善药物的研究进展 [J]. 医学综述, 2008,14(18):2814-2816.
- [15] Marliese A. 硫酸氨基葡萄糖:第1个经临床证明的骨关节炎疾病改善药物[J]. 中国新药与临床杂志, 2005,24(4):259-262.
- [16] Wang SZ, Huang YP, Wang Q, et al. Assessment of depth and degeneration dependences of articular cartilage refractive index using optical coherence tomography in vitro [J]. Connect Tissue Res,2010,51(1):36-47.
- [17] Saarakkala S, Wang SZ, Huang YP, et al. Quantification of optical surface reflection and surface roughness of articular cartilage using optical coherence tomography [J]. Phys Med Biol,2009,54(22):6837-6852.
- [18] Tearney GJ, Brezinski ME, Bouma BE, et al. In vivo endoscopic optical biopsy with optical coherence tomography[J]. Science,1997,276(5321):2037-2039.
- [19] Wang SZ, Huang YP, Saarakkala S, et al. Quantitative assessment of articular cartilage with morphologic, acoustic and mechanical properties obtained using high frequency ultrasound[J]. Ultrasound Med Biol, 2010,36(3):512-527.
- [20] Harris ED, Radin EL, Krane SM, et al. Effects of proteolytic-enzymes on structural and mechanical properties of cartilage [J]. Arthritis Rheum,1972,15(5):497-503.
- [21] Shingleton WD, Hodges DJ, Brick P, et al. Collagenase: a key enzyme in collagen turnover [J]. Biochem Cell Biol, 1996,74(6):759-775.
- [22] Rogowska J, Bryant CM, Brezinski ME. Cartilage thickness measurements from optical coherence tomography [J]. J Opt Soc Am A-Opt Image Sci Vis,2003,20(2):357-367. 

上接第7页

- 乳腺病灶良恶性鉴别上的价值[J].中国医学计算机成像杂志,2007,13(2):124-126.
- [44] 俞清,徐智章,毛枫,等.超声弹性成像在乳腺疾病中的初步应用[J].上海医学影像,2005,14(2):102-103.
- [45] Rago T, Santini F, Scutari M, et al. Elastography: New developments in ultrasound for predicting malignancy in thyroid nodules[J]. Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism,2007,92(8):2917-2922.
- [46] Lyschchik A, Higashi T, Asato R, et al. Thyroid gland tumor diagnosis at US elastography[J]. Radiology,2005,237(1):202-211.
- [47] 俞清,徐智章,王文平,等.甲状腺占位性病变的实时超声弹性成像表现[J].中国医学影像技术,2007,23(11):1612-1614.
- [48] 罗葆明,曾婕,欧冰,等.乳腺超声弹性成像检查压力与压放频率对诊断结果影响[J].中国医学影像技术,2007,23(8):1152-1154.
- [49] 罗葆明,曾婕,欧冰,等.乳腺超声弹性成像检查感兴趣区域大小对诊断结果影响[J].中国医学影像技术,2007,23(9):1330-1332.
- [50] 钟文景, 罗葆明. 乳腺疾病超声弹性成像诊断中的现状[J]. 中国医疗器械信息, 2008,14(4):4-5,12.
- [51] 郑永平, 周永进, 黄铮铭. 一种基于传统超声成像系统平台的组织超声弹性成像功能的实现[J]. 中国医疗设备,2011,(1) 1-3. 