

## · 综述 ·

## 声脉冲辐射力弹性成像技术在甲状腺结节诊断中的应用及进展

陈洁 徐辉雄

人群中甲状腺结节的检出率可达 19%~67%<sup>[1-2]</sup>, 仅 3%~7% 甲状腺结节可以扪及<sup>[3-4]</sup>。早期确诊甲状腺结节的性质对于制订治疗方案颇为重要。高分辨率超声检查是评估甲状腺结节的首选方法<sup>[5]</sup>, 但其诊断能力受操作者因素影响较大。2005 年弹性成像技术第一次应用于甲状腺。近年来, 继传统的实时组织弹性成像 (real-time elastography imaging, RTE) 以后, 声脉冲辐射力弹性成像 (acoustic radiation force impulse, ARFI) 技术作为新一代的弹性成像技术, 逐步推广应用。现对该技术在甲状腺结节诊断中的应用情况做一综述。

## 一、超声弹性成像基本原理及分类

通常, 我们将能够反映组织弹性特性的成像方式都称为弹性成像。弹性成像技术是以软组织的杨氏模量、剪切模量、应力与应变等软组织弹性参量为成像对象的技术。广义的弹性成像 (Elastography) 泛指采用包括 MRI、光学与超声等成像方式的弹性成像技术。超声弹性成像最初由日本学者 Yamakoshi 等<sup>[6]</sup>与美国学者 Ophir 等<sup>[7]</sup>提出, 其基本原理为对组织施加一个内部或外部的动态或者静态/准静态的激励, 在弹性力学、生物力学等作用下, 组织将产生响应, 例如位移、应变、速度的分布产生一定改变。利用超声成像技术, 结合数字信号处理或数字图像处理的技术, 可以估计出组织内部的相应情况, 从而间接或直接反映组织内部的弹性模量等力学属性的差异<sup>[8-9]</sup>。

超声弹性成像可大致分为血管内超声弹性成像及组织超声弹性成像两大类。Taylor 等<sup>[10]</sup>把超声弹性成像技术分为 3 种: (1) 压迫性弹性成像 (compression elastography of strain imaging); (2) 间歇性弹性成像 (transient elastography); (3) 振动性弹性成像 (vibration sonoelastography)。压迫性弹性成像即静态/准静态弹性成像, 是最基本的超声弹性成像, 其他很多方式都是以相似的原理进行应变或位移估计。通过操作者手法施加一定的压力, 比较组织受压前后的变化得到一幅相关的压力图, 并将受压前后回声信号移动幅度的变化转化为实时彩色图像。近几年来, 广泛应用于临床的 RTE 技术便是采用静态/准静态压缩激励的方法。其将受压前后回声信号移动幅度的变化转化为实时彩色图像。弹性系数小的组织受压后位移变化大, 显示为红色; 弹性系数大的组织受压后位移变化小, 显示为蓝色, 弹性系数中等的组织显示为绿色, 以色彩对不同组织的弹性编码来反映组织硬度。间歇性弹性成像是应用一个低频率的间歇振动

造成组织位移, 然后用组织反射回来的超声波去发现组织的移动位置。通过这种方法可得到感兴趣区中不同弹性系数的组织的相对硬度图。振动性弹性成像是用一个低频率的振动作用于组织并在组织内部传播, 产生一个振动图像并通过实时多普勒超声图像表现出来。

ARFI 技术是新一代的超声弹性成像技术, 是剪切波成像的一种, 其利用调制的聚焦超声波束作为激励机制, 组织受力后产生纵向压缩和横向振动, 进而产生剪切波。超声探头向感兴趣的目标组织发射一个聚焦的中强度长脉冲 (一般为 0.2~1.0 ms)。它在穿过软组织时, 由于吸收和散射的作用, 将其动量转换成力。在这个应力的作用下, 软组织沿着波束方向产生位移应变, 同时横向应变引发剪切波。利用剪切波相邻波峰时间差及波长可以计算剪切波速度 (shear wave velocity, SWV)<sup>[11]</sup>。ARFI 技术包括声触诊组织成像 (virtual touch tissue imaging, VTI) 和声触诊组织定量 (virtual touch tissue quantification, VTQ)。VTI 技术依靠声束施压产生纵向变形, 成像方式则与实时弹性技术相似。其由声脉冲推动产生纵向位移并探测感兴趣区域内脉冲路径上的组织位移。这种推动-探测过程在感兴趣区域依次展开, 相对位移有差异的所有部位被扫描成图像。VTI 是对组织整体的评价, 是深部组织的成像。它能定性反映组织弹性特征, 通常以黑白色所占比例来判断组织的软硬度。黑色多白色少反映该组织偏硬、弹性较差; 反之该组织偏软、弹性较好。以此为基础何勇等<sup>[12]</sup>将 VTI 弹性图像分 6 级, 级数越高, 黑色越多。I 级, 病灶区全部为白色或见少许点状黑色; II 级, 病灶区大部分为白色, 少部分为黑色; III 级, 病灶区黑色白色比例相当; IV 级, 病灶区大部分为黑色, 少部分为白色; V 级, 病灶区几乎全部为黑色。VI 级, 病灶区全部为黑色。VTQ 技术通过声波推动脉冲引发横向剪切波, 检测追踪感兴趣区域内离轴方向剪切波的位移与时间, 测量每个探测声束上达峰时间并计算出速度 SWV。其中剪切波的传播速度是与组织硬度直接相关。VTQ 是一种定量技术, 反映了绝对硬度, 提供组织硬度指标, 计算组织振动过程中的横向 SWV 来定量反映组织的弹性特征。SWV 值越高, 反映该组织越硬、弹性越差<sup>[13]</sup>。

## 二、基本步骤

甲状腺 ARFI 弹性成像需要采用配有 ARFI 成像软件的彩色多普勒超声诊断仪, 探头频率 6.0~10.0 MHz, 中心频率 7.5 MHz。检查时患者取仰卧位, 充分暴露颈部, 嘱其平静呼吸。一般对所有患者先行常规超声多切面扫查。探头涂满耦合剂并轻压探头, 调整增益、焦点及深度至适当条件, 并使图像前后场显示均匀。测量结节大小并观察其形态、边界、回声、有无钙化、内部多普勒血流信号等指标。

VTI 成像时将病灶最大切面置于屏幕中央, 取样时将感兴

DOI:10.3877/cma.j.issn.1674-0785.2013.16.054

基金项目: 上海市人才发展基金项目 (No. 2012045); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目 (NCET-06-0723)

作者单位: 200072 上海, 同济大学附属第十人民医院暨上海市第十人民医院超声医学科[陈洁 (现工作于上海市胸科医院超声医学科)、徐辉雄]

通讯作者: 徐辉雄, Email: xuhuixiong@hotmail.com

趣区大小调整至病灶范围的1.5~2倍,屏气后启动VTI成像。VTI模式下图像多显示为双幅,左侧为普通灰阶图像,右侧为VTI图像。根据VTI图像内黑白所占比例即可判断组织的软硬度。

VTQ模式下,先将感兴趣区置于病灶内部。目前感兴趣区大小一般为5 mm×5 mm,所以对于最大直径<5 mm的病灶检测存在一定困难。对于较大病灶,因病灶中央部分可能存在缺血、坏死等继发性改变,建议将取样框置于靠近病灶内缘的位置。取样框一般应选择病灶内部实性部分,尽量避开囊性变及钙化等部位。取样框位置确定后,嘱患者屏气、停止吞咽动作,启动VTQ功能。在屏幕右侧即可显示SWV(单位m/s)。SWV范围一般为0 m/s<SWV<9 m/s,超出上述区间会显示为“x.xx m/s”。因此,极硬或极软组织、操作者或患者移动、取样框选择不当等均可能出现“x.xx m/s”。出现上述情况时应综合判断,结合普通超声图像及VTI图像十分必要。VTI及VTQ可能存在一定的观察者内及观察者间变异,一般需重复3~4次直至获得满意图像。

### 三、ARFI技术的应用

1. VTI技术诊断甲状腺结节性疾病:国内外已有研究将VTI技术用于甲状腺良恶性结节的鉴别诊断,有研究发现77.6%的良性结节在VTI显像中表现出偏软,77.3%的恶性结节偏硬<sup>[14]</sup>。刘畅等<sup>[15]</sup>发现甲状腺癌的VTI图像IV级及以上占85.7%。何勇等<sup>[12]</sup>发现VTI弹性分级最佳诊断点为IV级,IV级及IV级以上诊断恶性甲状腺结节的敏感度、特异度及准确率分别为87.5%、91.8%、90.9%。各项研究都表明了绝大多数恶性结节质地偏硬而良性结节偏软的特点。

甲状腺偶发癌是指微小癌(直径≤10 mm)或临床上触诊发现困难,在行影像学检查时偶然发现的癌结节,最常见的是在超声检测中被发现<sup>[16]</sup>。术前检出多发性结节中的偶发癌非常重要,目前细针穿刺活检(fin-needle aspiration biopsy, FNAB)虽然在甲状腺癌的术前诊断中是一种有效的方法,但是在多发结节中,癌症的检出比例仅为2/3<sup>[17]</sup>,可见,对于偶发癌的检出需要其他手段补充。徐军妹等<sup>[18]</sup>研究发现,VTI弹性分级IV级及IV级以上检出甲状腺多发结节中偶发癌的敏感性、特异性、准确性分别为78.9%、98.9%、95.5%,而VTQ相应数值分别为57.9%、82.8%、90.6%。因此,他们认为VTI技术较VTQ对于甲状腺多发结节患者偶发癌的检出有较高的参考价值。

甲状腺微小癌(thyroid microcarcinoma, TMC)是指肿瘤最大直径≤1 cm的甲状腺癌。TMC常无任何临床症状,体征也比较隐匿,如果不能及时诊治,有可能逐渐变为进展期癌,所以TMC早期诊断、合理治疗对其预后十分关键。超声是诊断甲状腺癌的主要手段之一。部分学者已经证实,RTE对甲状腺小结节有较高的诊断价值,其敏感性、特异性及准确率分别达到94%、86%、91%<sup>[19]</sup>。但是传统实时弹性成像易受外部机械施压、周边条件及检查者施压方式等因素影响,所以存在重复性较差等缺点。ARFI弹性成像技术弥补了传统弹性成像的不足,能更加精确地反映靶区组织的硬度,判定结节的良恶性。张一峰等<sup>[20]</sup>研究表明VTI诊断TMC的敏感性、特异性、准确

性均较VTQ高。其中,VTI技术诊断TMC的敏感性、特异性、准确率分别为79.2%、100%、88.9%。VTQ诊断TMC的敏感性、特异性、准确率分别为62.5%、71.4%、66.7%。FNA是甲状腺肿瘤术前细胞病理学诊断方法,但是对于直径≤1 cm的甲状腺小结节,FNA取得组织偏少,对操作者依赖性强,且受相关禁忌证的影响,临床应用相对较少。美国甲状腺协会和临床内分泌协会<sup>[21-22]</sup>认为,对于直径≤1 cm的甲状腺小结节,只有当结节具有可疑的超声特点或者有颈部放射暴露史,甲状腺癌家族史的患者才实施FNA检查。此时ARFI技术作为安全、无创的检查方法可减少不必要的FNA检查。有研究表明<sup>[23]</sup>,超声弹性结合TI-RADS分级(thyroid imaging reporting and data system)减少了大约33.8%的FNA检查。ARFI技术减少了一部分的有创检查。

2. VTQ技术诊断甲状腺结节性疾病:刘畅等<sup>[17]</sup>发现甲状腺癌病灶VTQ检测SWV平均值为(4.70±2.79) m/s;与其相同深度处相邻甲状腺组织的SWV平均值为(2.16±0.46) m/s,两者比较差异有统计学意义。另有研究<sup>[14,24]</sup>表明甲状腺良恶性病灶的SWV值分布情况有显著性差别,甲状腺良性和恶性结节的SWV平均值分别为(2.28±0.84) m/s、(5.04±2.78) m/s。SWV=2.87 m/s为受试者工作特征性曲线(receiver operating characteristic, ROC)曲线上的最佳诊断临界点,对应敏感性为72%、特异性为81%、准确性为79.2%,阳性预测值为50%、阴性预测值为91.7%。病灶与其周围甲状腺组织SWV比值也被应用于甲状腺结节的良恶性判断,良性及恶性结节SWV与周边甲状腺组织的SWV比值平均值分别为(1.14±0.42) m/s和(2.39±1.43) m/s。甲状腺良恶性结节SWV与周围组织的SWV比值分布情况有显著性差别。类似地,有研究表明<sup>[25]</sup>,恶性结节的SWV值大于正常甲状腺组织以及良性结节的相应值,而良性结节的SWV值高于正常甲状腺组织的相应值。其SWV的良恶性临界值为2.42 m/s,诊断的敏感性、特异性、准确性分别为80.00%、89.23%、93.54%。Gu等<sup>[26]</sup>发现SWV的良恶性临界值为2.555 m/s,诊断的敏感性、特异性、准确性分别为86.36%、93.42%、91.84%。运用SWV值评估甲状腺良恶性结节具有一定价值。国外学者对ARFI技术在甲状腺疾病的运用也有相似研究。Friedrich-Rust等<sup>[27]</sup>研究显示,正常甲状腺SWV值为1.04~4.40 m/s,良性结节为0.92~3.97 m/s,恶性结节为2.40~4.50 m/s,良恶性结节的SWV值差异有统计学意义。Zhang等<sup>[28]</sup>发现,良恶性结节的SWV平均值分别为(2.34±1.17) m/s和(4.82±2.53) m/s。良性及恶性结节SWV与周边甲状腺组织的SWV比值平均值分别为(1.19±0.67) m/s和(2.50±1.54) m/s。VTQ对应的敏感性、特异性、准确性分别为63.6%~75%、82.2%~88.4%、80.3%~82.1%,而普通弹性成像分别为65.9%、66.7%、66.5%,前者明显较之后者高。Zhang等<sup>[28]</sup>的研究还发现VTQ技术对于直径>20 mm结节的诊断价值最高,而对直径<10 mm的诊断价值最低。

值得注意的是,也有研究表明<sup>[29]</sup>,ARFI技术结合普通弹性技术并不能提高甲状腺结节诊断率,其敏感性从单独使用传统弹性技术的76%下降到了48%,两者结合诊断的阴性预测值也

没有单独使用任一技术高。

王书隽等<sup>[30]</sup>研究发现结节的直径、结节周围组织的 SWV 值以及患者年龄与结节 SWV 值的相关度较大,是影响结节 SWV 值大小的主要因素。直径大的结节相对偏软、年龄大的患者结节相对偏硬、周围组织较硬的结节也相对偏硬。可见使用该技术还需要结合各方面的诊断因素。

3. ARFI 诊断甲状腺结节与传统超声及 RTE 比较: Gietka-Czernel 等<sup>[31-34]</sup>认为, RTE 在甲状腺结节良恶性鉴别诊断的价值优于普通超声,其敏感性、特异性、阳性预测值、阴性预测值分别为 86%~97%、85%~100%、95%~100%、98%~100%。也有学者认为,因为 RTE 技术对操作者依赖较大,受结节大小、评判标准不客观等影响,其敏感性仅为 15.7%~65.4%、特异性仅为 71.7%~79.1%,均低于普通超声的相应数值<sup>[35-36]</sup>。Zhang 等<sup>[28]</sup>认为 ARFI 诊断甲状腺结节良恶性的相应值明显高于 RTE。可以这么认为,ARFI 技术是 RTE 技术的一个发展。

4. ARFI 诊断甲状腺结节的重复性: Zhang 等<sup>[28]</sup>将 ARFI 技术用于甲状腺结节诊断的观察者内部重复性以及观察者之间重复性进行了评估。观察者内部重复性检测是对于同样病人的同样结节由相同的医生在术前两天进行 SWV 的重复检测。观察者之间重复性的检测是由两名有相似经验的医师检测同样病人同样结节的 SWV 值。两者的相关系数分别为 0.904 和 0.864。肖莉莉等<sup>[37]</sup>研究表明高频探头 ARFI 技术的重复性、一致性较好。探头加压、横切、倾斜、取样框靠近颈动脉搏动处及深度对 ARFI 值差异有显著性,是否屏气对 ARFI 值差异无显著性;对甲状腺非结节部位的测量只需 3 次,对可疑恶性结节需重复测量 5 次及以上。只有规范、合理地应用 ARFI 技术才能正确地反映甲状腺及甲状腺结节的软硬程度。

#### 四、优势与不足

ARFI 技术相对于静态弹性成像技术有不少优势,主要表现在: (1) 静态弹性成像技术需要用探头手动对组织施压,或者依赖身体内的运动作为激励机制,这些对成像的深度和位置都会有限制,而且用力不同产生的图像也会变化。相比之下,VTI 技术以黑白图像提示组织相对硬度,VTQ 技术直接以客观数值表达。(2) ARFI 技术可以更好地穿透坚硬表面到达深部组织,克服传统弹性成像无法从体表对深部组织施压,拓展了弹性成像应用范围。(3) 可用于各种无自主运动组织结构。(4) 与二维超声图像相结合,在可视情况下对组织脏器进行检测。然而,国外有学者提出了单独使用 ARFI 技术不如结合常规超声及普通弹性技术的说法<sup>[38]</sup>,ARFI 技术也存在一些不足: (1) 尽管 VTI 及 VTQ 技术受操作者因素影响较小,但仍受到患者肥胖、腹腔气体、检查深度、呼吸运动、大血管搏动等因素的干扰。(2) VTQ 取样框大小不能调节。(3) 受到深度的限制,由于声衰减的存在,VTI 一般只能检测到深度<8 cm 的组织位移变化<sup>[39]</sup>。而 VTQ 只能准确测量深度<10 cm 组织的 SWV<sup>[40-41]</sup>。(4) ARFI 反映的是组织的硬度信息,但在不同结节之间,病理结构存在一定的复杂性:如良性结节中伴有部分恶性组织,但其病灶微小不足以引起肿瘤硬度增加;或者良性

结节继发性增生、钙化等改变,使其硬度增加;而恶性结节中伴有出血、囊性变时组织硬度减低。尤其在 VTQ 技术中,当结节直径小于取样框时,其测得的 SWV 值为病灶及周边甲状腺组织的平均值,或者当一些微小结节伴有钙化时,取样框难以避开这些钙化灶,使测量值偏高,这些均可引起假阳性或假阴性,进而影响结果的准确性<sup>[42]</sup>。新一代的 VTIQ 技术正在探索中,其选点进行检测,相信可以弥补上述不足,以提高病灶的确诊率。

#### 五、结语

ARFI 技术弥补了常规超声以及普通弹性技术的不足,能定量反映甲状腺病灶的硬度信息,其中 VTI 对于甲状腺偶发癌检出及甲状腺微小癌更具诊断价值。同时,病灶大小对 VTQ、VTI 准确性有影响,且 ARFI 测量存在一定影响因素。所以结合相关影像学检查及 FNA 是必要的。下一步需要研究的问题包括: (1) ARFI 测量影响因素分析; (2) 大宗病例的多中心临床研究; (3) ARFI 对甲状腺结节诊疗流程的影响,特别是 ARFI 能否减少对 FNAB 的依赖; (4) ARFI 与病理的相关性分析; (5) ARFI 对 TI-RADS 的影响和改进。

#### 参 考 文 献

- [1] Cooper DS, Doherty GM, Haugen BR, et al. Management guidelines for patients with thyroid nodules and differentiated thyroid cancer. *Thyroid*, 2006, 16: 109-142.
- [2] 阮健秋, 徐辉雄, 谢晓燕, 等. 甲状腺结节超声误诊原因的分析——大宗病例临床报告. *影像诊断与介入放射学*, 2010, 19: 115-117.
- [3] Ross DS. Nonpalpable thyroid nodules-managing an epidemic. *J Clin Endocrinol Metab*, 2002, 87: 1938-1940.
- [4] Wang C, Crapo LM. The epidemiology of thyroid disease and implications for screening. *Endocrinol Metab Clin North Am*, 1997, 26: 189-218.
- [5] Baskin HJ. *Thyroid ultrasound and ultrasound-guided FNA Biopsy*. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 2000: 71-86.
- [6] Yamakoshi Y, Sato J, Sato T. Ultrasonic imaging of internal vibration of soft tissue under forced vibration. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control*, 1990, 37: 45-53.
- [7] Ophir J, Céspedes I, Ponnekanti H, et al. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrason Imaging*, 1991, 13: 111-134.
- [8] Parker KJ, Huang SR, Musulin RA, et al. Tissue response to mechanical vibrations for "sonoelasticity imaging". *Ultrasound Med Biol*, 1990, 16: 241-246.
- [9] Gao L, Parker KJ, Lemer RM, et al. Imaging of the elastic properties of tissue—a review. *Ultrasound Med Biol*, 1996, 22: 959-977.
- [10] Taylor LS, Porter BC, Rubens DJ, et al. Three-dimensional sonoelastography: principles and practices. *Phys Med Biol*, 2000, 45: 1477-1494.
- [11] 宋健宁. 关于医用超声影像设备招标采购中技术规格编写与评定规范化的思考. *世界医疗器械*, 2012, 12: 2-5.
- [12] 何勇, 徐辉雄, 张一峰, 等. 声触诊组织弹性成像鉴别诊断甲状腺结节良恶性的价值. *中华超声影像学杂志*, 2012, 21: 320-323.
- [13] Rubaltelli L, Corradin S, Dorigo A, et al. Differential diagnosis of benign and malignant thyroid nodules at elastosonography. *Ultraschall Med*, 2009, 30: 175-179.
- [14] Gu J, Du L, Bai M, et al. Preliminary study on the diagnostic value of acoustic radiation force impulse technology for differentiating between benign and malignant thyroid nodules. *J Ultrasound Med*, 2012, 31:

- 763-771.
- [15] 刘畅, 徐辉雄, 张一峰, 等. 甲状腺癌声脉冲辐射力弹性成像特征初步分析[J/CD]. 中华医学超声杂志: 电子版, 2012, 9: 735-739
- [16] Jin J, McHenry CR. Throid incidentaloma. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab*, 2012, 26: 83-96.
- [17] Frates MC, Benson CB, Charboneau JW, et al. Management of thyroid nodules detected at US: Society of Radiologists in Ultrasound consensus conference statement. *Radiology*, 2005, 237: 794-800.
- [18] 徐军妹, 徐辉雄, 张一峰, 等. 甲状腺多发结节中偶发癌的检出: 声脉冲辐射力弹性成像的应用价值[J/CD]. 中华临床医师杂志: 电子版, 2012, 6: 8073-8077.
- [19] 冯占武, 丛淑珍, 甘科红, 等. 不同大小甲状腺结节超声弹性成像临床应用研究. *中国超声医学杂志*, 2011, 28: 885-887.
- [20] 张一峰, 何勇, 徐辉雄, 等. 声脉冲辐射力弹性成像诊断甲状腺微小癌的价值[J/CD]. 中华临床医师杂志: 电子版, 2012, 6: 7615-7619.
- [21] Cooper DS, Doherty GM, Haugen BR, et al. Management guidelines for patients with thyroid nodules and differentiated cancer. *Thyroid*, 2006, 16: 109-142.
- [22] Gharib H, Papini E, Valcavi R, et al. American Association of Clinical Endocrinologists and Associazione Medici Endocrinologi medical guidelines for clinical practice for the diagnosis and management of thyroid nodules. *J Endocrinol Invest*, 2010, 33: 1-50.
- [23] Russ G, Rovyer B, Biquorqe C, et al. Prospective evaluation of thyroid imaging reporting and data system (TI-RADS) on 4550 nodules with and without elastography. *Eur J Endocrinol*, 2013, 168: 649-655.
- [24] 张一峰, 徐辉雄, 刘畅, 等. 声脉冲辐射力弹性成像鉴别甲状腺结节良恶性的价值[J/CD]. 中华临床医师杂志: 电子版, 2012, 6: 6286-6290.
- [25] Hou XJ, Sun AX, Zhou XL, et al. The application of Virtual Touch tissue quantification(VTQ) in diagnosis of thyroid lesions: A preliminary study. *Eur J Radiol*, 2013, 82: 797-801.
- [26] Gu J, Du L, Bai M, et al. Preliminary study on the diagnostic value of acoustic radiation force impulse technology for differentiating between benign and malignant thyroid nodules. *J Ultrasound Med*, 2012, 31: 763-771.
- [27] Friedrich-Rust M, Romenski O, Meyer G, et al. Acoustic Radiation Force Impulse-imaging for the evaluation of the thyroid gland: a limited patient feasibility study. *Ultrasonics*, 2012, 52: 69-74.
- [28] Zhang YF, Xu HX, He Y, et al. Virtual touch tissue quantification of acoustic radiation force impulse: a new ultrasound elastic imaging in the diagnosis of thyroid nodules. *PLoS One*, 2012, 7: e49094.
- [29] Bojunga J, Dauth N, Berner C, et al. Acoustic radiation force impulse imaging for differentiation of thuroid nodules. *PLoS One*, 2012, 7: e42735.
- [30] 王书隽, 徐辉雄, 张一峰, 等. 结节性甲状腺肿的弹性成像声触诊组织定量影响因素的分析. *影像诊断与介入放射学*, 2012, 21: 54-58.
- [31] Gietka-Czernel M, Kochman M, Bujalska K, et al. Real-time ultrasound elastography - a new tool for diagnosing thyroid nodules. *Endokrynol Pol*, 2010, 61: 652-657.
- [32] Bojunga J, Herrmann E, Meyer G, et al. Real-time elastography for the differentiation of benign and malignant thyroid nodules: a meta-analysis. *Thyroid*, 2010, 20: 1145-1150.
- [33] Rago T, Santini F, Scutari M, et al. Elastography: new developments in ultrasound for predicting malignancy in thyroid nodules. *J Clin Endocrinol Metab*, 2007, 92: 2917-2922.
- [34] Trimboli P, Guglielmi R, Monti S, et al. Ultrasound sensitivity for thyroid malignancy is increased by real-time elastography: a prospective multicenter study. *J Clin Endocrinol Metab*, 2012, 97: 2012-2951.
- [35] Lippolis PV, Tognini S, Materazzi G, et al. Is elastography actually useful in the presurgical selection of thyroid nodules with indeterminate cytology? *J Clin Endocrinol Metab*, 2011, 96: E1826-1830.
- [36] Moon HJ, Sung JM, Kim, et al. Diagnostic performance of gray-scale US and elastography in solid thyroid nodules. *Radiology*, 2012, 262: 1002-1013.
- [37] 肖莉莉, 赵雅萍, 高凌云, 等. 声辐射力脉冲成像技术对甲状腺的应用研究. *医学研究杂志*, 2012, 41: 126-130.
- [38] Moon HJ, Sung JM, Kim EK, et al. Diagnostic Performance of Gray-Scale US and Elastography in Solid Thyroid Nodules. *Radiology*, 2012, 262: 1002-1013.
- [39] Fahey BJ, Nelson RC, Hsu SJ, et al. In vivo guidance and assessment of liver radio frequency ablation with acoustic radiation force elastography. *Ultrasound Med Biol*, 2008, 34: 1590-1603.
- [40] Gallotti A, D'Onofrio M, Pozzi Mucelli R. Acoustic radiation force impulse(ARFI) technique in ultrasound with virtual touch tissue quantification of the upper abdomen. *Radiol Med*, 2010, 115: 889-897.
- [41] D'Onofrio M, Gallotti A, Mucelli RP. Tissue quantification with acoustic radiation force impulse imaging: measurement repeatability and normal values in the healthy liver. *AJR*, 2010, 195: 132-136.
- [42] 徐军妹, 徐辉雄, 张一峰, 等. 甲状腺实性低回声结节良恶性鉴别: 声辐射力脉冲弹性成像技术的应用价值[J/CD]. 中华医学超声杂志: 电子版, 2012, 9: 1087-1093.

(收稿日期: 2013-06-24)

(本文编辑: 张岚)

陈洁, 徐辉雄. 声脉冲辐射力弹性成像技术在甲状腺结节诊断中的应用及进展 [J/CD]. 中华临床医师杂志: 电子版, 2013, 7(16): 7557-7560.