

• 综述 •

Principles and clinical application of shear wave elastography

QIAO Xiao-hui, XING Jin-fang*

(Department of Medical Ultrasound, Shanghai First People's Hospital, Shanghai JiaoTong University School of Medicine, Shanghai 200080, China)

[Abstract] Shear wave elastography (SWE) is a new technology that can be used on the evaluation of the stiffness of intravital tissues. SWE is noninvasive and can accomplish real-time imaging and quantitative measurement. Preliminary studies have indicated that SWE has a good prospect in clinical application. The principles and clinical applications of SWE were reviewed in this article.

[Key words] Ultrasonography; Shear wave elastography

DOI:10.13929/j.1672-8475.2015.08.015

剪切波超声弹性成像的原理及临床应用现状

乔晓慧, 邢晋放*

(上海交通大学附属第一人民医院超声医学科, 上海 200080)

[摘要] 剪切波超声弹性成像(SWE)是一种用于评价活体组织硬度的新技术,具有实时、无创、定量等特点,目前的研究表明其具有良好的临床应用前景。本文旨在对该技术的原理以及临床应用现状进行综述。

[关键词] 超声检查;剪切波超声弹性成像

[中图分类号] R445.1 [文献标识码] A [文章编号] 1672-8475(2015)08-0512-04

剪切波超声弹性成像(shear wave elastography, SWE)是一种用于评价活体组织硬度的新技术,具有实时、无创、定量等特点,本文就这一技术的原理及临床应用现状进行综述。

1 SWE 的原理

SWE 的基本原理是采用探头发射安全的声辐射脉冲,在组织不同深度上连续聚焦引起组织微粒振动并产生横向剪切波,可对被检测组织的剪切波速度(shear wave velocity, SWV)进行精确的定量测量,从而实现扫查切面内剪切波传播过程的实时准确监测;同时,对 SWV 进行彩色编码叠加于二维解剖图像上,从而形成活体组织的实时剪切波速度图。

SWE 通过 SonicTouch 专利技术在组织内产生剪

切波。该技术能够使声束成功聚焦于组织的不同深度,聚焦产生的波源能够在组织内以高于剪切波产生速度的状态快速移动,并在组织中产生独特的超声剪切波源,产生的剪切波以“马赫圆锥”的形态相干增强,从而明显提高振幅和传播距离。在特定区域内和固定的声功率条件下,SonicTouch 技术产生剪切波的效率是普通波源条件下的 4~8 倍。

利用 SWV 可以对组织的弹性进行精确测量。因为杨氏模量是评价组织弹性的物理量,杨氏模量 = $3\rho c^2$, ρ 为被测组织的密度, c 为剪切波在被测组织中的传播速度。由于人体内各种组织的密度值相对稳定,都近似于水的密度(1000 kg/m^3),因此,欲得出组织杨氏模量的大小,就必须先测得 SWV。准确测定组织内各质点 SWV 是定量组织弹性的前提。与传统的弹性成像技术比较,SWE 技术利用超快速成像技术可实时准确地记录剪切波传播过程中引起的组织运动情况,并利用组织多普勒技术定量这一组织运动的速度,从而实现了扫查切面内各质点剪切波传播过程的实时

[第一作者] 乔晓慧(1991—),女,山东新泰人,在读硕士。研究方向:影像医学与核医学。E-mail: xiaoqiao8274@163.com

[通信作者] 邢晋放,上海交通大学附属第一人民医院超声医学科,200080。E-mail: xingshi7018@163.com

[收稿日期] 2015-03-28 [修回日期] 2015-06-25

准确监测,而后通过利用互相关算法,能够准确计算出剪切波通过组织各个质点的传播速度。同时,SWE 技术可对传播速度进行彩色编码叠加于二维解剖图像上,从而形成活体组织的实时剪切波速度图^[1]。正常情况下,同一组织内 SWV 是恒定的,当其发生改变时,则说明组织的细胞种类或含量发生了改变。当器官发生病变时,器官的组织细胞种类或含量发生了改变,因此利用 SWE 技术可以对不同组织器官的病变进行诊断。目前,该技术已广泛应用于甲状腺、乳腺、肝脏等的临床检查。

2 SWE 的临床应用现状

2.1 甲状腺 在甲状腺的 SWE 成像方法上,Dighe 等^[2]利用 SWE 技术扫查 88 个甲状腺结节后得出,测量整个结节的杨氏模量值优于选择结节的局部进行测量,原因可能是测量整个结节的杨氏模量优于选取结节中局部杨氏模量的最大值。Dighe 等^[3]对 96 个甲状腺结节分别进行横纵切面 SWE 扫查后得出,同一结节不同切面的 SWE 测值具有良好的一致性,选择不同切面对预测结节良恶性的效果也近似。这一结果为简化甲状腺的 SWE 成像步骤提供了理论依据。不同甲状腺组织的弹性值存在差异,詹嘉等^[4]报道,甲状腺不同组织的杨氏模量各不相同,从大到小依次为甲状腺乳头状癌、结节性甲状腺肿、甲状腺腺瘤、正常甲状腺组织及甲状腺囊肿,而甲状腺腺瘤囊性变与未手术的较小甲状腺实质结节相差不大,此排序大小与组织细胞种类相关。关于 SWE 鉴别甲状腺结节良恶性标准的研究中,Veyrieres 等^[5]利用 SWE 技术检测了 297 个甲状腺结节,检测到 35 例癌灶,并得出杨氏模量 66 kPa 是鉴别结节良恶性的最佳阈值,敏感度达 80%,特异度达 90.5%;弹性图中病灶的形态征象诊断敏感度 97%,阴性预测值 99.5%,但对于伴钙化的结节和滤泡状肿瘤的诊断还需进一步研究。刘保娴等^[6]通过对 235 例甲状腺结节进行扫查,结合手术或穿刺结果得出 157 个良性结节的平均杨氏模量为 (28.7 ± 16.7) kPa,78 个恶性结节的平均杨氏模量为 (66.8 ± 44.6) kPa,最优诊断界点为 39.2 kPa,诊断的敏感度、特异度、阳性预测值和阴性预测值分别为 68.0%、82.2%、65.4% 和 83.8%。付超等^[7]通过评价 83 例患者共 113 个甲状腺实性结节的杨氏模量平均值,得出诊断甲状腺结节良恶性的界值为 27.49 kPa,其敏感度为 93.2%,特异度为 81.2%,准确率为 85.5%。

2.2 乳腺 乳腺不同组织的杨氏模量不同,李俊来

等^[8]研究证实乳腺腺病的杨氏模量最大值、平均值及最小值均高于纤维腺瘤,纤维腺瘤的杨氏模量值显著高于正常腺体和脂肪,乳腺恶性病灶的杨氏模量值均高于良性病灶;乳腺内不同组织弹性从大到小依次为浸润性导管癌、乳腺病、乳腺病伴纤维腺瘤形成或导管内乳头状瘤、纤维腺瘤、腺体及脂肪。在鉴别乳腺病灶的方法上,Youk 等^[9]对 257 个乳腺病变进行 SWE 成像后结合手术病理结果得出,可以将乳腺病灶局部与病灶周围脂肪组织的杨氏模量比值(E ratio)作为区别病灶良恶性的指标,良性病灶与恶性病灶的 E ratio 存在显著差异。Berg 等^[10]通过收集 958 例女性乳腺疾病患者的重复标准超声检查及 SWE 检查结果得出,BI-RADS 分级联合 SWE 检查在不损失敏感度的前提下,可使诊断特异度从 61.1% 提升至 78.5%,曲线下面积(area under curve, AUC)升至 0.962;在 SWE 弹性图像上呈椭圆形且最大弹性值 < 80 kPa 可将诊断特异度从 69.4% 提升至 77.4%。在良恶性病灶的诊断界值上,曾庆劲等^[11]对 103 例女性患者共 125 个乳腺实性病变使用 SWE 进行病灶弹性模量定量测定,并以手术病理结果为诊断金标准进行比较后得出,以乳腺病灶最大弹性模量值 87.65 kPa、最小弹性模量值 37.15 kPa 和平均弹性模量值 66.85 kPa 分别作为诊断界值时,诊断良恶性病变的敏感度、特异度分别为 91.4%、88.5%,80.0%、83.9% 和 85.7%、88.5%。而 Wendie 等^[10]得出以最大弹性模量值 80 kPa 作为诊断阈值,特异度和敏感度较高。因此笔者认为,在选择诊断界值时,不能忽略因人种不同而存在的组织差别。

2.3 肝脏 SWE 技术在肝脏病变的诊断中也有广泛的研究报道。曾婕等^[12]用 SWE 比较 95 例健康者、70 例肝纤维化患者和 86 例肝硬化患者的杨氏模量得出,正常肝脏杨氏模量约为 5 kPa,肝纤维化杨氏模量约为 14 kPa,肝硬化杨氏模量约为 36 kPa,各组间杨氏模量及均数间的多重比较差异均有统计学意义,说明 SWE 能较好地地区分肝脏的不同病变。Guibal 等^[13]使用 SWE 技术对 108 例患者共 161 个肝脏局限性病灶进行扫查后发现,局灶结节增生的硬度与腺瘤有明显差异,50% 的局灶结节增生在 SWE 图像上呈硬度值的放射状分布;原发性肝癌与胆管细胞癌之间的弹性值也存在明显差异。因此 SWE 能够帮助区分腺瘤和局灶结节增生,有助于区分原发性肝癌和胆管细胞癌,并能够有效识别肝硬化背景下的原发性肝癌病灶。Cassinotto 等^[14]对 349 例需要进行穿刺的慢性肝病患

者在穿刺前 2 周分别用 SWE、ARFI 和 Fibroscan 进行肝硬度测量,结果显示对于严重肝纤维化,SWE 诊断准确率高于 Fibroscan,对于明显的肝纤维化,SWE 诊断准确率高于 ARFI,对轻微肝纤维化和肝硬化,三种方法诊断准确率无差异,因此,SWE 更有助于精确评估慢性肝病肝纤维化。目前对肝纤维化的诊断和分期仍以穿刺活检作为金标准,而穿刺活检取材部位局限,不能反映肝脏的整体情况,存在误诊及漏诊的可能,且穿刺活检属于有创检查,操作过程繁琐。SWE 是一种无创诊断技术,且能实时提供整个肝脏的弹性值,操作简便,具有良好的应用前景。

2.4 前列腺 在前列腺的病变中,SWE 技术可用于诊断前列腺癌和前列腺增生导致的膀胱出口梗阻 (bladder outlet obstruction, BOO)。Barr 等^[15]对 53 例因 PSA 增高或直肠指检异常需接受穿刺活检的患者在穿刺术前进行 SWE 检查,结合穿刺结果得出,将杨氏模量 37 kPa 作为分辨良恶性的阈值时,SWE 诊断敏感度为 96.2%,特异度为 96.2%,阳性预测值 69.4%,阴性预测值 99.6%;将阈值设为 40 kPa 时,所有前列腺癌患者均被诊出,阳性预测值为 50%。这一结果提示,SWE 诊断前列腺癌具有较高的敏感度和特异度;同时该方法较高的阳性预测值可以使 PSA 升高或指检异常但 SWE 诊断阴性的患者避免活检,从而显著降低穿刺阴性率。张明博等^[16]通过对 34 例前列腺增生患者进行 SWE 成像后,结合尿动力检查、前列腺体积参数等指标分析得出,前列腺组织弹性模量与 BOO 程度具有良好的相关性 ($r=0.754$),前列腺组织弹性模量诊断 BOO 的 ROC 曲线下面积为 0.853,以 31.6 kPa 为界值,诊断 BOO 的敏感度、特异度和准确率分别为 72%、90% 和 81%。这一结果提示前列腺组织弹性模量与 BOO 程度相关,SWE 可以为前列腺增生患者提供无创评价 BOO 程度的新方法。

2.5 阴茎 SWE 技术应用在阴茎组织的检查尚不多见。Richards 等^[17]报道首次利用 SWE 进行阴茎硬结症的诊断,研究结果显示 SWE 能够在二维超声和触诊无法发现病灶的情况下为该疾病提供一种诊断、定位以及治疗的新方法。由于阴茎组织的临床检查方法较少,SWE 成像无创、简便、实时的特点使该技术在阴茎组织病变的诊断中具有一定的应用价值,值得进一步研究。

3 SWE 的局限性

利用 SWE 测量正常及病变组织硬度的过程也会受到一些因素的影响。首先,呼吸以及动脉和心脏的

搏动会使 SWE 图像产生混杂信号进而影响 SWE 测值,尤其对甲状腺及肝脏组织及病变的 SWE 测值影响较大。黄泽萍等^[18]对正常人肝脏不同部位的 SWE 成像效果进行对比,发现在肝脏各段中,肝 S5 段和 S6 段图像采集成功率最高,而 S4、S7、S8 段和左外叶检测成功率不高,可能的原因是心脏搏动对其有很大影响。其次,ROC 取样框的深度也可以影响 SWE 值。郑剑等^[19]报道,对肝脏组织进行 SWE 成像时,距肝包膜 1~3 cm 为较理想的检测深度,当 ROC 取样框深度大于 3 cm 时,SWE 图像出现斑片状或者彩色缺失而影响 SWE 测值。再次,虽然理论上认为 SWE 无需要施加外力,无操作者依赖性,然而为了使探头紧贴颈部皮肤,操作者不可避免施加外力,这就可能使各研究间的测量数据产生差异^[20-21]。此外,在对形念不规则的病灶进行测量时,受仪器默认 ROC 取样设置所限,也可导致实时剪切波弹性成像不能准确反映病灶的硬度^[4]。因此,在进行 SWE 成像时,可以采用一些方法比如嘱患者屏气,避开动脉及心脏搏动,选择适当的检测深度及 ROC 大小等进行测量,从而使图像较为稳定,减少无效测量的次数。

4 小结

尽管 SWE 过程会受到诸多因素的影响,但 SWE 是目前最先进的超声弹性技术,与静态型和动态型弹性成像相比具有实时、定量、准确的优点,可以准确评价活体组织及其病变的弹性特征,具有良好的临床应用前景,值得进行多器官、多中心的临床研究,为制定超声弹性诊断标准奠定基础。

[参考文献]

- [1] Bercoff J. White paper of sheare wave elastography. [2015-03-01]. http://www.supersonicimagine.cn/node_65/White-papers
- [2] Dighe MK, Thiel J, Hippe DS. Methods of measurement of stiffness value within a thyroid nodule on shearwave elastography. RSNA:2014
- [3] Dighe MK, Thiel J, Hippe DS. Impact of image orientation on measurements of thyroid nodule stiffness using shear wave elastography. RSNA:2014.
- [4] 詹嘉,陈悦,柴启亮,等.剪切波弹性成像技术定量鉴别诊断甲状腺结节良恶性的初步探讨.中国超声医学杂志,2012,28(3):274-277.
- [5] Veyrieres JB, Albarel F, Lombard JV, et al. A threshold value in Shear Wave elastography to rule out malignant thyroid nodules: A reality? Eur J Radiol, 2012,81(12):3965-3972.
- [6] 刘保娴,梁瑾瑜,谢晓燕,等.应用 Logistic 回归模型评价剪切波弹

- 性成像在甲状腺结节鉴别诊断中的价值. 中华超声影像学杂志, 2014, 23(8):671-674.
- [7] 付超, 崔可飞, 秦石成, 等. 实时剪切波弹性成像在甲状腺实性结节良恶性鉴别诊断中的临床应用. 中华超声影像学杂志, 2012, 21(1):49-51.
- [8] 李俊来, 黄炎, 王知力, 等. 乳腺实时剪切波弹性成像的组织定征研究. 中华医学超声杂志(电子版), 2011, 8(4):812-819.
- [9] York JH, Son EJ, Park AY. Quantitative lesion-to-fat elasticity ratio measured by shear wave elastography for the diagnosis of breast cancers: Which area should be selected as the reference? RSNA:2014.
- [10] Berg WA, Cosgrove DO, Doré CJ, et al. Shear-wave elastography improves the specificity of breast US: The BE1 multinational study of 939 masses. Radiology, 2012, 262(2):435-449.
- [11] 曾庆劲, 曾婕, 郑荣琴, 等. 剪切波弹性成像在乳腺实性病良恶性鉴别诊断中的价值. 中华超声影像学杂志, 2014, 23(2):129-132.
- [12] 曾婕, 黄泽萍, 郑荣琴, 等. 剪切波弹性成像检测正常人及慢性肝病患者肝弹性模量. 中华超声影像学杂志, 2012, 21(6):481-483.
- [13] Guibal A, Boullaran C, Bruce M, et al. Evaluation of shearwave elastography for the characterisation of focal liver lesions on ultrasound. Eur Radiol, 2013, 23(4):1138-1149.
- [14] Cassinotto C, de Lédinghen V. Non-invasive assessment of liver fibrosis with impulse elastography: Comparison of Supersonic Shear Imaging with ARFI and FibroScan. J Hepatol, 2015, 61(3):550-557.
- [15] Barr RG, Memo R, Schaub CR. Shear wave ultrasound elastography of the prostate: initial results. Ultrasound Q, 2012, 28(1):13-20.
- [16] 张明博, 付帅, 周昀, 等. 剪切波超声弹性成像评价良性前列腺增生患者膀胱出口梗阻的前瞻性研究. 中华泌尿外科杂志, 2014, 35(4):282-287.
- [17] Richards G, Goldenberg E, Pek H, et al. Penile sonoelastography for the localization of a non-palpable, non-sonographically visualized lesion in a patient with penile curvature from peyronie's disease. J Sex Med, 2014, 11(2):516-520.
- [18] 黄泽萍, 曾婕, 郑荣琴, 等. 正常成人肝脏不同部位实时剪切波弹性成像效果的对比研究. 临床超声医学杂志, 2011, 13(12):813-815.
- [19] 郑剑, 曾婕, 郑荣琴, 等. 检测深度对肝脏实时剪切波弹性成像的影响. 中华医学超声杂志(电子版), 2013, 10(8):647-651.
- [20] Bhatia KS, Tong CS, Cho CC, et al. Shear wave elastography of thyroid nodules in routine clinical practice: Preliminary observations and utility for detecting malignancy. Eur Radiol, 2012, 22(11):2397-2406.
- [21] Lyschchik A, Higashi T, Asato R, et al. Elastic moduli of thyroid tissues under compression. Ultrason Imaging, 2005, 27(2):101-110.

《医学影像检查技术学》已出版

由全军医学影像中心、全国学科排名位居前 10 位的南京军区南京总医院医学影像科(南京大学附属金陵医院)王骏第 1 主编的高等医学院校教材——《医学影像检查技术学》出版发行(ISBN978-7-305-13991-8)。该书作为医学影像技术学的一门亚学科,涉及人体各部位的 X 线、CT、磁共振、DSA 检查技术。为方便读者学习,本书采用近 900 幅原创图片,从多角度、深层次展示医学影像检查技术手段,使学习更加方便、直观、快捷。其目的就是为了详尽突出医学影像检查技术的核心内涵,聚焦最优化的操作流程及规范化作业,牢固树立在合理使用低剂量的基础上,做到 X 线检查剂量个体化。

本书适用于高等医学院校医学影像与生物医学工程等相关医学类专业使用,同时,也是在职人员学习的良师益友。欲购此书者敬请将 56 元+7 元(含包装费+邮费+挂号费),寄至:南京三牌楼新门口 4 号 7 幢 402 室 王骏,邮编:210003,敬请在留言栏中注明书名及手机号。

详见《医学影像健康网》(www.mih365.com)。

欢迎加入王骏的微信号:1145486363(骏哥哥),敬请使用实名制+所在单位。谢谢!