

• 专家述评 •



徐辉雄，教授，主任医师，博士生导师。同济大学附属第十人民医院超声医学科主任，上海市皮肤病医院超声医学科主任，同济大学医学院超声医学研究所所长，上海市甲状腺疾病研究中心副主任。

学术任职：世界超声生物医学联合会肝脏超声造影指南专家组成员、前列腺弹性指南专家组成员，亚洲超声生物医学联合会超声造影委员会委员，中国抗癌协会肿瘤影像专业委员会副主任委员，中华医学会超声医学分会青年委员会副主任委员，海峡两岸医药卫生交流协会超声医学青年专家委员会副主任委员、超声医学委员会浅表器官超声委员会副主任委员、超声医学专家委员会常务委员，上海市医学会超声分会青年委员会常务副主任委员。

期刊编委：British Journal of Radiology (SCI收录)副主编；Clin Hemorheol Microcirc、Medicine、Plos One、Chinese Journal of Cancer等SCI收录杂志学术编委；《医学参考报：超声医学频道》、《肿瘤影像学》杂志副主编。

获得荣誉称号：首届“中国肿瘤青年科学家奖”、教育部新世纪优秀人才、中国超声医学工程学会“全国优秀超声医学专家”。

医疗专长：肝癌超声诊断与介入治疗；甲状腺结节超声诊断与介入治疗；腹部及浅表器官超声介入、超声造影、剪切波弹性成像等新技术的临床应用。围绕以上临床工作以第一或主要完成人获省部级科技进步一等奖1项、二等奖4项、三等奖2项。

基于超声新技术的结直肠癌肝转移诊断与治疗临床研究进展

徐辉雄，伯小皖

同济大学附属第十人民医院超声医学科，同济大学医学院超声医学研究所，上海 200072

【摘要】 超声是肝脏疾病的首选影像学检查方法。近年来随着超声造影、融合影像、声弹性成像、术中超声等超声新技术的出现，超声在结直肠癌肝转移的诊断和治疗中发挥越来越重要的作用，成为不可缺少的检查或治疗手段。该文重点综述超声新技术在结直肠癌肝转移诊断和治疗中的临床研究进展。

【关键词】 结直肠癌肝转移；超声；诊断；治疗

中图分类号：R445.1 文献标志码：A 文章编号：1008-617X(2017)01-0001-06

Recent advances on new ultrasound techniques in diagnosis and treatment of colorectal cancer liver metastases
XU Huixiong, BO Xiaowan (Department of Medical Ultrasound, Shanghai Tenth People's Hospital of Tongji University; Ultrasound Research and Education Institute, Tongji University School of Medicine, Shanghai 200072, China)

Correspondence to: XU Huixiong E-mail: xuhuixiong@126.com

【Abstract】 Ultrasound is critical to the diagnosis and treatment of colorectal cancer liver metastases. New ultrasound techniques, such as contrast-enhanced ultrasound, fusion imaging, acoustic elastography and intraoperative ultrasound, make ultrasound an indispensable tool for the diagnosis and treatment of colorectal cancer liver metastases. The present article emphasizes the clinical progress on new ultrasound techniques in the diagnosis and treatment of colorectal cancer liver metastases.

基金项目：国家自然科学基金(No: 81671695、81371570)；上海申康医院发展中心项目(No: SHDC22015005)；上海市科委项目(No: 14441900900)；上海市卫生和计划生育委员会项目(No: 2013SY066、20114003)

通信作者：徐辉雄 E-mail: xuhuixiong@126.com

【Key words】Colorectal cancer liver metastasis; Ultrasound; Diagnosis; Treatment

结直肠癌在美国是发病率和死亡率居第3的恶性肿瘤,在我国则均居第5位^[1-2]。随着生活方式及饮食习惯的改变,其发病率呈持续上升趋势。结直肠癌转移常见,尤以肝脏为好发转移部位。有15%~25%的结直肠癌在发现时已有肝脏转移,另有15%~25%在结直肠癌术后发生肝转移^[3]。肝脏转移也是结直肠癌患者死亡的最主要原因,因此早期发现、早期诊断结直肠癌肝转移(colorectal cancer liver metastasis, CRLM)对改善患者长期生存非常重要。超声检查因其定位定性准确、操作简便、安全无电磁辐射、性价比高优势,长期以来被认为是肝脏的首选影像学检查方法。手术完全切除肝转移灶仍是CRLM治疗的首选方法^[3]。对于手术不可切除病灶,全身化疗、放疗、分子靶向治疗及局部消融治疗是重要的备选手段^[3]。超声作为计划、引导、监控、疗效评估、随访等的重要工具,在治疗方面也成为越来越重要的手段^[4-10],本文就近年来超声新技术在CRLM诊断和治疗中的临床应用进行综述。

1 超声新技术在CRLM诊断中的应用

1.1 超声造影

超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)是近10年来超声领域的革命性突破^[11],其通过外周静脉注射超声造影剂,采用低功率的造影剂特异成像技术,以示踪造影剂在体内的分布及随时间的变化。由于造影剂成分多为惰性气体构成的微气泡,直径小于人体红细胞,可通过肺循环,因此能达到人体绝大多数部位。与传统超声通过声阻抗的差异来显示病灶不同,CEUS主要从微循环灌注和血流动力学的差异来区分病灶,因此病灶检测和诊断的灵敏度显著提高,在肝脏占位的诊断方面可媲美CT或MRI。CEUS既保留了传统超声的优势,又能实时动态观察,过敏反应罕见,无肝肾毒性,对场地和设施要求不高,适合很多不适于CT或MRI的患者。

我国学者在肝脏CEUS的规范方面走在国际前列,同济大学附属第十人民医院超声医学科参与了世界超声生物医学联合会(World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology, WFUMB)

全球肝脏CEUS指南的制定工作^[7],推动了这一技术的全球普及和推广。

CRLM诊断方面,CEUS主要作用一是检出病灶(detection),二是定性病灶(characterization)。

绝大多数CRLM在CEUS动脉期表现为典型的周边环状高增强,门静脉期及延迟期表现为低增强,即所谓“黑洞征”等特征性表现^[7]。因此,在有结直肠癌病史的患者中,如CEUS发现门静脉期或延迟期“黑洞样”征象,基本可确立诊断。“黑洞征”病变与周围正常肝组织反差极大,因此非常适用于肝内多发、小的转移病灶检测。与传统超声比较,CEUS至少可多检出17%的CRLM病灶^[12]。CEUS与多层螺旋CT (multi detector CT, MDCT)相比,两者检出CRLM的灵敏度均为85.7%,特异度分别为95.6%和97.6%,性能基本类似^[13]。

由于特征性的周边环状高增强及所谓“快进快出”表现,CEUS定性诊断CRLM的准确率极高,与增强CT或增强MRI相比也不逊色^[14-15],完全可作为CRLM的一线检查手段,也可作为不适合增强CT或增强MRI检查的替代方案。

此外,对于少数经以上检查仍不能明确的病灶或普通超声显示不清的病灶,也可利用CRLM延迟期呈低增强的特点,在CEUS引导下穿刺活检术,往往能获得较好的取材率和正确的诊断。

1.2 融合影像技术

尽管超声优点众多,亦存在以下局限性:扫查范围小,不能显示肝脏全貌;病灶与关键结构之间的空间关系难以把握;部分病灶位于超声检查死角难以显示(如受肺气、骨骼等遮挡);部分病灶因与周围组织声阻抗差异不大而表现为等回声,导致显示不清;存在检查者依赖性。以上缺点可被增强CT或增强MRI克服。融合成像技术多采用磁场空间定位技术,将超声容积数据库与CT或MRI容积数据库在三维空间方向上定位、重合,继而同步显示,可保留超声及CT或MRI的优点,同时克服两者的缺点。因此,对一些在超声上

显示不清而在CT或MRI上可显示的病灶,融合影像技术能根据CT或MRI图像准确定位病灶^[10, 16]。融合成像不需额外复杂的设备,可在超声机器上同步实时显示超声及CT或MRI图像,符合精准成像的要求,近年来日益引起关注和重视。

根据同济大学附属第十人民医院的一组数据^[10],肝细胞性肝癌(hepatocellular carcinoma, HCC)病灶的普通超声显示率仅为36%;采用普通超声与CT或MRI融合后,病灶清晰显示率为70%;进一步采用CEUS与CT或MRI融合,病灶清晰显示率提高至96%。因结直肠癌主要通过门静脉系统转移到肝脏,易侵犯毛细血管、小静脉,病灶多位于肝包膜下或靠近膈肌、血管,融合影像理论上可提高CRLM的检出率。此外,对于一些超声可显示而CT或MRI不显示的病灶,融合成像也可方便检出。随着诊断精度要求越来越高,能精确定位、定性CRLM的融合成像技术一定大有发展空间。融合成像也可与CEUS、声弹性成像等技术联合应用。

1.3 声弹性成像

与普通超声反映声阻抗差异、CEUS反映微循环灌注差异不同,声弹性成像技术主要反映组织的硬度。因此,弹性成像与以上所述超声技术共同构成了多模态超声成像,是超声成像新技术不可缺少的一个环节。弹性成像包括应力弹性和剪切波弹性成像,前者定性反映组织硬度,后者可通过杨氏模量(单位:KPa)或横向剪切波传播速度(shear-wave velocity, SWV)(单位:m/s)定性反映组织硬度。复旦大学附属中山医院和同济大学附属第十人民医院在弹性成像的临床研究方面开展了较系统的工作,参与编写了WFUMB弹性基础、肝脏弹性、乳腺弹性、甲状腺弹性、前列腺弹性等多个指南,是国内参与弹性指南编写仅有的两家单位^[17-20]。Masuzaki等^[21]用瞬时弹性测得转移性肝癌(metastatic liver cancer, MLC)、HCC、胆管细胞癌(cholangiocellular carcinoma, CCC)的平均杨氏模量分别为66.5、55、75 kPa ($P=0.049$)。Zhang等^[22]用声脉冲辐射力成像技术(acoustic radiation force impulse, ARFI)测出肝血管瘤、肝脏局灶性结

节增生、HCC、MLC、CCC的平均SWV分别为1.30、1.80、2.52、3.08和3.89 m/s。本中心利用ARFI测量恶性肝脏局灶性病灶的SWV值,明显比良性病变高 $[(2.95\pm 1.00) \text{ m/s vs. } (1.69\pm 0.89) \text{ m/s}, P<0.001]$ ^[23]。Tian等^[24]利用二维剪切波弹性(two-dimensional shear-wave elastography, 2D-SWE)测得肝脏恶性病灶的杨氏模量比良性结节大,其中CCC (96.21 kPa)和MLC (90.32 kPa)的最大杨氏模量比HCC (61.83 kPa)高。因此,利用弹性模量可区分MLC与其他病灶,将来可利用弹性成像来诊断CRLM。但对于位置过深、靠近肝包膜或膈肌的病灶,声弹性成像质量会受一定影响,相关弹性成像技术还需进一步优化。

1.4 高频超声

由于CRLM多位于肝脏周缘,多体积较小(<1.0 cm, 甚至0.5 cm),普通超声甚至CEUS显示存在一定困难。在临床实践中,我们发现此时应用高频超声(频率>7.5 MHz)往往能发现很多普通超声无法显示的CRLM,因此可作为一种有效的补充。一项研究比较了普通超声联合高频超声与单独普通超声的结果,发现尽管检查时间略长,但能在每5例患者中多检查出1个潜在可疑病灶^[25]。因此,除去一些身材较胖的结直肠癌患者外,腹部超声联合高频超声可作为一项常规探测手段。

2 超声新技术在CRLM治疗中的应用

2.1 超声新技术在外科手术治疗CRLM中的应用

2.1.1 术中超声

手术切除是CRLM治疗的首选方法。但因CRLM多发性和隐匿性的特点,术前尽管已完善包括增强CT或增强MRI等影像学检查,仍有可能存在漏诊。术中超声因体积小、高频、易于操作等优点,可贴近肝表面进行操作,往往能额外发现更多的病灶。Knowles等^[26]发现,外科手术中应用术中超声能多发现18.1%的新病灶,改变43.1%患者的手术方案,能更好地保留肝功能。Lucchese等^[27]认为,术中超声是唯一能在术中观察肿瘤间的位置及血管与胆管之间关系的检查方式。术中超声也可与CEUS联合使用。Hoch等^[28]发现,术中超声仅能多检查出1.4%的新病灶,

而术中CEUS能检出更多新的病灶^[29-30]。另外,对于CRLM化疗后接受外科手术的患者,术中CEUS的病灶检出效果优于CECT和术中超声^[31]。因此,术中超声能更好地指导手术,甚至改变原有手术方案,应作为CRLM手术的常规程序。

2.1.2 腹腔镜超声

随着腔镜外科的发展,腹腔镜超声也可发挥类似术中超声的作用。

2.2 超声新技术在消融治疗CRLM中的应用

消融治疗是治疗肝脏CRLM的重要手段,包括化学消融、热消融、冷冻消融及最近出现的纳米刀等^[6,9,32-34]。超声及超声新技术在消融治疗的术前计划、术中引导、监控、疗效评估、随访中均发挥重要的作用。

2.2.1 术前计划

CEUS和融合影像技术能更精准地确定病灶大小、数目、边界、位置、范围、与周边重要毗邻结构的空間关系,从而为消融方法和方案选择提供重要参考^[10,35-37]。消融目标一般包括病灶本身及周边0.5~1.0 cm的安全边缘,但普通超声很难观察及实现显示安全边缘的目的。Makino等^[38]利用融合影像技术中的“提取-覆盖”技术,可在超声图像上虚拟现实消融安全边缘,以此来指导和规划消融治疗,取得更好的局部肿瘤控制效果。

2.2.2 术中引导、监控

对部分普通超声无法显示的CRLM,CEUS和融合影像技术能更好地发挥引导和监控治疗过程的作用。特别如融合成像技术不受消融过程中产生的高回声气体的影响,能从不同角度观察正在消融的病灶,从而保证治疗的安全性和可控性。

2.2.3 疗效评估

CEUS能准确评价消融术后局部疗效,准确率与增强CT或增强MRI相当^[7,39]。完全消融多表现为病灶区无增强,同时无增强范围完全覆盖原病灶,并达到足够的安全边缘;反之则为不完全消融,需进一步补充治疗。术后CEUS联合术前CT或MRI融合成像技术理论上能更准确地评估消融灶情况及安全边缘,具有极高的临床应用价值,预计未来会得到普及应用。

近年来出现的声弹性成像技术能很好地显示消融灶边界^[40-41]。与大体病理标本相比,消融术后消融灶大小、面积和体积均高度相关^[41-44]。Sugimoto等^[43]发现,术后消融灶周边反应带及非消融区杨氏模量值明显不同。本中心利用2D-SWE测量出中央坏死区、周边坏死区、转化区、非消融区SWV分别为7.54~8.03、5.13~5.28、3.31~3.53、2.11~2.21 m/s,均有显著性差异^[44]。以上研究提示,未来弹性成像技术在CRLM消融后局部疗效评估方面有较大的发展空间。

2.2.4 随访

以上新技术也可用于CRLM消融后的随访,及时发现肝内局部肿瘤进展及肝内新病灶。

2.3 超声新技术在CRLM全身治疗中作用

化疗及分子靶向治疗是CRLM的重要手段^[3],早期评价药物治疗疗效有助于化疗方案的实施及减少药物不良反应。传统实体肿瘤疗效评价是以病灶大小变化来评价药物治疗效果,而改良后的实体肿瘤评价体系更侧重观察病灶血供情况。CEUS可实时动态显示病灶血流灌注情况,因无创、方便,可反复多次随时复查药物疗效,在早期评价药物疗效方面较增强CT或增强MRI更显优势。此外,CEUS定量分析技术能利用上升时间、峰值强度等各种参数比较定量评价血流灌注情况^[45],更准确、客观、及时。

3 结语

随着精准医学和个体化医学的发展,CRLM的临床诊断和治疗策略不断更新和发展。与之相对应,作为最广泛应用的影像学检查技术,超声也在不断推陈出新,为临床CRLM诊治提供了不断完善的解决方案。可以预期,超声在CRLM的诊治中将越来越发挥不可或缺的作用。

参考文献

- [1] SIEGEL R L, MILLER K D, JEMAL A. Cancer statistics, 2016 [J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(1): 7-30.
- [2] CHEN W, ZHENG R, BAADE P D, et al. Cancer statistics in China, 2015 [J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132.
- [3] 中华医学会外科学分会胃肠外科学组, 中华医学会外科学分会结直肠肛门外科学组, 中国抗癌协会大肠癌专业委员会, 等. 结直肠癌肝转移诊断和综合治疗指南

- (2016版) [J]. 中华消化外科杂志, 2016, 15(8): 755–767.
- [4] STANG A, FISCHBACH R, TEICHMANN W, et al. A systematic review on the clinical benefit and role of radiofrequency ablation as treatment of colorectal liver metastases [J]. *Eur J Cancer*, 2009, 45(10): 1748–1756.
 - [5] WONG S L, MANGU P B, CHOTI M A, et al. American Society of Clinical Oncology 2009 clinical evidence review on radiofrequency ablation of hepatic metastases from colorectal cancer [J]. *J Clin Oncol*, 2010, 28(3): 493–508.
 - [6] BHARDWAJ N, STRICKLAND A D, AHMAD F, et al. Liver ablation techniques: a review [J]. *Surg Endosc*, 2010, 24(2): 254–265.
 - [7] CLAUDON M, DIETRICH C F, CHOI B I, et al. Guidelines and good clinical practice recommendations for contrast enhanced ultrasound (CEUS) in the liver—update 2012: a WFUMB–EFSUMB initiative in cooperation with representatives of AFSUMB, AIUM, ASUM, FLAUS and ICUS [J]. *Ultraschall Med*, 2013, 34(1): 11–29.
 - [8] ZHENG S G, XU H X, LU M D, et al. Role of contrast-enhanced ultrasound in follow-up assessment after ablation for hepatocellular carcinoma [J]. *World J Gastroenterol*, 2013, 19(6): 855–865.
 - [9] AHMED M, SOLBIATI L, BRACE C L, et al. Image-guided tumor ablation: standardization of terminology and reporting criteria—a 10-year update [J]. *Radiology*, 2014, 273(1): 241–260.
 - [10] BO X W, XU H X, WANG D, et al. Fusion imaging of contrast-enhanced ultrasound and contrast-enhanced CT or MRI before radiofrequency ablation for liver cancers [J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1067): 20160379.
 - [11] XU H X, WESKOTT H P, LIU J B, et al. Contrast-enhanced ultrasound [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 865028.
 - [12] YARMENITIS S D, KARANTANAS A, BAKANTAKI A, et al. Detection of colorectal cancer hepatic metastases with contrast-enhanced ultrasound: comparison with conventional B-mode ultrasound [J]. *Dig Dis*, 2007, 25(1): 86–93.
 - [13] RAFAELSEN S R, JAKOBSEN A. Contrast-enhanced ultrasound vs multidetector-computed tomography for detecting liver metastases in colorectal cancer: a prospective, blinded, patient-by-patient analysis [J]. *Colorectal Dis*, 2011, 13(4): 420–425.
 - [14] WESTWOOD M, JOORE M, GRUTTERS J, et al. Contrast-enhanced ultrasound using SonoVue® (sulphur hexafluoride microbubbles) compared with contrast-enhanced computed tomography and contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the characterisation of focal liver lesions and detection of liver metastases: a systematic review and cost-effectiveness analysis [J]. *Health Technol Assess*, 2013, 17(16): 1–243.
 - [15] DONG F J, XU J F, DU D, et al. 3D analysis is superior to 2D analysis for contrast-enhanced ultrasound in revealing vascularity in focal liver lesions—A retrospective analysis of 83 cases [J]. *Ultrasonics*, 2016, 70: 221–226.
 - [16] MASUZAKI R, TATEISHI R, YOSHIDA H, et al. Assessing liver tumor stiffness by transient elastography [J]. *Hepatol Int*, 2007, 1(3): 394–397.
 - [17] COSGROVE D, BARR R, BOJUNGA J, et al. WFUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography: Part 4. Thyroid [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2017, 43(1): 4–26.
 - [18] BARR R G, COSGROVE D, BROCK M, et al. WFUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography: Part 5. Prostate [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2017, 43(1): 27–48.
 - [19] FERRAIOLI G, FILICE C, CASTERA L, et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 3: liver [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2015, 41(5): 1161–1179.
 - [20] BARR R G, NAKASHIMA K, AMY D, et al. WFUMB guidelines and recommendations for clinical use of ultrasound elastography: Part 2: Breast [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2015, 41(5): 1148–1160.
 - [21] MASUZAKI R, TATEISHI R, YOSHIDA H, et al. Assessing liver tumor stiffness by transient elastography [J]. *Hepatol Int*, 2007, 1(3): 394–397.
 - [22] ZHANG P, ZHOU P, TIAN S M, et al. Application of acoustic radiation force impulse imaging for the evaluation of focal liver lesion elasticity [J]. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*, 2013, 12(2): 165–170.
 - [23] GUO L H, WANG S J, XU H X, et al. Differentiation of benign and malignant focal liver lesions: value of virtual touch tissue quantification of acoustic radiation force impulse elastography [J]. *Med Oncol*, 2015, 32(3): 68.
 - [24] TIAN W S, LIN M X, ZHOU L Y, et al. Maximum value measured by 2-D shear wave elastography helps in differentiating malignancy from benign focal liver lesions [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2016, 42(9): 2156–2166.
 - [25] SCHACHERER D, WREDE C, OBERMEIER F, et al. Comparison of low and high frequency transducers in the detection of liver metastases [J]. *Dig Liver Dis*, 2006, 38(9): 677–682.
 - [26] KNOWLES S A, BERTENS K A, CROOME K P, et

- al. The current role of intraoperative ultrasound during the resection of colorectal liver metastases: a retrospective cohort study [J]. *Int J Surg*, 2015, 20: 101–106.
- [27] LUCCHESI A M, KALIL A N, SCHWENGBER A, et al. Usefulness of intraoperative ultrasonography in liver resections due to colon cancer metastasis [J]. *Int J Surg*, 2015, 20: 140–144.
- [28] HOCH G, CROISE-LAURENT V, GERMAIN A, et al. Is intraoperative ultrasound still useful for the detection of colorectal cancer liver metastases? [J]. *HPB(Oxford)*, 2015, 17(6): 514–519.
- [29] TORZILLI G. Contrast-enhanced intraoperative ultrasonography in surgery for liver tumors [J]. *Eur J Radiol*, 2004, 51(Suppl): S25–S29.
- [30] HOAREAU J, VENARA A, LEBIGOT J, et al. Intraoperative contrast-enhanced ultrasound in colorectal liver metastasis surgery improves the identification and characterization of nodules [J]. *World J Surg*, 2016, 40(1): 190–197.
- [31] ARITA J, ONO Y, TAKAHASHI M, et al. Usefulness of contrast-enhanced intraoperative ultrasound in identifying disappearing liver metastases from colorectal carcinoma after chemotherapy [J]. *Ann Surg Oncol*, 2014, 21(Suppl 3): S390–S397.
- [32] JONES C, BADGER S A, ELLIS G. The role of microwave ablation in the management of hepatic colorectal metastases [J]. *Surgeon*, 2011, 9(1): 33–37.
- [33] 陈敏山, 陈敏华. 肝癌局部消融治疗规范的专家共识 [J]. *肝脏*, 2011, 16(3): 242–244.
- [34] GILLAMS A, AUID-OHO, GOLDBERG N, et al. Thermal ablation of colorectal liver metastases: a position paper by an international panel of ablation experts, The Interventional Oncology Sans Frontières meeting 2013 [J]. *Eur Radiol*, 2015, 25(12): 3438–3454.
- [35] 武金玉, 陈敏华, 严昆, 等. 超声造影对肝转移癌射频消融的应用价值 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2008, 17(4): 307–311.
- [36] MAURI G, COVA L, DE BENI S, et al. Real-time US-CT/MRI image fusion for guidance of thermal ablation of liver tumors undetectable with US: results in 295 cases [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2015, 38(1): 143–151.
- [37] 吴洁, 杨薇, 尹珊珊, 等. 超声造影引导射频消融治疗肝转移癌疗效 [J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2011, 18(5): 479–484.
- [38] MAKINO Y, IMAI Y, IGURA T, et al. Usefulness of the extracted-overlay function in CT/MR-ultrasonography fusion imaging for radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma [J]. *Dig Dis*, 2013, 31(5–6): 485–489.
- [39] BO X W, XU H X, SUN L P, et al. Bipolar radiofrequency ablation for liver tumors: comparison of contrast-enhanced ultrasound with contrast-enhanced MRI/CT in the posttreatment imaging evaluation [J]. *Int J Clin Exp Pathol*, 2014, 7(9): 6108–6116.
- [40] FAHEY B J, NELSON R C, HSU S J, et al. In vivo guidance and assessment of liver radio-frequency ablation with acoustic radiation force elastography [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2008, 34(10): 1590–1603.
- [41] VAN VLEDDER M G, BOCTOR E M, ASSUMPCAO L R, et al. Intra-operative ultrasound elasticity imaging for monitoring of hepatic tumour thermal ablation [J]. *HPB (Oxford)*, 2010, 12(10): 717–723.
- [42] VARGHESE T, TECHAVIPOO U, LIU W, et al. Elastographic measurement of the area and volume of thermal lesions resulting from radiofrequency ablation: pathologic correlation [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2003, 181(3): 701–707.
- [43] SUGIMOTO K, OSHIRO H, OGAWA S, et al. Radiologic-pathologic correlation of three-dimensional shear-wave elastographic findings in assessing the liver ablation volume after radiofrequency ablation [J]. *World J Gastroenterol*, 2014, 20(33): 11850–11855.
- [44] BO X W, LI X L, XU H X, et al. 2D shear-wave ultrasound elastography (SWE) evaluation of ablation zone following radiofrequency ablation of liver lesions: is it more accurate? [J]. *Br J Radiol*, 2016, 89(1060): 20150852.
- [45] SCHIRIN-SOKHAN R, WINOGRAD R, RODEBURG C, et al. Response evaluation of chemotherapy in metastatic colorectal cancer by contrast enhanced ultrasound [J]. *World J Gastroenterol*, 2012, 18(6): 541–545.

(收稿日期: 2017-02-01)