

·技术研究·

超声融合成像在联合手术或操作的肝肿瘤消融术中疗效评估的应用

龙颖琳, 李 凯, 郑荣琴, 苏中振, 吕淑敏, 曾庆劲, 许尔蛟
(中山大学附属第三医院超声科//广东省肝脏疾病研究重点实验室, 广东 广州, 510630)

摘要:【目的】比较超声(US)与计算机断层扫描(CT)或磁共振(MR)的融合成像(US-CT/MR融合成像)以及超声与三维超声融合(US-US融合成像)在联合其他手术或操作的肝肿瘤消融术中疗效评估应用的价值。【方法】本研究纳入2015年8月至2015年12月期间联合其他手术或操作(包括开腹手术、腹腔镜手术、人工胸腹水等)的肝肿瘤消融治疗患者,分别对同一患者采用US-CT/MR融合成像和US-US融合成像结合超声造影进行术中即时消融疗效评估,比较两种融合成像技术适用率、融合配准成功率及操作时间。术后观察并记录并发症发生情况,消融术后1~3月行增强CT/MR作为疗效评估金标准。【结果】共50例患者合计67个病灶纳入本研究,其中包括消融联合人工胸腹水37例47个病灶,联合开腹手术10例14个病灶,腹腔镜手术5例8个病灶。US-US融合成像技术适用率为52.5%(35/67),显著低于US-CT/MR融合成像技术适用率[98.7%(66/67)]($P < 0.001$);而US-US融合成像的配准成功率为88.6%(31/35),显著高于US-CT/MR融合成像配准成功率[66.7%(44/66)]($P = 0.018$)。US-US融合成像操作时间[3.8 min(2.7~10.0 min)]显著短于US-CT/MR融合成像[5.5 min(3.0~14.0 min)]($P < 0.001$)。随访期内均未发现消融相关主要并发症,术后1~3个月内复查增强CT/MR,消融技术有效率为100%(62/62)。【结论】对于术中联合其他手术或操作的肝肿瘤消融术,病灶超声显示清楚者优先选择US-US融合成像,尤其是联合开腹手术的患者;而病灶超声显示不清时,部分患者也可选择US-CT/MR融合成像。

关键词:融合成像;肝肿瘤;热消融;超声

中图分类号:R454.1

文献标志码:A

文章编号:1672-3554(2017)05-0752-07

Application of Ultrasound Fusion Imaging in Treatment Response Assessment of Liver Tumors Ablation Combined with Surgeries or Procedures

LONG Ying-lin, LI Kai, ZHENG Rong-qin, SU Zhong-zhen, LÜ Shu-min, ZENG Qing-jin, XU Er-jiao
(Department of Ultrasound, Guangdong Key Laboratory of Liver Disease Research, The Third Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China)

Corresponding to: XU Er-jiao; E-mail: xuerjiao@126.com.

Abstract: 【Objective】 To compare the clinical application value of fusion imaging of ultrasound (US) and computed tomography (CT) or magnetic resonance (MR) (US-CT/MR fusion imaging) and fusion imaging of US and three-dimensional US (US-US fusion imaging) in treatment response assessment of thermal ablation combined with other surgeries and procedures. 【Methods】 This clinical research included patients confirmed with liver cancers that underwent thermal ablation combined with other surgeries and procedures from Aug to Dec 2015. Both US-CT/MR and US-US fusion imaging together with contrast-enhanced US was applied on the same patient to assess the treatment response of the thermal ablation during the ablation procedure. The applicable rate, the success rate of registration and the duration required for fusion imaging were recorded and compared. Contrast-enhanced CT/MR 1-3 months after the ablation procedure was taken as the golden reference of the technical efficacy rate for ablation. 【Results】 67 liver cancers in 50 patients were enrolled in this clinical research in total. The ablation of 47 lesions in 37 patients were combined with artificial hydrothorax or ascites, 14 lesions in 10 patients with open surgeries and 8 lesions in 5 patients with laparoscopy surgeries. The

收稿日期:2017-02-03

基金项目:国家自然科学基金(81401434, 81430038);广东省科技计划项目(2017A020215082, 2014A020212136);广东省产学研项目(2013B090200020)

作者简介:龙颖琳,在读博士研究生,lyinglin@qq.com;许尔蛟,通信作者,教授, E-mail: xuerjiao@126.com

applicable rate for US-US fusion imaging [52.5% (35/67)] was lower than that for US-CT/MR fusion imaging [98.7% (66/67)] ($P < 0.001$) while the success rate of registration for US-US fusion imaging [88.6% (31/35)] was higher than that for US-CT/MR [66.7% (44/66)] ($P = 0.018$). The duration time for US-US fusion imaging [3.8 min (2.7 ~ 10.0 min)] was significantly shorter than that for US-CT/MR fusion imaging [5.5 min (3.0 ~ 14.0 min)] ($P < 0.001$). No major complication related to ablation was observed. The technical efficacy rate for ablation was 100% (62/62) according to the contrast-enhanced CT/MR 1-3 months after the ablation procedure.【Conclusion】 For ablation combined with other surgeries and procedures, US-US fusion imaging should be priority when the tumor is conspicuous in US, especially for cases combined with open surgeries while US-CT/MR fusion imaging should be selected in some cases when the tumor is inconspicuous on US.

Key words: fusion imaging; liver tumor; thermal ablation; ultrasound

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2017, 38(5):752-758]

超声(ultrasound, US)融合成像技术是介入超声领域中的一种新技术,主要是基于电磁感应系统、三维重建技术等实现超声与其他影像学图像或三维超声(three-dimensional ultrasound, 3DUS)图像的融合^[1-3],这一技术在一定程度上克服了普通超声对病灶诊断的敏感性较低、扫查视野受限、影响因素较多、经验依赖等不足之处,与空间分辨率较高、视野全面的CT/MR图像结合,提高了超声成像对病灶的检出率以及超声引导介入治疗的精准性。目前这一技术主要包括两大类,分别是超声与计算机断层扫描(computed tomography, CT)或磁共振成像(magnetic resonance, MR)融合的US-CT/MR融合成像和超声与三维超声自身融合的US-US融合成像。其中,US-CT/MR融合成像采用术前获取的CT/MR容积图像与实时超声图像进行融合和对比^[4],文献报道可应用于肝肿瘤消融治疗的术前病灶检出和定位^[5-6]、消融计划制定与实施监测^[7-9]、穿刺引导^[10-11]及疗效评估^[12-14]等多个方面。而US-US融合成像则以消融治疗开始前即时扫查获取的3DUS图像作为基准容积图像,与术中实时超声图像进行融合、叠加显示,主要应用在肝肿瘤消融治疗的术前计划制定^[15]、穿刺引导^[16]及即时疗效评估^[17-18]等方面,目前相关文献报道相对较少,但初步研究结果展现了两种融合成像技术均具有良好的应用前景。

对于融合成像技术而言,图像配准成功要求术前与术中解剖形态以及位置达到基本一致,当患者肝脏形态结构或位置发生改变时可影响配准的准确性,从而无法进行精准评估,甚至引起配准的失败。由于肿瘤类型、大小、位置、数目等因素,部分患者在肝癌消融术中需要联合人工胸腹水辅

助方式、腹腔镜手术以及开腹手术^[19-21]。一般认为,在这种情况下并不适合进行融合成像检查,这是由于肝脏形态、位置、结构较术前有可能出现较大差异,从而可能导致配准误差较大甚至配准失败。然而暂未见研究报道专门对这方面进行探讨。因此,本研究拟以肝肿瘤消融术中疗效评估为基础,比较US-CT/MR及US-US融合成像技术在联合其他手术或操作的肝肿瘤消融治疗中应用的价值,并为临床应用中合理选择融合成像方式提供建议。

1 材料与方法

1.1 研究对象

本研究纳入2015年8-12月于我院行超声引导下肝肿瘤热消融的患者,纳入标准为:①经穿刺活检病理,或者经两种增强影像学方法和临床病史确诊为肝脏恶性肿瘤^[22-23];②符合肝肿瘤热消融适应证^[24];③消融术中联合开腹手术、腹腔镜手术或人工胸腹水辅助手段,且手术和操作均在肝肿瘤热消融前进行。排除标准:患者具有超声造影检查禁忌证,无法实施超声造影检查。按照标准纳入病例,所有患者均在术前签署知情同意书。

1.2 热消融

1.2.1 仪器设备 ①Cool-tip冷循环射频消融系统(柯惠公司, Mansfield, MA, USA), 17G内冷式电极,裸露端为3 cm,采用自动模式,输出功率设为最大(200 W),每针消融时间12 min;②水冷微波消融仪(康友公司,南京,中国), 15G水循环内冷式微波天线,输出功率设为60 W,每针消融时间6 min。

1.2.2 消融过程 所有患者采用气管内麻醉,根据病灶大小及部位在超声引导下进行单针多次、多点布针,尽量使得消融范围覆盖病灶及病灶周边5 mm的消融安全边界。当病灶临近胃肠、胆囊、膈顶等重要结构时,使用人工腹水或人工胸水辅助手段;当病灶受肺气遮挡显示不清时,使用人工胸水辅助;当患者需要同期进行胆囊或脾脏切除时,或当患者肝脏多发肿瘤需要手术切除较大肿瘤、消融远处较小肿瘤时,或合并胃肠道肿瘤需要联合胃肠道肿瘤切除时,则联合开腹手术或腹腔镜手术。

1.3 消融术中融合成像进行疗效评估

1.3.1 仪器设备 MyLab Twice 彩色超声诊断仪(百胜公司, Genoa, Italy), 配备 Virtual Navigator 软件、磁场发生器、磁感应器、二维凸阵探头(CA541, 探头频率1~8 Hz)。

1.3.2 融合成像疗效评估 所有消融患者在消融前2周内进行CT/MR检查并将图像导入至融合成像设备中用于US-CT/MR融合成像检查;消融治疗开始前即时采用二维凸阵探头进行自由臂扫查获取3DUS图像作为容积图像用于US-US融合成像检查。按照消融计划完成消融后,由具有融合成像经验超过5年的操作者分别采用US-CT/MR及US-US融合成像结合超声造影在术中即时对同一患者评估消融疗效,融合成像操作步骤参考我团队已发表文献^[14,23]。若其中一种融合成像方法不可用或配准失败时,则仅使用另一种融合成像方法进行评估。若两种方法均由于各种原因无法实施时,则采用单纯超声造影评估肿瘤是否消融完全。比较两种融合成像技术的适用率、配准成功率以及融合成像操作时间。

1.4 随访

所有患者消融治疗结束1周内行超声检查以评估围手术期并发症发生情况,术后1~3个月行增强CT/MR检查评估消融疗效,并作为评价消融技术有效率的金标准。记录消融相关并发症发生情况以及技术有效率。

1.5 资料分析与评价指标

①技术适用率:当目标病灶在CT/MR或三维超声容积图像上可见,且配准所需要的解剖标志(如门静脉、肝静脉等)清晰可见,则认为融合成像技术适用;否则认为不可用。技术适用率指符合该项融合成像技术适用的病灶数目占病灶总

数目的百分比。②配准成功率:当目标病灶、邻近的配准标志以及脏器轮廓配准误差在3 mm以内,则认为融合成像配准成功;否则认为配准失败。配准成功率指融合成像配准成功的病灶数目占病灶总数目的百分比。③操作时间:定义为CT/MR图像导入融合系统、勾勒病灶和安全边界、初步配准、微调以及融合成像评估疗效的时间(US-CT/MR融合成像)或自由臂扫查采集3DUS图像、勾勒病灶和安全边界、微调以及融合成像评估疗效的时间(US-US融合成像)。④技术有效率:根据术后1~3个月增强CT/MR复查结果判断肝肿瘤是否完全消融。技术有效率指完全消融的病灶数目占病灶总数目的百分比。

1.6 统计分析

采用SPSS 13.0统计软件,计量资料根据是否符合正态分布分别采用均数(S = 标准差)或中位数(范围)表示,计数资料采用率表示;US-US与US-CT/MR融合成像的操作时间不符合正态分布,故组间比较采用两独立样本的非参数秩和检验,技术适用率及配准成功率的比较采用卡方检验 χ^2 及Fisher精确检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 病例纳入与剔除

2015年8月-2015年12月于中山大学附属第三医院进行肝肿瘤消融联合其他手术或操作的患者共53例患者72个病灶,其中3例患者5个病灶(诊断不明确1例患者1个病灶,诊断非肝脏恶性肿瘤2个患者4个病灶)不符合纳入标准。本研究最终纳入共50例患者合计67个病灶。患者平均年龄56($S = 12$)岁,病灶平均最大径17 mm(8~55 mm)。其中,消融术中联合人工胸腹水操作共37例患者合计47个病灶,联合开腹手术共10例患者合计14个病灶,联合腹腔镜手术共5例患者合计8个病灶。

2.2 两种融合成像技术的适用率及配准成功率

对于联合其他手术或操作的肝肿瘤消融治疗术中应用,US-CT/MR与US-US融合成像的技术适用率与配准成功率如表1所示。

US-US融合成像不适用的原因包括:普通超声显示不清(20例);三维重建后病灶边界显示不

表1 联合手术操作的肝肿瘤消融术中US-CT/MR及US-US融合成像的技术适用率及配准成功率

Table 1 The applicable rate and the success rate of registration in US-CT/MR and US-US fusion imaging in thermal ablation combined with other surgeries and procedures

	The applicable rate	The success rate of registration
US-US fusion imaging	52.2% (35/67)	88.6% (31/35)
US-CT/MR fusion imaging	98.5% (66/67)	66.7% (44/66)
χ^2	38.64	5.74
P	< 0.001	0.018

清(12例)。US-CT/MR融合成像不适用1例的原因是增强CT病灶未见明显显示(该病例于消融术前行穿刺活检,病理证实为高分化肝细胞癌)。

US-US融合成像配准失败的原因包括:开腹术中肝脏位置活动度大(3例);消融后肝组织形变明显配准失败(1例)。US-CT/MR融合成像配准失败的原因包括:开腹术中肝脏形态明显变化

(13例;图1);人工胸、腹水后肝脏位置形态明显变化(5例);肿瘤位于肝脏游离处(肝S6边缘)活动度大配准不成功(1例);腹腔镜术中解剖改变(2例);消融术后肝脏明显变形配准失败(1例)。对于联合不同手术或操作的肝肿瘤消融治疗术中应用,US-CT/MR与US-US融合成像分别的配准成功率如表2所示。

表2 联合不同手术或操作时US-CT/MR及US-US融合成像的配准成功率

Table 2 The success rate of registration of US-CT/MR and US-US fusion imaging in thermal ablation combined with surgeries or procedures

	Artificial hydrothorax or ascites	Open surgery	Laparoscopy surgery
US-US fusion imaging	95.5% (21/22)	70.0% (7/10)	80.0% (4/5)
US-CT/MR fusion imaging	82.6% (38/46)	7.1% (1/14)	75.0% (6/8)
χ^2	2.14	10.37	0.04
P	0.253	0.002	1.000

2.3 操作时间

US-US融合成像操作时间为3.8 min(2.7~10.0 min),US-CT/MR融合成像操作时间为5.5 min(3.0~14.0 min)($Z = -4.63, P < 0.001$)。

2.4 消融相关并发症

随访期内未见主要并发症发生,次要并发症包括有疼痛(12例,24%),低热(2例,4%),无症状腹腔积液(18例,36%),无症状胸腔积液(11例,22%)。以上经保守治疗后均好转。

2.5 技术有效率

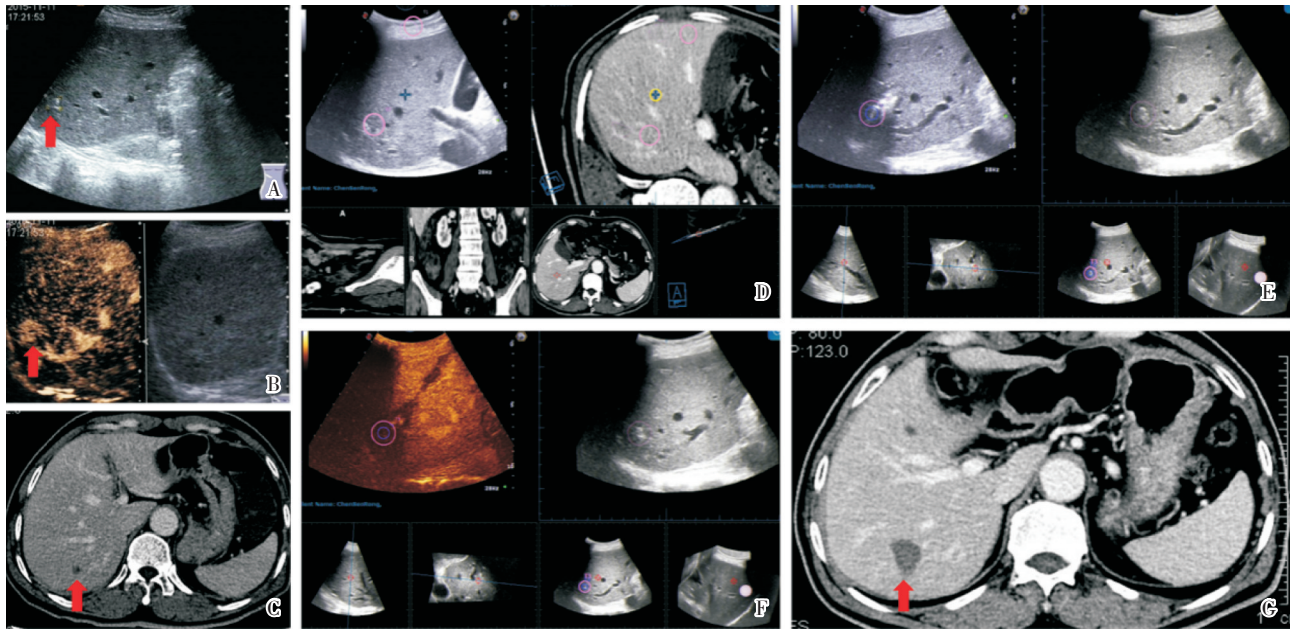
以1-3月复查增强CT/MR作为疗效评估金标准,共有2例5个病灶失访,最终共48例患者62个病灶获得复查结果,均获得完全消融,消融的技术有效率为100%(62/62)。

3 讨论

消融治疗是肝脏恶性肿瘤的根治手段之

一^[25-26]。其中,特殊部位肿瘤消融的安全性与成功率是临床关注的问题,研究^[19-21]表明术中联合其他手术及操作进行肝肿瘤消融可提高肿瘤消融的安全性和成功率。

本研究发现,在联合其他手术或操作的肝肿瘤消融治疗病例中,US-US融合成像相比于US-CT/MR融合成像应用成功率低,仅为52.2%。其主要原因可能与部分肝脏肿瘤病灶普通超声显示不清有关,比例为29.8%(20/67),与既往文献报道约28.4%的肝脏恶性肿瘤在普通超声上边界显示不清基本一致^[27];部分病灶普通超声虽然可显示,但边界较模糊,进行三维重建后部分边界显示不清,也导致无法用于US-US融合成像评估中。另外,本组联合手术或操作的病例中,病灶往往位于相对困难部位,甚至位于超声扫查的盲区,进一步降低其适用率,因此,对于这部分病灶并不适合采用US-US融合成像进行评估,而US-CT/MR融合成像技术则几乎不受病灶超声显示清晰程度影



The patient was a 62-years old male, diagnosed as colon cancer with multiple liver metastasis. A: A hyperechoic mass in S7 of the liver was seen in ultrasound images. B: Arterial phase hyper-enhancement, portal and late phase washout were observed in the hyperechoic mass. C: A low density nodules was seen in S7 of the liver on CT images. D: After colon cancer resection, the anatomical position in abdomen cavity changed and resulted in the failure of matching of the target lesion, organ outlines and vessels. E: The three-dimensional ultrasound volume images were acquired immediately and matched to the real-time ultrasound images successfully. F: After the ablation procedure was applied, the ultrasound volume images were fused with the real-time contrast-enhanced ultrasound to assess the treatment response. G: Contrast-enhanced CT were performed 1 month after the ablation to confirmed that the tumor had been ablated completely.

图1 US-US融合成像在联合开腹手术的肝肿瘤消融术中疗效评估

Fig.1 The application of US-US fusion imaging in liver tumors thermal ablation combined with open surgery

响。但另一方面,在US-US融合成像技术适用的病例中,配准成功率则明显高于US-CT/MR融合成像,这与我们的判断基本一致,术中联合其他手术或操作在一定程度上影响肝脏解剖结构及形态,从而影响US-CT/MR融合成像的配准准确性,甚至引起配准的失败。在本研究统计的人工胸腹水、开腹以及腹腔镜等几种联合手术操作中,对于开腹手术的病例而言,US-US融合成像方法的配准成功率高于US-CT/MR融合成像且其差异具有统计学差异,主要原因是开腹手术,尤其是肝部分切除手术,可对肝脏解剖结构产生较大影响,使术前与术中肝脏位置形态结构发生较大改变,从而影响US-CT/MR融合成像的配准;另一方面,在开腹肝切除手术中,由于消融过程中肝脏位置游离,形态位置不固定,也可对部分US-US融合成像的配准造成一定的影响。但在人工胸腹水辅助和腹腔镜辅助组,虽然US-US融合成像的配准成功率

高于US-CT/MR融合成像,但两者比较无统计学意义,这与纳入的腹腔镜辅助病例多为腹腔镜下胃肠道肿瘤切除手术有关,其对肝脏结构影响较小,从而对两种融合成像的配准影响均不大;而人工胸腹水的使用可对肝脏总体形态产生影响,但对肿瘤局部位置的形态结构影响不大,由有经验的医生进行配准操作,绝大部分病灶也可以成功配准。

从操作时间来讲,US-US融合成像明显短于US-CT/MR融合成像,提示US-US融合成像操作上更加简便、快捷,其原因可能在于,US-US融合成像在术中即时采集三维超声容积图像时带有空间定位信息,可自动与二维实时超声图像配准,只需要进行微调,步骤更为简便;而US-CT/MR融合成像则需要提前获取CT/MR图像的DICOM格式并导入融合成像系统中,在配准时首先以大血管为解剖标志进行初步配准,再进行病灶附近部位

的微调配准,术前的准备工作更多,步骤更为复杂和繁琐,因此应用于配准和评估的时间较长。

我们以术后1~3个月复查的增强CT/MR作评价技术有效率的金标准,应用两种融合成像方法进行消融术中即时疗效评估的患者消融技术有效率均为100%,不低于以往文献报道^[28]的92.8%~100%。在围手术期,均无消融相关主要并发症发生。以上均提示US-CT/MR和US-US融合成像方法均是安全、有效的方法。

本研究尚存在不足之处。首先,本研究不是临床随机对照试验,操作者对同一个患者分别应用两种融合成像技术进行消融术中疗效评估,两种方法评估的先后顺序以及评估结果互相影响可对评估结果以及后续治疗的调整产生影响,因此本研究未对应用不同融合成像方法进行消融术中疗效评估的效能进行比较;其次,本研究的随访时间较短,仅评价术后1~3个月的消融技术有效率。在后续研究中将设计随机对照试验对US-CT/MR融合成像和US-US融合成像进行消融术中即时疗效评估指导治疗的有效性进行研究,并延长随访时间,对中远期效果进行评价。

综上所述,在联合手术操作的肝肿瘤消融病例中,US-CT/MR融合成像和US-US融合成像均是安全、可行的疗效评估方法,在病灶普通超声显示清晰的情况下,US-US融合成像配准成功率更高,操作时间更短,可优先选用US-US融合成像进行即时疗效评估,尤其是联合开腹手术的肝脏肿瘤消融。在病灶普通超声显示不清的情况下,由于US-US融合成像的应用受限,则使用US-CT/MR融合成像进行消融即时疗效评估。

参考文献

- [1] Makino Y, Imai Y, Igura T, et al. Usefulness of the multimodality fusion imaging for the diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma [J]. *Dig Dis*, 2012, 30(6): 580-587.
- [2] Abi-Jaoudeh N, Kruecker J, Kadoury S, et al. Multimodality image fusion-guided procedures: Technique, accuracy, and applications [J]. *Cardiovasc Interv Radiol*, 2012, 35(5): 986-998.
- [3] Toshikuni N, Tsutsumi M, Takuma Y, et al. Real-time image fusion for successful percutaneous radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma [J]. *J Ultrasound Med*, 2014, 33(11): 2005-2010.
- [4] Wood BJ, Kruecker J, Abi-Jaoudeh N, et al. Navigation systems for ablation [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2010, 21(8 Suppl): S257-263.
- [5] Okamoto E, Sato S, Sanchezsiles AA, et al. Evaluation of virtual CT sonography for enhanced detection of small hepatic nodules: A prospective pilot study [J]. *Ajr Am J Roentgenol*, 2010, 194(5): 1272-1278.
- [6] Dong Y, Wang WP, Mao F, et al. Application of imaging fusion combining contrast-enhanced ultrasound and magnetic resonance imaging in detection of hepatic cellular carcinomas undetectable by conventional ultrasound [J]. *J Gastroenterol Hepatol*, 2016, 31(4): 822-828.
- [7] 李凯,刘波,曾庆劲,等. 虚拟导航计划系统辅助肝细胞肝癌射频消融 [J]. *中华肝脏外科手术学电子杂志*, 2012, 1(2): 94-99.
Li K, Liu B, Zeng QJ, et al. Ablation of hepatocellular carcinoma assisted by ultrasound-CT or MRI navigation and planning system [J]. *Chin J Hepat Surg (Elect Ed)*, 2012, 1(2): 94-99.
- [8] Liu F, Liang P, Yu X, et al. A three-dimensional visualisation preoperative treatment planning system in microwave ablation for liver cancer: A preliminary clinical application [J]. *Int J Hypertherm*, 2013, 29(7): 671-677.
- [9] Ren H, Camposnanez E, Yaniv Z, et al. Treatment planning and image guidance for radiofrequency ablation of large tumors [J]. *IEEE J Biomed Heal Informatics*, 2014, 18(3): 920-928.
- [10] Ahn SJ, Lee JM, Lee DH, et al. Real-time US-CT/MR fusion imaging for percutaneous radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma [J]. *J Hepatol*, 2016, 66(2): 347-354.
- [11] Minami Y, Kudo M. Ultrasound fusion imaging of hepatocellular carcinoma: A review of current evidence [J]. *Dig Dis*, 2014, 32(6): 690-695.
- [12] Numata K, Fukuda H, Morimoto M, et al. Use of fusion imaging combining contrast-enhanced ultrasonography with a perflubutane-based contrast agent and contrast-enhanced computed tomography for the evaluation of percutaneous radiofrequency ablation of hypervascular hepatocellular carcinoma [J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(10): 2746-2753.
- [13] Li K, Su Z, Xu E, et al. Evaluation of the ablation margin of hepatocellular carcinoma using CEUS-CT/MR image fusion in a phantom model and in patients [J]. *BMC Cancer*, 2017, 17(1): 61-70.

- [14] Zhong ZS, Kai L, Rong QZ, et al. A feasibility study for determining ablative margin with 3D-CEUS-CT/MR image fusion after radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma [J]. *Ultraschall Med*, 2012, 33(7): 250-255.
- [15] Kai L, Su Z, Xu E, et al. Computer-assisted hepatocellular carcinoma ablation planning based on 3-D ultrasound imaging [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2016, 42(8): 1951-1957.
- [16] Park HJ, Lee MW, Rhim H, et al. Percutaneous ultrasonography-guided radiofrequency ablation of hepatocellular carcinomas: Usefulness of image fusion with three-dimensional ultrasonography [J]. *Clin Radiol*, 2015, 70(4): 387-394.
- [17] Toshikuni N, Shiroeda H, Ozaki K, et al. Advanced ultrasonography technologies to assess the effects of radiofrequency ablation on hepatocellular carcinoma [J]. *Radiol Oncol*, 2013, 47(3): 224-229.
- [18] Minami Y, Minami T, Chishina H, et al. US-US fusion imaging in radiofrequency ablation for liver metastases [J]. *Dig Dis*, 2016, 34(6): 687-691.
- [19] 郭光辉, 许尔蛟, 郑荣琴, 等. 单肺通气联合人工胸水辅助经皮热消融治疗肝膈顶部肝癌 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2015, 24(11): 959-962.
- Guo GH, Xu EJ, Zheng RQ, et al. Artificial hydrothorax combined with one-lung ventilation to aid percutaneous ablation treatment of liver carcinoma in the hepatic dome [J]. *Chin J Ultrasonogr*, 2015, 24(11): 959-962.
- [20] 李凯, 王平, 郑荣琴, 等. 超声引导下人工腹水辅助肝癌微波消融治疗研究 [J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2010, 7(10): 49-51.
- Li K, Wang P, Zheng RQ, et al. Artificial ascites assisted microwave ablation of hepatocellular carcinoma [J]. *Chin J Med Ultrasound (Elect Ed)*, 2010, 7(10): 49-51.
- [21] 田虎, 张阳德. 腹腔镜辅助射频消融与经皮射频消融治疗原发性肝癌的临床对照研究 [J]. *中华普通外科杂志*, 2012, 27(7): 564-567.
- Tian H, Zhang YD. Comparative study on laparoscopy assisted radio frequency ablation and percutaneous radio frequency ablation for hepatocellular carcinoma [J]. *Chin J Gen Surg*, 2012, 27(7): 564-567.
- [22] 中华人民共和国卫生部. 原发性肝癌诊疗规范(2011年版) [J]. *临床肝胆病杂志*, 2011, 20(11): 929-946.
- Ministry of Health of the People's Republic of China. Diagnosis and treatment guidelines of primary hepatocellular carcinoma (version 2011) [J]. *Chin J Hepatol*, 2011, 20(11): 929-946.
- [23] 中华医学会外科学分会胃肠外科学组. 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.
- Department of gastrointestinal surgery, Chinese Medical Association. Diagnosis and treatment guidelines of colorectal liver metastasis [J]. *Chin J Digest Surg*, 2016, 15(8): 755-767.
- [24] 中国医师协会超声医师分会. 介入性超声应用指南 [M]. 人民军医出版社, 2015.
- Chinese Medical Doctor Association ultrasound physicians section. Guidelines for interventional ultrasound [M]. People's Military Medical Press, 2015.
- [25] Llovet JM, Zucman-Rossi J, Pikarsky E, et al. Hepatocellular carcinoma [J]. *Nat Rev Dis Prim*, 2016, 11(2): 16018-16022.
- [26] De Giorgio M, Fagioli S. Management of hepatocellular carcinoma [J]. *Hepatology*, 2007, 42(5): 1208-1236.
- [27] 袁树芳, 吴涛, 苏中振, 等. 原发性肝癌常规超声漏诊原因分析 [J]. *中华医学超声杂志(电子版)*, 2012, 9(9): 785-787.
- Yuan SF, Wu T, Su ZZ, et al. The cause analysis of missing primary hepatic carcinoma lesions in conventional ultrasonography [J]. *Chin J Med Ultrasound (Elect Ed)*, 2012, 9(9): 785-787.
- [28] Cho YK, Kim JK, Kim MY, et al. Systematic review of randomized trials for hepatocellular carcinoma treated with percutaneous ablation therapies [J]. *Hepatology*, 2009, 49(2): 453-459.

(编辑 王晓鹰)