

·技术研究·

## 基于肝表面智能自动对位法的超声-CT/MR融合成像的可行性研究

曾庆劲<sup>1</sup>, 颜荣华<sup>2</sup>, 吴宇轩<sup>1</sup>, 龙颖琳<sup>1</sup>, 罗丽萍<sup>1</sup>, 李凯<sup>1</sup>, 许尔蛟<sup>1</sup>, 郑荣琴<sup>1</sup>  
(中山大学附属第三医院 1.超声科, 2.放射科, 广东 广州 510630)

**摘要:**【目的】探讨基于肝表面智能自动对位法的超声-CT/MR融合成像在肝脏局灶性病变定位的可行性及简便性。【方法】采用飞利浦EPIQ7的PercuNav融合成像系统对30例增强CT或MR发现肝内局灶性病变的患者进行超声-CT/MR融合成像检查。同时采用系统配置的基于肝表面智能自动对位法(智能法)和常规内定标人工对位法(人工法)进行融合成像配准,比较两种方法的配准成功率、初步配准误差、微调配准次数。【结果】所有30例患者中,智能法和人工法的配准成功率均为96.67%(29/30),且初步配准误差和微调配准次数两种方法之间比较无统计学差异( $P>0.05$ )。进一步分层分析,左肝病例中,人工法的初步配准误差优于智能法,差异有统计学意义( $P=0.00$ ),而微调配准次数虽然人工法少于智能法,但两者比较差异无统计学意义( $P=0.09$ );而在右肝病例中,智能法的初步配准误差和微调配准次数均优于人工法,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。【结论】基于肝表面智能自动对位法的超声-CT/MR融合成像技术具有较高的配准成功率,可行性较好;相对于常规的内定标人工对位法,对于右肝病灶其融合成像操作过程更为简便高效,有助于降低对操作者融合成像技术经验的依赖性。

**关键词:** 肝脏;融合成像;智能对位;超声;肝表面

**中图分类号:** R735.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-3554(2019)01-0117-07

## Feasibility Study of Intelligent Automatic Registration Ultrasound-CT/MR Fusion Imaging Based on Liver Surface

ZENG Qing-jing<sup>1</sup>, YAN Rong-hua<sup>2</sup>, WU Yu-xuan<sup>1</sup>, LONG Ying-lin<sup>1</sup>, LUO Li-ping<sup>1</sup>, LI Kai<sup>1</sup>,  
XU Er-jiao<sup>1</sup>, ZHENG Rong-qin<sup>1</sup>

(1.Department of Medical Ultrasonics, 2.Department of Radiology, 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 explore the feasibility and simplicity of intelligent automatic registration ultrasound-CT/MR fusion imaging based on liver surface in localization of focal liver lesions. 【Methods】Thirty patients with detected focal liver lesions by contrast-enhanced CT or MR were enrolled for ultrasound-CT/MR fusion imaging using the PercuNav fusion imaging system in PHILIPS EPIQ7. Both intelligent automatic registration ultrasound-CT/MR fusion imaging based on liver surface (intelligent method) and the conventional internal plane method (manual method) were used for ultrasound-CT/MR fusion imaging. The success rate of registration, the initial registration error and the times of fine-tuning were compared between these two methods. 【Results】In all 30 patients, the success rates of registration were both 96.67% (29/30) using intelligent method and manual method. There was no significant difference between these two

收稿日期: 2018-08-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0112000); 国家自然科学基金重点项目(81430038); 国家自然科学基金(81401434); 广东省科技计划项目(2017A020215082, 2017A020215137); 广州市科技计划项目(201704020164)

作者简介: 曾庆劲, 医学硕士, 主治医师, 超声诊断与介入治疗, E-mail: qingjingzeng@sina.cn; 许尔蛟, 通信作者, 副主任医师, E-mail: xuerjiao@126.com

methods when compared the initial registration error and the times of fine-tuning ( $P>0.05$ ). According to the further stratified analysis, in 10 lesions in the left liver, the initial registration error of the manual method was less than that of intelligent method, the difference was statistically significant ( $P=0.00$ ). Although the times of fine-tuning of the manual method was less than that of intelligent method, there was no statistically significant difference ( $P=0.09$ ); In 20 lesions in the right liver, the initial registration error and the times of fine-tuning of the intelligent method were superior to those of the manual method. The differences were statistically significant ( $P<0.05$ ). 【Conclusion】 Intelligent automatic registration ultrasound-CT/MR fusion imaging based on liver surface is a feasible method with high success rate for ultrasound-CT/MR fusion imaging. Compared with the conventional internal plane method, the fusion imaging process is more simple and efficient for the lesions in right liver. It helps to reduce experience dependence of fusion imaging for the operators.

**Key words:** liver; fusion imaging; automatic registration; ultrasound; liver surface

[J SUN Yat-sen Univ (Med Sci), 2019, 40(1): 117-123]

超声融合成像技术是通过将超声与不同影像学图像进行匹配,实现超声与多种影像图像的实时对应显示,使得超声与不同影像技术的优点进行互补,在病灶的定位及实时引导穿刺活检及疗效评估方面,均发挥着显著的作用<sup>[1-5]</sup>。超声-CT/MR 图像融合技术充分发挥了超声影像简便实时无辐射、CT/MR 病灶高分辨力无盲区的技术优势,在肝脏局灶性病变定位诊断及治疗中发挥着重要作用<sup>[6-13]</sup>,尤其适用于常规超声下显示不清的病灶,例如等回声病灶、晚期肝硬化背景下病灶等。然而目前常用的融合成像对位方法为人工手动对位,如内定标对位法等,其通过肝内脉管结构(如门静脉、肝静脉等)或病灶(如囊肿等)作为对位标志物进行平面匹配,从而实现三维容积的配准融合<sup>[1-12]</sup>。常规手动方法过程较为繁琐费时,需要具备相当的医学影像专业基础及较长时间的应用培训,不同经验的操作者手动对位所需时间及对位精度存在不同程度差异,因此图像融合过程成为影响该方法临床应用的技术瓶颈<sup>[6-7, 10-14]</sup>。基于肝表面智能自动对位超声-CT/MR 融合成像技术通过计算机自动提取分割超声三维容积内的肝表面轮廓特征,与 CT/MR 肝表面轮廓形态特征进行全自动智能配准融合,实现整体肝脏的自动对位,使得图像融合对位过程更为简便高效,因此有可能解决图像融合的技术瓶颈。本研究拟通过与常规内定标法比较,探讨基于肝表面智能自动对位法在肝脏局灶性病变定位的可行性及简便性。

## 1 材料与方法

### 1.1 临床资料

2017年5月至2017年12月,符合以下入组标准的患者进入本研究,纳入研究的所有患者均签署知情同意书。入组标准:①我院增强CT或MR检查发现肝内局灶性病变,拟行超声检查评估病灶能否进行超声引导下消融治疗;②肝内病灶最大径1~3 cm;③患者增强CT/MR的检查时间在超声检查前1月内。排除标准:①患者无法配合完成图像融合操作(如:呼吸无法控制等);②患者拒绝参加本研究;③病灶常规超声不可见(如等回声、肺气肠气遮挡等)。

### 1.2 仪器设备

采用 Philips EPIQ7 彩色多普勒超声诊断仪,探头型号为凸阵探头 C5-1(频率:1~8 MHz)。超声仪内配置 PercuNav 融合成像系统,并配备了磁场发生器、磁场感应器及患者示踪器等。PercuNav 图像融合系统除了具有常规的人工内定标法进行超声-CT/MR 图像融合外,还具有基于肝表面的智能自动对位超声-CT/MR 融合成像技术。

### 1.3 图像融合方法

1.3.1 操作者要求和不同融合成像方法顺序 由一位具有5年以上肝脏超声融合成像检查经验的医师对同一患者进行两种不同融合成像操作,在操作前由另一辅助人员通过抽签随机确定不同融合方法操作的先后顺序,在融合对位前告知操作

者融合方法顺序。

1.3.2 图像融合两种方法 首先在患者上方50 cm内放置磁场发生器,并于前胸壁粘贴患者示踪器,探头贴附磁场感应器,随后将CT或MR的DICOM数据导入至超声仪内。尽量选择能够同时清晰显示病灶及血管等解剖结构的CT/MR影像序列(一般选择门脉期序列),并在对应序列图像上根据病灶大小进行标记。①常规内定标人工对位法(人工法):受检者取仰卧位,由操作者进行常规超声扫查,调节好基本参数使得肝内相关解剖结构清晰显示;融合成像包括初步配准及微调配准两个步骤,初步配准使用CT/MR的门静脉左支矢状部横切面作为对位切面,超声探头垂直扫查获得相对应的横断面超声图像,与CT/MR对应切面进行图像融合完成初步配准。其后根据病灶对位误差决定是否需要微调,如病灶误差 $>3$  mm,则采用系统提供的轨迹球法,通过变换层面、旋转图像和轨迹球直接移动图像等方式进行微调配准,使超声图像与CT/MR图像配准成功,微调配准主要参照物一般使用病灶周边脉管结构,通常为肝内2、3级门静脉分支,而不使用病灶本身进行直接对位。②基于肝表面智能自动对位法(智能法):受检者取相同体位,由同一名操作者进行超声扫查;同样先调整常规二维超声图像参数,使得肝内相关解剖结构能清晰显示,特别是近膈肌肝包膜能够清晰辨识;随后检查者使用腹部凸阵探头分别标记胸骨及脐位置,然后嘱受检者呼气末屏住呼吸后,在右肋间自头侧向足侧通过自由臂扫查获得包括近膈肌肝包膜的肝脏超声三维图像容积数据,选择超声仪内置的基于肝表面智能自动对位系统自动完成图像融合初步配准过程。其后根据病灶对位误差决定是否需要微调,微调配准方法同常规内定标对位法。

1.3.3 融合成像图像评价及参数记录 ①配准成功:经过初步配准和微调配准,超声与CT/MR图像融合后肝内病灶定位误差不超过3 mm,且微调配准次数不超过3次。②配准失败:智能自动对位法系统提示无法完成配准,或完成初步配准后超声与CT/MR图像完全不匹配无法进行后续微调配准,或达到配准精度所需微调配准次数超过3次。③配准误差:配准后超声图像与CT/MR图像的病灶中心点间距离。④初步配准误差:初步配准完成后的肝内病灶配准误差。⑤微调配准次

数:初步配准完成后,所进行的微调配准至肝内病灶配准误差不超过3 mm所需次数。⑥总体配准成功率:配准成功的病例数与总病例数的百分比。

#### 1.4 统计学分析

采用MedCalc 12.7.0统计分析软件。计量资料采用中位数(最小值、最大值)表示,率的比较使用卡方检验。定量参数值比较采用 $U$ 检验,分别对总体病灶、左肝病灶、右肝病灶进行不同图像融合方法的对位成功率、初步配准误差、微调次数等两两比较。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 患者一般资料

2017年5月至2017年12月在我院行增强CT或MR发现肝内局灶性病变并拟行超声引导下经皮局部热消融治疗的患者30例(CT 4例,MR 26例),其中男21例,女9例,年龄31~74岁,中位年龄59岁。病灶大小1.0~2.7 cm,中位数1.6 cm。肝内病灶位置分布情况:5例位于S2、2例位于S3、3例位于S4、5例位于S5、6例位于S6、3例位于S7、6例位于S8。

### 2.2 两种融合成像方法的配准成功率及配准效率比较

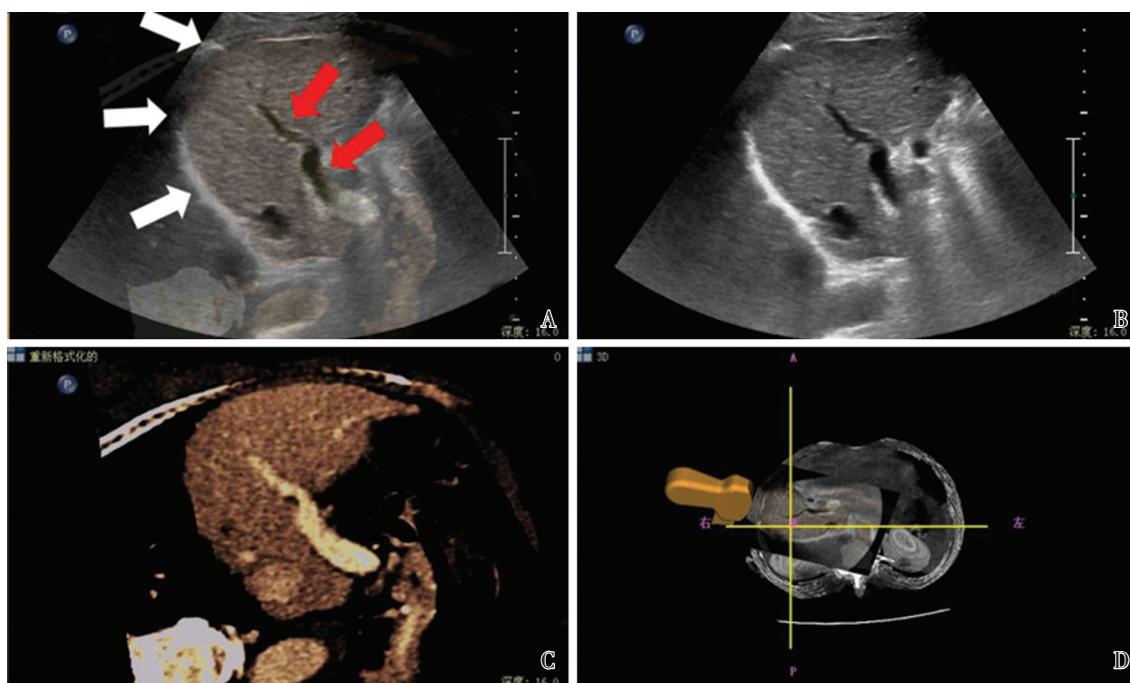
30例患者分别使用人工法和智能法两种方法进行图像融合的结果见表1。结果显示,总体病例中智能法96.67%(29/30)配准成功(图1、2),总体病例比较中,智能法的总体配准成功率与人工法无差异( $P=1.00$ )。智能法与人工法共同失败的1例病例为胸腹腔积液量发生变化引起肝脏位置形态发生改变所致。初步配准误差、微调配准次数两者比较,智能法与人工法差异也无统计学意义( $P>0.05$ )。

我们进一步将30例患者根据病灶位置分为左肝病灶和右肝病灶分别进行比较(表2、3)。结果显示:对于位于左肝的10例病灶,总体配准成功率智能法和人工法比较差异无统计学意义( $P=1.00$ ),但初步配准误差,人工法优于智能法,差异有统计学意义( $P<0.01$ ),而微调配准次数虽然人工法少于智能法,但两者比较差异无统计学意义( $P=0.09$ );对于位于右肝的20例病灶,总体配准成功率智能法和人工法比较差异也无统计学意义( $P=1.00$ ),但初步配准误差,智能法优于人工法,

表1 30例患者人工法和智能法的配准成功率及配准效率比较

Table 1 Comparison of performance on registration success rate and registration efficiency between intelligent method and manual method in the 30 study patients

	Cases	Overall success rate of registration /%	Initial registration error/cm	Times of fine-tuning
Manual method	30	96.67% (29/30)	0.95 (0.2-4.3)	1 (0-3)
Intelligent method	30	96.67% (29/30)	1.0 (0.1-3.2)	1 (0-3)
Z value		/	0.70	0.95
P value		1.00	0.49	0.34



A 63-year old male, contrast-enhanced CT detected liver lesion in S8. After the initial registration of the intelligent automatic registration ultrasound-CT fusion imaging based on liver surface, the right portal vein (red arrow) and the diaphragm (white arrow) were well matched (A) between the real-time ultrasound image (B) and CT virtual reconstruction image (C). The relationship between ultrasound probe and CT volume images was showed (D).

图1 基于肝表面智能自动对位法的超声-CT融合成像初步对位后肝脏图像

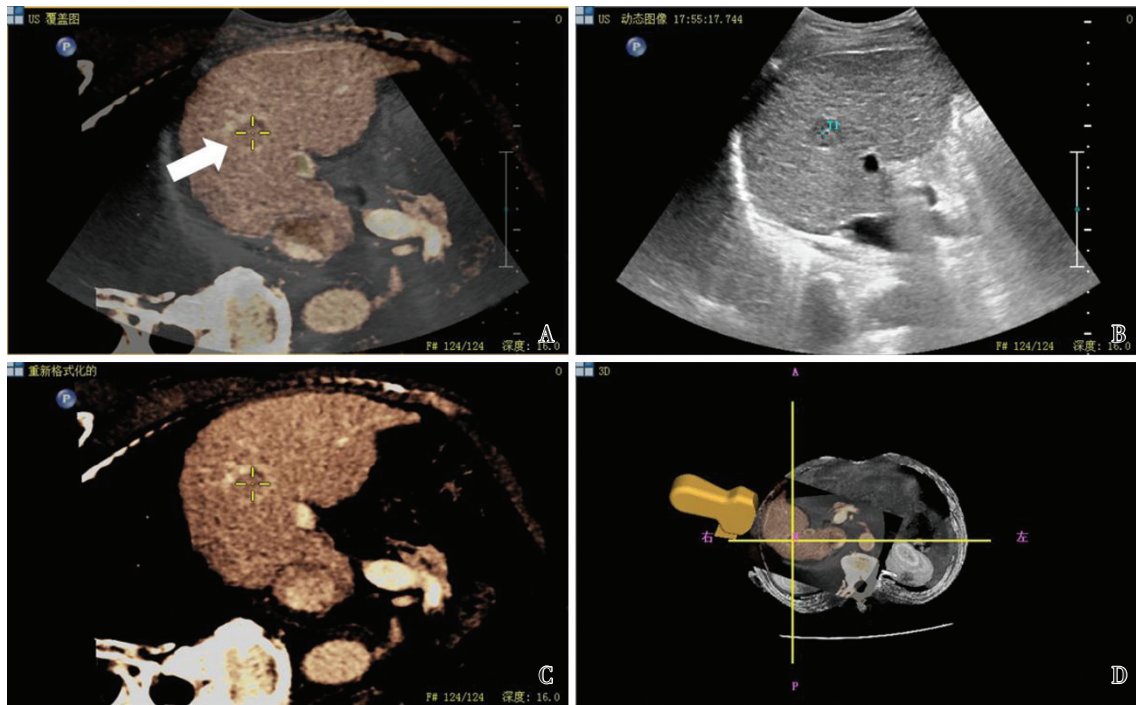
Fig.1 Liver image after initial registration of the intelligent automatic registration ultrasound-CT fusion imaging based on liver surface

差异有统计学意义( $P=0.01$ ),同时,微调配准次数智能法也少于人工法,差异有统计学意义( $P=0.03$ )。

### 3 讨论

随着图像融合技术的发展,超声图像融合技术提供了术前准确定位定性诊断、术前手术计划方案制定、术中精确引导穿刺、术后疗效评估等的

“一站式”解决方案,在肝脏肿瘤术前诊断及微创治疗中得到广泛临床应用及认可<sup>[6-14]</sup>。目前临床最常用的图像配准对位方法为人工手动对位,操作步骤较复杂,需时较长,同时需要掌握较好的超声和CT/MR阅片能力,易受操作者经验及不同超声图像融合系统影响,尤其对于缺乏经验者,对位融合费时、繁琐,缺乏简便性,影响图像融合的临床应用<sup>[6-7,10-14]</sup>。而智能对位融合成像技术有望解决上述常规超声-CT/MR图像融合方法的不足。



Subsequently, on the plane of lesion, we also found that the focal liver lesion on real-time ultrasound image (B) was matched with the lesion on CT images (C) without any fine tuning. The registration error of the lesion (white arrow) was about 2 mm (A). The relationship between ultrasound probe and CT volume images was also displayed (D).

图2 基于肝表面智能自动对位法的超声-CT 融合成像初次自动对位后肝内目标病灶图像

Fig.2 Target lesion image after the initial registration of the intelligent automatic registration ultrasound-CT fusion imaging based on liver surface

表2 10例左肝病灶人工法和智能法的配准成功率及配准效率比较

Table 2 Comparison of performance on registration success rate and registration efficiency between intelligent method and manual method in 10 lesions in the left liver

	Cases	Success rate of registration/(%)	Initial registration error/cm	Times of fine-tuning
Manual method	10	100% (10/10)	0.4 (0.2-0.9)	1 (0-2)
Intelligent method	10	100% (10/10)	1.35 (0.6-2.8)	1.5 (1-3)
Z value		/	3.33	1.71
P value		1.00	0.00	0.09

表3 20例右肝病灶人工法和智能法的配准成功率及配准效率比较

Table 3 Comparison of performance on registration success rate and registration efficiency between intelligent method and manual method in 20 lesions in the right liver

	Cases	Success rate of registration/(%)	Initial registration error/cm	Times of fine-tuning
Manual method	20	95.0% (19/20)	1.45 (0.3-4.3)	1 (1-3)
Intelligent method	20	95.0% (19/20)	0.90 (0.1-3.2)	1 (0-3)
Z value		/	2.71	2.20
P value		1.00	0.01	0.03

本研究采用的基于肝表面智能对位融合成像方法,通过计算机自动提取分割所扫描超声三维容积内的肝表面轮廓形态特征,与所提取的CT/MR肝表面轮廓形态特征进行全自动智能配准融合,实现整体肝脏的自动对位图像融合,这种方法类似于人脸智能识别。这种智能对位方法的特点主要在于采用扫查获取超声三维容积数据并与CT/MR图像自动匹配的步骤代替人工识别超声和CT/MR的肝内解剖标记进行人工对位配准的过程,而扫查获取超声三维容积数据的步骤相对操作难度不大,绝大部分操作者无需太多前期操作培训便可熟练掌握,因而使得图像融合对位过程更为简便高效。

本研究结果显示,常规内定标图像融合、基于肝表面智能图像融合的总体图像融合成功率均为96.67%(29/30),两者之间差异无统计学意义( $P>0.05$ ),证实基于肝表面智能图像融合成像同样具有较好的可行性。该结果与既往文献<sup>[15-19]</sup>报道的其他智能对位融合成像成功率(约72.73%~100%)相仿,提示该项技术的图像配准可行有效。

本研究在所有30例患者中,人工法和智能法的初次配准误差和微调配准次数并没有差异( $P>0.05$ ),似乎并没有体现智能法的优势。因此我们对30例病例根据病灶位置进行分层分析,比较左肝病灶和右肝病灶两种对位方法的差异性。无论是左肝还是右肝病灶中,智能法和人工法的图像融合成功率均没有差异。但对于位于左肝病灶,人工法的初次配准误差优于智能法,后续的微调配准次数,人工法也相对少于智能法( $P=0.09$ ,可能与病例数不足有关)。相反的,对于位于右肝的病灶,智能法的初次配准误差和后续的微调配准次数均优于人工法。究其原因,可能与两种对位方式选择的初步配准位置有关,人工法常规选择

左肝的门静脉左支矢状部作为初步配准平面,因此对于位于左肝的病灶配准的误差更小,由于初步配准误差较小,后续的微调配准相对也简单,能够在更少的微调次数下实现配准成功;另一方面,智能法一般采用右肋间获取右肝的三维容积图像作为自动配准的超声基准图像,因此,相对于位于左肝的病灶,采用智能法对于位于右肝的病灶图像的初步配准精度较高,后续微调配准也相对简单准确。因此我们认为,对于位于右肝的病灶可以优先考虑采用智能法进行对位,由于右肝的病灶相对多见,因此适应的病例相对较多,而对于位于左肝的病灶,对于有融合成像经验的操作者,建议仍采用人工法。

本研究操作者仅有一位具有丰富图像融合经验的超声医师,主要原因为多位操作者同时对同一患者进行检查将增加患者检查时间及不适感,但因该操作者对于内定标图像融合方法相对熟练,因此本研究不能充分反映基于肝表面智能对位图像融合技术对于无经验操作者的实际帮助价值,这有待后续进一步研究。但本研究结果显示,即使对于有丰富图像融合经验的操作者,对于右肝病灶该技术依然能明显提高操作效率,初步体现了该技术的简便性。其次,本研究对于左肝病灶病例数相对较少,因而对于左肝病灶的统计结果未能充分显示两种融合成像方法的差异,有待后续增加样本量进一步分析。

综上所述,基于肝表面智能自动对位法的超声-CT/MR融合成像技术具有较高的配准成功率,可行性较好;相对于常规的内定标人工对位法,对于右肝病灶其融合成像操作过程更为简便高效,有助于降低对操作者融合成像技术经验的依赖性。

#### 参考文献

- [1] Lange T, Eulenstein S, Hünerbein M, et al. Vessel-based non-rigid registration of MR/CT and 3D ultrasound for navigation in liver surgery [J]. *Comput Aided Surg*, 2003, 8(5): 228-240.
- [2] Beller S, Hünerbein M, Eulenstein S, et al. Feasibility of navigated resection of liver tumors using multiplanar visualization of intraoperative 3-dimensional ultrasound data [J]. *Ann Surg*, 2007, 246(2): 288-294.
- [3] 张德智, 梁萍. 肝脏超声图像融合技术的应用进展 [J/CD]. *中华医学超声杂志: 电子版*, 2014, 11(5): 375-377.  
Zhang DZ, Liang P. Progress in application of ultrasonic fusion imaging technology in liver [J/CD]. *Chin J Med Ultrasound (E Ed)*, 2014, 11(5): 375-377.

- [4] Krucker J, Xu S, Venkatesan A, et al. Clinical utility of real-time fusion guidance for biopsy and ablation [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2011, 22(4): 515-524.
- [5] Appelbaum L, Solbiati L, Sosna J, et al. Evaluation of an electromagnetic image-fusion navigation system for biopsy of small lesions: assessment of accuracy in an in vivo Swine model [J]. *Acad Radiol*, 2013, 20(2): 209-217.
- [6] Lee MW, Rhim H, Cha DI, et al. Percutaneous radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma: fusion imaging guidance for management of lesions with poor conspicuity at conventional sonography [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2012, 198(6): 1438-1444.
- [7] Clevert DA, Paprottka PM, Helck A, et al. Image fusion in the management of thermal tumor ablation of the liver [J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2012, 52(2-4): 205-216.
- [8] 李凯,袁树芳,郑荣琴,等. 虚拟导航超声造影定位检出肝脏局灶性病变的价值[J/CD]. *中华医学超声杂志:电子版*, 2011, 8(3): 571-576.  
Li K, Yuan SF, Zheng RQ, et al. Virtual navigation assisted contrast-enhanced ultrasound for focal liver lesion [J/CD]. *Chin J Med Ultrasound (E Ed)*, 2011, 8(3): 571-576.
- [9] 李凯,苏中振,郑荣琴,等. 虚拟导航三维超声造影评估肝癌消融安全边界的初步研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2011, 20(8): 672-675.  
Li K, Su ZZ, Zheng RQ, et al. Virtual navigation assisted 3-D contrast-enhanced ultrasound in evaluating ablative margin after radiofrequency ablation [J]. *Chin J Ultrasonogr*, 2011, 20(8): 672-675.
- [10] Su ZZ, LI K, Zheng RQ, 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): E250-E255.
- [11] 张曼,李凯,苏中振,等. 融合成像技术辅助普通超声显示困难的肝恶性肿瘤射频消融的应用价值[J]. *中华超声影像学杂志*, 2016, 25(8): 691-695.  
Zhang M, Li K, Su ZZ, et al. Fusion imaging assisted radiofrequency ablation for the unclear malignant liver tumor in conventional ultrasound [J]. *Chin J Ultrasonogr*, 2016, 25(8): 691-695.
- [12] 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.
- [13] Xu EJ, Lv SM, Li K, et al. Immediate evaluation and guidance of liver cancer thermal ablation by three-dimensional ultrasound/contrast-enhanced ultrasound Fusion imaging [J]. *Int J Hyperthermia*, 2018, 34(6): 870-876.
- [14] Liu FY, Yu XL, Liang P, et al. Microwave ablation assisted by a real-time virtual navigation system for hepatocellular carcinoma undetectable by conventional ultrasonography [J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(7): 1455-1459.
- [15] 曾庆劲,李凯,吴宇轩,等. 基于肝血管树智能对位超声-CT/MR融合成像技术的初步临床研究[J]. *中华超声影像学杂志*, 2018, 27(3): 200-204.  
Zeng QJ, Li K, Wu YX, et al. A preliminary clinical study of automatic registration ultrasound-CT/MR fusion imaging based on liver vessel trees [J]. *Chin J Ultrasonogr*, 2018, 27(3): 200-204.
- [16] Cha DI, Lee MW, Kim AY, et al. Automatic image fusion of real-time ultrasound with computed tomography images: a prospective comparison between two auto-registration methods [J]. *Acta Radiol*, 2017, 58(11): 1349-1357.
- [17] Cha DI, Lee MW, Song KD, et al. A prospective comparison between auto-registration and manual registration of real-time ultrasound with MR images for percutaneous ablation or biopsy of hepatic lesions [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2017, 42(6): 1799-1808.
- [18] Kim AY, Lee MW, Cha DI, et al. Automatic registration between real-time ultrasonography and pre-procedural magnetic resonance images: A prospective comparison between two registration methods by liver surface and vessel and by liver surface only [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2016, 42(7): 1627-1636.
- [19] Wein W, Brunke S, Khamene A, et al. Automatic CT-ultrasound registration for diagnostic imaging and image-guided intervention [J]. *Med Image Anal*, 2008, 12(5): 577-585.

(编辑 刘清海)