

· 专题论著 ·



经翔，天津市第三中心医院/天津大学中心医院超声科主任、二级教授、博士研究生导师。天津市医学影像重点学科、天津市临床医学（超声）重点专科学科带头人，享受国务院政府特殊津贴专家，中华医学会超声医学分会常委兼腹部学组副组长，中国医师协会超声医师分会常委兼介入委员会主委，天津医学会超声医学分会主委，天津市超声质控中心主任。荣获国家“白求恩奖章”“中国好医生”“中国杰出超声医师”“天津名医”“天津市五一劳动奖章”等荣誉称号。担任《肿瘤影像学》《中华超声影像学杂志》《中华医学超声杂志（电子版）》等杂志编委。近5年承担国家级、省部级及厅局级基金项目9项，多次获得天津市科技进步奖，并有国家发明专利1项、实用新型专利3项，软件著作权1项，省市级科研成果18项，填补天津市医疗卫生新技术空白19项。在国内外专业学术期刊上发表论文100余篇，其中在SCI收录期刊上发表论文42篇。主编、副主编、参编教材及专著18部，主编、参编行业内指南及专家共识17部。

## 三维超声造影评价肝细胞癌单点次微波消融灶形状和大小的研究

赵琳, 周燕, 陈曦, 丁建民, 经翔

天津市第三中心医院/天津大学中心医院超声科, 天津 300171

**[摘要]** 目的：探讨三维超声造影（three-dimensional contrast-enhanced ultrasound, 3D-CEUS）评估肝细胞癌（hepatocellular carcinoma, HCC）微波消融（microwave ablation, MWA）消融灶形状及大小的临床应用价值。方法：回顾并收集2024年1月1日—2025年8月31日于天津市第三中心医院超声科接受超声引导下经皮单点次MWA治疗且消融完全的HCC患者的相关资料。比较3D-CEUS与增强计算机体层成像（contrast-enhanced computed tomography, CECT）两种检查方法评估MWA灶长径、短径、体积和真圆率等指标的相关性及一致性。结果：共纳入32例患者，32个消融灶。3D-CEUS和CECT评估HCC患者MWA灶各相应数据之间呈显著正相关（ $P<0.001$ ），其中长径、短径1及真圆率皮尔逊相关系数分别为0.96、0.93、0.89，体积及短径2斯皮尔曼相关系数分别为0.92、0.90；两种检查方法评估消融灶各数据一致性均良好（ $P<0.001$ ），其中体积、长径及短径2一致性最好，组内相关系数（intraclass correlation coefficient, ICC）分别为0.95、0.93、0.92，短径1及真圆率次之，ICC分别约0.88、0.89。结论：3D-CEUS对HCC患者MWA消融灶形状及大小的评估具有良好的应用价值，可作为HCC患者MWA消融灶形态评估的影像学方法。

**[关键词]** 肝细胞癌；三维超声造影；微波消融；消融灶形状；术前规划

中图分类号：R735.7；R445.1 文献标志码：A

DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2026.01.004

**基金项目：**国家自然科学基金（82371986）；天津市临床重点专科建设项目（超声医学）；天津市医学重点学科建设项目（TJYXZDXK-3-020c）。

**利益冲突：**作者声明无利益冲突。

**伦理批件：**IRB2024-047-01。

**知情同意：**豁免。

**引用本文：**赵琳, 周燕, 陈曦, 等. 三维超声造影评价肝细胞癌单点次微波消融灶形状和大小的研究[J]. 肿瘤影像学, 2026, 35(1): 25-31.

**Funding:** National Natural Science Foundation of China (82371986); Tianjin Key Clinical Specialty Construction Project (Ultrasound); Tianjin Key Medical Discipline Construction Project (TJYXZDXK-3-020c).

**Conflicts of interest:** authors declare no conflicts of interest.

**Ethical approval:** IRB2024-047-01.

**Informed consent:** exemption.

**Cite this article:** ZHAO L, ZHOU Y, CHEN X, et al. Three-dimensional contrast-enhanced ultrasound for evaluating the shape and size of single-point without overlapping microwave ablation lesions of hepatocellular carcinoma[J]. Oncoradiology, 2026, 35(1): 25-31.

**Three-dimensional contrast-enhanced ultrasound for evaluating the shape and size of single-point without overlapping microwave ablation lesions of hepatocellular carcinoma** ZHAO Lin, ZHOU Yan, CHEN Xi, DING Jianmin, JING Xiang (Department of Ultrasound, Tianjin Third Central Hospital/Central Hospital, Tianjin University, Tianjin 300171, China)

Correspondence to: JING Xiang E-mail: dr.jingxiang@aliyun.com

**[Abstract] Objective:** To explore the clinical application value of three-dimensional contrast-enhanced ultrasound (3D-CEUS) in evaluating the shape and size of microwave ablation (MWA) lesions of hepatocellular carcinoma (HCC). **Methods:** HCC patients who underwent ultrasound-guided single-point subcutaneous MWA with complete ablation at Department of Ultrasound, Tianjin Third Central Hospital/Central Hospital between January 1, 2024, and August 31, 2025. A comparison was conducted between 3D-CEUS and contrast-enhanced computed tomography (CECT) to evaluate the correlation and consistency of these two examination methods in assessing indicators such as the longest diameter, shortest diameter, volume, and true roundness of MWA lesions. **Results:** A total of 32 patients and 32 ablation lesions were included. Significant correlations ( $P<0.001$ ) were observed between 3D-CEUS and CECT in evaluating the indicators of MWA ablation zones in HCC patients, the Pearson correlation coefficients of the long diameter, short diameter 1, and true circularity rate were 0.96, 0.93, and 0.89 respectively. The Spearman correlation coefficients of the volume and short diameter 2 were 0.92 and 0.90 respectively. The consistency of the data of the ablation lesions evaluated by the two examination methods was good ( $P<0.001$ ). Among them, the volume, long diameter, and short diameter 2 had the best consistency, and the intraclass correlation coefficients (ICC) were 0.95, 0.93, and 0.92 respectively. The short diameter 1 and true circularity rate were second, with ICC of approximately 0.88 and 0.89 respectively. **Conclusion:** 3D-CEUS demonstrates significant clinical utility in assessing the morphology, shape, and size of MWA lesions in patients with HCC, and may serve as a reliable imaging modality for post-ablation evaluation in clinical practice.

**[Key words]** Hepatocellular carcinoma; Three-dimensional contrast-enhanced ultrasound; Microwave ablation; Ablation lesion shape; Preoperative planning

热消融治疗是肝细胞癌 (hepatocellular carcinoma, HCC) 的一种局部治疗方法, 具有治疗过程微创、并发症更少、可重复治疗、能更好地保留有功能的肝组织等优势, 其中微波消融 (microwave ablation, MWA) 是常用的治疗方法之一<sup>[1-2]</sup>。MWA 不受微波天线周围组织碳化的限制, 可以在较短时间内产生较高的温度, 单位时间内消融灶体积较大, 肿瘤细胞坏死更加彻底<sup>[2-3]</sup>。随着技术的不断发展, 对肝脏原发性恶性肿瘤的治疗已不再局限于早期肿瘤<sup>[1, 4]</sup>。但较大的肿瘤空间结构复杂、形态不规则, 通常需要选择重叠消融等复杂技术达到完全消融的目的, 因此, 术前规划消融方案尤为重要<sup>[5]</sup>。目前大部分术前规划程序使用的消融球模型来源于制造商提供的离体动物单点次消融灶数据, 但临床治疗中患者肝背景、肿瘤血流灌注程度、组织特性等方面均与离体动物实验存在差异, 两者消融灶形态及大小存在显著差异<sup>[6]</sup>, 导致术前规划的准确性降低。因此明确临床治疗中单点次消融灶的大小及形状, 并将真实数据应用于术前规划程序具

有重要意义<sup>[7]</sup>。

目前影像学方法评估消融灶形态的研究较少, 研究主要集中在评估消融术后疗效方面, 其中增强计算机体层成像 (contrast-enhanced computed tomography, CECT) 被认为是影像学检查中的参考标准<sup>[8]</sup>, 但其存在术后即刻评估消融灶过程繁琐、辐射剂量大、造影剂具有肝肾毒性及成本高等缺点<sup>[9]</sup>。而三维超声造影 (three-dimensional contrast-enhanced ultrasound, 3D-CEUS) 可以在3个正交平面上观察立体消融灶的微血流灌注情况, 同时还具有无辐射、操作简便、时间分辨率高、造影剂无心肾甲状腺毒性等优势<sup>[10-12]</sup>。因此, 本研究旨在探讨临床上3D-CEUS评估HCC患者MWA治疗后消融灶形状及大小的应用价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

回顾并分析2024年1月1日—2025年8月31

日于天津市第三中心医院超声科接受超声引导下经皮单点次MWA且术后随访确定消融完全的HCC患者临床资料。纳入标准：①年龄 $\geq 18$ 岁；②MWA术后24 h内行3D-CEUS检查；③MWA术后2周内行CECT检查；④MWA均为单针、单点次消融，输出功率70 W、持续时间10 min。排除标准：①肿瘤位置与肝被膜距离小于1 cm；②布针距血管垂直距离小于1 cm（血管为二级及二级以上门静脉分支、直径 $\geq 3$  mm肝静脉或下腔静脉）；③有系统性治疗和/或经肝动脉化疗栓塞治疗；④图像质量不佳或缺失。

本研究经医院伦理委员会审核通过（IRB2024-047-01）。

## 1.2 方法

### 1.2.1 MWA消融灶测量参数定义

长径：沿着微波天线所在位置和方向测量的最大径线。短径1：微波天线所在切面（即消融灶最大长轴切面）上垂直于长径的最大径线。短径2：在垂直于消融灶最大长轴切面的短轴切面中，垂直于短径1的最大径线。真圆率：描述一个几何形状与理想球形接近程度的指标，数值越接近1表示形状越接近球体。

### 1.2.2 MWA方法

MWA治疗采用南京维京九洲医疗器械研发中心生产的MTC-3型微波治疗仪，频率2 450 MHz，输出功率50~100 W，天线为16 G单极冷却轴针。在超声引导下，由1名具有10年以上消融经验的医师进行单点次MWA，输出功率70 W、持续时间10 min。超声引导采用荷兰Philips公司的EPIQ 7型彩色多普勒超声诊断仪，C5-1凸阵探头，频率1.0~5.0 MHz。

### 1.2.3 3D-CEUS

使用Philips EPIQ 7超声系统获得超声图像，该系统配备C5-1（1.0~5.0 MHz）凸面阵列探头、脉冲反转成像软件，机械指数0.04~0.08。Philips系统的PercuNav程序用于采集和重建三维超声图像。在消融后24 h内使用CEUS检查消融灶。将意大利Bracco公司生产的SonoVue（声诺维）与5 mL生理盐水混合，通过肘正中静脉用团注法注射1.2~2.4 mL造影剂，随后用5 mL生理盐水

冲洗，使用C5-1凸面阵列探头采用自由臂的方法进行3D-CEUS检查。当消融灶在门静脉期清晰可见时，点击采集三维图像后对消融灶采用自由臂的方法进行完整扫查。扫查完成后点击结束采集键，采集图像时不进行反复扫查，每例患者采集3次图像，每次采集图像时间为2~3 s，存储为视频。选取消融灶成像最佳的图像进行三维重建，重建为术后B型超声图像和相应的3D-CEUS图像。为避免采集过程中肝脏呼吸运动导致的重建三维图像失真，扫描过程均在患者屏气状态下完成。3D-CEUS检查均由具有15年CEUS经验的同一名医师进行。

消融灶的描记与测量：使用PercuNav程序重建三维超声图像后，使用笔刷描记消融灶，并在3个相互垂直的方向上逐层微调，程序依据图像中消融灶与周围肝脏实质的回声差值进行自动检测消融灶边缘，自适应以提高描记的灵敏度。生成三维消融灶图形后，依据超声图像人工确定最大切面并沿微波天线方向标记最大长径，程序自动识别三维图形边界，将长径两端点对应在图形边缘，完整勾画消融灶的同时在3个切面上仔细观察针道，避免将针道部分勾画至消融灶范围内。程序自动将生成的三维图形转换为三维多边形网格，使用计算几何分析三维多边形网格的技术参数，生成相互垂直的长径与两个短径、体积及真圆率等。

### 1.2.4 CECT

采用德国Siemens公司的Somatom Definition Flash双源CT扫描机行动态3期增强扫描。对比剂使用北京北陆药业股份有限公司生产的碘海醇（含碘350 mg/mL），采用高压注射器以流速3.5 mL/s经肘正中静脉注入，用量为1.2 mL/kg。患者取仰卧位进行扫查，增强扫描前先行肝脏平扫。开始注入对比剂后，于25~35 s、50~70 s及180 s后行动态3期增强检查。

所有CECT图像以医学数字成像和通信格式存储，并导入3D Slicer软件（5.2.2版本），在门静脉期图像上配准后手动分割感兴趣区（region of

interest, ROI), 沿横断面CT图像上的消融灶边界逐层勾画, 并在冠状面、矢状面CT图像上逐层完善, 完整勾画消融灶的同时在3个切面上仔细观察针道, 避免针道部分的影响, 勾画完成后自动生成消融灶三维图形。使用SlicerRadiomics插件, 采用 $1\text{ mm}\times 1\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 的体素间距对图像进行重新采样, 并使用25的固定面元宽度对图像强度进行标准化, 对勾画完成的三维消融灶进行形状特征的提取, 得到消融灶的3个最大相互垂直的径线、体积、真圆率。

### 1.3 统计学处理

采用SPSS Statistics 26软件进行统计学分析, 采用R软件(4.4.1版本)绘制相关性分析图。对连续变量进行正态性检验, 符合正态分布的连续变量以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 不符合正态分布的连续变量用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示。对3D-CEUS与CECT两种检查方法评估消融灶所得的数据进行相关性分析、组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)检验, 符合正态分布的参数采用皮尔逊相关性分析, 不符合正态分布的参数采用斯皮尔曼相关性分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 基线资料

最终入组32例患者共32个HCC MWA消融灶(图1)。入组患者年龄范围为34~85岁, 肿瘤最大直径为0.9~1.6 cm。表1为患者基线资料具体情况。

### 2.2 3D-CEUS与CECT评估MWA消融灶数据及比较

表2所示为3D-CEUS和CECT两种检查方法评估消融灶的数据情况。图2、3为同一例患者的3D-CEUS和CECT示意图。如图4所示, 两种检查方法评估消融灶各数据之间差异有统计学意义( $P<0.001$ ), 其中长径、短径1及真圆率皮尔逊相关系数分别为0.96、0.93、0.89, 体积及短径2斯皮尔曼相关系数分别为0.92、0.90。如表3所示, 两种检查方法对消融灶各数据的评估一致性均良好( $P<0.001$ )。

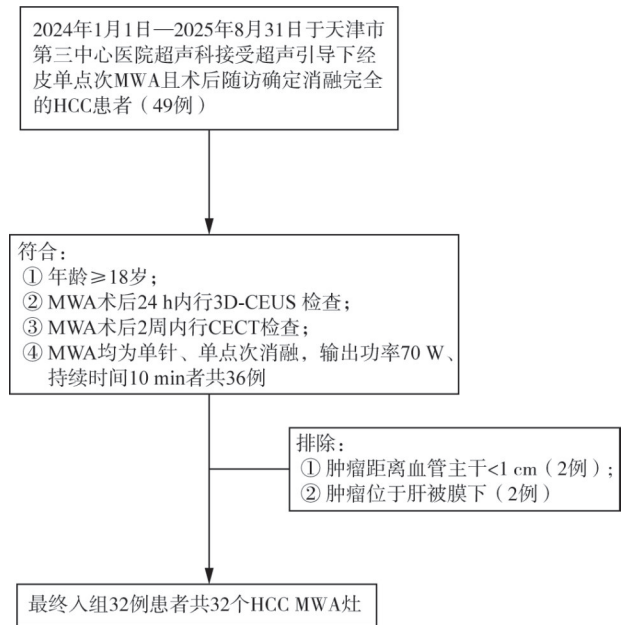


图1 研究设计流程图

Fig.1 Flow chart of the study design

表1 基线资料表

Tab.1 Baseline Characteristics

特征	数值
患者	
男性	26 (81.25)
女性	6 (18.75)
平均年龄/岁	57.8±9.4
肝硬化	
是	30 (93.75)
否	2 (6.25)
肝病病因	
乙型肝炎	24 (75.00)
丙型肝炎	3 (9.375)
乙型肝炎合并酒精性肝炎	2 (6.25)
化学性	1 (3.125)
特发性	1 (3.125)
无	1 (3.125)
肿瘤最大径/cm	1.4±0.2
Child-Pugh 分级	
A 级	23 (76.67)
B 级	7 (23.33)
肿瘤标志物	
甲胎蛋白	
≥7.0 ng/mL	10 (31.25)
<7.0 ng/mL	22 (68.75)

表2 两种检查方法评估消融灶数据

Tab.2 Comparison of the ablation zone parameters between the two imaging modalities

项目	$M (P_{25}, P_{75})$ 或 $\bar{x} \pm s$	
	3D-CEUS	CECT
体积/mL	14.40 (9.15, 16.08)	14.02 (8.90, 16.15)
长径/cm	35.39±5.10	36.65±5.32
短径1/cm	27.91±4.65	26.49±4.34
短径2/cm	24.61±4.02	23.24 (21.18, 25.42)
真圆率	0.74±0.05	0.75±0.06

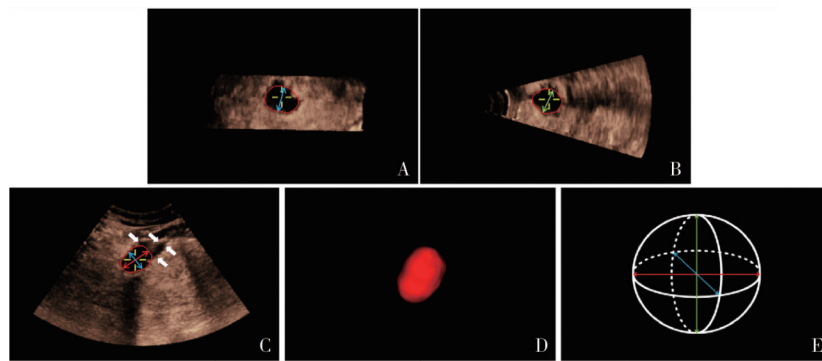


图2 3D-CEUS勾画消融灶及测量方法示意图

Fig.2 Schematic diagram illustrating the delineation of the ablation zone and its measurement method using 3D-CEUS

白色箭头为针道；红色箭头为长径；蓝色箭头为短径1；绿色箭头为短径2。A、B：垂直于消融灶长径的最大切面，分别获取短径1及短径2；C：消融灶长径所在切面；D：3D-CEUS消融灶三维立体图；E：消融灶3个测量径线示意图。

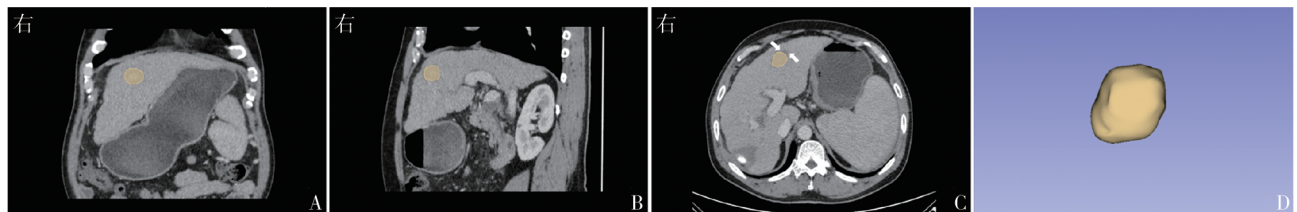


图3 CECT勾画消融灶及测量方法示意图

Fig.3 Schematic diagram illustrating the delineation of the ablation zone and its measurement method using CECT

A：消融灶最大冠状面；B：消融灶最大矢状面；C：消融灶最大横断面，白色箭头为针道；D：CECT消融灶三维立体图。

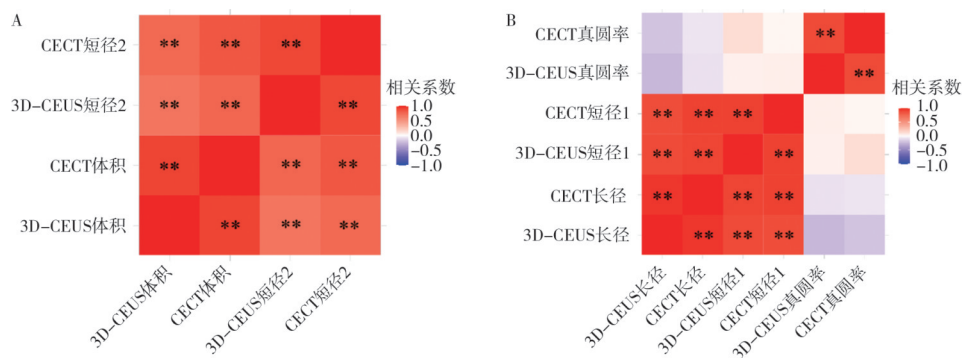


图4 两种检查方法评估消融灶各参数的相关性分析图

Fig.4 Correlation analysis of ablation zone parameters between the two imaging modalities

A：斯皮尔曼相关性分析；B：皮尔逊相关性分析。\*\*：P<0.001。

表3 两种检查方法测量消融灶各参数的ICC检验

Tab.3 ICC reliability assessment of ablation zone measurements between the two examination methods

项目	ICC (95% CI)	P值
体积	0.95 (0.90~0.97)	<0.001
长径	0.93 (0.69~0.98)	<0.001
短径1	0.88 (0.56~0.96)	<0.001
短径2	0.92 (0.59~0.97)	<0.001
真圆率	0.89 (0.79~0.94)	<0.001

### 3 讨 论

在我国, MWA已广泛用于I a期和部分I b期HCC的治疗, 并获得根治性治疗效果<sup>[13-15]</sup>, 同时, 凭借其创伤小、能最大限度地对脏器功能予以保护等优势, MWA尤其适用于因肝脏功能不全或伴有其他基础疾病不能耐受手术的患者<sup>[16]</sup>。但肿瘤体积越大, 结构复杂程度更高, MWA治疗难度也不断提升, 容易出现消融不完全或未达到安全边界的情况<sup>[16]</sup>。随着消融治疗辅助技术的不断发展, 术前能规划更复杂的消融方案, 使得>3 cm的中-大肝肿瘤可以进行消融治疗并提高完全消融率<sup>[1, 17-18]</sup>。通过选取术前规划程序中提供的消融球模型, 对绘制的肿瘤模型进行覆盖, 直到完全覆盖肿瘤区域并达到足够的安全边界, 还可以进一步模拟出最佳进针路径、针尖位置及消融点次等<sup>[17]</sup>, 可见消融球模型的准确度在指导消融治疗中有着至关重要的作用。目前大部分程序使用的消融球模型数据来源于制造商提供的无血流供应的健康离体动物实验单点次消融灶数据, 与临床治疗中消融灶数据具有显著差异<sup>[19]</sup>。因此, 用临床治疗中实际消融灶形状和体积等数据替代导航系统中离体实验数据可以提高术前规划精准性, 而目前针对于准确获得临床治疗中消融灶形态方法的研究较少。本研究结果发现3D-CEUS在评估消融灶形态方面具有良好的应用价值, 其效能与CECT相近。

既往研究<sup>[20-21]</sup>利用3D-CEUS对消融术后疗效进行评价的应用较为集中, 而其在评估消融灶

大小和形状方面的应用价值及效能研究仍较为有限。Bartolotta等<sup>[11]</sup>的研究显示, 3D-CEUS评估消融灶体积具有良好的效能, 刘强等<sup>[22]</sup>的研究发现, 3D-CEUS与CECT在测量琼脂凝胶材质模拟血肿的体积方面的差异无统计学意义, 且3D-CEUS具有良好的重复性。汪贤臣等<sup>[23]</sup>的研究发现, 3D-CEUS在三维角度上观察病灶的形状、分析整体容积, 可以更加准确地评估病灶形态。本研究以CECT为标准, 更加直观地对3D-CEUS评估消融灶形态及大小的可行性及应用价值进行探究, 发现3D-CEUS与CECT在评估消融灶体积及三维形态方面具有良好的一致性和相关性。进一步证明在临床工作中, 3D-CEUS可作为评估消融灶形态及大小的另一种便捷可靠的工具, 且与CECT相比还具有无电离辐射、术后即刻评估、操作便捷等优势。

本研究尚存在以下局限性: ①本研究为单中心回顾性研究, 且为排除重叠消融对消融灶形状的影响, 只入组单点次MWA的患者, 导致符合条件的患者较少, 入组患者少; ②入组消融灶远离血管和肝包膜, 且未对肝背景及硬化程度分级等进行分析, 使本研究应用场景受限。

本研究结果表明, 3D-CEUS与CECT在评估MWA消融灶的三维信息(包括长径、短径、体积及真圆率)方面表现出高度的相关性和一致性, 证明3D-CEUS能够准确地评估MWA消融灶的形态, 有望成为术中和术后评估消融灶形态的可靠工具。

#### 第一作者:

赵琳 (ORCID: 0000-0003-4555-8756), 博士, 主治医师。

#### 通信作者:

经翔 (ORCID: 0000-0002-7640-3450), 学士, 主任医师, 科主任, E-mail: dr.jingxiang@aliyun.com。

#### 作者贡献声明:

赵琳: 文章撰写, 数据资料收集, 数据统计分析; 周燕: 文献检索, 数据资料收集; 陈曦: 技术支持, 数据资料收集; 丁建民: 技术支持, 影像学评估; 经翔: 研究指导, 基金支持, 论文审校, 通信联络。

#### [参 考 文 献]

- [1] WANG Z, LIU M, ZHANG D Z, et al. Microwave ablation versus laparoscopic resection as first-line therapy for solitary 3-5 cm HCC [J]. *Hepatology*, 2022, 76(1): 66-77.

- [2] 李鑫,梁萍. 超声引导下肝癌热消融治疗的现状与进展[J]. 临床肝胆病杂志, 2021, 37(3): 510-514.  
LI X, LIANG P. Current status and advances in ultrasound-guided thermal ablation for hepatocellular carcinoma[J]. J Clin Hepatol, 2021, 37(3): 510-514.
- [3] RADOSEVIC A, QUESADA R, SERLAVOS C, et al. Microwave versus radiofrequency ablation for the treatment of liver malignancies: a randomized controlled phase 2 trial[J]. Sci Rep, 2022, 12(1): 316.
- [4] 李瑞东,杨常雅,王凤,等. 三维建模数字化导航技术在肝脏恶性肿瘤微波消融术中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(3): 477-481.  
LI R D, YANG C Y, WANG F, et al. Application of 3D modeling digital navigation technology in microwave ablation of hepatic malignant tumor[J]. J Clin Radiol, 2023, 42(3): 477-481.
- [5] YANG J, LIANG S, LIU H H, et al. Efficacy and safety of microwave ablation assisted by ultrasound fusion imaging for primary and secondary liver cancers with a diameter of 3-7 Cm[J]. J Hepatocell Carcinoma, 2023, 10: 1839-1848.
- [6] TINGUELY P, FREHNER L, LACHENMAYER A, et al. Stereotactic image-guided microwave ablation for malignant liver tumors—a multivariable accuracy and efficacy analysis[J]. Front Oncol, 2020, 10: 842.
- [7] DING J M, WANG D, ZHOU Y, et al. A novel mono-modality fusion imaging method based on three-dimensional contrast-enhanced ultrasound for the evaluation of ablation margins after microwave ablation of hepatocellular carcinoma[J]. J Gastrointest Oncol, 2021, 12(1): 184-195.
- [8] INZERILLO A, MELONI M F, TAIBBI A, et al. Loco-regional treatment of hepatocellular carcinoma: role of contrast-enhanced ultrasonography[J]. World J Hepatol, 2022, 14(5): 911-922.
- [9] LAIMER G, SCHULLIAN P, BALE R. Stereotactic thermal ablation of liver tumors: 3D planning, multiple needle approach, and intraprocedural image fusion are the key to success—a narrative review[J]. Biology, 2021, 10(7): 644.
- [10] CAO J Y, DONG Y, MAO F, et al. Dynamic three-dimensional contrast-enhanced ultrasound to predict therapeutic response of radiofrequency ablation in hepatocellular carcinoma: preliminary findings[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018: 6469703.
- [11] BARTOLOTTA T V, TAIBBI A, MATRANGA D, et al. 3D versus 2D contrast-enhanced sonography in the evaluation of therapeutic response of hepatocellular carcinoma after locoregional therapies: preliminary findings[J]. Radiol Med, 2015, 120(8): 695-704.
- [12] 任新平,李军建,张杰,等. 超声造影在肝局灶性病损诊疗中的应用进展[J]. 诊断学理论与实践, 2022, 21(6): 684-690.  
REN X P, LI J J, ZHANG J, et al. Advances in the application of contrast-enhanced ultrasound in the diagnosis and treatment of focal liver lesions[J]. J Diagn Concepts Pract, 2022, 21(6): 684-690.
- [13] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政司. 原发性肝癌诊疗指南(2022年版)[J]. 肝癌电子杂志, 2022, 9(1): 1-22.  
Medical Administration Bureau, National Health Commission of the People's Republic of China. Standardization for diagnosis and treatment of gastric cancer (2022 edition)[J]. Electron J Liver Tumor, 2022, 9(1): 1-22.
- [14] JIANG L M, LIANG C, XIE F H, et al. Microwave ablation in solitary hepatocellular carcinoma within 3-5 cm requiring consideration[J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2023, 12(4): 622-624.
- [15] 董甜甜,王婷,李振东,等. 超声引导下肝恶性肿瘤微波消融术后临床疗效及影响因素分析[J]. 兰州大学学报(医学版), 2023, 49(4): 39-44.  
DONG T T, WANG T, LI Z D, et al. Analysis of the clinical effect and influencing factors of ultra-sound-guided microwave ablation of liver malignant tumor[J]. J Lanzhou Univ Med Sci, 2023, 49(4): 39-44.
- [16] 王坤,董怡,刘凌晓,等. CEUS在肝细胞肝癌局部热消融疗效评估中的临床应用价值[J]. 肿瘤影像学, 2022, 31(4): 414-418.  
WANG K, DONG Y, LIU L X, et al. Clinical application of CEUS in evaluation of the efficacy of local thermal ablation of hepatocellular carcinoma[J]. Oncoradiology, 2022, 31(4): 414-418.
- [17] IWAI Y, AGALA C B, GERBER D A. Integrating navigation-assisted ablation in the locoregional treatment of hepatocellular carcinoma[J]. JAMA Netw Open, 2024, 7(2): e240694.
- [18] PAUSCH A M, GHALI T, WERTHEIMER T, et al. Stereotactic microwave ablation of hepatocellular carcinoma: the impact of tumor size and minimal ablative margin on therapeutic success[J]. Tomography, 2022, 9(1): 50-59.
- [19] YOUNG S, RIVARD M, KIMYON R, et al. Accuracy of liver ablation zone prediction in a single 2 450 MHz 100 Watt generator model microwave ablation system: an in human study[J]. Diagn Interv Imaging, 2020, 101(4): 225-233.
- [20] 崔瑾,曹旭芳,黄瑛,等. 动态三维超声造影与增强CT诊断肝细胞癌及评价微波消融后疗效的价值[J]. 临床超声医学杂志, 2021, 23(3): 166-169.  
CUI J, CAO X F, HUANG Y, et al. Value of dynamic three-dimensional contrast-enhanced ultrasound and enhanced CT in the diagnosis of hepatocellular carcinoma and the evaluation of therapeutic effect after microwave ablation[J]. J Clin Ultrasound Med, 2021, 23(3): 166-169.
- [21] 王彦冬,经翔,丁建民,等. 动态三维超声造影与增强CT对肝细胞癌微波消融后疗效评估的比较研究[J]. 中华超声影像学杂志, 2018, 27(3): 205-210.  
WANG Y D, JING X, DING J M, et al. A comparative study of dynamic 3-dimensional contrast-enhanced ultrasound and contrast-enhanced computed tomography for microwave ablation efficacy assessment of hepatocellular carcinoma[J]. Chin J Ultrason, 2018, 27(3): 205-210.
- [22] 刘强,罗渝昆,吕发勤,等. 三维超声造影与增强CT测量仿体血肿体积的对比研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2011, 19(3): 177-180.  
LIU Q, LUO Y K, LV F Q, et al. A comparative study between three-dimensional contrast enhanced ultrasound and contrast enhanced CT in volumetric measurement for imitative traumatic hematoma[J]. Chin J Med Imag, 2011, 19(3): 177-180.
- [23] 汪贤臣,李世岩,方勇,等. 实时三维超声造影在肝癌射频消融术前病灶形态学评估中的应用价值[J]. 中华肿瘤杂志, 2018, 40(3): 217-221.  
WANG X C, LI S Y, FANG Y, et al. Application value of real-time three-dimensional contrast-enhanced ultrasound for morphological assessing of hepatocellular carcinoma before radiofrequency ablation treatment[J]. Chin J Oncol, 2018, 40(3): 217-221.

(收稿日期: 2025-11-26 修回日期: 2025-12-10)