·述评·

DOI：10.12449/JCH260701

# 肝细胞癌超声诊疗：精准化与智能化的新征程

陈继繁[1,2,3]，闻卿[1,2,3]，黄品同[1,2,3]

1 浙江大学医学院附属第二医院超声医学科，杭州 310000

2 浙江大学医学院附属第二医院超声医学与生物医学工程研究中心，杭州 310000

3 浙江大学滨江研究院生命科学与人类健康研究中心，杭州 310000

通信作者：黄品同，huangpintong@zju.edu.cn（ORCID：0000-0003-0747-5765）

**摘要：**肝细胞癌是我国高发恶性肿瘤，局部微创介入已成为早中期核心根治手段，超声依托无创、实时、床旁可及的核心优势，贯穿高危人群筛查、病灶定性、消融引导、术后全周期疗效监测全链条。本期“肝细胞癌超声诊疗：现状、挑战与未来”重点号邀约六位国内超声领域权威专家撰写系列专家论坛，分别从基础诊疗一体化、早期鉴别诊断、智能影像技术、介入精准消融、消融疗效标准化评估、超声造影文献计量与前沿技术等六大维度，系统梳理当下研究热点、现存瓶颈与转化路径。本文结合本期六篇专家论坛核心观点，分层评述肝细胞癌超声精准化、智能化发展主线，梳理各方向关键突破与待解决难题，并展望多技术融合、临床转化协同发展新格局。

**关键词：**癌，肝细胞；超声检查；超声疗法；人工智能

**Ultrasound diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma: A new journey towards precision and intelligence**

*Chen Jifan*[1,2,3], *Wen Qing*[1,2,3], *Huang Pintong*[1,2,3]

*1. Department of Ultrasound in Medicine, The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310000, China; 2. Research Center of Ultrasound in Medicine and Biomedical Engineering, The Second Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310000, China; 3. Research Center for Life Science and Human Health, Binjiang Institute of Zhejiang University, Hangzhou 310000, China*

*Corresponding author: Huang Pintong, huangpintong@zju.edu.cn (ORCID: 0000-0003-0747-5765)*

**Abstract:** Hepatocellular carcinoma (HCC) is a highly prevalent malignant tumor in China, and minimally invasive local intervention has become the core curative treatment for early- and intermediate-stage HCC. Leveraging its advantages of noninvasiveness, real-time operation, and bedside accessibility, ultrasound plays a pivotal role throughout the entire clinical pathway of screening for high-risk populations, qualitative diagnosis of focal lesions, ablation guidance, and efficacy monitoring throughout the entire post-treatment course. In this theme issue of *Journal of Clinical Hepatology* titled “Ultrasound diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma: Current status, challenges, and future prospects”, six leading experts in the field of ultrasound from China have been invited to contribute to a series of expert forums, systematically addressing the research hotspots, current bottlenecks, and translational pathways in this field from six key dimensions of integrated diagnosis and treatment in primary care, early differential diagnosis, intelligent imaging technologies, precision interventional ablation, standardized assessment of ablation efficacy, and bibliometric analysis and emerging techniques of contrast-enhanced ultrasound. With reference to the core viewpoints of the six reviews, this article provides a stratified commentary on the main trajectories of precise and intelligent development in HCC ultrasound, identifies key breakthroughs and unresolved challenges across various directions, and envisions a new landscape of multi-technological integration and collaborative clinical translation.

**Key words:** Carcinoma, Hepatocellular; Ultrasonography; Ultrasonic Therapy; Artificial Intelligence

全球肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)疾病负担沉重,其治疗特点是多学科参与、多种治疗方法共存,除了外科手术,局部热消融、经导管动脉化疗栓塞术(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)等介入治疗现已成为肝癌的重要治疗手段之一[1-2]。增强计算机体层成像(computed tomography, CT)/增强磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是HCC诊断的首选影像技术,但存在电离辐射、加重肾脏负担、无法术中实时评估等短板,而超声可床旁实施、无辐射、可短期重复应用,是HCC高危人群的一线筛查手段,此外,超声造影(contrast-enhanced ultrasound, CEUS)具有实时、动态、无肾毒性的优势,具有与CECT、CEMRI媲美的诊断效能。随着多模态融合、深度学习、诊疗一体化等超声技术迭代,HCC超声诊疗已迈入精准分层、智能评估、术中闭环管理的全新阶段。本期"肝细胞癌超声诊疗:现状、挑战与未来"重点号6篇专家论坛系统总结了该领域核心进展与现存挑战。

## 1 超声分子成像与诊疗一体化基础研究:打通从影像到靶向治疗的转化通路

传统灰阶、多普勒超声仅能实现解剖形态与宏观血流显像,难以解析HCC分子表型、免疫微环境异质性,制约个体化诊疗方案,徐辉雄教授团队围绕超声诊疗一体化基础研究系统总结前沿进展,构建"分子成像-声控靶向干预-免疫重塑"完整研究框架[3]。在诊断端,靶向磷脂酰肌醇蛋白聚糖3、M2型肿瘤相关巨噬细胞等,修饰微泡、生物气囊泡,实现HCC与瘤内免疫细胞的特异性分子显像,无创反应肿瘤与微环境的分子生物学特征,为微血管侵犯(microvascular invasion, MVI)、复发风险术前预判提供全新可视化工具;在治疗层面,超声空化效应为核心衍生出多重干预策略:超声靶向微泡破坏可时空可控递送化疗药物、微RNA/干扰小RNA、CRISPR/Cas9基因编辑载体,突破肿瘤间质屏障;声动力疗法依托声敏剂产生活性氧,诱导肿瘤免疫原性细胞死亡,联合免疫检查点抑制剂逆转"免疫冷肿瘤"微环境;高强度聚焦超声、组织碎化术兼顾局部机械毁损与全身免疫激活,声压电、气体协同等新型声控机制持续拓展治疗边界。

该系列基础研究当前核心短板集中于临床转化鸿沟:多数声敏剂、纳米载体仅完成细胞与小动物验证,缺乏大动物安全性数据;空化剂量、超声参数无统一量化标准,不同实验室结果可比性差;分子微泡体内免疫清除、长期生物安全性尚未充分论证。未来突破方向为开发兼容临床常规超声设备的标准化诊疗平台,推动声遗传、靶向递送体系从实验室走向Ⅰ/Ⅱ期临床,搭建"超声分子诊断-声控增敏-疗效动态监测"闭环体系。

## 2 早期筛查与病灶鉴别:分层超声策略提升高危人群早诊效能

我国慢性乙型肝炎、代谢相关脂肪性肝病高危人群基数庞大,早期微小HCC检出率偏低,常规超声对<2 cm小结节敏感度不足47%,是临床筛查核心痛点,罗渝昆教授团队聚焦HCC早期诊断与鉴别诊断分层论述技术应用策略[4]。常规灰阶联合弹性超声作为基层初筛基础,可完成肝纤维化风险分层,快速识别新发可疑结节;六氟化硫微泡造影剂的纯血池CEUS依托典型动脉期高增强、延迟期轻度廓清特征,结合CEUS肝脏影像报告与数据系统(liver imaging reporting and data system, LI-RADS)分类标准,对LR-5类HCC诊断特异度可达97%,是病灶定性核心手段;全氟丁烷微球造影剂的肝巨噬细胞相造影可补充肝实质吞噬信息,对脂肪肝背景、亚厘米隐匿结节检出具备独特优势,弥补普通造影局限。

该专论提出随着超声技术的发展,其应用已由单纯病灶检出逐步扩展至病灶的定性判断和更细致的鉴别诊断,CEUS的出现进一步提高了高危背景下肝脏小结节和非典型病灶的评估能力,是肝脏局灶性病变危险分层的有效武器。

## 3 人工智能(artificial intelligence, AI)与多模态超声新技术:破解主观判读局限性

AI、三维超声、超声融合成像、超声内镜等新技术是实现超声智能化升级的核心抓手,周建华教授团队系统汇总各类前沿超声在病灶检出、消融引导、预后预测中的临床价值与应用瓶颈[6]。以深度学习为核心的AI模型可自动完成肝结节检出、分割、LI-RADS自动分层,缩小低年资与专家医师诊断差距;基于CEUS影像组学构建预测模型,可无创预判MVI、消融后早期复发,为术前风险分层提供量化指标。多模态超声/CT/MRI融合导航解决膈顶、尾状叶、超声不可见病灶穿刺难题;三维CEUS容积重建直观展示消融灶立体边界,相较二维成像提升残余肿瘤检出灵敏度;超声内镜作为补充手段,可应对经皮超声受胃肠气体遮挡的肝左、尾叶病灶,实现活组织检查与微创消融。

现阶段智能化技术落地存在多重障碍:多数AI模型为单中心回顾性数据集训练,外部泛化能力不足,缺少

与LI-RADS指南对齐的可解释算法；融合成像配准误差受呼吸、腹水、体位干扰，基层设备配置不足；四维超声、超分辨微血管成像设备成本高昂，难以大规模普及。优化路径：开发轻量化、可移植国产AI辅助系统，完成多中心前瞻性验证；简化融合成像操作流程，降低配准操作门槛；分级推广三维CEUS作为消融边界常规评估工具，EUS作为困难病灶补充方案，推动超声从经验判读走向定量智能决策[6]。

## 4 CEUS全流程介入管理：构建根治消融A0新理念

热消融、TACE为早中期HCC可选择的局部治疗方案，消融安全边界直接决定局部进展风险，经翔教授团队聚焦CEUS在介入术前规划、术中实时引导、术后疗效全周期应用，创新性提出“无融合、不精准、无造影、不消融”临床新理念[7]。治疗前CEUS精准勾勒肿瘤活性范围，区分肿瘤与增生结节，规划最优穿刺路径；TACE术后CEUS不受碘油伪影干扰，可清晰显示残存肿瘤供血，弥补CT/MRI评估短板；术中即刻CEUS评估可同步开展补充消融，显著降低不完全消融发生率。随着2026年国际热消融共识发布，疗效评价核心由“完全消融”转向A0根治消融标准（消融安全边界>5 mm），融合成像成为量化消融边界重要技术手段：术前断层影像与术中CEUS实时配准，直观比对实际消融区与预设安全范围，区分A0、A1、A2三级消融效果，A0级患者局部肿瘤进展风险大幅下降。

同时文章客观剖析局限：CEUS相比于增强CT/增强MRI，在全肝评估、肝外分期、长期随访等方面具有劣势；消融边界量化阈值尚未在结直肠来源以外的肝转移瘤中达成统一；融合成像评估随访间隔缺乏规范的诊疗指南。建议未来标准化方向：推广CEUS LI-RADS治疗反应评估（treatment response assessment，TRA）疗效分级联合融合边界评估双标准，建立消融术后分层随访制度，实现介入治疗全程精准管控。

## 5 CEUS LI-RADS TRA：统一消融后判读体系

既往消融后疗效评估缺乏统一术语，术后炎性充血与微小残余肿瘤极易混淆，不同中心判读差异显著，张德智教授团队系统阐释2024版CEUS LI-RADS TRA完整框架，从病理基础、评价终点、判读逻辑拆解标准化评估体系[8]。消融后病理演变分为凝固坏死、急性炎症、纤维化修复等3个阶段，周边均匀薄环形强化为一过性炎性改变，结节偏心廓清强化提示活性肿瘤，二者影像特征是TRA分级核心区分依据。该体系将瘤内、瘤周活性分开评估，合并分为LR-TR Nonviable（无活性）、LR-TR Equivocal（可疑）、LR-TR Viable（有活性）等三类，配套标准化随访与干预策略：可疑病灶4～8周复查CEUS，高度怀疑残余直接穿刺或补充消融[9]。

大样本临床数据证实，CEUS TRA与CT/MRI TRA诊断一致性良好，可作为肾功能不全、碘造影剂禁忌患者替代方案；三维CEUS联合时间-强度曲线定量参数进一步降低主观偏差。现存核心挑战：TRA判读依赖消融灶超声可见度，深部、气体遮挡病灶评估受限；定量灌注参数无统一参考阈值；不同品牌成像平台的底层算法不一致，导致不同设备重复性差。该专论建议国内多中心联合建立CEUS TRA质控数据库，统一定量分析流程，推动该标准写入国内肝癌消融诊疗规范，消除多中心评估异质性。

## 6 CEUS领域全景计量与前沿技术预判

立足文献计量学视角，梳理全球CEUS研究产出、合作网络与热点演进，清晰勾勒学科发展优势与未来技术发展[10]。数据显示中国为全球CEUS发文量第一国家；高被引文献集中于欧洲肝病学会、美国肝病学会诊疗指南与CEUS LI-RADS标准化规范，研究热点历经“病灶定性、消融疗效、预后预测”迭代，当前主要前沿方向围绕MVI无创评估、AI和超分辨率超声等领域。超分辨超声突破传统超声衍射极限，精准重建肿瘤微血管网络，血管复杂度、面积比值和灌注指数等定量参数可区分良恶性病灶，预测侵袭性；AI影像组学、定量CEUS是同步暴发的研究热点，大量研究证实其在MVI、复发风险预测中的应用潜力。

文章客观指出领域短板：国内基础转化类研究占比偏低，超分辨、靶向造影剂多停留在实验室阶段；单中心回顾研究居多，高质量前瞻性临床试验稀缺；基层医院CEUS规范化操作培训体系不完善。未来学科发展需兼顾临床落地与基础创新：一方面完善全国CEUS操作与判读培训体系，推广CEUS LI-RADS标准化流程；另一方面加大超声分子成像、超分辨设备国产研发投入，搭建临床-理工交叉转化平台，推动前沿微血管成像技术快速进入临床验证。

## 7 综合评述与本期专论价值

综上，六篇专家论坛形成完整HCC超声诊疗逻辑闭环：基础层面阐明超声分子成像、声动力治疗、空化治疗等一体化技术底层机制；筛查鉴别层面搭建超声早诊与

危险分层路径；智能技术层面梳理AI、融合成像、超声内镜拓展方案；介入术中层面建立A0消融精准操作标准；术后评估层面推出统一CEUS LI-RADS TRA分级规范；学科宏观层面通过计量学预判技术发展方向。六大板块覆盖从实验室基础、临床筛查、微创介入到疗效随访全链条，同时共同指出行业共性痛点：标准化体系尚未全面下沉基层、智能化模型转化不足、前沿超声材料与设备国产化滞后、多模态影像互补协同机制未形成统一临床路径。

面向精准医疗时代，HCC超声发展必然走“标准化打底、智能化赋能、多模态融合、基础临床双向转化”道路：以CEUS LI-RADS、消融A0边界标准实现诊疗同质化；依托AI、三维融合降低操作者差异；推动声动力、靶向微泡等基础研究临床落地；建立超声与CT/MRI互补分层诊疗方案，兼顾筛查可及性与精准评估需求。希望本期重点号能够为国内临床医师、影像研究者提供完整理论与实操参考，助力我国HCC超声诊疗规范化、智能化高质量发展。

**利益冲突声明：**本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明：**陈继繁负责资料查阅、文章撰写、稿件润色；闻卿负责资料查阅，文章撰写；黄品同负责提出文章方向，文章撰写及审核。

**参考文献：**

[1] Parkin D M, Bray F, Ferlay J, et al. Global cancer statistics, 2002[J]. CA A Cancer J Clin, 2005, 55(2): 74-108. DOI: 10.3322/canjclin.55.2.74.

[2] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 原发性肝癌诊疗指南(2026年版)[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(4): 794-827. DOI: 10.12449/JCH260409.
National Health Commission of the People's Republic of China. Guideline for diagnosis and treatment of primary liver cancer (2026 edition)[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(4): 794-827. DOI: 10.12449/JCH260409.

[3] 汪思睿, 顾卫琪, 沈玉婷, 等. 肝细胞癌超声诊疗基础研究进展: 从诊断、治疗到诊疗一体化[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(7): 1493-1500. DOI: 10.12449/JCH260702.
Wang Sirui, Gu Weiqi, Shen Yuting, et al. Advances in basic research on ultrasound diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma: From diagnosis and treatment to integrated management[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(7): 1493-1500. DOI: 10.12449/JCH260702.

[4] 胡嘉薇, 罗渝昆. 超声在肝细胞癌早期诊断与鉴别诊断中的应用策略[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(7): 1501-1506. DOI: 10.12449/JCH260703.
Hu Jiawei, Luo Yukun. Strategies for the application of ultrasound in early and differential diagnosis of hepatocellular carcinoma[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(7): 1501-1506. DOI: 10.12449/JCH260703.

[5] Dietrich C F, Nolsøe C P, Barr R G, et al. Guidelines and good clinical practice recommendations for contrast-enhanced ultrasound (CEUS) in the liver-update 2020 WFUMB in cooperation with EFSUMB, AFSUMB, AIUM, and FLAUS[J]. Ultrasound Med Biol, 2020, 46(10): 2579-2604. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2020.04.030.

[6] 林思嘉, 李玲玲, 周建华. 超声新技术在肝细胞癌诊疗中的应用现状与展望[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(7): 1507-1512. DOI: 10.12449/JCH260704.
Lin Sijia, Li Lingling, Zhou Jianhua. Current application and prospects of new ultrasound technologies in the diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(7): 1507-1512. DOI: 10.12449/JCH260704.

[7] 周燕, 丁建民, 经翔. 超声造影在肝细胞癌局部精准诊疗全流程管理中的应用[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(7): 1513-1518. DOI: 10.12449/JCH260705.
Zhou Yan, Ding Jianmin, Jing Xiang. Application of contrastenhanced ultrasound in the full-course management of precise locoregional diagnosis and treatment for hepatocellular carcinoma[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(7): 1513-1518. DOI: 10.12449/JCH260705.

[8] 李清心, 李杰, 张德智. 超声在肝细胞癌消融疗效评估中的应用与进展[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(7): 1519-1525. DOI: 10.12449/JCH260706.
Li Qingxin, Li Jie, Zhang Dezhi. Application and progress of ultrasound in treatment response assessment after ablation for hepatocellular carcinoma[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(7): 1519-1525. DOI: 10.12449/JCH260706.

[9] Lyshchik A, Fetzer DT, Kono Y, et al. Liver imaging reporting and data system contrast-enhanced US nonradiation treatment response assessment version 2024[J]. Radiology, 2024, 311(2): e232369. DOI: 10.1148/radiol.232369.

[10] 侯雯菲, 汤珈嘉, 杨萌. 肝细胞癌超声造影研究热点与进展[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(7): 1526-1531. DOI: 10.12449/JCH260707.
Hou Wenfei, Tang Jiajia, Yang Meng. Research hotspots and advances in contrast-enhanced ultrasound for hepatocellular carcinoma[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(7): 1526-1531. DOI: 10.12449/JCH260707.

**收稿日期：**2026-06-29；**录用日期：**2026-07-22

**本文编辑：**林姣

**引证本文：**陈继繁, 闻卿, 黄品同. 肝细胞癌超声诊疗: 精准化与智能化的新征程[J]. 临床肝胆病杂志, 2026, 42(7): 1489-1492.
Chen Jifan, Wen Qing, Huang Pintong. Ultrasound diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma: A new journey towards precision and intelligence[J]. J Clin Hepatol, 2026, 42(7): 1489-1492.