· 专题论坛 ·

影像学在肝细胞癌局部治疗全程管理中的应用现状与进展

周小琦，王霁胍，冯仕庭
中山大学附属第一医院放射诊断科，广东 广州 510080

［摘要］ 肝细胞癌（hepatocellular carcinoma，HCC）的局部治疗是重要治疗手段，影像学的快速发展使其成为贯穿局部治疗全程管理的核心支撑。本文从治疗前到术后的精准评估，以及远期监测与复发管理、联合治疗时代价值延伸的时间轴逻辑，系统阐述影像学在HCC局部治疗中的应用现状与最新进展。重点分析了CT及MRI等不同影像学技术在各环节的应用价值及适用场景，探讨了影像组学、人工智能等前沿技术在疗效预测、精准引导、复发监测中的变革作用，同时指出当前影像学评估面临的挑战及未来发展方向。

［关键词］ 肝细胞癌；局部治疗；影像组学；疗效评估；复发监测
［中图分类号］R735.7　［文献标识码］A　**DOI**：10.3969/j.issn.1003-5591.2026.03.002

Current status and advances in imaging in the full-course management of local therapy for hepatocellular carcinoma

Zhou Xiaoqi, *Wang Jifei*, *Feng Shiting*
Department of Radiology, *the First Affiliated Hospital*, *Sun Yat-Sen University*, *Guangdong Guangzhou* 510080, *China*
Corresponding author: *Feng Shiting*, *Email*: *fengsht@mail.sysu.edu.cn*

［**Abstract**］ Local therapy is an important treatment modality for hepatocellular carcinoma (HCC). The rapid development of imaging has made it a core support throughout the full-course management of local therapy. This article systematically describes the current status and latest advances in imaging applications in HCC local therapy, following the timeline from pre-treatment to precise postoperative assessment, as well as long-term surveillance and recurrence management, and the extended value of imaging in the era of combination therapy. It focuses on the application value and suitable scenarios of different imaging techniques, such as computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI), at each stage, and discusses the transformative role of cutting-edge technologies such as radiomics and artificial intelligence in efficacy prediction, precise guidance, and recurrence monitoring. At the same time, it highlights the current challenges in imaging assessment and future development directions.

［**Key words**］ Hepatocellular carcinoma; Locoregional therapy; Radiomics; Therapeutic efficacy assessment; Recurrence monitoring

肝细胞癌（hepatocellular carcinoma，HCC）是全球高发恶性肿瘤，2022年新发病例超过86万例，相关死亡人数达75万例，位居全球恶性肿瘤发病第6位、肿瘤相关死因第3位；预计至2040年，其发病率与死亡率将较2020年上升50%，疾病负担将持续加重[1]。HCC的治疗策略高度依赖分期体系，其中巴塞罗那临床肝癌（BCLC）分期为全球广泛应用的标准。依据该分期体系，极早期与早期HCC以手术切除、肝移植及消融治疗为根治性手段。不可根治或根治失败的HCC及中期HCC以经动脉治疗为主，包括经导管动脉化疗栓塞术（transcatheter arterial chemoembolization，TACE）和经动脉放射栓塞（transarterial radioembolization，TARE）。

影像学在HCC局部治疗中发挥着贯穿始终的关键作用。传统观念认为影像学的主要任务是诊断与分期，为临床

基金项目：国家自然科学基金面上项目（82471948，82271958）；广东省自然科学基金面上项目（2024A1515012149）
作者简介：周小琦，博士，住院医师，主要从事腹部影像诊断方面的研究，Email：zhouxq53@mail.sysu.edu.cn
通信作者：冯仕庭，Email：fengsht@mail.sysu.edu.cn

决策提供依据。然而随着局部治疗技术的精准化发展和多学科协作模式的普及，其价值已延伸至治疗前的病人筛选与方案制定、治疗中的实时引导与精准实施、治疗后的即刻评估与远期监测。影像学贯穿局部治疗的每一个环节，是连接决策、实施与评估的核心纽带。本文从影像学视角出发，系统阐述影像学在HCC局部治疗全程管理中的应用现状与最新进展，并探讨人工智能（artificial intelligence，AI）及影像组学等前沿技术带来的变革机遇，以期为影像科医生更深入地融入多学科协作团队，并充分发挥其关键支撑作用提供参考。

一、治疗前精准评估：筛选与决策

治疗前精准评估是HCC局部治疗的首要环节，核心目标是通过影像学手段明确病人局部治疗适应证及最优治疗方案。该阶段影像学需承担肿瘤负荷量化、生物学特征评估、关键解剖结构判定及治疗方式选择依据的提供等任务，为临床精准决策奠定基础。

（一）肿瘤负荷的精准量化

肿瘤负荷精准评估是治疗前核心内容，直接决定局部治疗适应证及策略。超声便捷无辐射，适用于HCC初步筛查，但受操作者经验等主观因素影响，难以满足精准量化需求。CT分辨率高、重复性好，是临床评估肿瘤负荷的常用手段。MRI的软组织分辨率优于CT，钆塞酸二钠（Gd-EOB-DTPA）等肝胆特异性对比剂可显著提高微小病灶及早期复发灶检出率，是精准评估肿瘤负荷的首选影像学方法。

（二）肿瘤生物学特征的影像学评估

肿瘤生物学行为直接影响局部治疗的疗效及术后复发风险，是临床预后判断与个体化治疗决策制定的核心参考依据。影像学可无创地反映肿瘤侵袭性，包括肿瘤边缘不规则、包膜不完整、动脉期周边不规则强化等征象，均提示高侵袭性及复发风险。肝脏影像报告和数据系统的M特征（如马赛克结构、结中结等）联合血清肿瘤标志物，可有效预测微血管侵犯等不良生物学行为，为消融治疗决策提供重要参考[2]。

影像组学的兴起及AI的应用，为肿瘤生物学特征的无创精准评估开辟了全新方向。该技术可从CT、MRI中提取高通量定量特征，捕捉人眼无法识别的肿瘤异质性，基于CT或MRI构建的影像组学模型在微血管侵犯预测、肿瘤分级及分子分型中效能优于传统影像学，为个体化治疗提供可靠依据。

（三）关键解剖结构的评估

局部治疗的安全性与有效性，与肿瘤的空间位置及邻近的解剖结构密切相关。邻近大血管的肿瘤需警惕热消融的热沉效应及血管损伤风险。紧贴胆囊、肠管的病灶需评估热消融可行性，必要时选用不可逆电穿孔等非热消融技术。肿瘤邻近大血管或胆管时，选择冷冻消融的并发症发生率低于射频消融。解剖关系的精准判定为治疗方式优化及并发症防控提供重要支撑。

（四）选择治疗方式的影像学依据

影像学评估是临床选择最优治疗方案的核心依据。对于肿瘤最大径≤3 cm、数目≤3个且位置适宜的HCC病灶，消融治疗可作为根治性治疗手段。对于中期多结节性HCC，TACE是目前临床指南推荐的标准治疗方案。对于肿瘤最大径≥8 cm的单发不可切除HCC，TARE已获得BCLC分期指南推荐，可有效控制肿瘤进展、延长病人生存期。此外，基于增强MRI测量的三维肿瘤负荷可作为独立影像学生物标志物，有效优化BCLC分期，并筛选适合TACE治疗的病人[3]。

二、术中影像引导：精准实施的保障

治疗前的精准评估为HCC局部治疗奠定了坚实基础，术中影像引导是实现治疗计划精准落地、保障安全有效的关键。不同影像引导方式各有优劣，需结合病灶特征、治疗方式及设备条件选择。

（一）超声引导：最常用的实时引导方式

超声是HCC消融治疗最常用的引导方式，常规灰阶超声可清晰显示肿瘤及周边结构，根据实时动态图像灵活调整穿刺路径。超声造影通过静脉注射超声微泡造影剂，清晰显示肿瘤的血供及边界，尤其适用于常规超声显示不清或微小的HCC病灶的引导定位。

（二）CT引导：适用于超声不显示病灶

CT引导是消融治疗的重要补充手段，可清晰显示肿瘤与周边结构关系，为穿刺路径提供精准定位。CT引导的核心挑战是消融边界精准评估，传统视觉判断主观性强、可重复性差。研究显示，采用专用软件结合生物力学配准与自动分割辅助定量评估的平均最小消融边界显著高于传统组，且2年局部肿瘤进展率（5%）低于传统组（16%），可作为CT引导热消融的标准化配置[4]。

（三）磁共振引导：软组织分辨率最优

MRI引导是高端术中引导方式，适用于微小、显示困难或高危部位病灶的消融引导。MRI引导消融的另一独特优势在于热力图实时监测功能。基于质子共振频率偏移的MR测温技术，可动态显示组织温度、调整消融参数，实现精准消融[5]。但因设备要求高、操作复杂，临床实际应用场景较少。

（四）影像融合导航技术

影像融合导航技术进一步拓展了引导的精准度。影像融合导航通过空间配准算法叠加不同模态影像，将不同模态的影像数据进行实时叠加融合，弥补单一引导不足。临床最常用CT/MR与超声融合，将术前三维重建影像与术中实时超声配准，可提高穿刺及首次完全消融率、降低并发症[6]。

（五）经动脉治疗中的影像引导

TACE、TARE等血管介入治疗高度依赖影像引导，数字减影血管造影是标准引导手段，可实时显示导管位置及靶血管，指导超选择性插管。锥形束计算机断层扫描可在术中获取三维影像，进一步提升了经动脉治疗的精准度与安全性。TARE治疗可借助锝-99m聚合白蛋白单光子发射计算机断层显像/CT或钬-166 MRI术前模拟，评估肝肺分流率、计算安全辐射剂量，避免并发症。

三、术后即刻评估：消融完整性的判断

术后即刻评估是消融针拔出后数分钟至半小时内完成的影像学检查，核心目标是判断治疗效果、识别残存病灶，为

即刻补充治疗提供依据。消融边界指消融区与肿瘤边缘的距离，≥5 mm的安全消融边界可显著降低局部复发率。亚洲肿瘤消融大会的最新指南明确将消融边界评估列为消融治疗的核心环节，推荐在术中或术后即刻完成[7]。

（一）消融边界的影像学评估

术后即刻评估首要任务是测量最小消融边界，但消融后产生的气体及组织炭化会干扰超声图像清晰度，影响消融边界判断。研究表明，消融后等待数分钟，待气体消散、组织对比度改善，可显著提升肿瘤及消融边界显示质量；等待5 min后评估可明显提高操作者信心，29.3%的病人经重新定位补充消融后获得良好的消融边界[8]。近年来，联合CT肝动脉造影和对比剂标记技术，可在术后即刻平扫CT上直接观察肿瘤边界与消融区的关系，初步研究证实了其可行性和可重复性[9]。

（二）完全消融与残存病灶的鉴别

动态增强多期扫描是鉴别两者的关键：完全消融表现为消融区无强化、边缘光滑，周围环形强化为炎性反应带；残存病灶表现为消融区边缘不规则强化，动脉期明显强化、门脉期及延迟期洗脱，与典型HCC血流动力学一致。

（三）术后早期并发症的影像学识别

术后即刻影像评估还应包括对早期并发症的筛查。消融相关并发症主要为出血、胆管损伤、感染及邻近脏器损伤等，其中邻近脏器损伤包括胆囊炎、胃肠道穿孔、膈肌损伤等，需重点关注消融区与胆囊、胃肠道及膈肌的毗邻关系。

四、短期疗效评估

术后的短期影像学评估是连接即刻评估与远期监测的重要环节，其核心任务是采用标准化体系对局部治疗疗效进行分级，为后续治疗决策提供依据。

在疗效评估的标准化方面，新发布的肝脏影像报告和数据系统根据局部治疗的作用机制，将评估路径区分为放疗与非放疗两大分支，并针对放疗后肿瘤即使已坏死仍可持续强化的特点，取消了原有的不确定类别，新增了非进展类别[10]。对于消融及TACE等非放疗治疗，新版肝脏影像报告和数据系统引入了扩散受限及轻中度T_2加权成像（T_2WI）高信号作为辅助征象，可用于将不确定病灶升级为活性残存，从而减少评估中的模糊地带。此外，超声造影被纳入治疗后评估体系，针对治疗区内及周边采用不同的强化判读标准，以提高评估准确性。近期有学者基于TACE术后1个月MRI检查的4个影像特征（弥散受限、瘤周异常强化、异质性、壁结节缺失）构建的预测模型，可有效预测术后6个月的再治疗应答并评估预后，为个体化随访及治疗策略调整提供了量化工具[11]。

五、远期监测与复发管理

局部治疗后远期监测是HCC全程管理的重要部分。即使初次治疗获得完全消融，术后5年复发率仍有67.7%[Ann Surg Oncol, 2025, 32(2): 1054-1062.]。因此，规范化影像学随访、早期发现复发并指导再治疗，是改善长期预后的关键。

（一）随访影像学方案的选择

随访影像学检查需平衡检出敏感度、辐射暴露及成本。CT应用最广泛，其扫描速度快、可重复性强，但反复检查存在辐射累积及碘对比剂肾病风险。Gd-EOB-DTPA增强MRI优势显著，可清晰显示微小及早期复发灶。欧洲相关组织的最新共识推荐，将Gd-EOB-DTPA MRI作为HCC部分局部治疗方案后随访的首选影像学方法，并推荐纳入弥散加权成像序列及180 s静脉期延迟时间[12]。

（二）局部复发的影像学鉴别

局部复发根据发生部位可分为边缘复发、肝内远处复发及脉管复发三种类型。研究表明，增强MR与多参数能谱CT诊断肝癌TACE术后复发的敏感度较常规增强CT更高，且以MR的诊断效能最好[13]。正电子发射断层扫描（PET）/CT联合常规增强CT或MRI可将鉴别局部治疗后复发的特异度从42.1%提高至89.5%，是常规影像的重要补充手段[14]。对于难以确定性质的病灶，建议在2～3个月后复查，观察病灶的动态变化。

（三）复发后的再治疗决策影像学依据

复发后再治疗需结合复发模式、肿瘤负荷等综合判断。边缘复发且病灶局限者，再次消融为首选，影像学需评估复发灶大小、位置及周边关系，以判断再次消融的可行性及风险。此外，多次治疗后肝实质萎缩、碘油沉积等改变，可能干扰新发病灶的检出，需仔细鉴别，避免误判。

六、影像学在联合治疗时代的价值延伸

局部治疗与靶向免疫治疗联合已成为中晚期HCC重要策略，影像学价值从传统的疗效评估进一步延伸至疗效预测及治疗决策支持。在疗效预测生物标志物方面，基于治疗前影像构建的影像组学及深度学习模型，可有效预测HCC病人TACE治疗后的生存结局并进行风险分层[15-16]。CHANCE2204研究显示，基于术前CT及MRI的影像组学及深度学习模型可有效预测TACE联合靶向免疫治疗的疗效，模型预测治疗应答的曲线下面积达0.94，可实现治疗前的精准病人筛选[17]。此外，免疫治疗可诱导假性进展及超进展等特殊反应模式，需注意影像鉴别，避免治疗误判。

七、挑战与未来方向

尽管影像学在HCC局部治疗全程管理中发挥着日益重要的作用，临床实践中仍存在诸多亟待解决的问题。与此同时，影像组学、AI及新型成像技术的发展为这一领域带来了新的机遇。

（一）影像学评估标准的全球统一

不同中心在局部治疗前后的影像学检查时机、模态选择及技术参数上存在较大差异，直接影响研究结果的可比性及临床决策的一致性。尽管已有共识提出了标准化推荐，但全球推广受到设备、技术及医疗资源等因素制约。建立适合不同资源层级医疗机构的阶梯化影像学策略，是未来探索方向。

（二）消融边界的精准评估技术

消融边界的精准评估是预测局部复发的核心指标，但现有影像手段的测量精度不足，术中影像及术后即刻评估技术有待进一步优化。新型图像配准、AI自动分割及三维可视

化工具的研发与应用，有望提升消融边界评估的精准度。

（三）多模态与多组学融合

单一影像模态存在局限，多模态影像融合、影像与病理、基因组学整合，可提升评估准确性，构建更精准的预后及治疗应答预测体系，为个体化治疗奠定基础。

（四）AI的深度整合

AI可应用于HCC局部治疗全流程，包括治疗前预测生物学行为，治疗中辅助靶区勾画、路径规划及实时引导，治疗后预测复发风险及远期生存，指导个体化随访方案的制定。然而，AI的临床转化仍面临算法泛化验证、数据标准化等挑战，影像科医生需主动转型适应变革，从图像判读者转变为数据驱动决策的整合者。

（五）影像学在多学科协作中的价值

影像学已贯穿HCC局部治疗的全流程。在多学科协作框架下，外科医生应充分理解影像学在治疗前精准分期、术中引导、术后评估及复发监测中的核心价值。通过建立常态化的临床-影像联合讨论机制，将影像信息有效转化为治疗决策的共同语言，方能真正发挥影像学的导航作用，共同提升肝癌局部治疗的精准化水平。

八、结语

HCC局部治疗依赖于多维度信息的整合，影像学需与临床信息及病理学依据充分结合，共同构成精准决策的基础。近年来，影像组学及多组学融合等前沿技术展现出良好潜力。AI在辅助诊断、治疗决策支持及预后预测等领域发展迅速，但其临床落地与规范化普及仍需更多证据积累。在多学科协作框架下，影像信息的有效转化是提升HCC诊疗水平的重要环节，唯有通过各学科的深度融合，方能真正实现HCC诊疗的精准化与个体化。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突

参　考　文　献

[1] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2024, 74(3): 229-263. DOI: 10.3322/caac.21834.

[2] Lee MW, Han S, Gu K, et al. Local ablation therapy for hepatocellular carcinoma: clinical significance of tumor size, location, and biology[J]. Invest Radiol, 2025, 60(1): 53-59. DOI: 10.1097/RLI.0000000000001100.

[3] Borde T, Nezami N, Laage Gaupp F, et al. Optimization of the BCLC staging system for locoregional therapy for hepatocellular carcinoma by using quantitative tumor burden imaging biomarkers at MRI[J]. Radiology, 2022, 304(1): 228-237. DOI: 10.1148/radiol.212426.

[4] Odisio BC, Albuquerque J, Lin YM, et al. Software-based versus visual assessment of the minimal ablative margin in patients with liver tumours undergoing percutaneous thermal ablation (COVER-ALL): a randomised phase 2 trial[J]. Lancet Gastroenterol Hepatol, 2025, 10(5): 442-451. DOI: 10.1016/S2468-1253(25)00024-X.

[5] Horstmann D, Belker O, Düx D, et al. Quantitative assessment of ablation zone accuracy in 3D stack-of-spirals proton resonance frequency shift thermometry during clinical hepatic microwave ablation[J]. Int J Hyperthermia, 2025, 42(1): 2589820. DOI: 10.1080/02656736.2025.2589820.

[6] Song KD, Lee MW, Rhim H, et al. Percutaneous US/MRI fusion-guided radiofrequency ablation for recurrent subcentimeter hepatocellular carcinoma: technical feasibility and therapeutic outcomes[J]. Radiology, 2018, 288(3): 878-886. DOI: 10.1148/radiol.2018172743.

[7] Shiina S, Tateishi R, Choi JI, et al. Asian conference on tumor ablation guidelines for hepatocellular carcinoma[J]. Liver Cancer, 2025, 14(5): 651-678. DOI: 10.1159/000544976.

[8] Han S, Lee MW, Gu K, et al. Impact of an immediate short waiting period on ultrasound-based ablative margin assessment following radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma[J]. Ultrasonography, 2025, 44(5): 354-362. DOI: 10.14366/usg.25055.

[9] Santangelo D, van der Lei S, Johnston EW, et al. The role of CT hepatic angiography with contrast tagging in liver tumour ablation-an international pictorial essay[J]. CVIR Oncol, 2025, 1(1): 12. DOI: 10.1007/s44343-025-00012-4.

[10] Naves GG, Dantas PP, Júnior AEDS, et al. CT and MRI LI-RADS treatment response assessment 2024: core concepts for clinical practice[J]. Radiographics, 2026, 46(4): e250067. DOI: 10.1148/rg.250067.

[11] Wang WL, Zhang XM, Yu YX, et al. MRI-based score to predict retreatment response for viable hepatocellular carcinomas after transarterial chemoembolization[J]. Liver Int, 2026, 46(1): e70481. DOI: 10.1111/liv.70481.

[12] Öcal O, Zech CJ, Bali MA, et al. Imaging in staging, treatment planning, and monitoring of hepatocellular carcinoma for local and locoregional therapies: consensus recommendations from EORTC and ESGAR[J]. Eur Radiol, 2026, 36(1): 597-606. DOI: 10.1007/s00330-025-11699-7.

[13] 曹志超，陈焕玉，张宏，等. 增强CT、多参数能谱CT及增强MR在肝癌TACE后评估的价值分析[J]. 介入放射学杂志，2025，34(9)：971-976. DOI：10.3969/j.issn.1008-794X.2025.09.011.

[14] Liang JC, Weng SJ, Zhang J, et al. Diagnostic performance of [^{18}F] FAPI-04 PET/CT in suspected recurrent hepatocellular carcinoma: prospective comparison with contrast-enhanced CT/MRI[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2025, 52(11): 3951-3962. DOI: 10.1007/s00259-025-07273-4.

[15] Wang S, Zhao Y, Cai XD, et al. CMT-FFNet: a CMT-based feature-fusion network for predicting TACE treatment response in hepatocellular carcinoma[J]. Comput Med Imaging Graph, 2025, 124: 102577. DOI: 10.1016/j.compmedimag.2025.102577.

[16] Guo YS, Zhang GL, Fu XN, et al. Hypoxia-related and immune phenotype-related fusion model for non-invasive prognostication of hepatocellular carcinoma treated by TACE: a multicentre study[J]. Gut, 2026: gutjnl-gu2025-337938. DOI: 10.1136/gutjnl-2025-337938.

[17] Jin ZC, Wei JW, Xiao YD, et al. Decoding tumor heterogeneity with imaging biomarkers predicts response to TACE plus immunotherapy and targeted therapy in HCC (CHANCE2204)[J]. Hepatology, 2025 Nov 10. DOI: 10.1097/HEP.0000000000001593. [Online ahead of print.]

（收稿日期：2026-04-21）