

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2026.05.010
文章编号: 1005-8982 (2026) 05-0062-07

综述

影像学技术在肝癌外科诊疗中的应用*

吴晓勤^{1,2}, 刘辉^{1,2}, 刘福晨², 赵曼^{1,2}, 周瑞^{1,2}, 张恺廷^{1,2}

(1. 上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093; 2. 海军军医大学第三附属医院
肝外三科, 上海 200438)

摘要: 该文系统综述影像学技术在肝癌诊疗中的应用, 分析不同影像技术的特点和优势, 重点探讨其在肝癌外科诊疗中的实践价值, 包括术前规划与手术模拟、术中影像导航、术后疗效评估及术后复发预测, 以期为肝癌外科诊疗的优化提供参考。

关键词: 肝癌; 影像技术; 诊断治疗

中图分类号: R735.7

文献标识码: A

Application of imaging techniques in the surgical diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma*

Wu Xiao-qin^{1,2}, Liu Hui^{1,2}, Liu Fu-chen², Zhao Man^{1,2}, Zhou Rui^{1,2}, Zhang Kai-ting^{1,2}

(1. School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. The Third Department of Hepatic Surgery, The Third Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200438, China)

Abstract: This paper provides a systematic review of the application of imaging techniques in the diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma, analyzing the characteristics and advantages of different imaging modalities. It focuses on exploring their clinical practice value in the surgical management of liver cancer, including preoperative planning and surgical simulation, intraoperative imaging navigation, postoperative efficacy evaluation, and prediction of postoperative recurrence. The aim is to offer references for optimizing the surgical diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma.

Keywords: hepatocellular carcinoma; imaging techniques; diagnosis and treatment

原发性肝癌是全球范围内最常见恶性肿瘤之一, 其发病率和病死率位居前列。2022年中国癌症中心发布的流行病学数据显示^[1], 肝癌在常见的恶性肿瘤中位居第4, 且在肿瘤致死病因中位于第2, 严重威胁着我国人民的生命健康。目前, 肝癌的诊疗还存在早期诊断困难、治疗效果评估不精准等问题, 传统的肝功能检查、肿瘤标志物检测等临床诊断方法存在一定的局限性, 难以直观地反

映肝脏的形态和结构变化, 而影像技术能够将人体的内部结构以数字化图像的形式呈现出来, 为肝脏疾病的诊疗和预后评估提供了全面直观的依据。影像技术是疾病诊断与治疗的核心工具, 其在肝胆疾病诊疗领域应用广泛^[2]。随着临床需求的日益复杂, 传统的单一模态影像已难以满足精准诊疗的要求, 当前的研究前沿与临床实践正聚焦于多模态影像融合与智能化信息挖掘等方向。

收稿日期: 2025-11-06

* 基金项目: 国家自然科学基金(No: 82270634)

[通信作者] 刘辉, E-mail: liuhuigg@hotmail.com

一方面,超声成像、计算机断层扫描、磁共振成像等技术通过三维可视化与影像组学等方法,构建出数字肝脏模型辅助临床诊疗;另一方面,人工智能深度赋能,在病灶识别、手术方案优化、术后疗效评估等方面智能化应用,极大提高了肝癌的诊断准确率和治疗效果。

1 肝癌诊疗的影像学技术

1.1 超声成像

超声检查凭借无创便捷、实时动态显像、无辐射等优势成为肝胆疾病初步筛查的常用手段^[3]。超声可以观察肝脏的大小形态,肝内血管走行、占位,以及胆囊、胆管等情况,对肝胆疾病的早期诊断至关重要,但传统的超声成像技术对微小病灶的检测不敏感,在早期诊断与鉴别诊断中存在局限性^[4]。因此,超声检查新技术如超声造影、高帧率超声造影、弹性成像技术等发展迅速。超声造影具有更高的时空分辨率,通过微泡对比剂能够观察到病灶的增强模式和消退特征等现象^[5],以此区分早期肝癌和进展期肝癌,评估不同分化程度下肿瘤的血流变化并辅助诊断^[6]。高帧率超声造影通过提高单位时间内的帧率,以获得更精细的血流动态变化过程,观察对比剂在各个时期的分布与变化,可以识别血供丰富、快速增强的肝脏病变,为肝细胞癌、肝脏局灶性结节性增生等疾病提供诊断依据^[7]。超声波弹性成像可以定量评估肝脏纤维化或硬化程度及肿瘤的组织硬度,还可测量非酒精性脂肪性肝病的肝内脂肪含量^[8],以此辅助肝脏疾病的鉴别诊断。

1.2 计算机体层成像

计算机体层成像(computed tomography, CT)具有图像分辨率高、扫描速度快等特点,能够清晰显示肝脏的解剖结构、病变的大小位置及与毗邻组织的关系^[9]。肝脏增强CT扫描通过注入对比剂,对肝脏进行三期(动脉期、门脉期、延迟期)扫描,以观察病灶在不同时相的密度变化和血流变化,可以反映肿瘤的形态学特征及血供情况^[10],对肝内低密度占位病变具有较高的鉴别诊断价值。但CT存在辐射风险,且容易受运动伪影的影响,对微小病灶的显示不佳^[11]。CT能谱成像根据两种X射线能量之间不同原子序数的吸收特性差异,通过定量测量组织

中的碘含量来评估残余肿瘤或复发灶的情况^[12],低keV图像有利于提高肝脏病灶的检测,对局部小病灶的检测敏感性更高,可提高肝小细胞癌(≤ 1 cm)的检出率^[13]。

1.3 磁共振成像

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)具有多参数成像、多功能成像、高组织分辨率等特点,通过多序列扫描获取肝脏的形态结构和功能信息^[14],在鉴别肝脏良恶性肿瘤、评估肝硬化程度及检测肝内微小病灶等方面的能力优于CT,对肝癌的诊断、分期和评估具有重要作用。随着MRI技术的不断发展,对肝脏肿瘤的评估更趋于精准和量化,因此动态增强MRI和弥散加权成像的应用日益普及^[15]。动态增强MRI通过对比剂显影提高不同组织间的信号差异,观察对比剂在肿瘤中的动态分布,以此评估肿瘤血管的微观血流变化^[16],辅助临床判断肿瘤的血供情况及鉴别肿瘤的性质,且动态增强MRI对微小肝癌的检出和诊断能力优于动态增强CT。弥散加权成像则利用组织内水分子扩散运动的差异,来反映肿瘤细胞的密度和微环境变化^[17],恶性肿瘤生长速度较快,导致肿瘤细胞大而致密,使水分子的自由弥散受到限制,局部表现弥散系数比正常组织更低,弥散图像信号增高,因此弥散加权成像能敏感地发现肿瘤、炎症或早期病变,尤其对区分良恶性病变、转移瘤等具有重要的诊断价值。

1.4 其他数字影像技术

正电子发射计算机体层显像(positron emission tomography and computed tomography, PET-CT)通过结合PET和CT两种成像技术,在一次扫描中获得两者的融合图像,PET反映组织的生理状态和代谢功能,CT则提供精确的解剖结构和血管形态^[18],可以通过CT发现病灶组织,再通过PET对肿瘤的代谢功能进行评估,主要用于肝癌的诊断、分期、转移灶的检出及通过检测肿瘤的代谢活性提高诊断的准确性^[19]。数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)是通过将对比剂注入血管内,利用计算机技术去除骨骼、软组织等背景影像,从而得到清晰的血管影像,常用于诊断肝癌的血管侵犯、肝动脉狭窄或栓塞等,同时还可以用于介入治疗,如经导管动脉化疗栓塞术等,通过DSA可以确

定肿瘤的血供情况和血流动力学特征,从而选择适当的栓塞位置^[20]。

肝癌诊疗中不同影像技术应用特点总结见表 1。

表 1 肝癌诊疗中不同影像技术应用特点

类型	技术名称	应用特点
超声成像	超声造影	评估不同分化程度肿瘤的血流变化;区分早期肝癌和进展期肝癌
	高帧率超声造影	利用对比剂在各期像的分布评估血流动态变化;识别血供丰富、快速增强的肝脏病变
	超声波弹性成像	定量评估肝脏纤维化或硬化程度、肿瘤组织硬度;测量非酒精性脂肪性肝病的肝内脂肪含量
CT	增强 CT 扫描	评估肿瘤形态学特征和血供情况;鉴别肝内低密度占位病变
	CT 能谱成像	测量碘含量评估残余肿瘤或复发灶;增强局部小病灶的检测敏感性
MRI	动态增强 MRI	评估肿瘤血管的微观血流变化;鉴别良恶性肿瘤性质
	弥散加权成像	显示肿瘤、炎症或早期病变;区分良恶性病变和转移瘤
其他影像技术	PET-CT	结合 CT 解剖和 PET 功能信息综合评估肿瘤代谢活性;用于肝癌诊断、分期和转移灶的检出
	DSA	显示肿瘤血供情况和血流动力学特征;诊断肝癌的血管侵犯、肝动脉狭窄或栓塞

2 影像技术在肝癌外科治疗中的实践应用

2.1 术前规划与手术模拟

三维可视化技术基于增强 CT 或 MRI 的图像进行术前影像重建,获得三维立体图像信息,清晰显示肝脏的解剖结构、肿瘤的大小位置、形态分布、供应血管及周围组织毗邻关系,明确肿瘤与肝动静脉、门静脉、胆道的毗邻关系^[21],可依据脉管变异走行分型。术前依据肝肿瘤与肝内脉管系统的空间关系,计算预切除肝体积大小,测定术后残余肝脏体积占标准肝脏体积、功能肝脏体积的百分比,评估剩余肝脏的体积和功能^[22],以此对肿瘤的可切除性进行评估,确保肝切除后肝脏能够维持正常的代谢功能,降低术后发生肝功能衰竭的风险。在复杂肝脏肿瘤手术中,三维可视化技术可精准定位肿瘤,充分显示肿瘤与周围重要结构的解剖关系,明确肿瘤侵犯脉管结构的情况,从而全面量化评估肿瘤,规划手术路径,确定最佳肝切除方式和层面,同时影像技术结合虚拟现实和增强现实技术,可进行虚拟肝切除^[23],通过三维可视化将肝脏内部结构高度还原,精准呈现外科手术操作过程,从而提高手术的成功率,减少手术并发症的发生。张勇等^[24]将术前肝脏三维重建应用于原发性肝癌精准切除手术的研究,对照组以常规肝脏二维影像学检查进行传统术前评估,结果显示三维重建组的术中出血量减少(182.55 mL vs 378.55 mL)、住院时间缩短(8.88 d vs 12.31 d)、术后

并发症发生率(7.41% vs 20.75%)及复发转移率更低(3.7% vs 15.09%),表明术前肝脏三维重建技术能够提高原发性肝癌切除手术的精准性和安全性,降低手术后患者发生并发症的概率。

2.2 术中导航与实时引导

2.2.1 吲哚菁绿荧光影像导航 吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)分子荧光影像的原理基于 ICG 经静脉注射后与血浆蛋白结合,被正常肝细胞特异性摄取并最终经胆汁排泄的药代动力学特性^[25]。在近红外光激发下,ICG 发出荧光,通过专用摄像系统可实现肝脏实质、胆道及病灶的可视化。该技术在肝脏外科的临床实践中的应用主要包括在解剖性肝切除术中,使目标肝区或肝段产生荧光信号,精准界定肿瘤边界,直观显示切除平面;利用肝癌细胞或癌前病变细胞功能异常导致的 ICG 排泄障碍,使其在术中表现为异常滞留的“荧光亮斑”,从而能够实时发现术前影像学检查未能检出的微小癌灶或卫星结节;可用于实时评估肿瘤切缘(确保为荧光阴性区域)及胆道结构的辨识,有助于降低术后切缘阳性率及胆漏发生率^[26]。尽管 ICG 荧光导航具有实时直观、无辐射的优势,但其对深部结节的敏感度较低,需结合术中超声及术中病理,以此弥补深度受限的问题,且存在假阳性(如增生结节、炎性灶)与假阴性的情况,特别是具有肝硬化背景的患者(肝脏肿瘤组织与正常肝组织的荧光对比度下降),导致检测敏感度降低^[26]。刘林等^[27]探究吲哚菁绿引导用于腹腔镜肝癌切除

术的效果与安全性,研究结果显示,对比常规腹腔镜手术,吲哚菁绿引导腹腔镜手术的肝门阻断时间(19.26 min vs 23.98 min)、术后并发症发生率(6.52% vs 21.74%)显著低于对照组,而1年内的无瘤生存率显著高于对照组(Log-rank $\chi^2 = 4.534, P = 0.033$)。

2.2.2 消融治疗的术中实时引导 超声、CT、MRI等影像技术均可用于引导肝癌的射频消融和微波消融治疗^[28]。在肝癌消融治疗过程中,通过影像设备实时监测消融针的位置和肿瘤的大小、形态变化,确保消融针能够准确插入肿瘤内部,并且将肿瘤完全覆盖在消融范围内,在保证肿瘤整体灭活的情况下,最大程度地减少周围正常组织的损伤。超声引导是最常用的一种影像引导技术^[29],超声造影能动态观察肿瘤的血流灌注情况,精准显示肿瘤实际的大小和形态,可以实时监测消融过程,及时评估消融效果^[30],可在消融后数分钟内评估疗效,以此来判断消融是否完全或者是否需要补充治疗。对于术前影像无法显示、术中无法切除的深部微小病灶,超声引导下的消融可作为重要的补充治疗手段。李雯等^[31]比较超声引导下射频消融术与手术切除治疗小肝癌患者的疗效,结果显示射频消融组的手术时间(23.50 d vs 50.12 d)和住院时间(5.30 min vs 10.51 min)均短于手术切除组,且并发症总发生率更低(16.67% vs 34.85%),表明射频消融术治疗小肝癌术后并发症较少,手术安全性显著提升。CT引导具有高空间分辨率,可精确定位肿瘤,显示肿瘤及其毗邻结构和消融针的位置,减少对周围正常肝组织的损伤^[32],还可通过CT增强扫描明显区分病灶边界,且CT不受气体、骨骼、碘油沉积等影响,可避免以上因素在超声中引起的探测盲区^[33],但CT引导有射线辐射,穿刺过程不能完全实时引导。扈彩霞等^[34]研究证实,CT影像导航系统能显著优化肝脏肿瘤热消融手术:与对照组相比,导航组的穿刺次数(2.7 vs 4.9)、CT扫描次数(4.5 vs 8.4)和穿刺时间(11.3 min vs 15.5 min)等关键指标均更优,有效提升了手术的精准性与安全性。MRI引导具有组织分辨率高、精准定位肿瘤病灶、清楚显示肿瘤毗邻结构、可对消融术后疗效做即刻评价等优点^[35],其最大的优势在于对消融灶的显示,且术中可监测消融区温度变化,清晰显示消融范围,但MRI引导消融时间较长且成本较高,各种器械还需要磁兼容,限制了

临床普及。

2.2.3 经导管动脉化疗栓塞术(transcatheter arterial chemoembolization, TACE) 是治疗中晚期肝癌的常用方法。该方法通过导管将载有化疗药物的碘化油或微球,选择性栓塞肿瘤的供血动脉,导致肿瘤组织因缺血而坏死,从而达到治疗目的^[36]。TACE的治疗疗效高度依赖于术中超选择性插管的精确度和对栓塞终点的准确判断。在TACE治疗中,DSA是主要的影像引导技术,能够清晰地显示肝癌的供血动脉、肿瘤血管的分布和形态,对病灶进行精准定位,指导导管的插入和栓塞剂的注射。此外TACE术后可能会出现病灶的残留、复发等情况,DSA是目前鉴别诊断肝细胞癌病灶的“金标准”,因侵入性和有创性使其在临床上应用受限,而CT和MRI可通过观察碘油的沉积、肿瘤的大小、密度或信号变化,判断肿瘤是否残留或复发,可用于TACE术后随访^[37]。吴水天^[38]指出MRI可观察细微病灶的变化,其诊断TACE术后残留病灶的敏感度大于80%。王芳等^[39]证实CT联合MRI检查与金标准DSA对比,具有良好的一致性,CT和MRI可为TACE治疗后续的临床诊断和治疗提供重要参考。基于锥形束CT(cone-beam computed tomography, CBCT)的三维重建技术是近年来出现的一项新技术,能够通过三维图像对靶器官和组织进行观察,具有较高的空间分辨能力,弥补了DSA在评估栓塞剂在肿瘤实质内的具体分布方面存在的不足^[40]。CBCT比DSA更灵敏地识别肿瘤多发、细小或变异的供血动脉,同时在栓塞后立即进行扫描,清晰地显示碘油在肿瘤内部及周围肝实质的沉积情况,能即时判断栓塞是否完全、有无非靶栓塞,并进行针对性的补充栓塞。刘浩等^[41]对原发性肝癌患者行TACE治疗,对比术前接受DSA检查和CBCT三维重建技术检查,寻找供血动脉,结果显示,CBCT三维重建组的超选择插管成功率(93.9% vs 66.7%)、供血动脉的识别诊断(100% vs 74.1%)、病灶的检出(93.9% vs 70.4%)、碘油完全沉积(91.8% vs 72.2%)均优于DSA组,表明CBCT能更好地识别肿瘤供血动脉,从而获得更好的治疗效果,但基于CBCT的三维重建检查延长了手术时间,增加了辐射剂量,因此需要临床医生综合考量,做出效益比最高的选择。

2.3 影像组学评估治疗疗效

影像组学由 LAMBIN 等首次提出,其主要通过深入分析 CT、MRI、超声等医学影像图像,从图像中提取定量特征,转换为反映肿瘤时空异质性及肿瘤表型的定量数据,为治疗预后预测提供新的量化方式,过程主要包括图像的扫描采集和预处理、勾画感兴趣区、对图像进行特征提取、选择特征构建模型、模型的有效性评估^[42]。在手术治疗疗效预测方面,QIAN 等^[43]在 CT 的动脉期及门静脉期,以肿瘤或残余肝脏为感兴趣区,使用多种机器学习算法,构建的预测肝细胞癌切除术后早期复发预测模型,其在训练集和测试集的预测性能较高(曲线下面积分别为 0.844 和 0.790),模型对患者的总生存期具有显著的区分能力;NIE 等^[44]在 CT 的动脉期及门静脉期勾画肿瘤区域,采用 LASSO 正则化的 Cox 比例风险模型,结果显示影像组学评分 0.809 分,表明该模型可以区分肝细胞癌肝移植复发风险,且高风险组的术后复发风险是低风险组的 7.557 倍。在 TACE 疗效预测方面,ZHAO 等^[45]基于多期增强 MRI 比较瘤内及瘤周 3、5 和 10 mm 区域的影像组学特征,结果表明瘤内联合瘤周 3 mm 区域的预测性能最佳,提示瘤周特征在局部治疗疗效评估的重要性。在消融治疗疗效预测方面,SHAHVERANOVA 等^[46]研究结果验证了多参数 MRI 联合模型的稳定性,其曲线下面积高达 0.981,可为转移性肝癌消融疗效评估提供新的参考标准。因此影像组学特征作为无创影像生物标志物,其对肝脏肿瘤治疗疗效的评估具有重要作用^[47]。

2.4 术后复发预测

肝癌术后复发是影响患者长期生存的主要因素,准确预测复发风险有助于制定合理的术后随访策略和辅助治疗方案,通过提取多模态影像特征,结合临床参数和病理类型,构建复发预测模型,实现复发风险分层,为临床治疗提供参考依据。蔡亚飞等^[48]基于彩色多普勒超声对原发性肝癌术后复发进行预测,研究结果显示复发组的收缩期峰值流速较未复发组更高(25.33 cm/s vs 17.06 cm/s),搏动指数(0.82 vs 1.28)、阻力指数(0.50 vs 0.67)均较未复发组更低,单一血流参数收缩期峰值流速、搏动指数、阻力指数预测的曲线下面积分别为 0.664、0.728、0.645,三者联合预测的曲线下面积为 0.861,

因此基于超声获得的血流参数可作为预测原发性肝癌术后复发的敏感指标。江强等^[49]采用 SVM 算法构建基于临床特征和 CT 影像组学指标的预测模型,结果显示临床模型、CT 静脉期模型、CT 动脉期模型的曲线下面积分别为 0.72、0.79、0.87,而临床-静脉期-动脉期模型的曲线下面积最大(0.91),因此临床特征与 CT 特征相结合的综合预测模型可准确预测肝癌术后早期复发风险。肝癌微血管浸润是导致术后复发的关键因素,是反映肿瘤侵袭性的病理特征之一^[50],目前肝癌微血管浸润的诊断主要依赖于术后病理结果,因此提高术前预测效能意义重大。杨砾寒等^[51]对术前 MRI 瘤周及瘤内影像特征构建影像组学模型,基于瘤内和瘤周预测模型训练组的曲线下面积分别为 0.75、0.79,验证组分别为 0.73、0.74,而瘤周结合瘤内预测模型训练组和验证组分别为 0.83、0.79,联合模型诊断准确率较高,可为临床治疗提供参考依据。

3 总结与展望

影像学技术已成为肝脏疾病诊疗体系的重要工具,从疾病诊断到治疗实施再到疗效评估,各类影像技术展现出不同的特点和优势。超声成像以操作便捷、无辐射等优势成为肝脏疾病初筛与动态监测的首选;CT 可清晰显示肝脏的解剖结构、肿瘤的形态学特征及血供情况,可为肝脏肿瘤的分期和手术方案制订提供关键信息;MRI 具有较高的对比分辨能力,在微小病变检出、肿瘤良恶性鉴别及肝功能评估等方面更优;PET-CT 和 DSA 等技术则在肿瘤代谢功能分析、血管性疾病的诊疗中弥补了其他技术的短板。各种影像技术在不同诊疗阶段作用互补,极大地提升了肝癌的诊疗水平。

未来,人工智能与影像组学的深度结合,将不仅局限于从影像中提取海量定量特征,无创评估肿瘤生物学行为,还可以与免疫组织化学、特殊病理亚型、基因表型关联等相结合,从而重塑肝脏研究范式^[52]。此外,超高场强 MRI^[53]、超分辨率超声成像^[54]、ICG 荧光探针成像^[55]、ICG 联合增强现实和混合现实技术导航^[56]等前沿技术的革新也将极大推动疾病诊断的精准化进程,从早期诊断到精准治疗再到预后预测,促进肝癌诊疗向个体化、智能化方向发展。总之,影像技术的创新发展将会不断优化肝

癌的诊疗模式,从而服务于临床。

参考文献:

- [1] 郑荣寿,陈茹,韩冰峰,等. 2022年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(3): 221-231.
- [2] 孙士强. 数字化影像技术在肝脏外科中的应用[J]. 山东医学高等专科学校学报, 2020, 42(4): 283-284.
- [3] 田静,宋涛. 人工智能在肝脏超声诊断中的应用进展[J]. 影像研究与医学应用, 2024, 8(24): 25-27.
- [4] 吴双豆,柏艳红,唐中才,等. 多模态超声成像技术在肝脏疾病诊断中的应用价值[J]. 中国医疗设备, 2025, 40(4): 55-60.
- [5] 郑伊漫,徐超丽,叶新华. 多模态超声术前评估右侧喉返神经后方淋巴结转移的应用与意义[J]. 肿瘤影像学, 2025, 34(3): 282-289.
- [6] FAN P L, XIA H S, DING H, et al. Characterization of early hepatocellular carcinoma and high-grade dysplastic nodules on contrast-enhanced ultrasound: correlation with histopathologic findings[J]. J Ultrasound Med, 2020, 39(9): 1799-1808.
- [7] 中国研究型医院学会超声医学专业委员会, 中国医学影像技术研究会超声分会, 北京超声医学学会. 肝脏高帧率超声造影临床应用专家共识[J]. 中国医学影像学杂志, 2025, 33(3): 225-228.
- [8] GUAN X, CHEN Y C, XU H X. New horizon of ultrasound for screening and surveillance of non-alcoholic fatty liver disease spectrum[J]. Eur J Radiol, 2022, 154: 110450.
- [9] 周文静. 基于多期相CT影像特征融合的肝脏病灶分类研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2025.
- [10] 王瑞军,孙继平. 超声造影及增强CT鉴别诊断肝局灶性结节与早期小肝细胞癌的效能分析[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(12): 119-121.
- [11] 隋虎,毛佳,李海军. CT和MRI增强影像学表现对HBV相关肝癌的诊断价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2025, 23(6): 109-112.
- [12] 项改生,姜增誉,陈文青,等. 能谱CT在肝脏疾病中的研究新进展[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(7): 178-180.
- [13] NAGAYAMA Y, IYAMA A, ODA S, et al. Dual-layer dual-energy computed tomography for the assessment of hypovascular hepatic metastases: impact of closing k-edge on image quality and lesion detectability[J]. Eur Radiol, 2019, 29(6): 2837-2847.
- [14] 张海军,张宏娟,骆科纯. MRI与增强CT检查对肝癌的诊断价值[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(10): 137-139.
- [15] 沙新杰,夏晓亮. 磁共振成像增强扫描联合弥散加权成像评估良恶性肝脏肿瘤价值分析[J]. 实用肝脏病杂志, 2025, 28(3): 438-441.
- [16] 程飞. 多层螺旋CT灌注成像与增强磁共振成像在早期肝癌诊断中应用效能对比[J]. 中国医疗器械信息, 2024, 30(8): 107-109.
- [17] SON J S, PARK H S, PARK S, et al. Motion-corrected versus conventional diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the liver using non-rigid registration[J]. Diagnostics (Basel), 2023, 13(6): 1008.
- [18] 罗晓东,董军强. 18F-FDG PET/CT在肝脏良恶性肿瘤鉴别诊断中的应用价值[J]. 临床医学工程, 2024, 31(8): 897-898.
- [19] 徐悦,吕涛,赵翊含,等. 18F-FDG PET/CT动态显像诊断原发性肝癌的价值[J]. 现代肿瘤医学, 2023, 31(19): 3653-3657.
- [20] 郑海霞,崔巍,陈凯. DSA表现与肝癌患者肝动脉化疗栓塞术后钙、磷离子浓度及疗效的相关性分析[J]. 实用癌症杂志, 2025, 40(7): 1166-1169.
- [21] 程聪,陆马乘,张焯. 三维可视化技术辅助肝癌腹腔镜手术的有效性和安全性的Meta分析[J]. 医疗卫生装备, 2023, 44(8): 79-84.
- [22] 谭凯,吴珂,王赞,等. 三维可视化技术在肝癌转化切除中的应用[J]. 西部医学, 2023, 35(5): 770-774.
- [23] 范正阳. 基于增强现实的肝脏手术配准与切割模拟关键技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2024.
- [24] 张勇,樊斌,李庆贺. 术前肝脏三维重建应用于原发性肝癌精准切除手术的研究[J]. 河北医学, 2023, 29(10): 1672-1677.
- [25] 黄宇,匡姣,刘辉,等. 肝胆胰外科中吲哚菁绿荧光成像技术的应用研究进展[J/OL]. 广州医药. (2025-08-21)[2025-10-20]. <https://link.cnki.net/urlid/44.1199.r.20250820.1727.003>.
- [26] 中华医学会数字医学分会, 中国医师协会肝癌专业委员会, 中国医师协会精准医学专业委员会, 等. 吲哚菁绿分子荧光影像技术诊断原发性肝癌与术中导航操作诊疗规范(2021版)[J]. 中国实用外科杂志, 2021, 41(9): 1002-1013.
- [27] 刘林,李修红. 吲哚菁绿引导用于腹腔镜肝癌切除术的效果与安全性[J]. 中国现代普通外科进展, 2025, 28(9): 727-730.
- [28] 中华医学会超声医学分会, 中国研究型医院学会肿瘤介入专业委员会. 影像引导原发性肝癌消融指南(2023版)[J]. 临床超声医学杂志, 2025, 27(4): 265-282.
- [29] 李灿. 超声造影指导下射频消融治疗肝癌的效果观察[J]. 临床合理用药杂志, 2020, 13(28): 156-157.
- [30] 彭梓婷,石统东. 超声造影引导下射频消融治疗肝癌疗效的meta分析[J]. 重庆医学, 2024, 53(10): 1548-1552.
- [31] 李雯,杨柳,牛卫丽,等. 超声引导下射频消融术与手术切除治疗小肝癌患者的对比研究[J]. 医药论坛杂志, 2024, 45(17): 1807-1811.
- [32] 冯志鹏. TACE联合CT引导微波消融治疗原发性肝癌的疗效研究[J]. 现代诊断与治疗, 2025, 36(2): 251-253.
- [33] 廖俊伟,黄晓红,朱国权,等. 血管参照法在CT引导下等密度肝癌微波消融术中的定位价值[J]. 中国肿瘤外科杂志, 2025, 17(1): 48-52.
- [34] 扈聪霞,赵鹏,刘博君,等. 三维影像术中导航系统在CT引导肝脏肿瘤热消融治疗的临床应用[J]. 北京医学, 2025, 47(3): 191-194.
- [35] 陈玉堂,王国东. 经MRI引导微波消融术及TACE术对原发性肝癌的临床疗效[J]. 现代医用影像学, 2024, 33(12): 2246-2250.
- [36] YANG D, TIAN W T, WANG W, et al. Establishment of a prognosis-related predictive model for hepatocellular carcinoma patients with macrovascular invasion treated with transcatheter arterial chemoembolization combined with intensity modulated radiotherapy[J]. Transl Cancer Res, 2025, 14(2): 1214-1222.
- [37] 李杨,王姝钰. 64排螺旋CT与MRI在肝癌TACE疗效评估中

- 的价值分析[J]. 现代医用影像学, 2025, 34(6): 1071-1074.
- [38] 吴水天. CT增强扫描在评估原发性肝细胞肝癌 TACE 术后疗效中的应用[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022, 20(3): 91-93.
- [39] 王芳, 张辉, 杨小英, 等. 常规螺旋 CT、DSCT 及 MRI 在原发性肝癌患者 TACE 术后疗效评估中的应用价值研究[J]. 医疗卫生装备, 2022, 43(9): 49-53.
- [40] 李兆山, 沈志桃, 张显顺, 等. 锥形束 CT 在经肝动脉化疗栓塞术治疗肝癌效果评价中的价值[J]. 中国辐射卫生, 2024, 33(6): 710-715.
- [41] 刘浩, 周菲菲, 孙好凯, 等. 基于 CBCT 的三维重建技术用于 TACE 术治疗原发性肝癌患者对肿瘤供血动脉识别的价值[J]. 实用肝脏病杂志, 2022, 25(4): 563-566.
- [42] WANG S X, LIU X W, WU Y, et al. Habitat-based radiomics enhances the ability to predict lymphovascular space invasion in cervical cancer: a multi-center study[J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1252074.
- [43] QIAN G X, XU Z L, LI Y H, et al. Computed tomography-based radiomics to predict early recurrence of hepatocellular carcinoma post-hepatectomy in patients background on cirrhosis[J]. *World J Gastroenterol*, 2024, 30(15): 2128-2142.
- [44] NIE P, ZHANG J T, MIAO W J, et al. Incremental value of radiomics-based heterogeneity to the existing risk criteria in predicting recurrence of hepatocellular carcinoma after liver transplantation[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(9): 6608-6618.
- [45] ZHAO Y, ZHANG J, WANG N, et al. Intratumoral and peritumoral radiomics based on contrast-enhanced MRI for preoperatively predicting treatment response of transarterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma[J]. *BMC Cancer*, 2023, 23(1): 1026.
- [46] SHAHVERANOVA A, BALLI H T, AIKIMBAEV K, et al. Prediction of local tumor progression after microwave ablation in colorectal carcinoma liver metastases patients by MRI radiomics and clinical characteristics-based combined model: preliminary results[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2023, 46(6): 713-725.
- [47] 龙蝶, 华丽, 尚文颖, 等. 影像组学在肝脏恶性肿瘤局部治疗疗效预测中的应用[J]. 磁共振成像, 2025, 16(7): 166-172.
- [48] 蔡亚飞, 郭小青, 刘露平. 彩色多普勒超声血流参数对原发性肝癌术后复发的预测价值分析[J]. 肿瘤基础与临床, 2025, 38(2): 173-176.
- [49] 江强, 叶鹏, 俞佩佩. 临床及影像学模型在肝癌术后早期复发风险预测中的应用[J]. 浙江创伤外科, 2024, 29(12): 2238-2240.
- [50] YANG J L, QIAN J L, WU Z, et al. Exploring the factors affecting the occurrence of postoperative MVI and the prognosis of hepatocellular carcinoma patients treated with hepatectomy: a multicenter retrospective study[J]. *Cancer Med*, 2024, 13(3): e6933.
- [51] 杨砾寒, 陈梦林, 陈诗, 等. MRI 影像组学联合炎症因子对肝细胞肝癌微血管侵犯的预测价值[J]. 放射学实践, 2024, 39(5): 585-590.
- [52] 于浩森, 董继祥, 李海鹏, 等. 基于人工智能深度学习的 CT-MRI 多模态影像自动融合分割技术在前交叉韧带重建术前规划中的应用[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2025, 18(1): 27-35.
- [53] 覃柏霖, 高家红. 超高场磁共振成像的现状和展望[J]. 物理学报, 2025, 74(7): 325-338.
- [54] ZENG Q Q, LIANG P. Super-resolution US imaging of focal nodular hyperplasia[J]. *Radiology*, 2024, 311(1): e233130.
- [55] HU D H, ZHA M L, ZHENG H R, et al. Recent advances in indocyanine green-based probes for second near-infrared fluorescence imaging and therapy[J]. *Research (Wash D C)*, 2025, 8: 0583.
- [56] 王德辉. 增强现实导航联合吲哚菁绿荧光影像在腹腔镜肝段切除术治疗肝细胞癌的应用研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2024.

(张蕾 编辑)

本文引用格式: 吴晓勤, 刘辉, 刘福晨, 等. 影像学技术在肝癌外科诊疗中的应用[J]. 中国现代医学杂志, 2026, 36(5): 62-68.

Cite this article as: WU X Q, LIU H, LIU F C, et al. Application of imaging techniques in the surgical diagnosis and treatment of hepatocellular carcinoma[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2026, 36(5): 62-68.