

多模态磁共振成像技术在肝肿瘤 TACE 术后的评估的应用价值

濮宏积¹ 卢天浩¹ 张霞¹ 滕兆伟² 马永伟³ 丁莹莹⁴

1. 曲靖健康医学院, 中国·云南 曲靖 655000

2. 昆明医科大学第二附属医院, 中国·云南 昆明 650000

3. 曲靖市第二人民医院, 中国·云南 曲靖 655000

4. 云南省肿瘤医院 (昆明医科大学第三附属医院), 中国·云南 昆明 650000

摘要: 论文综述了近 10 年多模态磁共振成像 (MRI) 技术在肝肿瘤经动脉化疗栓塞术 (TACE) 术后评估中的应用价值, 涵盖国内外相关研究进展、专家共识, 分析了不同观点及尚需完善的研究领域。多模态 MRI 在肝肿瘤 TACE 术后评估中展现出重要作用, 但仍存在一些有待解决的问题。

关键词: 多模态磁共振成像; 肝肿瘤; TACE 术; 术后评估

Application Value of Multimodal Magnetic Resonance Imaging Technology in Postoperative Evaluation of Liver Tumors after TACE

Hongji Pu¹ Tianhao Lu¹ Xia Zhang¹ Zhaowei Teng² Yongwei Ma³ Yingying Ding⁴

1. Qujing University of Medicine & Health Sciences, Qujing, Yunnan, 655000, China

2. The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming, Yunnan, 650000, China

3. The Second People's Hospital of Qujing, Qujing, Yunnan, 655000, China

4. Yunnan Cancer Hospital (The Third Affiliated Hospital of Kunming Medical University), Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract: This paper reviews the application value of multimodal magnetic resonance imaging (MRI) technology in the postoperative evaluation of liver tumors after transarterial chemoembolization (TACE) in the recent 10 years, covering relevant research progress and expert consensus at home and abroad. It analyzes different viewpoints and research fields that need to be improved. Multimodal MRI has shown an important role in the postoperative evaluation of liver tumors after TACE, but there are still some problems to be solved.

Keywords: multimodal magnetic resonance imaging; liver tumor; TACE; postoperative evaluation

0 前言

肝肿瘤是一种常见的恶性肿瘤, 其发病率和死亡率均居高不下^[1,2]。经动脉化疗栓塞术 (TACE) 是目前治疗不可切除肝细胞癌的重要手段, 但准确评估 TACE 术后的疗效对于后续治疗方案的制定至关重要^[3]。近年来, 多模态磁共振成像技术凭借其多参数、多序列成像等优势, 在肝肿瘤 TACE 术后评估中发挥着越来越重要的作用^[4,5]。能够提供更全面、准确的肿瘤信息, 为临床诊断和治疗提供了有力支持。

1 多模态磁共振成像的技术优势

多模态磁共振成像技术整合了多种成像序列, 包括 T₁ 加权成像 (T₁WI)、T₂ 加权成像 (T₂WI)、扩散加权成像 (DWI)^[6]、动态对比增强磁共振成像 (DCE-MRI)^[14]、磁共振波谱成像 (MRS)^[21]、磁共振弹性成像 (MRE) 等多种序列, 能够从不同角度反映肝肿瘤的特征。例如, T₁WI

可显示肿瘤的解剖结构和信号特点; T₂WI 对肿瘤的含水量等变化较为敏感; DWI 能反映水分子的扩散运动情况, 有助于发现早期肿瘤复发^[4]; DCE-MRI 可观察肿瘤的血流动力学变化可以观察肿瘤的血流灌注和血管生成情况, 为评估肿瘤的血管化程度提供依据; MRS 则能分析肿瘤的代谢特征。MRE 能够无创地评估肝脏的硬度, 对于判断肝纤维化程度和肿瘤的侵袭性具有重要意义。这些成像技术的综合应用, 能够为临床医生提供更全面的肿瘤信息, 从而更准确地评估 TACE 术后的疗效。

2 多模态 MRI 在肝肿瘤 TACE 术后评估中的临床应用

2.1 肿瘤坏死及残留评估

TACE 术后, 肿瘤组织会出现坏死等改变。在 MRI 图像上, 坏死区域在 T₁WI 上多表现为低信号, T₂WI 上可为高信号或低信号, DWI 上呈低信号, 增强扫描无强化。而

肿瘤残留或复发区域在 DWI 上常表现为高信号, 增强扫描可有强化。多项研究表明, 多模态 MRI 能够准确区分肿瘤坏死与残留, 为临床判断手术效果提供重要依据。Cao X 等学者研究发现^[20], 通过多模态磁共振成像技术中的扩散加权成像和动态增强成像, 可以预测 TACE 术后肝细胞癌的复发和侵袭情况, 为临床制定后续治疗方案提供了重要参考。

2.2 肿瘤血供评估

DCE-MRI 通过观察对比剂在肿瘤组织中的灌注情况, 可反映肿瘤的血供改变^[41]。TACE 术后, 成功栓塞的肿瘤区域血供减少, 表现为对比剂摄取减少、达峰时间延迟等。这有助于评估 TACE 术对肿瘤血管的栓塞效果, 预测肿瘤复发风险。多模态磁共振成像技术在肝肿瘤 TACE 术后评估中的应用价值已得到多项研究的证实^[32]。例如: Ten X、Lu Y 等学者研究发现^[18], 利用多模态磁共振成像技术中的灌注成像^[50], 可以有效评估 TACE 术后肝细胞癌的疗效, 其结果与病理学检查结果具有良好的一致性。

2.3 肿瘤代谢评估

MRS 可以检测肿瘤组织内的代谢物变化, 如胆碱、脂质等。TACE 术后, 肿瘤细胞的代谢会发生改变, 磁共振功能成像技术能够监测这些代谢变化^[22,24], 为评估肿瘤活性提供独特的信息, 有助于早期发现肿瘤的复发迹象。

2.4 肝脏功能及周围组织评估

多模态 MRI 还可对肝脏的整体功能以及肿瘤周围组织进行评估。例如, 通过测量肝脏的体积、观察肝脏实质的信号变化^[27], 了解肝脏术后残留病灶和组织纤维化改变等^[8,48]。同时, 能够清晰显示肿瘤与周围血管、胆管等结构的关系, 判断是否存在侵犯等情况^[31], 对于制定后续治疗方案具有重要意义。

这些研究表明, 多模态磁共振成像技术在肝肿瘤 TACE 术后评估中具有较高的应用价值。

3 国内外研究进展

3.1 国外研究进展

近年来, 国外有研究通过大样本量的回顾性分析, 进一步证实了多模态 MRI 在肝肿瘤 TACE 术后评估中的准确性和可靠性^[51]。例如, 利用多模态 MRI 对肝肿瘤 TACE 术后患者进行长期随访, 发现其能够早期发现肿瘤复发, 与病理结果的符合率较高。此外, 一些研究还致力于将多模态 MRI 与人工智能技术相结合, 开发自动分析软件, 提高诊断效率和准确性。

3.2 中国研究进展

中国在这一领域也取得了显著成果^[2]。戴兵、梁帅兵等研究团队有研究采用多模态 MRI 对不同类型肝肿瘤 TACE 术后患者进行评估^[12,7,23], 发现其在鉴别肿瘤良恶性复发方面具有独特优势^[13,14]。同时, 通过与其他影像学技术如 CT 等进行对比, 进一步明确了多模态 MRI 在显示肿瘤

细节、评估肿瘤活性等方面的优越性。

4 尚需完善的研究领域

部分学者认为, 虽然多模态 MRI 在肝肿瘤 TACE 术后评估中具有诸多优势, 但对于一些微小病灶或特殊类型的肝肿瘤, 其诊断准确性仍有待提高。此外, 在不同的 MRI 设备和扫描参数下, 图像质量和诊断结果可能存在一定差异, 这也影响了多模态 MRI 的广泛应用和结果的一致性。

①定量分析方法的优化: 目前多模态 MRI 的分析仍以定性和半定量分析为主, 缺乏统一的、标准化的定量分析方法。

②与其他技术的融合: 虽然多模态 MRI 本身已经包含多种序列, 但与其他影像学技术(如超声、CT、PET-CT)或分子生物学技术的融合研究还不够深入^[7]。未来应加强多模态影像融合以及基因检测等技术的联合应用, 以更全面地了解肿瘤的生物学行为。

③人工智能的深度应用: 尽管人工智能在 MRI 图像分析中已经取得了一定进展, 但仍存在模型泛化能力不足、对复杂病例诊断准确率不高等问题^[52-54]。需要进一步加大人工智能技术的研发和应用力度。

④长期疗效评估: 目前关于多模态 MRI 对肝肿瘤 TACE 术后的研究多为短期随访, 对于长期疗效的评估数据相对较少。需要开展大规模、长期的随访研究, 以更准确地评估多模态 MRI 在预测肿瘤复发、患者生存等方面的价值。

5 结语

相关专家共识指出, 多模态 MRI 应作为肝肿瘤 TACE 术后常规评估手段之一, 具有重要的应用价值。能够从多个方面提供准确的信息, 对于判断肿瘤疗效、指导后续治疗。在进行多模态 MRI 检查时, 应规范扫描序列和参数, 以确保图像质量和诊断的准确性。同时, 强调了多学科协作的重要性, 影像科医生应与介入科、超声、肿瘤科等医生密切沟通, 共同解读 MRI 图像, 帮助临床医生判断疗效、制定治疗方案。国内外的研究不断推动着该技术的发展和运用。未来需要在定量分析、多技术融合、人工智能应用和长期随访等方面深入研究, 以进一步提升多模态 MRI 在肝肿瘤 TACE 术后评估中的作用, 为患者的治疗和康复提供更有力的支持。

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: A Cancer Journal for Clinicians, 2024.
- [2] 秦立昊, 王林栋, 贾恕健, 等. 中国肝细胞癌经动脉化疗栓塞(TACE)治疗临床实践指南(2023年版)解读[J]. 手术电子杂志, 2023(4).
- [3] Yang Y, Wang Z, Liu Y, et al. Application of Multimodal Magnetic Resonance Imaging in Postoperative Evaluation of

- Hepatocellular Carcinoma After TACE Surgery[J]. Hepat Mon, 2025,25(1):e150841.
- [4] 王苗苗,胡爱民.MRI动态增强扫描联合DWI检查在原发性肝癌诊断中的效能[J].中国民康医学,2025,37(2):109-111.
- [5] 潘利,郑大伟.多层螺旋CT与磁共振成像对原发性肝癌经肝动脉化疗栓塞术后疗效评价[J].中国医学装备,2018,15(8):45-48.
- [6] 夏志颖,杜福川.术前影像学评分联合肿瘤标志物对肝细胞癌TACE术后预后评估价值的研究[J].影像科学与光化学,2023,41(6):320-325.
- [7] 戴兵,赵华.多层螺旋CT和MRI对肝癌患者经TACE治疗术后疗效评价的价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2018,16(8):90-92.
- [8] 彭伟,张国兵,管京乐,等.弥散加权成像评估肝癌TACE术后碘油沉积缺损区域的价值 [J].肝胆外科杂志,2017(2).
- [9] 王莉,赵冬梅,韩福刚.磁共振成像评价肝癌TACE术后疗效的应用进展[J].中国临床医学影像杂志,2016(2).
- [10] 李臻,张恒辉,韩新巍,等.肝细胞癌TACE术后残留病灶的早期诊断现状与进展[J].介入放射学杂志,2015(11).
- [11] 戴峰,张秀明,吴旻,等.BILD T2成像评估原发性肝细胞癌患者TACE治疗前、后肝脏血氧含量的变化特点[J].中国医学影像技术,2012,28(5):939-942.
- [12] 王丽婷.多模态MR成像在原发性肝细胞癌TACE术后评估中的应用研究[D].新乡:新乡医学院,2023.
- [13] 赵莹.基于增强MRI的影像组学预测肝细胞癌TACE术后早期疗效的研究[D].大连:大连医科大学,2021.
- [14] 郭政宏,吴冬秋,刘四斌.DCE-MRI诊断原发性肝癌效能和TACE术后评估肿瘤活性应用价值研究[J].实用肝脏病杂志, 2022, 25(6).
- [15] 马婧崧,杨敏捷,颜志平.精细TACE的治疗目标与栓塞终点[J].外科理论与实践,2022,27(2):131-133.
- [16] 张义.门静脉高压对肝细胞癌经动脉化疗栓塞术后疗效的影响 [J].中国药物与临床,2021(7).
- [17] 王中,李仁,王明,等.图像密体细胞癌TACE中的应用进展[J].介入放射学杂志,2022,31(9):829-832.
- [18] Ten X, Lu Y, Jaitig B, et al. Application of intravital lonaberent motion in the explication of hepocellular carcinoma after transarterial chemombolization[J]. Curr Oncol,2022,29(12): 9855-9864.
- [19] Shraisan L, Feng S, Aizai W, et al. Harryacral incoherent motion diffusio - weighted Wal imaging for acety evaluation of the effect of radiofrequency ablation in rabbit liver V32 tumors[J]. Acad Madiol,2018,27(9):128-1315.
- [20] Cao X, Sai T, Bou W, et al. Lan BUI - WRI predict recurrence and invasion of peritumoral acons of hepatocellular carcinoma after transcatheter arterial chemombolization[J]. World J Gastrointest Surg,2422,14(10):1150-1160.
- [21] 王小玲,赵振华,王伯胤,等.MRI功能成像对肝动脉化疗栓塞治疗肝细胞肝癌的疗效评价[J].临床放射学杂志,2017,36(5):700-704.
- [22] 王翔,郭兴华,王晋君,等.磁共振动态增强成像与弥散加权成像在原发性肝癌诊断中的应用价值[J].中国药物与临床,2021(8).
- [23] 梁帅兵,谭杰,向斌.中晚期肝细胞癌经TACE后预后危险因素[J].中国介入影像与治疗学,2024,21(11):659-664.
- [24] 夏礼鹏,褚玉玄,赵如盛.增强MRI联合IVIM-DWI诊断小肝细胞癌价值研究[J].实用肝脏病杂志,2024(4).
- [25] 梁雪,雷苗.磁共振征象及磁共振扩散加权成像表现扩散系数值对肝细胞癌微血管侵犯的预测效能分析[J].山西医药杂志, 2024 12).
- [26] 张楠楠,周伊帆,朱燧,等.肝细胞癌铜死亡标志物SLC31A1、DBT的鉴定及化合物筛选[J].山东科学,2024(1).
- [27] 杨洁,赵森,李秋实.磁共振IVIM-DWI联合CT对肝细胞癌病理分级的评估价值[J].中国CT和MRI杂志,2023(10).
- [28] 王泽华,石景明,梁燕,等.磁共振扩散加权成像在肝细胞癌肝动脉化疗栓塞术后疗效监测中的应用价值[J].现代医用影像学, 2023(7).
- [29] 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(2024年版)[J].协和医学杂志,2024(3).
- [30] 魏志民.3.0T磁共振检查在肝细胞癌微血管侵犯诊断中的应用研究[J].中国医药指南,2023(17).
- [31] 张玉佩,李小虎,汪飞,等.非对比增强定量T1 mapping技术对肝血管瘤、肝细胞癌及肝转移瘤的诊断价值[J].中国医学影像学杂志,2021(12).
- [32] Lumata L, Yang C, Ragavan M, et al. Hyperpolarized (13)C Magnetic Resonance and Its Use in Metabolic Assessment of Cultured Cells and Perfused Organs[J]. Merritt ME. Methods Enzymol,2015(561):73-106.
- [33] Liao R, Zhang D, Li X, et al. A Preliminary Study on the Diagnostic Efficacy of Proton Magnetic Resonance Spectroscopy at 3.0T in Rabbit With VX2 Liver Tumor[J]. Technol Cancer Res Treat,2021(20):15330338211036852.
- [34] Belouche - Babari M, Chung YL, Al - Saffar NM, et al. Metabolic assessment of the action of targeted cancer therapeutics using magnetic resonance spectroscopy[J]. Br J Cancer,2010,5102(1):1-7.
- [35] Liu J, Li P, Wang L, et al. Cancer - Associated Fibroblasts Provide a Stromal Niche for Liver Cancer Organoids That Confers Trophic Effects and Therapy Resistance[J]. Cell Mol Gastroenterol Hepatol,2021,11(2):407-431.
- [36] 杨正汉,冯逢,王霄英.磁共振成像技术指南[M].北京:人民军医出版社,2007.
- [37] 许绍奇,那伟,陈杰,等.磁敏感成像与肾透明细胞癌病理分级的相关性研究[J].磁共振成像,2015,6(9):669 - 672.
- [38] 杜常月,苗娜,齐旭红,等.磁敏感加权成像及3D-ASL在各级脑胶质瘤分级中的价值[J].磁共振成像,2019,10(9):645-649.
- [39] 段婷,陈婕,夏春潮,等.磁敏感加权成像在肝细胞癌分级诊断中的

- 价值[J].四川大学学报(医学版),2018,49(2):248-251.
- [40] 陈瑞权,余德君,郑颖奕,等.磁敏感加权成像显示癌内和增周静脉对肝细胞癌病理分级评估的价值[J].临床放射学杂志,2018,37(11):1852-1855.
- [41] Min JH, Kim CK, Park BK, et al. Assessment of renal lesions with blood oxygenation level - dependent MRI at 3T: preliminary experience[J]. AJR Am J Roentgenol,2011,197(3):489-494.
- [42] 李少朋.修正后LI-RADS v2018主要征象在肝细胞癌诊断及5.0T超高场磁共振在修正征象中的应用研究[D].合肥:安徽医科大学,2024.
- [43] 田士峰,刘爱连,郭维亚,等.R2值预估肝细胞癌病理分级的可行性[J].中国医学影像技术,2016,32(11):1693-1696.
- [44] 巴格隆,芬亚静,闫国珍,等.超声弹性成像技术联合磁共振T1 mapping方法对大鼠肝纤维化评估价值的实验研究[J].中国超声医学杂志,2025,41(5):572-576.
- [45] 吴爱强,游仁芳,杨倩,等.磁共振成像联合超声造影对无瘢痕肝脏局灶性结节的诊断价值[J].肝脏,2024,29(10):1217-1220+1234.
- [46] 王娟,曹阿丹,时怡林,等.术前CT、MRI、CEUS联合检测早期鉴别诊断肝硬化结节良恶性的诊断效能[J].哈尔滨医药,2024,44(5):79-82.
- [47] 靳松,何年安.超声-磁共振成像融合导航超声造影技术在小肝癌诊疗中的应用[J].肝胆外科杂志,2024,32(4):264-268.
- [48] 程芝梅.肝癌TACE术后瘤周纤维化的机制研究[D].安新:贵州医科大学,2024.
- [49] Cao W, Chen H D, Yu Y W, et al. Changing profiles of cancer burden worldwide and in China: a secondary analysis of the global cancer statistics 2020[J].中华医学杂志英文版,2021(7).
- [50] Jin - Ping L, Guang - Long F, Da - Qing L, et al. Detection and differentiation of early hepatocellular carcinoma from cirrhosis using CT perfusion in a rat liver model[J]. Hepatobiliary & Pancreatic Diseases International,2016(6).
- [51] Schlachterman A, Craft WW Jr, Hilgenfeldt E, et al. Current and future treatments for hepatocellular carcinoma[J]. World Journal of Gastroenterology,2015(28).
- [52] 周永祥,赵振国,张景俊,等.基于CT和磁共振成像人工智能图像融合技术的适形消融用于肝癌TACE术后残留的疗效分析[J].临床误诊误治,2024,37(21):67-72+78.
- [53] 褚晓彤,付宇,郑爽,等.人工智能在原发性肝癌影像学的机遇和挑战[J].放射学实践,2024,39(9):1244-1249.
- [54] 杨超.肝癌TACE抵抗预后分析及人工智能联合全肝MRI影像学评估预后的价值[D].北京:北京协和医学院,2023.

作者简介：濮宏积（1985-），男，中国云南麒麟区人，副教授、副院长，从事医学与医学技术研究。

课题项目：云南省教育厅基金课题《多模态磁共振成像在肝癌 TACE 术后评价中的应用》（项目编号：2019J1122）。