

扩散峰度成像对经导管动脉化疗栓塞术后肝细胞癌肿瘤患者复发和进展的预测价值*

卢东南¹ 张梦珊¹ 许晓云²
邹林毅² 陈大朝^{1,*}

1.第九〇九医院 厦门大学附属东南医院
肿瘤科 (福建 漳州 363000)

2.厦门大学附属翔安医院放疗科
(福建 厦门 361005)

【摘要】目的 探讨扩散峰度成像(diffusion kurtosis imaging, DKI)对肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)患者经导管动脉化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)治疗复发和进展的预测价值。**方法** 回顾性分析2021年1月-2022年12月在联勤保障部队第九〇九医院接受TACE治疗HCC患者临床资料。根据TACE治疗6个月时的实体瘤整体改良反应评估标准(modified response evaluation criteria in solid tumors, mRECIST),将接受TACE治疗的HCC病灶分为进展组和未进展组。在DKI衍生的度量图上评估TACE治疗区域、肿瘤周围肝区和远处肿瘤区。收集肿瘤区域、癌旁组织DKI的主要参数,包括:平均扩散率(mean diffusion, MD)、轴向扩散率(axial diffusion, Da)、径向扩散率(radial diffusion, Dr)、平均弥散峰度(Mean kurtosis, MK)、轴向弥散峰度(Axial kurtosis, Ka)、纵向弥散峰度(Radial kurtosis, Kr)和峰度各向异性分数(fractional anisotropy of kurtosis, FAK)。使用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析DKI主要参数对TACE治疗后进展的预测价值。**结果** 研究共纳入81例患者,89个病灶接受了TACE治疗。根据病灶TACE治疗后6个月时是否进展,分为进展组46例患者(52个病灶)和未进展组35例患者(37个病灶)。与未进展组相比,进展组患者血清AFP水平>200ng/mL比例更高、碘油造影强化比例更高、DSA肿瘤染色比例更高(P 均<0.05)。与未进展病变相比,进展组的肿瘤区MD和Dr值更低,而Ka、Kr和FAK值更高(P 均<0.05);进展组癌旁组织的Da和Dr值更低,而MD、FAK和Ka值更高。扩散峰度成像参数预测患者进展的ROC曲线可见,肿瘤组织中的MD(AUC=0.916)、Kr(AUC=0.794)、Dr(AUC=0.851)、Ka(AUC=0.841)、FAK(AUC=0.757)、癌旁组织的MD(AUC=0.898)、Dr(AUC=0.752)、Ka(AUC=0.884)、FAK(AUC=0.692)和FA(AUC=0.688)值均对TACE治疗后患者进展有一定预测价值。**结论** DKI的相关功能参数对TACE治疗后的HCC患者复发和进展情况具有一定预测优势,值得今后进一步研究和推广。

【关键词】 肝细胞癌; 经导管动脉化疗栓塞;
扩散峰度成像

【中图分类号】 R735.7

【文献标识码】 A

【基金项目】 福建省医学创新课题项目
(2018-CX-39)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.03.034

Predictive Value of Diffusion Kurtosis Imaging for Recurrence and Progression of Hepatocellular Carcinoma Tumor Patients after Transcatheter Arterial Chemoembolization*

LU Dong-nan¹, ZHANG Meng-shan¹, XU Xiao-yun², ZOU Lin-yi², CHEN Da-chao^{1,*}.

1.Department of Oncology, The 909th Hospital, Dongnan Hospital of Xiamen University, Zhangzhou 363000, Fujian Province, China

2.Department of Radiotherapy, Xiang'an Hospital Affiliated to Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the predictive value of diffusion kurtosis imaging (DKI) in the recurrence and progression of hepatocellular carcinoma (HCC) patients treated with transcatheter arterial chemoembolization (TACE). **Methods** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of HCC patients who received TACE treatment in our hospital from January 2021 to December 2022. According to the modified response evaluation criteria in solid tumors (mRECIST) at 6 months of TACE treatment, HCC lesions receiving TACE treatment were divided into progressive and non-progressive group. The TACE treatment area, surrounding liver area, and distant tumor area on the DKI derived metric map were evaluated. The main parameters for DKI in tumor areas and adjacent tissues include: mean diffusion (MD), axial diffusion (Da), radial diffusion (Dr), mean kurtosis (MK), axial kurtosis (Ka), radial kurtosis (Kr), and fractional anisotropy of kurtosis (FAK) were collected. Receiver operating characteristic curve (ROC) were used to analyze the predictive value of DKI main parameters for the progression after TACE treatment. **Results** A total of 81 patients and 89 lesions received TACE treatment were included in the study. According to the progression of lesions at 6 months after TACE treatment, there were 46 patients in the progression group (52 lesions) and 35 patients in the non-progression group (37 lesions). Compared with the non-progression group, patients in the progression group had a higher proportion of serum AFP levels>200 ng/mL, a higher proportion of iodine oil contrast enhancement, and a higher proportion of DSA tumor staining (all $P<0.05$). Compared with non-progression group, the MD and Dr values in the tumor area of the progressive group are lower, while the Ka, Kr, and FAK values are higher ($P<0.05$). The Da and Dr values of adjacent tissues in the progression group are lower, while the MD, FAK, and Ka values are higher. The Receiver operating characteristic of diffusion kurtosis imaging parameters predicting the patient's progress can be seen. The values of MD (AUC=0.916), Kr (AUC=0.794), Dr (AUC=0.851), Ka (AUC=0.841), FAK (AUC=0.757) in tumor tissue, MD (AUC=0.898), Dr (AUC=0.752), Ka (AUC=0.884), FAK (AUC=0.692) and FA (AUC=0.688) in adjacent tissues have certain predictive value for the patient's progress after TACE treatment. **Conclusion** The relevant functional parameters of DKI have a certain predictive advantage for HCC in predicting the recurrence and progression of patients after TACE treatment, and are worthy of further research and promotion in the future.

Keywords: Hepatocellular Carcinoma; Transcatheter Arterial Chemoembolization; Diffusion Kurtosis Imaging

我国大多数肝细胞癌(hepatocellular carcinoma, HCC)患者被诊断时,多已失去根治性手术机会^[1]。经导管动脉化疗栓塞(transcatheter arterial chemoembolization, TACE)治疗成为改善这些患者生存率和预后的重要策略^[2-3]。但由于肝脏内血管丰富,TACE治疗后肿瘤可能建立的新的侧支循环。已经有不少关于HCC患者TACE治疗后复发的报道^[4]。因此,如何准确的评估TACE后复发高危患者,已经成为研究热点。

磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)在评估TACE治疗效果方面具有一定临床潜力^[5]。但传统的MRI有一些局限性,如MRI信号易受不同治疗方法的影响,肉芽组织、脂肪变性在T1加权成像上呈现高信号,可能干扰复发灶的增强。此外,TACE区侧支循环紊乱可导致动脉强化测量时的假阴性。近年来,水分子扩散MRI已被证实可较灵敏地反映肝脏组织和形态学变化^[6]。尤其弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)已证实TACE后效果优于增强MRI^[7]。但DWI的表观扩散系数却经常受到大分子物质和毛细血管灌注等因素影响,从而影响判断的准确性^[8]。扩散峰度成像(diffusion kurtosis imaging, DKI)是一种新型扩散加权成像技术,能够反应组织水分子非高斯扩散运动,可更精确描述微观结构环境。目前DKI已经用于肝癌和TACE治疗效果的评估^[9-10],但关于DKI参数对TACE后复发情况仍缺少研究。基于此,本研究探索了DKI衍生指标在TACE后预测HCC复发和细胞侵袭的临床可行性,以期为此类患者管理提供新的参考。

【第一作者】 卢东南,男,技师,主要研究方向:肿瘤放射治疗学。E-mail: ludongnan909@163.com

【通讯作者】 陈大朝,男,副主任医师,主要研究方向:肿瘤放射治疗学。E-mail: chendachaocdc@qq.com

1 资料和方法

1.1 一般资料 回顾性分析2021年1月至2022年12月在联勤保障部队第九〇九医院接受TACE治疗的HCC患者临床资料。

纳入标准：首次接受TACE，治疗根据《中国肝细胞癌经动脉化疗栓塞治疗(TACE)临床实践指南》进行^[2]；年龄≥18岁；HCC经过病理诊断确认；肝功能Child-Pugh A或B级，体力状况评分0-2分；预期生存时间≥3月；TACE术前接受了DKI-MRI检查。排除标准如下：TACE治疗前28天内接受肝癌的其他治疗；严重心力衰竭；无法控制的糖尿病、严重感染；妊娠或哺乳期患者；MRI图像质量不佳。研究经过我院伦理委员会批准。

1.2 患者治疗效果判断及分组 根据TACE治疗6个月时，美国肝病研究学会和欧洲肝脏研究学会提出的诊断肝癌TACE治疗后的改良反应评估标准(modified response evaluation criteria in solid tumors, mRECIST)结合临床参数，将接受TACE治疗的HCC病灶分为进展组和未进展组。定义存在以下情况为HCC进展^[2]：(1)进展性疾病：增强成像后的靶病变直径比之前的检查增加了至少20%；(2)病情稳定：靶病变无变化；(3)部分反应：所有靶区的初始病变直径之和至少减少了30%；(4)数字减影血管造影(digital subtract angiography, DSA)：碘油造影发现病灶区有肿瘤染色；(5)甲胎蛋白(AFP)显著升高(>400ng/mL，或持续>200ng/mL)，影像学证实HCC复发。

定义存在以下情况为未进展：(1)TACE治疗后，DSA显示病灶稳定(无清晰的肿瘤血管、肿瘤染色、清晰的动脉-静脉/门静脉瘘或静脉-门静脉瘘)；(2)6个月时既往病灶无复发迹象(所有靶病变在影像学动脉增强期消失)；(3)AFP<200ng/mL。

1.3 MRI扫描 所有MRI研究均使用飞利浦 Ingenia 3.0T MRI扫描仪，使用八通道腹部线圈。在轴向平面上进行呼吸门控自旋回波平面回波成像DKI序列扫描，参数如下：重复时间(TR)：3333ms；回波时间(TE)：69.4ms；层厚：6mm；层间距：2.0 mm；视场：360 mm×288 mm；矩阵：128×128。使用5个b值(400, 800, 1200, 1600和2000s/mm²)，每个b值15个方向。总扫描时间10min。

常规MRI参数如下：T₁WI：TR：3.7ms，TE：1.1ms，层厚：6mm；T₂WI：TR：2319.5 ms，TE：68.0 ms，层厚：6.0 mm；FS-T₂WI:TR 9000.0 ms，TE 81.0 ms，层厚:6.0 mm；DWI序列：TR 5000 ms和TE:50.8 ms。造影剂均使用0.1mmol/kg的钆贝葡胺注射液，分别收集动脉期(20s)、静脉期(60s)、延迟期(2min)和肝胆期(45-120min)图像。使用东芝旋转DSA(GEIGS530, 美国)机器进行DSA。采用5F -RH COOK血管造影导管选择腹腔干或肝总动脉行造影观察肿瘤供血情况。

1.4 MRI扫描图像处理 由两名研究者独立对MRI扫描图像进行处理。首先在b=0s/mm²的解剖DKI图像上独立选择TACE治疗的肿瘤区域、癌旁组织(距离肿瘤边缘<2cm)的感兴趣区域(ROI)，然后将其复制到每个DKI衍生的参数图上(图1)。收集DKI的主要参数包括：平均扩散率(mean diffusion, MD)、轴向扩散率(axial diffusion, Da)、径向扩散率(radial diffusion, Dr)、平均弥散峰度(Mean kurtosis, MK)，轴向弥散峰度(axial kurtosis, Ka)，纵向弥散峰度(radial kurtosis, Kr)和峰度各向异性分数(fractional anisotropy of kurtosis, FAK)。每名研究者选择2个不同的ROI并计算平均值。所有选择的圆形或椭圆形ROI均避开坏死区域。

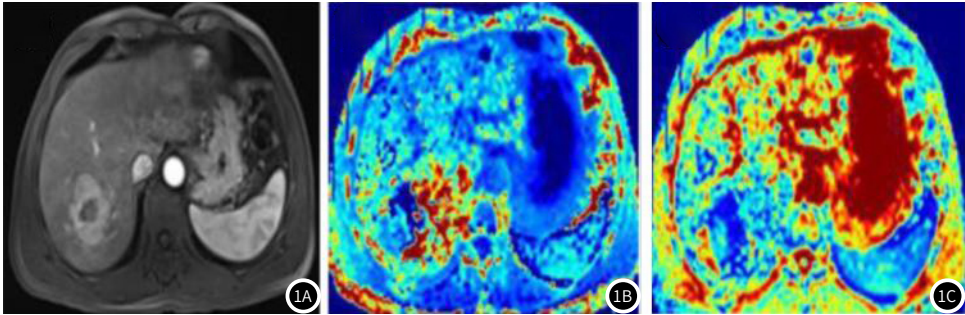


图1A-图1C TACE治疗前MRI增强扫描和扩散峰度成像图。图1A为MRI增强扫描动脉期，肝右叶占位区域增强；图1B 扩散峰度成像图MD伪彩图，肿瘤区呈现高信号；图1C 扩散峰度成像图，肿瘤区呈现低信号强度。

1.5 统计学分析 研究全部数据均使用SPSS 22.0软件进行处理和统计分析。计量资料使用Kolmogorov-Smirnov法进行正态分布检验，使用Levene法进行方差齐性检验，满足正态分布的计量资料采用($\bar{x} \pm s$)描述，组间差异使用t检验。计数资料用n(%)进行描述，组间差异采用 χ^2 检验，当理论频数<5时使用Fisher精确概率法。使用受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析DKI主要参数对TACE治疗后进展的预测价值。以P<0.05为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 患者临床资料 本研究共纳入81例患者，89个病灶接受了TACE治疗。根据病灶TACE治疗后6个月时是否进展，分为进展组46例患者(52个病灶)和未进展组35例患者(37个病灶)。

比较两组患者资料可见，与未进展组相比，进展组患者血清AFP水平>200 ng/mL比例更高、碘油造影强化比例更高、DSA肿瘤染色比例更高(P均<0.05)。详见表1。

2.2 TACE治疗前肿瘤区扩散峰度成像参数分析 比较两组患者肿瘤区的扩散峰度成像参数可见，与未进展病变相比，进展组的MD和Dr值更低，而Ka、Kr和FAK值更高(P均<0.05)，详见表2。

2.3 TACE治疗前癌旁组织扩散峰度成像参数分析 比较两组患者癌旁组织的扩散峰度成像参数可见，与未进展组相比，进展组患中的Da、MD和Dr值更低，而FAK和Ka值更高(P均<0.05)，详见表3。

表1 两组患者一般资料对比

项目	进展组	未进展组	t	P
患者例数	46	35		
TACE治疗病灶	52	37		
年龄	50.23±16.31	53.51±14.45	0.941	0.349
性别, n(%)			0.144	0.704
男	27(58.70)	22(68.86)		
女	19(41.30)	13(37.14)		
AFP(>200ng/mL)			69.241	<0.001
是	45(97.83)	2(2.17)		
否	1(5.71)	35(94.29)		
最大肿瘤直径(cm)	4.24±1.62	2.73±1.35	4.637	<0.001
碘油造影增强, n(%)				0.006
是	50(96.15)	4(3.85)		
否	2(10.81)	33(89.19)		
DSA造影染色, n(%)			81.188	<0.010
是	50(96.15)	0(0)		
否	2(3.85)	37(100.00)		
TACE治疗次数, n(%)			35.281	<0.011
单次	4(7.69)	25(67.57)		
多次	48(92.31)	12(32.43)		

表2 两组患者TACE治疗前肿瘤区扩散峰度成像参数比较

项目	未进展组(n=37)	进展组(n=52)	t	P
MK	0.65±0.15	0.71±0.23	1.389	0.168
MD	1.91±0.64	1.55±0.47	3.061	0.003
Kr	0.58±0.15	0.71±0.31	2.359	0.021
Ka	0.59±0.17	0.75±0.24	3.954	<0.001
Dr	1.92±0.50	1.39±0.45	5.228	<0.001
Da	2.12±0.67	2.14±0.65	0.141	0.888
FAK	0.10±0.08	0.35±0.21	6.885	<0.001

表3 两组患者TACE治疗前癌旁组织扩散峰度成像参数比较

项目	未进展组(n=37)	进展组(n=52)	t	P
MK	0.72±0.26	0.81±0.23	1.723	0.088
MD	1.86±0.55	0.88±0.17	12.087	<0.001
Kr	0.68±0.29	0.71±0.21	0.566	0.573
Ka	0.64±0.25	1.09±0.16	10.35	<0.001
Dr	1.98±0.57	0.83±0.19	13.555	<0.001
Da	1.66±0.45	0.97±0.24	9.357	<0.001
FAK	0.55±0.29	1.11±0.79	4.114	<0.001

2.4 扩散峰度成像参数预测患者进展的ROC曲线 分别使用TACE治疗前肿瘤组织和癌旁组织的扩散峰度成像参数中P值<0.05的参数构建预测患者进展的ROC曲线。肿瘤组织中的MD(AUC=0.916)、Kr(AUC=0.794)、Dr(AUC=0.851)、Ka(AUC=0.841)、FAK(AUC=0.757)均对治疗后患者进展具有一

定预测价值。详见图2。

癌旁组织的扩散峰度成像参数中MD(AUC=0.898)、Dr(AUC=0.752)、Ka(AUC=0.884)、FAK(AUC=0.692)和FA(AUC=0.688)值也对TACE治疗后患者进展具有一定预测价值。详见图3。

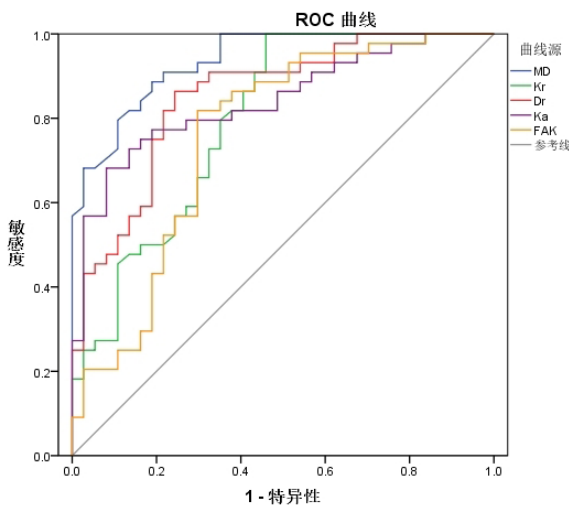


图2 TACE治疗前肿瘤组织扩散峰度成像参数预测患者治疗进展的ROC曲线

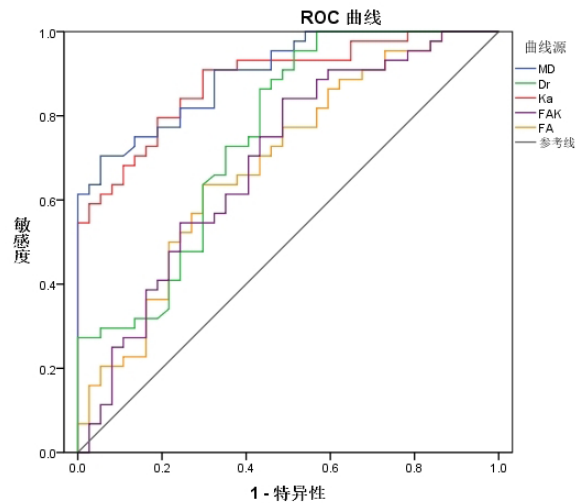


图3 TACE治疗前癌旁组织扩散峰度成像参数预测患者治疗进展的ROC曲线

3 讨论

功能性磁共振成像近年来已被广泛用于HCC患者的诊断和评估。由于体内不同细胞膜等的结构和功能的差异，水分子在体内的扩散并非自由扩散，而是呈现非高斯运动的异常分布。DKI主要用于检测这种水分子的运动，以反映病变微观结构^[11]。尤其对于肿瘤细胞增殖、新鲜血管生成和肿瘤细胞坏死等微观结构和病理变化具有较高敏感。DKI作为一种功能性磁共振成像也在HCC患者中开展了许多相关研究，尤其近年来DKI用于评估HCC的微血管浸润等^[9]。

TACE为晚期肝癌患者提供了新的治疗选择，显著提高了肝癌患者的生存率。但TACE治疗后的复发和进展是临床不可避免的问题。本研究比较TACE治疗后6个月时进展组和未进展组的临床和影像学资料。比较两组患者一般资料时发现，与未进展组相比，进展组患者血清AFP水平>200ng/mL比例更高、碘油造影强化比例更高、DSA肿瘤染色比例更高。这些结论均与既往研究报道类似^[12-14]。但上述这些参数预测TACE治疗后患者反应和效果的敏感度和特异度并未得到临床验证。本研究重点比较了两组之间DKI相关参数的特征，并探讨了DKI参数对TACE治疗后HCC复发的预测效能。

本研究纳入的DKI参数，包括MK、MD、Kr、Ka、Dr、Da和FAK。本研究分别比较了进展组和未进展组TACE治疗前肿瘤区和癌旁组织的上述参数差异。证实了与未进展病变相比，进展组肿瘤组织的MD和Dr值更低，Ka、FAK和Kr值更高；而进展组癌旁

组织的Da、MD和Dr值更低，Ka和FAK值更高。这些结果与Yuan等人^[15]的研究存在一定类似，但他们认为MK是评估TACE后HCC进展的有效生物标志物，这与本研究结果存在一定差异。本研究中进展组和未进展组的肿瘤区和癌旁组织均未发现MK值存在差异。MK是一种反映组织的复杂性和密度的参数^[16]，高细胞密度通常显示出高MK值。我们在测量时避开了肿瘤的坏死区域，因而两组患者的肿瘤和癌旁组织密度类似。

需要指出的是，本研究证实反应水分子扩散指标的Da在两组间的癌旁组织和肿瘤组织存在较大差异。肿瘤组织的Da值并无差异，进展组癌旁组织中Da明显较低，这提示肿瘤组织周围微环境变化可能存在一定差异，其可能是导致TACE治疗后复发的潜在因素。然而，在三个峰度系数(MK、Kr和Ka)中，只有Kr在肿瘤组织、Ka在肿瘤组织和癌旁组织中均更高。

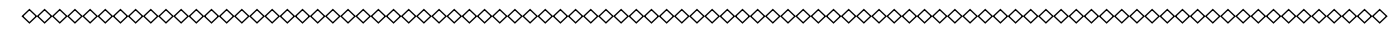
既往不少研究证实了，MK和MD与纤维化或肝功能的相关性。如Yoshimaru等人^[17]研究了肝失代偿患者的MK和Child-Pugh评分之间的关系，发现两者之间存在一定相关性。但也有研究并未证实MK与肝纤维化、肝功能间的关系，因此关于MK的作用目前仍存在争议^[18]。而关系MD与肝纤维化程度密切相关研究相对确切^[19]。本研究中，进展组的肿瘤组织和癌旁组织的MD值均较低。这一定程度上与前人研究MD与肝脏纤维化程度有关

(下转第141页)

- Cesarean scar pregnancy managed expectantly: systematic review and meta-analysis[J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2018, 51(2): 169-175.
- [5] D'Antonio F, Palacios-Jaraquemada J, Lim PS, et al. Counseling in fetal medicine: evidence-based answers to clinical questions on morbidly adherent placenta[J]. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2016, 47(3): 290-301.
- [6] 严琪, 邓小薇. 疤痕妊娠超声联合MRI检查表现及其诊断价值[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2020, 18(11): 121-123.
- [7] 郭钰英, 戴芳芳, 李晓, 等. 基础血清抗苗勒管激素与高龄冻融胚胎移植患者妊娠结局的相关性分析[J]. *重庆医学*, 2020, 49(3): 451-456.
- [8] Bartkute K, Balsyte D, Wisser J, et al. Pregnancy outcomes regarding maternal serum AFP value in second trimester screening[J]. *J Perinat Med*, 2017, 45(7): 817-820.
- [9] 徐焱, 李彩霞, 陈波. MRI在剖宫产后子宫瘢痕妊娠中的诊断价值[J]. *中国卫生标准管理*, 2015, 6(12): 37-38.
- [10] 中华医学会妇产科学分会计划生育学组. 剖宫产术后子宫瘢痕妊娠诊治专家共识(2016)[J]. *中华妇产科杂志*, 2016, 51(8): 568-572.
- [11] Timor-Tritsch IE, Monteagudo A, Cali G, et al. Cesarean scar pregnancy: diagnosis and pathogenesis[J]. *Obstet Gynecol Clin North Am*, 2019, 46(4): 797-811.
- [12] 李家菊, 丁颖, 王永丽, 等. 经阴道超声、MRI联合血清 β -HCG水平对剖宫产术后早期子宫瘢痕妊娠的诊断价值分析[J]. *中国数字医学*, 2020, 15(3): 129-131.
- [13] 靳金岩, 邢健, 杨景亮, 等. 3.0T磁共振在异位妊娠诊断的临床价值分析[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2020, 18(10): 112-115.
- [14] 王佳, 杨素君. 3.0T MRI对剖宫产瘢痕妊娠的诊断价值[J]. *中国实验诊断学*, 2020, 24(9): 1523-1525.
- [15] Pais AS, Flagothier C, Tebache L, et al. Impact of surgical management of endometrioma on AMH levels and pregnancy rates: a review of recent literature[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(3): 414-426.
- [16] Belovic DK, Pleinac S, Dotlic J, et al. Biochemical markers for prediction of hypertensive disorders of pregnancy[J]. *J Med Biochem*, 2019, 38(1): 71-82.
- [17] Praikaew P, Traisrisilp K, Wanapirak C, et al. Ethnicity-specific normative models of quadruple test as a screening test for down syndrome[J]. *Medicina (Kaunas)*, 2021, 57(7): 651-659.
- [18] Berezowsky A, Pardo J, Ben-Zion M, et al. Second trimester biochemical markers as possible predictors of pathological placentation: a retrospective case-control study[J]. *Fetal Diagn Ther*, 2019, 46(3): 187-192.
- [19] Borovkov VA, Igitova MB, Korenovskiy YV, et al. Prognostic significance of specific proteins of pregnancy in women with a uterine scar and placenta accreta[J]. *Klin Lab Diagn*, 2020, 65(6): 353-357.

(收稿日期: 2023-07-21)

(校对编辑: 姚丽娜)



(上接第111页)

系, 较低的MD肝功能相对更差和肝纤维化程度高, 这也可能是导致TACE之后复发和进展的原因。本研究使用ROC曲线证明了上述DKI参数对TACE治疗后患者进展的预测价值。但对于DKI参数与肝纤维化程度、肿瘤外周浸润等问题仍值得进一步研究。

本研究存在一些局限性。首先, 手动选择ROI过程不可避免地存在一定主观性。本研究由2名经验丰富的医生进行独立测量, 一定程度上减少了测量误差。其次, 并未对TACE治疗前后肿瘤变化的病理情况进行检查, 并未经病理证实复发的肝脏情况。最后, 受到研究条件限制, 纳入的病例数相对较少。今后仍需要开展更多的前瞻性大样本研究以弥补上述不足, 并进一步证实本研究结论。

总之, 本研究证实DKI的相关功能参数对TACE治疗后HCC患者复发和进展情况具有一定预测优势, 值得今后进一步研究和推广。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局. 原发性肝癌诊疗规范(2019年版)[J]. *中华消化外科杂志*, 2020, 19(1): 1-20.
- [2] 中国医师协会介入医师分会临床诊疗指南专委会. 中国肝细胞癌经动脉化栓栓塞(TACE)治疗临床实践指南(2021年版)[J]. *中华医学杂志*, 2021, 101(24): 1848-1862.
- [3] Heimbach JK, Kulik LM, Finn RS, et al. AASLD guidelines for the treatment of hepatocellular carcinoma[J]. *Hepatology*, 2018, 67(1): 358-380.
- [4] Kim GH, Kim JH, Shim JH, et al. Chemoembolization for single large hepatocellular carcinoma with preserved liver function: Analysis of factors predicting clinical outcomes in a 302 patient cohort[J]. *Life (Basel)*, 2021, 11(8): 840.
- [5] 常祖宽, 王晓伟, 马文芳, 等. MRI在原发性肝癌早期诊断及TACE介入治疗术后疗效评价中的应用[J]. *中国CT和MRI杂志*, 2022, 20(7): 101-103.
- [6] 阳腾飞, 黄仲奎, 龙莉玲, 等. 采用扩散峰度成像评估肝癌及其周围肝实质肿瘤浸润的价值[J]. *中华放射学杂志*, 2017, 51(3): 174-177.
- [7] 辛页, 杨波, 罗丽. MRI-DWI对肝细胞癌经导管动脉化栓栓塞术后复发微小病灶的诊断价值[J]. *中国现代医学杂志*, 2022, 32(23): 80-84.

- [8] Wang YXJ, Huang H, Zheng CJ, et al. Diffusion-weighted MRI of the liver: challenges and some solutions for the quantification of apparent diffusion coefficient and intravoxel incoherent motion[J]. *Am J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 11(2): 107-142.
- [9] 赵海洋, 汤德, 江凯. 扩散峰度成像技术对肝癌患者癌细胞周围浸润的评估价值[J]. *肝脏*, 2020, 25(10): 1065-1067, 1075.
- [10] 郭永刚, 杜迎, 叶鹏飞. DKI联合DWI定量指标对HCC病理学特征及TACE疗效的评估[J]. *影像科学与光化学*, 2022, 40(4): 768-772.
- [11] Martinez-Heras E, Grussu F, Prados F, et al. Diffusion-weighted imaging: recent advances and applications[J]. *Semin Ultrasound CT MR*, 2021, 42(5): 490-506.
- [12] 胡相友, 易明超, 卢攀. 肝癌切除术和TACE治疗后肿瘤复发的预测模型构建与评估[J]. *现代医学*, 2022, 50(1): 41-46.
- [13] 孙志民, 徐永建, 华小斌, 等. 原发性肝细胞癌根治术后行预防性TACE的应用价值及复发危险因素分析[J]. *中国现代普通外科进展*, 2021, 24(6): 474-477.
- [14] 周西, 刘启榆, 王忠, 等. 能谱CT联合血清AFP、VEGF在肝细胞癌患者TACE术后随访中的应用价值[J]. *中西医结合肝病杂志*, 2022, 32(6): 548-552.
- [15] Yuan ZG, Wang ZY, Xia MY, et al. Diffusion kurtosis imaging for assessing the therapeutic response of transcatheter arterial chemoembolization in hepatocellular carcinoma[J]. *J Cancer*, 2020, 11(8): 2339-2347.
- [16] Granata V, Fusco R, Belli A, et al. Diffusion weighted imaging and diffusion kurtosis imaging in abdominal oncological setting: why and when[J]. *Infect Agent Cancer*, 2022, 17(1): 25.
- [17] Yoshimaru D, Takatsu Y, Suzuki Y, et al. Diffusion kurtosis imaging in the assessment of liver function: its potential as an effective predictor of liver function[J]. *Br J Radiol*, 2019, 92(1094): 20170608.
- [18] Obara M, Kwon J, Yoneyama M, et al. Technical advancements in abdominal diffusion-weighted imaging[J]. *Magn Reson Med Sci*, 2023, 22(2): 191-208.
- [19] Hu G, Liang W, Wu M, et al. Staging of rat liver fibrosis using monoexponential, stretched exponential and diffusion kurtosis models with diffusion weighted imaging- magnetic resonance[J]. *Oncotarget*, 2017, 9(2): 2357-2366.

(收稿日期: 2023-07-11)

(校对编辑: 姚丽娜)