

# 肾癌的多模态MRI研究进展

余薇, 杨阳, 邬颖华\*



作者单位: 成都中医药大学附属医院放射科, 成都 610075

\*通信作者: 邬颖华, E-mail: 13550022152@163.com

中图分类号: R445.2; R657.51 文献标识码: A DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2021.09.029

本文引用格式: 余薇, 杨阳, 邬颖华. 肾癌的多模态MRI研究进展[J]. 磁共振成像, 2021, 12(9): 113-115, 120.

**[摘要]** 肾癌是泌尿系统常见的恶性肿瘤之一, 其早期诊断仍是临床中的挑战性难题。多模态MRI借助新技术在结构和功能成像层面分析疾病, 为肾癌的早期诊断、临床决策和疗效反应评估提供重要参考, 以期改善患者的临床预后。作者就近年来多模态MRI在肾癌中的研究进展进行综述。

**[关键词]** 肾癌; 诊断; 磁共振成像

## Research progress of multimodal MRI in renal cell carcinoma

YU Wei, YANG Yang, WU Yinghua\*

Department of Radiology, the Hospital of Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China

\*Correspondence to: Wu YH, E-mail: 13550022152@163.com

Received 11 Apr 2021, Accepted 3 Jun 2021; DOI:10.12015/issn.1674-8034.2021.09.029

**ACKNOWLEDGMENTS** This work was Fund by Science and Technology Program of Sichuan Program (No. 2019YFS0445).

**Cite this article as:** Yu W, Yang Y, Wu YH. Research progress of multimodal MRI in renal cell carcinoma[J]. Chin J Magn Reson Imaging, 2021, 12(9): 113-115, 120.

**Abstract** Renal cell carcinoma is one of the most common malignant tumors of urinary system. Its early diagnosis is still a challenging problem in clinical practice. Multimodal magnetic resonance imaging analyses the disease from anatomy and functional imaging, and provides important information for the early imaging diagnosis and the evaluation of therapeutic response of renal cell carcinoma by means of new magnetic resonance imaging technology to improve the prognosis of patients. The purpose of this article is to review the progress of magnetic resonance imaging in renal cell carcinoma.

**Key words** renal cell carcinoma; diagnosis; magnetic resonance imaging

肾细胞癌(renal cell carcinoma, RCC)亦称肾癌, 是泌尿系统常见的恶性肿瘤之一, 发病率逐年上升<sup>[1]</sup>。目前RCC的发病机制尚不清楚, 认为主要与吸烟、肥胖、高血压等有关<sup>[2]</sup>。早期症状多不典型, 大部分患者甚至可无症状, 晚期表现为无痛性肉眼血尿、腹部包块、腰痛等, 约30%的RCC患者在首诊即已发生远处转移, 失去最佳手术机会<sup>[3]</sup>。RCC缺乏特异性肿瘤标志物, 因此其早期诊断主要依靠影像学检查。多模态MRI检查借助新技术在结构和功能成像层面分析疾病, 可从分子水平为RCC的早期诊断及治疗提供重要信息, 笔者就多模态MRI在RCC中的研究进展进行综述。

### 1 常规MRI在肾癌中的研究进展

MRI具有高软组织分辨率, 其能评估肿瘤的范围、内部坏死程度及周围组织受侵, 为RCC的鉴别诊断及肿瘤分期提供依据。吴静云等<sup>[4]</sup>研究显示RCC患者中常规MRI参考下腔静脉瘤栓长度、瘤栓与下腔静脉壁分界是否清晰、瘤栓是否充满下腔静脉、瘤栓边缘是否光滑及下腔静脉壁正常信号是否改变, 联合诊断下腔静脉壁受侵的敏感度和特异度为94.12%和79.49%, AUC为0.897。Akın等<sup>[5]</sup>研究显示肾嗜酸细胞瘤T2WI信号强度及增强MRI廓清值明显高于嫌色细胞癌, 并认为T2WI联合增强MRI有助于鉴别两者。Rocco等<sup>[6]</sup>参考病理评分系统进行分级(i-Cap分级), 利用常规MRI评估RCC假包膜(pseudocapsule, PC)的侵袭性, 根据影像学特征对PC浸润性进行分级(MRI-Cap分级: 0级, 无假包膜; 1级, 假包膜清晰可见; 2级, 假包膜局部中断; 3级, 假包膜明显中断), 结果显示MRI-Cap与i-Cap分级一致性良好, 其中对MRI-Cap2-i-Cap2的敏感度及特异度最高, 为0.94、0.95, 可见常规MRI评估PC

的侵袭性诊断指标较好, 此外参考PC的MRI分级特征, 还有助于外科医生确定肾切除术最小切缘。

### 2 功能MRI在肾癌中的研究进展

#### 2.1 扩散加权成像

##### 2.1.1 MR扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)

DWI是目前检测活体组织内水分子扩散运动的最简单、方便的影像成像技术, 通过单指数模型, 来定量计算出反映组织内水分子扩散状态的表现扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值。Hynek等<sup>[7]</sup>研究发现透明细胞型RCC(clear cell RCC, ccRCC)的ADC值较乳头状癌和嫌色细胞癌最高(均值分别为 $1.365 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $1.006 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 、 $1.068 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ ), 有助于ccRCC和其他组织类型RCC鉴别。目前DWI越来越多的应用于肾脏病变的诊断, 对于良恶性肿瘤、不同病理类型肾脏肿瘤间以及和其他疾病的鉴别诊断有重要价值<sup>[8-11]</sup>, 例如ccRCC的T2WI以高信号、轻度高信号为主, DWI以高信号为主, 乳头状RCC以T2WI轻度低信号为主, DWI以高信号为主, 利用DWI联合T2WI可对小RCC亚型的进行鉴别诊断<sup>[12]</sup>。DWI从微观结构监测不同病变的水分子扩散运动, 为临床鉴别良恶性肿瘤及RCC不同病理亚型提供了重要依据, 减少良性肿瘤不必要的肾脏切除术。

##### 2.1.2 扩散加权成像体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)

IVIM成像技术是一种将扩散和血液灌注作用进行分离的扩散新技术, 基于双指数模型, 在b值较低的情况下, 微血管的灌注情况对DWI图像的影响更大, 在b值较高的情况下, 水分子的真实扩散运动对DWI图像的影响更大。IVIM补充了血

收稿日期: 2021-04-11 接受日期: 2021-06-03

基金项目: 四川省科技计划项目(编号:2019YFS0445)

流在微血管网中灌注情况对DWI的影响,能够更加准确地反映病变的微观病理变化,为疾病的诊断及预后评估提供重要信息<sup>[13]</sup>。D代表扩散系数,可反映病变组织内真实水分子的扩散效应,D\*为假性扩散系数,是病灶内灌注成分所致的扩散效应。f为灌注分数,反映病变内流经毛细血管血液的容积分数。有学者研究显示D和D\*值与ccRCC的分级负相关,f值和分级正相关,D\*和f鉴别高级别和低级别ccRCC的准确性较高,AUC值分别为0.873和0.793<sup>[14]</sup>。但也有学者研究显示D\*和f无法区分高级别和低级别ccRCC<sup>[15]</sup>。Cong等<sup>[16]</sup>研究发现IVIM成像f值鉴别ccRCC和非ccRCC的敏感度和特异度分别为98.4%和75.0%。IVIM成像在评估RCC病理亚型及分化程度具有一定的可靠性,对预测肿瘤生物学行为有重要价值。

### 2.1.3 MR扩散张量成像(diffusion tensor imaging,DTI)

DTI是基于传统扩散成像技术的新MRI成像技术,通过施加6个以上方向的扩散敏感梯度场,使其既可测量组织的扩散量,又可评价组织内水分子各向异性<sup>[17]</sup>。在单指数模型基础上,利用各向异性扩散张量重建组织微观结构,从而在三维空间内能更全面地获得体素内水分子各向异性程度及扩散情况,常用的参数有平均扩散率(mean diffusivity,MD)及各向异性分数(fractional anisotropy,FA)。Feng等<sup>[18]</sup>研究表明ADC值、FA值与细胞密度呈负相关,病理分级与细胞密度正相关,当ADC值、FA值分别为 $1.003 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 和0.218  $\text{mm}^2/\text{s}$ ,鉴别高级别和低级别RCC的准确性较高(AUC=0.864、0.931)。耿莉等<sup>[19]</sup>报道了关于DTI在肾脏实性肿瘤中的诊断和鉴别诊断,结果表明血管平滑肌脂肪瘤(angiomylipoma,AML)的FA值高于ccRCC,ADC值低于ccRCC ( $P$ 值均 $<0.05$ )。Qiang等<sup>[20]</sup>研究多b值DTI成像,发现在b值为800,FA值为 $0.254 \times 10.3 \text{ mm}^2/\text{s}$ 时,鉴别ccRCC和乏脂肪型AML的敏感度和特异度最高(100%、73.3%)。利用DTI成像无创性鉴别肿瘤良恶性,避免了临床上非必要的病理活检和手术,对患者的治疗和预后具有重要意义。

### 2.1.4 MR扩散峰度成像(diffusion kurtosis imaging,DKI)

DKI是基于非高斯分布的DKI模型MRI成像技术,不仅能获得常规的扩散指标,还可以获得峰度指标,可以量化水分子扩散位移曲线和扩散的高斯分布偏差,在描述组织微观结构优于传统的扩散成像,常用的参数有平均扩散峰度(mean kurtosis,MK)、轴向扩散峰度(axial kurtosis,AK)、径向扩散峰度(radial kurtosis,RK)等。目前多项研究表明DKI成像在区分高级别和低级别RCC有较高的诊断价值。Wang等<sup>[21]</sup>研究显示高级别RCC的DKI成像峰度系数平均值高于低级别RCC ( $P<0.05$ ),该参数鉴别高低级别RCC的效能较高,敏感度、特异度分别为87.9%、80.0%,AUC值为0.889。Cao等<sup>[22]</sup>研究认为MK是DKI中评估RCC病理分级最有价值的峰度量(ICC=0.923)。朱庆强等<sup>[23]</sup>研究发现峰度相关参数(MK、RK、AK)与病理分级正相关,MK和RK鉴别高低级别RCC的AUC值为0.923、0.926,MRI功能成像在肿瘤的诊断、生物学及治疗方面有较大潜力,各种扩散模型亦有一定的局限性,不足以反映生物体内复杂的扩散过程。

### 2.2 血氧水平依赖磁共振成像(blood-oxygen-level-dependent MRI,BOLD-MRI)

BOLD成像是一种反映组织内血红蛋白氧含量的MRI功能成像,可以评估组织内氧生物利用度。利用脱氧血红蛋白作对比剂,监测组织中脱氧血红蛋白含量改变与氧分压的改变。Wu等<sup>[24]</sup>研究BOLD成像在预测肾癌部分肾切除术后肾功能的价值,联合RCC同侧肾皮质和肾髓质的T2值对预测术后肾功能的准确性大于Renal评分系统(AUC值分别为0.762、0.634),张莹莹等<sup>[25]</sup>研究结果与其相一致。蔡利忠等<sup>[26]</sup>研究发现ccRCC中R2\*值与HIF-2 $\alpha$ 呈正相关( $P<0.05$ ),高级别ccRCC的HIF-2 $\alpha$ 表达率明显高于低级别肿瘤,BOLD成像R2\*值在一定程度上有助于评估ccRCC的病理分级。

### 2.3 T1 mapping成像

T1 mapping成像是通过测量图像体素中的T1值实现对

生物组织的定量分析,T1值是组织细胞和细胞外基质的综合反映,能够对组织的病理变化直接进行量化,通过测量T1<sub>native</sub>和T1<sub>post</sub>值的变化,反映组织内对比剂的变化,并且操作简单,扫描时间短。既往研究显示T1 mapping可以无创评估心肌纤维化、肝脏纤维化等<sup>[27-28]</sup>。目前该成像技术已逐渐应用于肿瘤的组织分化程度及鉴别诊断的研究中。Wang等<sup>[29]</sup>研究发现T1<sub>native</sub>联合T1<sub>native-post</sub>值鉴别高级别和低级别ccRCC的AUC值为0.912,T1<sub>native</sub>联合T1<sub>post</sub>鉴别ccRCC与乏脂肪型AML的准确性较高(AUC值=0.956)。Lisa等<sup>[30]</sup>研究显示基于细胞外体积分数的T1 mapping成像,可有效区分WHO/ISUP分级系统高级别和低级别ccRCC (AUC值为0.96)。T1 mapping成像通过定量测量组织中的T1值,在RCC的诊断及鉴别诊断中有着重要作用。

### 2.4 动脉自旋标记成像(arterial spin labeling,ASL)

ASL是MRI灌注新技术,具有完全非侵入性和无需外源性对比剂等优点,按成像方式分为连续式标记、脉冲式标记和伪连续式标记,目前伪连续式标记方式,因灌注均匀,高信噪比(signal noise ratio,SNR),低比吸收率(specific absorption rate,SAR)和重复性好等特点在临床应用最广泛。ASL伪连续式标记成像,利用射频脉冲标记层面血流中的氢质子,经过一定的延迟时间进入感兴趣区进行血流交换,通过标记像和未标记像计算得出定量血流量。已有研究表明在动物模型(RCC移植瘤裸鼠)中,ASL可评估肿瘤在抗血管生成治疗后的反应,可以无创检测抗血管生成治疗后肿瘤内血流的变化<sup>[31-32]</sup>。此外ASL在RCC患者索拉非尼治疗早期可以预测后期治疗效果,为临床提供重要的疗效评估信息,并对治疗无反应者及时更改治疗方案有重要意义<sup>[33-34]</sup>。在RCC射频消融术后肿瘤切除完整性评估,ASL结合常规MRI有更高的准确性,获得额外的血流灌注信息,可显示肿瘤的破坏程度和复发,从而实现RCC射频消融术后评估更加精准<sup>[35]</sup>。此外ASL通过显示血流灌注在鉴别肾脏良恶性肿瘤方面也有较大的优势<sup>[36-37]</sup>。RCC患者在接受放射性射频消融治疗时,患侧肾脏常不可避免功能受损,ASL可避免钆造影剂造成的肾毒性,因此在临床应用中有较大的潜力。

### 2.5 磁共振波谱成像(magnetic resonance spectroscopy,MRS)

MRS可以无创性对活体组织代谢、生化改变及化合物进行定量分析,在一定程度上提高了疾病诊断的特异性和敏感性<sup>[38]</sup>。Rachel等<sup>[39]</sup>研究正常肾脏和RCC间代谢与MRS成像差异,组织代谢研究结果显示RCC组织中游离胆固醇和不饱和脂肪酸均降低,MRS显示RCC在5.4 ppm和1.3 ppm的峰高比较正常组织低19倍,这一比率可能是RCC的重要标志。新型抗血管生成药物治疗的方法可能会使肿瘤处于静止状态无体积缩小,过去主要通过测量肿瘤的大小评估疗效,而MRS成像可以监测药物引起的癌组织代谢、生化改变<sup>[25]</sup>。但MRS也有一定的局限性,目前MRS成像在临床中并不作为一种常规影像检查方法,图像质量受很多因素的干扰,如扫描时间、扫描视野、呼吸产生的运动伪影等。

### 3 小结

RCC作为泌尿系统常见的恶性肿瘤,部分患者就诊时已发生远处转移,错失最佳手术时机,预后较差,因此明确诊断和治疗尤为重要,充分合理利用多模态MRI可对RCC的解剖定位、血流灌注、组织代谢等提供详细信息,无创性评估RCC的组织病理分期和分级,为指导临床个体化治疗提供重要依据。

作者利益冲突声明:全体作者均声明无利益冲突。

### 参考文献[References]

- [1] Wang Q, Wang BJ, Li XL, et al. Clinical, pathological features and prognosis of renal carcinoma: a single-center analysis of 4167 cases[J]. Med J Chin PLA, 2019, 44(8): 666-670. DOI:10.11855/j.issn.0577-7402.2019.08.07.

- 王强, 王保军, 李晓利, 等. 肾癌的临床、病理特征及预后: 单中心4167例资料分析[J]. 解放军医学杂志, 2019, 44(8): 666-670. DOI: 10.11855/j.issn.0577-7402.2019.08.07.
- [2] Ferlay J, Autier P, Boniol M, et al. Estimates of the cancer incidence and mortality in Europe in 2006[J]. *Ann Oncol*, 2007, 18(3): 581-592. DOI:10.1093/annonc/mdl498.
- [3] Shilpa G, Philippe ES. The prospects of pazopanib in advanced renal cell carcinoma[J]. *Ther Adv Urol*, 2013, 5(5): 223-232. DOI:10.1177/1756287213495099.
- [4] Wu JY, Mi Y, LS, et al. Evaluating inferior vena cava wall invasion in renal cell carcinoma tumor thrombus with MRI, J Peking University (HealthSci), 2019, 51(4): 673-677. DOI:10.19723/j.issn.1671-167X.2019.04.013. 吴静云, 米悦, 刘水, 等. MRI对肾细胞癌静脉瘤栓侵犯下腔静脉壁的术前评估[J]. 北京大学学报(医学版), 2019, 51(4): 673-677. DOI: 10.19723/j.issn.1671-167X.2019.04.013.
- [5] Akın IB, Altay C, Güler E, et al. Discrimination of oncocytoma and chromophobe renal cell carcinoma using MRI[J]. *Diagn Interv Radiol (Ankara, Turkey)*, 2019, 25(1): 5-13. DOI:10.5152/dir.2018.18013.
- [6] Rocco P, Valeria P, Riccardo M, et al. Accuracy of magnetic resonance imaging to identify pseudocapsule invasion in renal tumors[J]. *World J Urol*, 2020, 38(2): 407-415. DOI:10.1007/s00345-019-02755-1.
- [7] Hynek M, Eva K, Jan K, et al. Diffusion-weighted imaging using 3.0 T MRI as a possible biomarker of renal tumors[J]. *Anticancer Res*, 2015, 35(4): 2351-2357.
- [8] Lu R, Xu CY, Lin L, et al. Diagnostic value of 3.0 T magnetic resonance DWI quantitative imaging in renal neoplasm. *Chin J Clin Med*, 2018, 25(4): 601-605. DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20170573. 陆蓉, 胥常云, 林璐, 等. 3.0 T磁共振弥散加权成像表现弥散系数对肾脏肿瘤性病变的诊断价值[J]. 中国临床医学, 2018, 25(4): 601-605. DOI:10.12025/j.issn.1008-6358.2018.20170573.
- [9] Sungmin W, Chong Hyun S, Sang Youn K, et al. Diagnostic performance of DWI for differentiating high- from low-grade clear cell renal cell carcinoma: a systematic review and Meta-analysis[J]. *AJR. Am J Roentgenol*, 2017, 209(6): W374-W381. DOI:10.2214/AJR.17.18283.
- [10] Lothar P, Domagoj J, Gertraud H, et al. Inter-observer variation and diagnostic efficacy of apparent diffusion coefficient (ADC) measurements obtained by diffusion-weighted imaging (DWI) in small renal masses[J]. *Acta Radiol*, 2016, 57(8): 1014-1020. DOI:10.1177/0284185115610934.
- [11] Illjuk P, Dutka I, Mytsyk Y, et al. Differential diagnosis of the small renal masses: role of the apparent diffusion coefficient of the diffusion-weighted MRI[J]. *Int Urol Nephrol*, 2018, 50(2): 197-204. DOI:10.1007/s11255-017-1761-1.
- [12] Gu ZC, Zhang YH. Diagnostic value of magnetic resonance DWI combined with T2WI in small renal carcinoma subtypes, *Heilongjiang Traditional Chin Med*, 2019, 48(4): 89-91. 古志聪, 张裕辉. 磁共振DWI结合T2WI对小肾癌亚型的诊断价值[J]. 黑龙江中医药, 2019, 48(4): 89-91.
- [13] Zhang Y, The research status of DWI new technology IVIM and DKI in the grade of renal carcinoma. *J Pract Radiol*, 2020, 36(11): 1873-1876. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2020.11.042. 张岩. 扩散加权成像新技术体素内不相干运动及扩散峰度成像在肾癌分级中的研究现状[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(11): 1873-1876. DOI:10.3969/j.issn.1002-1671.2020.11.042.
- [14] Wu J, Zhu Q, Zhu W, et al. Value of intravoxel incoherent motion in assessment of pathological grade of clear cell renal cell carcinoma[J]. *Acta Radiol*, 2018, 59(1): 121-127. DOI:10.1177/0284185117716702.
- [15] Ye J, Xu Q, Wang SA, et al. Quantitative evaluation of intravoxel incoherent motion and diffusion kurtosis imaging in assessment of pathological grade of clear cell renal cell carcinoma[J]. *Acad Radiol*, 2020, 27(7): e176-e182. DOI:10.1016/j.acra.2019.10.010.
- [16] Cong XY, Chen Y, Zhang J, et al. Application of diffusion-weighted intravoxel incoherent motion imaging in diagnosis of renal cell carcinoma subtypes[J]. *Zhonghua zhong liu za zhi*, 2016, 38(6): 434-439. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3766.2016.06.007.
- [17] Wang JY, Abdi H, Bakhadirov K, et al. A comprehensive reliability assessment of quantitative diffusion tensor tractography[J]. *Neuroimage*, 2012, 60(2): 1127-1138. DOI:10.1016/j.neuroimage.2011.12.062.
- [18] Feng Q, Fang W, Sun XP, et al. Renal clear cell carcinoma: diffusion tensor imaging diagnostic accuracy and correlations with clinical and histopathological factors[J]. *Clin Radiol*, 2017, 72(7): 560-564. DOI: 10.1016/j.crad.2017.02.016.
- [19] Geng L, Cong RL, Huang Z, et al. To discuss the value of diffusion tensor imaging in solid renal tumors. *Clin J Radiol*, 2017, 36(4): 522-525. 耿莉, 纵瑞龙, 黄周, 等. 探讨磁共振扩散张量成像在肾脏实质性肿瘤的应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(4): 522-525.
- [20] Qiang F, Zhijun M, Sujuan Z, et al. Usefulness of diffusion tensor imaging for the differentiation between low-fat angiomyolipoma and clear cell carcinoma of the kidney[J]. *Springerplus*, 2016, 5: 12. DOI: 10.1186/s40064-015-1627-x.
- [21] Wang K, Cheng JY, Wang Y, et al. Renal cell carcinoma: preoperative evaluate the grade of histological malignancy using volumetric histogram analysis derived from magnetic resonance diffusion kurtosis imaging[J]. *Quant Imag Med Surg*, 2019, 9(4): 671-680. DOI:10.21037/qims.2019.04.14.
- [22] Cao JF, Luo X, Zhou ZM, et al. Comparison of diffusion-weighted imaging mono-exponential mode with diffusion kurtosis imaging for predicting pathological grades of clear cell renal cell carcinoma[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 130. DOI:10.1016/j.ejrad.2020.109195.
- [23] Zhu QQ, Zhu WR, Ye J, et al. Value of diffusion kurtosis imaging in assessment of pathological grade of clear cell renal cell carcinoma. *Chin J Radiol*, 2017, 51(3): 188-191. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005?1201.2017.03.007. 朱庆强, 朱文荣, 叶靖, 等. 扩散峰度成像评价肾透明细胞癌恶性程度的价值[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(3): 188-191. DOI:10.3760/cma.j.issn.1005?1201.2017.03.007.
- [24] Wu GY, Zhang RY, Mao HM, et al. The value of blood oxygen level dependent (BOLD) imaging in evaluating post-operative renal function outcomes after laparoscopic partial nephrectomy[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(12). DOI:10.1007/s00330-018-5525-9.
- [25] Zhang YY, Xu RT, Liu Y, et al. BOLD MRI in the evaluation of oxygenation level in renal cell carcinoma and adjacent renal tissue. *Chin J Med Imaging Technol*, 2012, 28(4): 756-759. 张莹莹, 徐荣天, 刘屹, 等. BOLD MRI分析肾癌及癌旁肾组织氧合状况[J]. 中国医学影像技术, 2012, 28(4): 756-759.
- [26] Cai LZ, Xing W, Chen J, et al. Study on the evaluation of the correlation between the expression level of HIF in clear cell renal cell carcinoma and R2\*. *Clin J Radiol*, 2016, 35(4): 585-588. 蔡利忠, 邢伟, 陈杰, 等. BOLD-MRI评价肾透明细胞癌HIF- $\alpha$ 表达的可行性研究[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(4): 585-588.
- [27] Natsuko M, Nobuhiko H, Yoshiharu K, et al. Assessment of myocardial fibrosis using T1-mapping and extracellular volume measurement on cardiac magnetic resonance imaging for the diagnosis of radiation-induced cardiomyopathy[J]. *J Cardiol Cases*, 2018, 18(4): 132-135. DOI:10.1016/j.jccase.2018.06.001.
- [28] Jinning L, Huanhuan L, Caiyuan Z, et al. Native T1 mapping compared to ultrasound elastography for staging and monitoring liver fibrosis: an animal study of repeatability, reproducibility, and accuracy[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(1): 337-345. DOI:10.1007/s00330-019-06335-0.
- [29] Wang SA, Li JH, ZhuDR, et al. Contrast-enhanced magnetic resonance (MR) T1 mapping with low-dose gadolinium-diethylenetriamine pentaacetic acid (Gd-DTPA) is promising in identifying clear cell renal cell carcinoma histopathological grade and differentiating fat-poor angiomyolipoma[J]. *Quant Imag Med Surg*, 2020, 10(5): 988-998. DOI: 10.21037/qims-19-723.
- [30] Lisa CA, Philipp J, Bernhard R, et al. Assessment of the extracellular volume fraction for the grading of clear cell renal cell carcinoma: first results and histopathological findings[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(11): 5832-5843. DOI:10.1007/s00330-019-06087-x.
- [31] Becker AS, Rossi C. Renal arterial spin labeling magnetic resonance imaging[J]. *Nephron*, 2017, 135(1): 1-5. DOI: 10.1159/000450797
- [32] Rachel S, David CA, Ivan P, et al. Does arterial spin-labeling MR imaging-measured tumor perfusion correlate with renal cell cancer response to antiangiogenic therapy in a mouse model? [J]. *Radiology*, 2009, 251(3): 731-742. DOI:10.1148/radiol.2521081059.
- [33] Cedric DB, Neil MR, Guillaume D, et al. Arterial spin labeling blood flow magnetic resonance imaging for the characterization of metastatic renal cell carcinoma(1)[J]. *Acad Radiol*, 2005, 12(3): 347-357. DOI: 10.1016/j.acra.2004.12.012.
- [34] Ivan P, David CA, Neil MR. Magnetic resonance imaging as a biomarker in renal cell carcinoma[J]. *Cancer*, 2009, 115(10 Suppl): 2334-2345. DOI:10.1002/encr.24237.
- [35] Andreas B, Petros M, Christina S, et al. Morphological, contrast-enhanced and spin labeling perfusion imaging for monitoring of relapse after RF ablation of renal cell carcinomas[J]. *Eur Radiol*, 2006, 16(6): 1226-1236. DOI:10.1007/s00330-005-0098-9.
- [36] Rotem s, Phil MR, Maryellen RS, et al. Arterial spin-labeling MR imaging of renal masses: correlation with histopathologic findings[J]. *Radiology*, 2012, 265(3): 799-808. DOI:10.1148/radiol.12112260.

(下转第120页)

- 65(4): 927-948. DOI:10.1002/mrm.22761.
- [46] Watkins LE, Rubin EB, Mazzoli V, et al. Rapid volumetric gagCEST imaging of knee articular cartilage at 3 T: evaluation of improved dynamic range and an osteoarthritic population[J]. NMR Biomed, 2020, 33(8): e4310. DOI:10.1002/nbm.4310.
- [47] Song X, Gilad AA, Joel S, et al. CEST phase mapping using a length and offset varied saturation (LOVARS) scheme[J]. Magn Reson Med, 2012, 68(4): 1074-1086. DOI:10.1002/mrm.23312.
- [48] Wei W, Jia G, Flanigan D, et al. Chemical exchange saturation transfer MR imaging of articular cartilage glycosaminoglycans at 3 T: Accuracy of B0 Field Inhomogeneity corrections with gradient echo method[J]. Magn Reson Imaging, 2014, 32(1): 41-47. DOI:10.1016/j.mri.2013.07.009.
- [49] Heo HY, Xu X, Jiang S, et al. Prospective acceleration of parallel RF transmission-based 3D chemical exchange saturation transfer imaging with compressed sensing[J]. Magn Reson Med, 2019, 82(5): 1812-1821. DOI:10.1002/mrm.27875.
- [50] Chen Z, Han Z, Liu G. Repurposing clinical agents for chemical exchange saturation transfer magnetic resonance imaging: current status and future perspectives[J]. Pharmaceuticals (Basel), 2020, 14(1): 14(1): 11. DOI:10.3390/ph14010011.



磁共振成像 杂志社  
www.chinesemri.com

(上接第115页)

- [37] Jing Y, Qing X, Shou-An W, et al. Differentiation between fat-poor angiomyolipoma and clear cell renal cell carcinoma: qualitative and quantitative analysis using arterial spin labeling MR imaging[J]. Abdom Radiol (NY), 2020, 45(2): 512-519. DOI:10.1007/s00261-019-02303-w.
- [38] Fischbach F, Schirmer T, Thormann M, et al. Quantitative proton magnetic resonance spectroscopy of the normal liver and malignant hepatic lesions at 3.0 tesla[J]. Eur Radiol, 2008, 18(11): 2549-2558. DOI:10.1007/s00330-008-1040-8.
- [39] Rachel K, Neil MR, Martina MM, et al. Decreases in free cholesterol and fatty acid unsaturation in renal cell carcinoma demonstrated by breath-hold magnetic resonance spectroscopy[J]. Am J Physiol Renal Physiol, 2005, 288(4): F637-F641. DOI:10.1152/ajprenal.00140.2004.