

• 肾脏 MRI 专题 •

基于 T_2 加权图像的纹理分析:不同转移部位间肾癌纹理特征的对比

白旭,王海屹,叶慧义,许伟,张晓晶,黄庆波,刘震昊

【摘要】 目的:利用磁共振 T_2 加权图像纹理分析方法,探讨发生不同部位转移(肺、骨、区域淋巴结)的肾透明细胞癌(ccRCC)影像特征的差异。**方法:**回顾性分析 25 例经影像及病理证实发生单一部位转移的 ccRCC 患者的 MRI 资料,其中发生肺转移 7 例,发生骨转移 9 例,发生区域淋巴结转移 9 例。所有患者行肾脏 3.0T MR 扫描,利用软件工具在 T_2 加权图像上逐层对病灶进行 ROI 勾画并融合为感兴趣容积(VOI),获得 93 个纹理特征参数。使用非参数检验对 3 组 ccRCC 原发灶的特征参数进行统计学分析,确定有统计学差异的特征参数并进行 ROC 曲线分析。**结果:**基于 T_2 加权图像生成的 93 个肿瘤特征参数中,共有 12 个参数在 3 组间的差异具有统计学意义($P < 0.05$)。将 3 组病例分别划分为二分类变量后,有和无区域淋巴结转移组之间未发现有统计学差异的参数;而肺转移与非肺转移组之间有统计学差异的参数有 19 个,其中病灶表面积的 ROC 曲线下面积(AUC)最大,为 0.881 ± 0.080 (95% CI 为 $0.689 \sim 0.975$);骨转移与非骨转移组之间有统计学差异的参数有 14 个,其中灰度不均匀性的 AUC 最大,为 0.875 ± 0.070 (95% CI 为 $0.682 \sim 0.972$)。**结论:**发生不同部位转移(肺、骨、区域淋巴结)的 ccRCC 原发灶的影像组学特征存在差异,纹理分析或可作为一种预测 ccRCC 转移部位的有效诊断方法。

【关键词】 肾癌;转移部位;磁共振成像; T_2 加权成像;纹理分析

【中图分类号】 R445.2;R737.11 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)08-0794-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.08.006

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Texture analysis based on MR T_2 WI: comparison of texture features of renal clear cell carcinoma with metastatic lesions at different sites BAI Xu, WANG Hai-yi, YE Hui-yi, et al. Department of Radiology, PLA General Hospital, Beijing 100853, China

【Abstract】 Objective: To explore the radiomics features of primary lesions of clear cell renal cell carcinoma (ccRCC) with different metastatic sites using texture analysis based on T_2 WI. **Methods:** A total of 25 subjects with ccRCC were enrolled in the study, including 9 with regional lymph node metastasis (LNM), 7 with pulmonary metastasis (PM), and 9 with bone metastasis (BM). All patients underwent magnetic resonance (MR) scans at a 3.0T MR system. On T_2 WI, all the primary lesions were delineated and the corresponding volume of interest (VOI) was obtained, then ninety-three texture parameters were extracted from each ccRCC. Nonparametric test was used to analyze the difference of the texture parameter values among the three groups, and the parameters with statistical significance were further evaluated using receiver operating characteristic curve (ROC). **Results:** Among the 93 texture parameters, there were statistically significant difference ($P < 0.05$) in 12 parameters. 19 parameters (volume, surface, area, etc.) and 14 parameters (gray level non uniformity, minor axis, etc.) presented statistically significant difference between PM and non-PM groups, BM and non-BM groups, respectively; while no parameter showed significant difference between LNM and non-LNM group. With the cut-off value of 17386.53, the parameter of surface area permitted the discrimination between PM and non-PM with the highest AUC of 0.881 ± 0.08 (95% CI: $0.689 \sim 0.975$) and Youden index_{max} of 0.833. Furthermore, between BM and non-BM group, the parameter of gray level non uni-

作者单位: 100853 北京,中国人民解放军总医院放射科(白旭、王海屹、叶慧义、许伟、张晓晶、刘震昊),泌尿外科(黄庆波)

作者简介: 白旭(1990—),男,陕西榆林人,硕士研究生,住院医师,主要从事腹盆部磁共振成像。

通讯作者: 王海屹, E-mail: wanghaiyi301@126.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(81471641)

formity showed the highest AUC of 0.875 ± 0.07 (95% CI: $0.682 \sim 0.972$) and Youden index_{max} of 0.701 with a cut-off value of 146.50. **Conclusion:** The primary foci of ccRCC with different metastatic distribution present distinct T₂WI textural features which would probably facilitate the prediction of metastatic sites of ccRCC.

【Key words】 Renal carcinoma; Metastatic sites; Magnetic resonance imaging; T₂-weighted imaging; Texture analysis

肾细胞癌(renal cell carcinoma, RCC)在成人恶性肿瘤中占 2%~3%,在泌尿系肿瘤中致死率最高^[1]。约有 30% 的 RCC 患者在初诊时即已发生转移^[2]。RCC 发生转移后预后更差,对放化疗不敏感,分子靶向治疗是目前的一线治疗方法,但价格昂贵,且个体差异或转移部位不同都会影响疗效^[3]。如果能运用影像学方法,在 RCC 发生转移前或转移后对潜在的转移部位进行有效预测或监测,或能为 RCC 的治疗和管理提供指导。RCC 的转移机制尚不明确,发生不同部位转移的 RCC 在病理学上的差异还未得以阐明。既往的研究表明 MR 图像纹理分析能够反映肿瘤的异质性^[4],因此有望通过原发灶的影像组学特征对转移部位进行预判,从而指导临床早期主动干预,并可进行有针对性的随访复查。目前, RCC 原发病灶的影像组学特征,尤其是基于 MR 图像的组学特征是否与转移部位的分布相关,还未有研究进行评估。因此,本研究试图探讨 RCC 原发灶的影像特征与转移部位的相关性,旨在提高对 RCC 转移的预测能力。

材料与方法

1. 研究对象

搜集我院 2014 年 6 月—2018 年 3 月肾脏 MR 及肺部 CT 诊断报告提示发生单一部位转移(肺转移、骨转移、区域淋巴结转移)且术后病理证实为 ccRCC 的患者共 25 例,其中发生肺转移 7 例(A 组)、骨转移 9 例(B 组)、区域淋巴结转移 9 例(C 组)。25 例中男 21 例,女 4 例,年龄 39.0~77.0 岁,平均(60.8 ± 10.86)岁。术后病理提示病变大小 2.5~11.2cm,平均(6.7 ± 2.4)cm。

2. 检查方法

所有患者均行常规肾脏 MRI 平扫或增强扫描。使用 GE Discovery MR750 3T 及 GE Signa HDx 3T MR 扫描仪,扫描前禁饮食 6~8 h,横轴面 T₂WI 采用呼吸触发脂肪抑制 FSE 序列,扫描范围需覆盖全部肾脏,扫描参数:TR 2000~6000 ms, TE 80~104 ms,回波链长度 8~16,矩阵 320×224,层厚 6 mm,层间距 0.6 mm,视野 36 cm×36 cm~40 cm×40 cm。

3. 图像处理和数据分析

将 25 例患者的 MR T₂W 图像导入放射组学云平

台 V2.1[慧影医疗科技(北京)有限公司],由一位影像医师(4 年影像诊断工作经验)操作软件并对图像进行判读。在 T₂W 图像上手工勾画 ROI(图 1),勾画原则:①除病灶刚出现和即将消失的两个层面外,对病灶的所有层面进行 ROI 勾画,以获得病灶的感兴趣容积(volume of interest, VOI);②ROI 的边缘距离病灶边缘约 2 mm。随后,放射组学云平台 V2.1 对勾画的所有 VOI 进行特征参数的提取。可生成基于特征类和基于过滤器类的纹理参数共 1029 个,本研究中只选择基于特征类的 93 个参数。

4. 统计学分析

使用 IBM SPSS 23.0 软件进行统计学分析。首先,选择 Mann-Whitney U 非参数检验对 25 个原发灶的 93 个特征参数进行分析,用以判断各特征参数是否在肺转移组、骨转移组及淋巴结转移组之间存在统计学差异。而后,采用二分类变量法,即肺转移与非肺转移(骨转移+区域淋巴结转移)、骨转移与非骨转移(肺转移+区域淋巴结转移)、区域淋巴结转移与非区域淋巴结转移(肺转移+骨转移),采用 Mann-Whitney U 检验对其 ccRCC 原发灶特征参数分别进行组间两两比较,用以分析不同转移部位间肿瘤原发灶的特征参数的差异有无统计学意义。最后,对差异有统计学意义的特征参数进行受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析,计算曲线下面积(area under the curve, AUC)和 95% 置信区间,对 AUC 最大的参数计算其最大约登指数,从而确定最佳阈值,进而进行临床效度分析,包括敏感度、特异度、阳性预测值、阴性预测值和准确性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

25 个 ccRCC 原发灶的 VOI 勾画完成后,云平台计算并自动生成 1029 个影像组学参数,包括基于特征类的参数 93 个和经过滤波变换生成的参数 936 个。本研究只选择基于特征类的 93 个参数进行统计分析,可分为 3 类:①一阶统计量(first-order statistics)特征 19 个;②形状(shape)特征 15 个;③纹理(texture)特征 59 个,又分为灰度共生矩阵(grey level co-occurrence matrix, GLCM)特征 27 个、灰度游程矩阵(grey

level run length matrix, GLRLM) 特征 16 个和灰度区域大小矩阵 (grey level size zone matrix, GLSZM) 特征 16 个。

Mann-Whitney U 检验结果显示 (表 1), 三组 ccRCC 原发灶的 93 个特征类参数中差异有统计学意义的参数有 12 个, 其中 8 个参数的 $P < 0.01$ 。

进一步进行二分类变量的两两比较, 结果见表 2。肺转移组与非肺转移组间 19 个特征参数的差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 骨转移组与非骨转移组间 14 个特征参数的差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 而淋巴结转移与非淋巴结转移组间未见差异有统计学意义的特征参数。

对组间比较差异有统计学意义的 33 个特征参数进行 ROC 曲线分析, 计算 AUC, 结果见表 3。在肺转移组与非肺转移组间比较差异显著的 19 个特征参数中, 以表面积 (surface area) 的 AUC 值最大 (图 2a), 为 0.881 ± 0.080 (95% CI 为 $0.689 \sim 0.975$), 其最大约登指数为 0.833, 相应最佳诊断阈值为 17386.5293。

当表面积小于阈值时考虑为肺转移, 大于阈值时考虑为非肺转移。其临床诊断效能如下: 敏感度 100.0% (7/7), 特异度 83.3% (15/18), 阳性预测值 70.0% (7/10), 阴性预测值 100.0% (15/15), 诊断符合率 90.0% (22/25)。

在骨转移组与非骨转移组间差异有统计学意义的 14 个特征参数中, 灰度不均匀性 (gray level non uniformity) 的 AUC 值最大 (图 2b), 为 0.875 ± 0.070 (95% CI $0.682 \sim 0.972$), 最大约登指数为 0.701, 相应最佳诊断阈值为 146.5024; 其临床诊断效能如下: 敏感度 88.9% (6/7), 特异度 81.3% (15/18), 阳性预测值 72.7% (6/9), 阴性预测值 92.9% (15/16), 诊断符合率 84.0% (21/25)。

讨 论

RCC 是肾脏最常见的恶性肿瘤, 约占所有新发癌症病例的 4%。约有 20% 的 RCC 患者在就诊时即已发生转移, 而确诊 RCC 后有大于 50% 的患者进展为

表 1 三组间有显著差异的影像组学参数

分类	纹理参数(χ^2 值, P 值)
一阶统计量特征	最小值 (minimum) (8.532, 0.014)
形状特征	体积 (volume) (11.424, 0.003), 表面积 (surface area) (11.656, 0.003), 表面体积比 (surface volume ratio) (11.034, 0.004), 最大 2D 直径行 (maximum 2D diameter row) (7.092, 0.029), 椭圆长轴 (major axis) (8.034, 0.018), 椭圆短轴 (minor axis) (11.034, 0.004), 最小轴 (least axis) (9.314, 0.009)
灰度游程矩阵	灰度不均匀性 (gray level non uniformity) (11.424, 0.003), 游程不均匀性 (run length non uniformity) (11.443, 0.003)
灰度区域大小矩阵	灰度不均匀性 (gray level non uniformity) (11.693, 0.003), 区域大小不均匀性 (size zone non uniformity) (8.423, 0.015)

表 2 肺转移与非肺转移组、骨转移与非骨转移组间有显著差异的影像组学参数

分类	纹理参数(Z 值, P 值)
肺转移 vs 非肺转移	
一阶统计量特征	最小值 (minimum) (-2.554, 0.011)
形状特征	体积 (volume) (-2.845, 0.004), 表面积 (surface area) (-2.905, 0.004), 表面体积比 (surface volume ratio) (-2.663, 0.008), 球面 (sphericity) (-2.300, 0.021), 紧密度 1 (compactness1) (-2.300, 0.021), 紧密度 2 (compactness2) (-2.300, 0.021), 球面歧化 (spherical disproportion) (-2.300, 0.021), 最大 2D 直径列 (maximum 2D diameter column) (-2.118, 0.034), 最大 2D 直径行 (maximum 2D diameter row) (-2.239, 0.025), 椭圆长轴 (major axis) (-2.360, 0.018), 椭圆短轴 (minor axis) (-2.663, 0.008), 最小轴 (least axis) (-2.724, 0.006)
灰度游程矩阵	灰度不均匀性 (gray level non uniformity) (-2.845, 0.004), 游程不均匀性 (run length non uniformity) (-2.784, 0.005)
灰度区域大小矩阵	大面积强调 (large area emphasis) (-2.058, 0.004), 灰度不均匀性 (gray level non uniformity) (-2.784, 0.005), 区域大小不均匀性 (size zone non uniformity) (-2.481, 0.013), 区域方差 (zone variance) (-2.058, 0.04)
骨转移 vs 非骨转移	
一阶统计量特征	能量 (energy) (-2.151, 0.031), 总能量 (total energy) (-2.038, 0.042), 最小值 (minimum) (-2.447, 0.014)
形状特征	体积 (volume) (-2.944, 0.003), 表面积 (surface area) (-2.944, 0.003), 表面体积比 (surface volume ratio) (-3.001, 0.003), 最大 2D 直径行 (maximum 2D diameter row) (-2.321, 0.02), 椭圆长轴 (major axis) (-2.491, 0.013), 椭圆短轴 (minor axis) (-3.001, 0.003), 最小轴 (least axis) (-2.491, 0.013)
灰度游程矩阵	灰度不均匀性 (gray level non uniformity) (-2.944, 0.003), 游程不均匀性 (run length non uniformity) (-3.001, 0.003)
灰度区域大小矩阵	灰度不均匀性 (gray level non uniformity) (-3.057, 0.002), 区域大小不均匀性 (size zone non uniformity) (-2.491, 0.013)

表 3 肺转移与非肺转移组、骨转移与非骨转移组间比较 AUC 值最大的纹理参数的诊断效能

组间比较	纹理参数	分类	AUC	阈值	约登指数	敏感度 (%)	特异度 (%)	阳性预测值 (%)	阴性预测值 (%)	符合率 (%)
肺转移 vs 非肺转移	表面积	形状特征	0.881±0.080 (95% CI:0.689~0.975)	17386.5293	0.833	100.0	83.3	70.0	100.0	90.0
骨转移 vs 非骨转移	灰度不均匀性	GLSZM	0.875±0.070 (95% CI:0.682~0.972)	146.5024	0.701	88.9	81.3	72.7	92.9	84.0

转移性肾癌^[5]。近年来,基于对 RCC 转移机制的不断探索以及分子靶向治疗在 RCC 患者中的应用,单纯反映肿瘤位置、形态及大小等形态学特征的医学影像学检查手段已无法满足临床需要。哪些患者可能发生转移?哪些潜在转移部位需要重点监测?哪些患者对分子靶向治疗疗效更好?这些关键问题对现有的影像学手段提出了很大挑战。目前,MRI 以其高软组织分辨力、无电离辐射损伤、可提供多参数功能成像等优势,在 RCC 的诊断、治疗、随访监测及疗效评估等方面发挥了重要作用^[6]。本研究尝试结合 T₂ 加权成像及纹理分析方法来探讨发生不同部位转移的 ccRCC 原发灶的影像特征之间是否存在差异,以期探索一种能够超前预测 RCC 潜在转移部位的方法,为 RCC 患者的临床管理提供更多帮助。

MR T₂ WI 借助组织间 T₂ 值差异,不仅可以清晰显示病变的形态,而且可以反映病变组织的病理学特征,不过以往对图像的分析多依赖放射科医师的主观判断,能够提取的图像信息有限。图像纹理分析技术能够自动提取和分析医学影像的图像特征,获取大量的量化指标,如灰度分布、体素间空间关系以及纹理不均质性等,这些指标可更加准确的反映肿瘤内部的异质性^[7]。异质性作为恶性肿瘤的重要特征之一,与肿瘤的恶性生物学行为有关^[8],能够反映相关生长因子和血管生成因子的变化以及肿瘤微环境的变化,而这些变化可导致肿瘤局部区域发生细胞增殖或凋亡、代谢活动和血管生成增加或减少等^[9],血管生成的异质

性也可能导致局部有效血流灌注减少,导致该区域乏氧,形成高间质静水压和酸中毒的独特肿瘤微环境,最终增加侵袭和转移的风险^[10]。Zhou 等^[11]利用基于 CT 平扫图像的影像组学特征对肺癌远处转移进行预测,结果显示肺癌原发灶的 4 个特征在已发生远处转移组与未发生远处转移组间的差异有显著统计学意义,结合 3 个临床指标(性别、T 和 N 分期)后利用机器学习方法建立的预测模型有助于早期预测肺癌远处转移。Huang 等^[12]对结直肠癌原发灶的门脉期增强 CT 图像组学特征进行分析,发现有区域淋巴结转移与无区域淋巴结转移的肿瘤之间差异有统计学意义的特征参数有 24 个,将其与患者血液癌胚抗原(CEA)水平及 CT 图像提示的淋巴结状态结合,建立影像组学列线图,可作为结直肠癌患者术前预测淋巴结转移的有效手段。

目前有关 RCC 放射组学的研究多是基于肿瘤病灶的组学特征进行早期疗效评估及病理分型和分级诊断^[7,13-16],部分研究探讨了 RCC 基因表型与影像特征之间的联系^[17],这些研究均显示出影像组学在 RCC 患者的临床管理中有巨大潜力。有文献报道,发生不同部位转移的 RCC 癌症相关生存期、手术及分子靶向治疗疗效存在差异^[18-19]。本项研究尝试通过基于 T₂ 加权图像的纹理分析方法探讨不同转移部位的 ccRCC 原发灶的影像组学特征之间是否存在统计学差异。研究选取肾脏肿瘤中发病率最高、最易发生转移的 ccRCC 作为研究对象,并根据 RCC 流行病学特

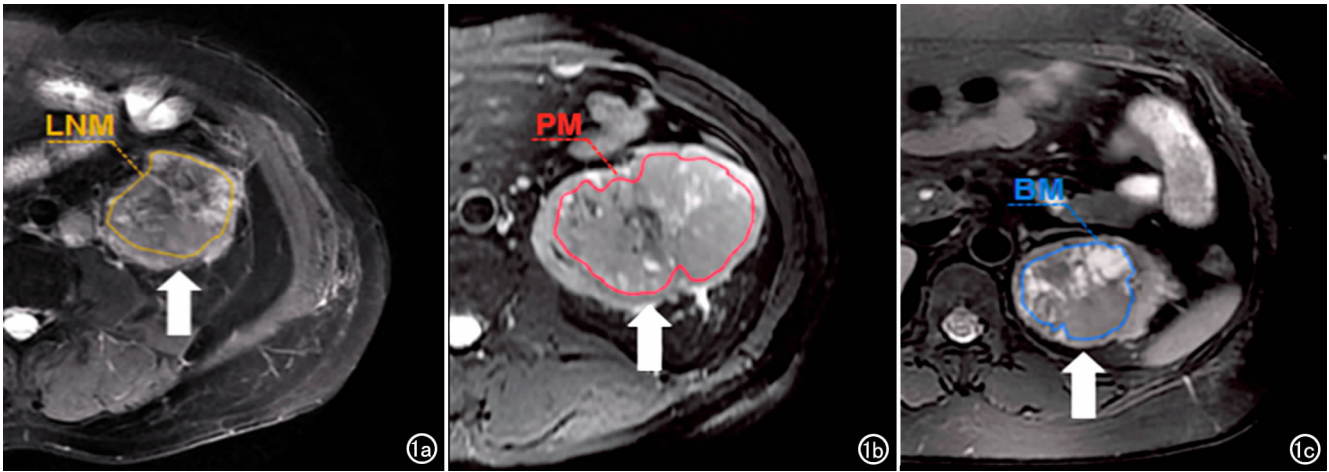


图 1 对发生不同部位转移的 ccRCC 原发灶在 T₂ WI 上勾画感兴趣区。a) 区域淋巴结转移; b) 肺转移; c) 骨转移。

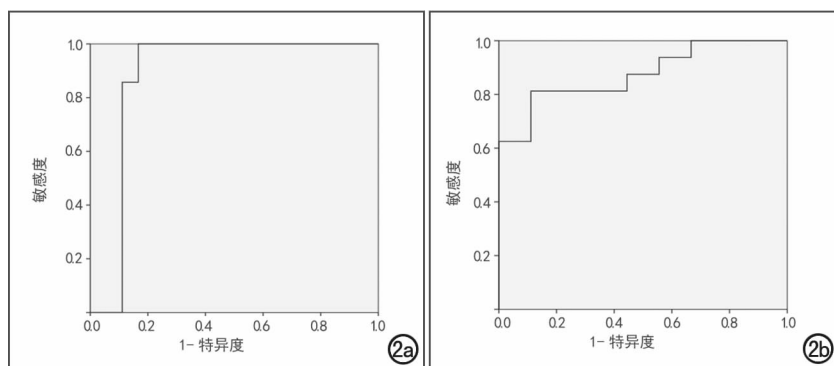


图 2 ROC 曲线。a) 组学特征参数中表面积鉴别肺转移与非肺转移 ccRCC 的诊断效能最高, $AUC=0.881 \pm 0.080$; b) 组学特征参数中灰度水平不均匀性在鉴别骨转移与非骨转移 ccRCC 的诊断效能最高, $AUC=0.875 \pm 0.070$ 。

征,分别选择临床最常见的 3 个转移部位(肺转移、骨转移及区域淋巴结转移)纳入研究^[20],结果提示 ccRCC 原发灶的 T_2 加权图像特征参数在发生不同部位转移的患者之间存在差异。其中有 19 个特征参数在肺转移与非肺转移组间的差异有统计学意义($P < 0.05$),主要包括 First-order statistics 特征 1 个、shape 特征 12 个、GLRLM 2 个及 GLSZM 4 个,其中 shape 特征中表面积的 AUC 值最大,该参数通过三角测量计算得到(即将感兴趣容积划分为相互连接的无数个三角形并求和)^[21],反映 VOI 的表面积。另外,发生骨转移与非骨转移的 ccRCC 原发灶之间有统计学差异的特征参数有 14 个($P < 0.05$),主要包括 First-order statistics 特征 3 个、shape 特征 7 个、GLRLM 2 个及 GLSZM 2 个,其中 GLSZM 中 Gray level non uniformity 的 AUC 值最大,该参数用于反映整个 VOI 灰度水平的相似性^[21]。本次研究证实发生不同部位转移的 ccRCC 原发灶之间存在有显著统计学差异的影像组学特征($P < 0.05$),可为早期预测 RCC 潜在转移部位提供依据。

本研究为影像组学方法应用于 RCC 转移部位预测的初步探索性研究,为避免组间混杂因素干扰,未将发生多个部位转移的 ccRCC 患者纳入研究。Abdel-Rahman 等^[18]回顾分析美国国家癌症中心监测、流行病学和最终结局(SEER)数据库的 5992 个转移性肾癌患者的临床资料后发现,RCC 发生肺转移多见于 70 岁以下的男性患者,男性患者也好发骨转移。而本文在肺转移与非肺转移、骨转移与非骨转移病例之间均未发现性别与年龄有明显的组间差异,原因可能是样本量较小所致,此外还应考虑随着年龄的增长发生多个部位转移相较于发生单一部位转移的比例逐渐减少^[22]。而本文仅纳入发生单一部位转移的 ccRCC 病例,无法真实反映各转移部位的年龄分布情况。尽管

多篇文献指出伴有区域淋巴结转移常提示转移性肾癌的预后不良^[18,23],但本次研究中并未发现可靠的影像组学特征能够有效区分是否发生区域淋巴结转移的肾透明细胞癌,接下来还需扩大样本量进一步研究探讨。

本研究还存在一些不足,包括未纳入其他更多部位转移的病例,且未在同一台 3.0T MR 机上完成扫描,接下来还需固定扫描设备,将更多 ccRCC 病例、更多临床数据、更多扫描序列共同纳入研究,为 RCC 潜在转移部位的预测构建影像组学模型。此外,在勾画 VOI 的过程中,部分肿块边界不清,影响勾画范围的准确性,造成极少部分肿块纹理信息

存在偏差。

总之,本次研究证实了发生不同部位转移(肺、骨、区域淋巴结)的 ccRCC 原发灶基于 T_2 加权图像的影像组学特征之间存在统计学差异,后续还需进一步探讨未发生转移的 ccRCC 原发灶的组学特征是否有助于预测其潜在转移部位,并结合临床及病理数据构建影像组学模型,以为患者提供有效、安全、简便、经济的复查方法,为 ccRCC 的临床随访监测、早期干预提供指导。

参考文献:

- [1] Jemal A, Bray F, Center MM, et al. Global cancer statistics[J]. CA, 2011, 61(2): 69-90.
- [2] Bukowski RM. Natural history and therapy of metastatic renal cell carcinoma: the role of interleukin-2[J]. Cancer, 1997, 80(7): 1198-1220.
- [3] Shinagare AB, Krajewski KM, Braschi-Amirfarzan M, et al. Advanced renal cell carcinoma: role of the radiologist in the era of precision medicine[J]. Radiology, 2017, 284(2): 333-351.
- [4] Tixier F, Le Rest CC, Hatt M, et al. Intratumor heterogeneity characterized by textural features on baseline ^{18}F -FDG PET images predicts response to concomitant radiochemotherapy in esophageal cancer[J]. J Nucl Med, 2011, 52(3): 369-378.
- [5] Di Fabio F, Pinto C, Rojas Llimpe FL, et al. The predictive value of ^{18}F -FDG-PET early evaluation in patients with metastatic gastric adenocarcinoma treated with chemotherapy plus cetuximab[J]. Gastric Cancer, 2007, 10(4): 221-227.
- [6] 唐磊,薛华丹,金征宇. 腹部肿瘤靶向治疗的影像学评价: 现状与展望[J]. 协和医学杂志, 2017, 8(1): 82-89.
- [7] 陈瑾,王海屹,叶慧义. 纹理分析在肿瘤影像学中的研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(2): 979-982.
- [8] Gerlinger M, Rowan AJ, Horswell S, et al. Intratumor heterogeneity and branched evolution revealed by multiregion sequencing[J]. New Engl J Med, 2012, 366(10): 883-892.
- [9] Rolland Y, Bezy-Wendling J, Gustin H, et al. Texture analysis in medical imaging: a review of literature[J]. Annales De Radiolo-

gie,1995,38(6):315-347.

[10] 刘慧,王小宜,龙学颖. 基于 CT 图像纹理分析肿瘤异质性的研究进展及应用[J]. 国际医学放射学杂志,2016,39(5):543-548.

[11] Zhou H,Dong D,Chen B,et al. Diagnosis of distant metastasis of lung cancer;based on clinical and radiomic features[J]. Transl Oncol,2018,11(1):31-36.

[12] Huang YQ,Liang CH,He L,et al. Development and validation of a radiomics nomogram for preoperative prediction of lymph node metastasis in colorectal cancer[J]. J Clin Oncol,2016,34(18):2157-2164.

[13] Goh V,Ganeshan B,Nathan P,et al. Assessment of response to tyrosine kinase inhibitors in metastatic renal cell cancer;CT texture as a predictive biomarker[J]. Radiology,2011,261(1):165-171.

[14] Kickingereeder P,Gotz M,Muschelli J,et al. Large-scale radiomic profiling of recurrent glioblastoma identifies an imaging predictor for stratifying anti-angiogenic treatment response[J]. Clin Cancer Res,2016,22(23):5765-5771.

[15] Antunes J,Viswanath S,Rusu M,et al. Radiomics analysis on FLT-PET/MRI for characterization of early treatment response in renal cell carcinoma: a proof-of-concept study[J]. Transl Oncol,2016,9(2):155-162.

[16] Ding J,Xing Z,Jiang Z,et al. CT-based radiomic model predicts high grade of clear cell renal cell carcinoma[J]. Eur J Radiol,2018,103(2018):51-56.

[17] Karlo CA,Di Paolo PL,Chaim J,et al. Radiogenomics of clear cell renal cell carcinoma: associations between CT imaging features and mutations[J]. Radiology,2014,270(2):464-471.

[18] Abdel-Rahman O. Clinical correlates and prognostic value of different metastatic sites in metastatic renal cell carcinoma[J]. Future Oncol,2017,13(22):1967-1980.

[19] 顾伟杰,施国海,常坤,等. 肾细胞癌肝、骨转移对舒尼替尼靶向治疗患者的预后影响[J]. 临床泌尿外科杂志,2015,(6):485-488.

[20] Brufau BP,Cerqueda CS,Villalba LB,et al. Metastatic renal cell carcinoma: radiologic findings and assessment of response to targeted antiangiogenic therapy by using multidetector CT[J]. Radiographics,2013,33(6):1691-1716.

[21] Tian J,Dong D,Liu Z,et al. Radiomics in medical imaging: detection,extraction and segmentation[D/OL]. Artificial intelligence in decision support systems for diagnosis in medical imaging. Intelligent Systems Reference Library,2018,140(eds):267-333.

[22] Bianchi M,Sun M,Jeldres C,et al. Distribution of metastatic sites in renal cell carcinoma;a population-based analysis[J]. Ann Oncol,2012,23(4):973-980.

[23] Kroeger N,Pantuck AJ,Wells JC,et al. Characterizing the impact of lymph node metastases on the survival outcome for metastatic renal cell carcinoma patients treated with targeted therapies[J]. Eur Urol,2015,68(3):506-515.

(收稿日期:2018-06-30 修回日期:2018-07-20)

下期要目

磁共振扩散加权成像在儿童髓母细胞瘤诊断中的价值
局部进展期直肠癌纹理分析的可重复性研究
3.0T 前列腺体素内不相干运动 DWI 的 b 值优化研究
MSCT 在肾动静脉畸形诊断中的应用价值
CT 能谱成像在肝细胞肝癌与肝血管瘤鉴别诊断中的价值
椎动脉双点智能追踪法头颅 CTA 的应用价值

磁共振多序列成像在子宫内膜癌肌层浸润中的诊断价值
粒子植入近距离放射治疗与外放射治疗对局限性前列腺癌疗效比较的 Meta 分析
DTI 在布氏杆菌性脊柱炎中的诊断价值及其相关参数与血清凝集试验滴度的相关性
T₂-mapping 评估成人腰椎骨髓含水量与年龄、性别的相关性
单侧突发感音神经性耳聋患者内在脑活动改变的 rs-fMRI 研究