

# 肾脏乏脂肪血管平滑肌脂肪瘤与肾细胞癌的影像学鉴别诊断进展

张茜茜<sup>1</sup>, 马盼盼<sup>1</sup>, 商 静<sup>1</sup>, 陈怡萱<sup>2</sup>, 穆 靛<sup>1</sup>, 彭建美<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>陕西省人民医院超声科, 陕西 西安

<sup>2</sup>延安大学延安医学院, 陕西 延安

收稿日期: 2026年6月24日; 录用日期: 2026年7月18日; 发布日期: 2026年7月28日

## 摘 要

随着影像检查技术的普及, 肾脏肿瘤检出率显著增高, 其中乏脂肪肾血管平滑肌脂肪瘤(renal angiomyolipoma, fpRAML)与肾细胞癌(Renal cell carcinoma, RCC)影像表现重叠度高, 术前鉴别难度大。常规影像学检查及穿刺活检存在诊断效能有限、取样不足、亚型鉴别困难、存在并发症等缺陷, 致使部分良性fpRAML患者接受不必要的手术治疗。为进一步明确两类肿瘤的无创鉴别诊断方法、优化临床诊疗策略, 本文系统梳理国内外相关研究进展, 围绕CT、MRI、超声影像学技术, 结合血清学指标及临床基线特征, 总结各类检查手段在fpRAML与RCC鉴别诊断中的应用价值与局限性。现有研究显示, CT可通过病灶形态征象、定量参数、血管分布模式、纹理分析、动态强化特征等初步鉴别; MRI凭借化学位移成像、信号衰减特征及动态强化参数, 在鉴别fpRAML与RCC方面有一定的价值; 超声及超声造影凭借便捷、无创优势适用于临床初筛, 病灶特征性高回声征、超声造影特征具备良好鉴别价值。与此同时, 基于影像组学与深度学习的人工智能分析技术也为无创诊断提供了新路径, 但仍存在模型泛化能力不足等现实局限。单一影像学技术存在固有局限, 而融合影像学定量指标、血清碱性磷酸酶水平及性别、年龄等临床特征的多维度联合诊断模型, 可显著提升鉴别诊断准确率, 临床应用前景显著。

## 关键词

乏脂肪肾血管平滑肌脂肪瘤, 肾细胞癌, 影像学鉴别诊断

## Research Progress in Imaging Differential Diagnosis of Fat-Poor Renal Angiomyolipoma and Renal Cell Carcinoma

Xixi Zhang<sup>1</sup>, Panpan Ma<sup>1</sup>, Jing Shang<sup>1</sup>, Yixuan Chen<sup>2</sup>, Liang Mu<sup>1</sup>, Jianmei Peng<sup>1\*</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 张茜茜, 马盼盼, 商静, 陈怡萱, 穆靛, 彭建美. 肾脏乏脂肪血管平滑肌脂肪瘤与肾细胞癌的影像学鉴别诊断进展[J]. 临床医学进展, 2026, 16(7): 2244-2253. DOI: 10.12677/acm.2026.1672754

<sup>1</sup>Department of Ultrasound, Shaanxi Provincial People's Hospital, Xi'an Shaanxi<sup>2</sup>Yan'an Medical College of Yan'an University, Yan'an Shaanxi

Received: June 24, 2026; accepted: July 18, 2026; published: July 28, 2026

## Abstract

With the popularization of imaging techniques, the detection rate of renal tumors has increased markedly. Fat-poor renal angiomyolipoma (fpRAML) and renal cell carcinoma (RCC) exhibit highly overlapping imaging features, resulting in great difficulties in preoperative differential diagnosis. Conventional imaging examinations and percutaneous biopsy are limited by insufficient diagnostic efficiency, inadequate sampling of small lesions, difficulty in distinguishing tumor subtypes, and potential complications, which may lead to unnecessary surgical resection in patients with benign fpRAML. To further explore noninvasive differential diagnostic approaches and optimize clinical management strategies, this article systematically reviews recent domestic and international research progress. We summarize the application value and limitations of computed tomography, magnetic resonance imaging, and ultrasound, as well as serological biomarkers and clinical baseline features in differentiating fpRAML from RCC. Current studies have demonstrated that CT can provide preliminary differential diagnosis based on lesion morphological signs, quantitative parameters, vascular distribution patterns, texture features, and dynamic enhancement characteristics. MRI, characterized by chemical shift imaging, signal attenuation manifestations and dynamic enhancement parameters, has favorable value for distinguishing fpRAML from RCC. Conventional ultrasound and contrast-enhanced ultrasound are suitable for preliminary clinical screening due to their convenience and noninvasiveness, and characteristic hyperechoic signs and contrast-enhanced patterns show good differential efficacy. Meanwhile, artificial intelligence analytical techniques based on radiomics and deep learning have offered new avenues for noninvasive diagnosis, yet they still suffer from practical limitations such as insufficient model generalization ability. Single imaging modality has inherent diagnostic limitations. In contrast, the multidimensional combined model that integrates quantitative imaging parameters, serum alkaline phosphatase levels, and clinical indicators including gender and age can significantly improve diagnostic accuracy, holding great promise for prospective clinical application.

## Keywords

Fat-Poor Renal Angiomyolipoma, Renal Cell Carcinoma, Imaging Differential Diagnosis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

## 1. 引言

影像检查技术的广泛应用使得肾脏肿瘤的发病率逐年升高。CT 图像中能够检测到肉眼可见的脂肪成分的肾脏实性肿瘤，可以确定地诊断为肾血管平滑肌脂肪瘤(renal angiomyolipoma, RAML)。但是，对于在 CT 上无肉眼可见脂肪成分、可增强的肾脏实性肿瘤，特别是肾脏实性小肿瘤，常规的影像学检查手段，甚至是穿刺活检难以对其进行诊断。血管平滑肌脂肪瘤是最常见的肾脏良性肿瘤，女性发病比例更高，该肿瘤由脂肪、平滑肌及发育异常的血管按不同比例混合构成。约 5%的血管平滑肌脂肪瘤在 CT、MRI 影像学上无法显示肉眼可识别的脂肪组织，这类病灶被称为乏脂肪血管平滑肌脂肪瘤(fat-poor renal

angiomyolipoma, fpRAML) [1]。肾细胞癌(Renal cell carcinoma, RCC)是最常见的肾脏恶性肿瘤,手术切除的肾脏乏脂肪实性肿瘤中,70%~80%是 RCC, RCC 有三种亚型:透明细胞 RCC (clear cell RCC, ccRCC)、乳头状 RCC (papillary RCC, pRCC)、嫌色细胞癌(chromophobe RCC, chRCC);其中, ccRCC 侵袭性最高, chRCC 侵袭性最低, pRCC 介于二者中间[2]。乏脂肪、可增强的肾脏实性肿瘤通常是可疑恶性的,所以传统上难诊断的肾脏乏脂肪实性小肿瘤常采取手术切除的方式,但是研究表明,20%~30%被切除的肾脏乏脂肪实性小肿瘤病理证实为良性,良性肿瘤中 50%为 fpRAML,这些肿瘤接受了不必要的手术治疗[3]。

对于实性肾肿瘤的组织病理学诊断,经皮穿刺活检被认为是安全有用的工具,但是穿刺活检的灵敏度随着肿瘤体积的减小而下降,对于小肿瘤,组织样本量不足是穿刺活检的缺点。有研究表明穿刺活检对小于 3 cm 的肾脏肿瘤的诊断灵敏度和阴性预测值分别是 84%和 60% [4]。此外,活检可以导致出血、肿瘤种植、麻醉风险等并发症及住院治疗。活检对某些肿瘤亚型的鉴别诊断是困难的,比如,具有共同细胞起源和相似组织特征的 chRCC 和嗜酸性粒细胞腺瘤,含有肉瘤成分的 RCC 与含有纺锤体细胞成分的 RAML,都难以通过穿刺活检来鉴别[5]。fpRAML 穿刺标本常仅能给出描述性病理结论(如梭形细胞肿瘤),难以明确确诊,因此大量 fpRAML 患者在接受非必需的肾脏全切术后,依靠术后大体病理才最终确诊[6]。

在临床实践中,肾脏肿瘤的良好鉴别关系到患者的预后及治疗方案的选择,特别是当肿瘤比较小、或者对于病人情况不适合手术的时候,临床方案可从手术(部分或者全切)、消融治疗(冷冻消融或者射频消融术)、血管内介入治疗、或者动态监测中选择最优治疗方法[7]。由此,通过发掘具备临床应用价值的影像学特征以鉴别 fpRAML 与 RCC,筛选出适合随访观察或术前穿刺活检、无需即刻手术切除的患者,从而避免良性病人接受不必要的手术,也辅助临床医师根据病人情况选择最合适的治疗方案。我们回顾了关于超声、CT 及 MRI 技术对于 RCC 及 fpRAML 鉴别诊断的研究,对研究进展进行综述。

## 2. CT 技术鉴别 fpRAML 与 RCC

近十余年来,关于 CT 成像技术在 fpRAML 与 RCC 鉴别诊断方面的研究不断涌现,内容涵盖肿瘤形态学特征、肿瘤血管特征、CT 值与增强特征、纹理分析等。

肿瘤形态学特征方面,Yang 等[8]回顾性分析了 33 例 fpRAML 与 102 例 RCC 病例的肾脏三期 CT 扫描图像,发现四项独立影像学指标,分别是病灶边缘成角征、平扫期低密度环征、密度均匀性、平扫 CT 值 > 38.5 HU,这些特征可作为 fpRAML 的诊断征象,与 RCC 进行鉴别。病灶边缘成角征本质上源于 fpRAML 质地柔软、良性膨胀性生长推挤肾实质形成锥形交界;而 RCC 细胞异型增殖、侵袭浸润,边缘分叶毛刺,难以形成成角界面[8]。Schieda 等[9]的研究分析 16 例 fpRAML 与 48 例 RCC 平扫 CT 图像却发现,低密度环征在两类病变中检出率无统计学差异、且观察者间一致性一般,不适合用于二者的鉴别;病理上 fpRAML 不存在边缘脂肪沉积,低密度环只是高密度肿块与正常肾皮质天然密度差,并非病灶边缘脂肪,因此良恶性均可出现该征象。Schieda 等[9]的研究还发现并存典型血管平滑肌脂肪瘤和病灶无钙化可辅助提示 fpRAML;尽管 fpRAML 的平扫 CT 值密度高于 RCC,但二者 CT 值存在重叠,单独依靠密度指标诊断价值有限。Ogawa 等[10]的研究纳入 342 例接受肾脏肿瘤切除术患者的增强 CT 图像,分析了早期皮质暗带征(early dark cortical band, EDCB),表现为皮髓质期肿瘤与肾皮质交界区的细线状无强化影,其研究发现 61.8%的 ccRCC 会出现 EDCB 征象,该征象鉴别 ccRCC 与 fpRAML 的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值依次为 61.8%、100%、100%、14.9%,因其极高的特异度与阳性预测值,EDCB 可作为区分两类病变的预测指标。EDCB 病理上最可能对应 ccRCC 瘤周纤维假包膜,纤维间质微血管密度极低,在皮髓质增强早期缺乏造影剂灌注,形成肿瘤与肾皮质交界的细线状无强化暗带[10]。Kim 等[11]的研究纳入 602 例最大直径 < 4 cm、增强 CT 无肉眼可见脂肪的肾脏病灶患者(49 例 fpRAML、553

例 RCC), 发现啤酒溢出征、病灶边缘成角征两项形态学特征均为小 fpRAML 的独立预测指标, 单独边缘成角征、单独啤酒溢出征、二者联合构建的预测模型 AUC 依次为 0.871、0.943、0.949, 证明啤酒溢出征具备作为 fpRAML 特异性影像标志物的潜力。啤酒溢出征的病理学基础是血管平滑肌脂肪瘤质地比肾细胞癌更柔软, 病灶外周常无纤维包膜约束, 因此更容易被邻近肾实质、肾包膜等组织挤压、塑形, 进而形成特征性膨隆形态[11]。然而, 由于不同研究间评估标准不统一, 且这些指标均为定性描述, 其临床应用受到一定限制。

Kang 等[12]的回顾性研究分析了 257 例直径  $< 4\text{ cm}$  的肾脏乏脂肪实性肿瘤图像, 包括 231 例 RCC 及 26 例 fpRAML, 于增强 CT 横断面上勾勒病灶轮廓, 并通过公式  $4 \times \pi \times (\text{面积} \div \text{周长})$  计算出肿瘤的圆形指数(Circularity Index), fpRAML 的圆形指数显著低于 RCC, 圆形指数鉴别二者的曲线下面积高达 0.924, 而且该指数  $\leq 0.9$  是鉴别 fpRAML 的独立预测因素(灵敏度 88.5%、特异度 90.9%)。病理学上, 肾血管平滑肌脂肪瘤无纤维包膜约束, 受周围肾组织不均匀挤压, 易呈不规则外形, 因此圆形指数更低; 而 RCC 周围存在肿瘤诱导的纤维假包膜, 限制肿瘤膨出, 形态多规整, 因此圆形指数更高。Song 等[13]的研究分析了 35 例 fpRAML 与 177 例 RCC 病例的增强 CT 影像, 对比两组病灶多项形态学指标: 边缘成角征、啤酒溢出征、圆形指数、内外圆面积比值(internal-to-external circle area ratio), 发现内外圆面积比可作为一种简单实用的定量形态学指标用于 fpRAML 与 RCC 的鉴别, 此外该研究还发现, 在定性指标的基础上分别纳入圆形指数、内外圆面积比值这些定量指标, 均可以提升鉴别两类病灶预测模型的整体诊断效能。

关于肿瘤的血管特征, Bagheri 等[14]的研究回顾性分析了 12 例 fpRAML 与 36 例 ccRCC 病例的增强 CT 图像, 这些纳入的病例于肾脏增强 CT 横断面上均可见内径  $> 2\text{ mm}$  的粗大血管, 通过对两类病灶的粗大血管进行对比分析发现, 所有 fpRAML 的粗大血管均为瘤内血管, 而 ccRCC 的粗大血管均为瘤周血管, 因此该研究认为评估增强 CT 肿瘤血管模式可为 fpRAML 与 ccRCC 的鉴别诊断提供重要参考。Yanagi 等[15]通过对直径  $< 4\text{ cm}$  的 130 例肾脏小占位患者(123 例 RCC, 7 例 fpRAML)的增强 CT 图像进行回顾性分析, 评估肿瘤的侧枝血管, 侧枝血管定义为增强 CT 图像中起源于肾周、走行并连接至肿瘤的任意血管, 不论血管管径。该研究发现, 侧枝血管诊断 RCC 的灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值分别为 48.5%、45.5%、100%、100%, 因此侧枝血管有助于鉴别 fpRAML 与 RCC; 此外, 该研究还发现侧枝血管可作为提示 RCC 术后易复发的预测指标。

Yang 等[8]的研究发现平扫 CT 值  $> 38.5\text{ HU}$  可作为独立影像学指标辅助 fpRAML 与 RCC 的鉴别。但是 Schieda 等[9]却认为尽管 fpRAML 的平扫 CT 值密度高于 RCC, 但二者 CT 值存在重叠, 单独依靠密度指标诊断价值有限。

既往不少研究应用 CT 纹理分析辅助 fpRAML 与 RCC 的鉴别诊断。Hodgdon 等[16]对平扫 CT 图像开展纹理分析, 结果显示 fpRAML 的病灶均匀度显著高于 RCC, 图像熵值更低。You 等[17]的研究发现, 对  $\leq 4.5\text{ cm}$  肾脏肿瘤开展四期增强 CT 纹理分析, 无论平扫或各增强期相均可有效鉴别 fpRAML 与 ccRCC。虽然 CT 纹理分析可以定量客观地评估肿瘤特征并加以鉴别, 但是需要特定的软件及分析系统。

### 3. MRI 技术鉴别 fpRAML 与 RCC

虽然在影像图像上 fpRAML 内无法观察到肉眼可见的脂肪成分, 但是其内可包含散在分布、镜下可见的脂肪细胞。有研究探索了 MRI 化学位移成像技术(chemical shift MRI, CS-MRI)对于 fpRAML 的诊断价值, 发现 CS-MRI 可以检测到 fpRAML 中的镜下脂肪, 尤其适用于平扫 CT 等密度病灶的鉴别, 特征表现为反相位梯度回波图像信号衰减[18]。但是, 因为约 60% 的 ccRCC 的肿瘤细胞内也含有脂肪成分, 同样也会出现反相位的信号衰减, 所以仅仅通过 CS-MRI 该征象难以诊断 fpRAML [1][19]。但若联合其

他磁共振征象则可显著提升特异度：反相位信号衰减合并 T2 加权像混杂片状高信号，基本可诊断 ccRCC [20]；反之，肾脏实性占位在 T2WI 呈均匀低信号，同时 CS-MRI 可见明显信号衰减，则高度提示 fpRAML [21] [22]。

既往 MRI 研究评估了瘤内出血及含铁血黄素征象，由于含铁血黄素具有顺磁性，在同相位图像上表现为信号衰减，可与瘤内脂肪造成的信号衰减相区分。Childs 等[23]的研究显示，18% ccRCC、42% pRCC 可见同相位信号衰减，而包含 fpRAML 在内的所有良性病灶均无此表现。Murray 等[24]对比 11 例 fpRAML 与 58 例 pRCC 病灶的同相位信号衰减特征，结合主观评估与定量信号衰减指标鉴别 pRCC 的敏感度为 37.9%、特异度高达 100%。

多项研究探索了 fpRAML 在增强 CT 和增强 MRI 中的强化特征，肿瘤强化特征由病灶内血管数量、分布及血供模式决定，由于 fpRAML 所含有的平滑肌和血管成分是不固定的，所以其增强特征也是不固定的。不同的研究结论有所差异，但总体认为，在动脉早期，fpRAML 与 ccRCC 的强化程度相近或者略低，但是明显高于同期相的 pRCC [1] [8] [5] [25]。增强 CT 下，fpRAML 强化均匀度优于 ccRCC [8] [5] [25]。不同的研究关于 fpRAML 的造影剂廓清表现并无一致性[1]。MRI 相关研究同样证明 fpRAML 于动脉早期强化明显[21] [26]。Sasiwimonphan 等[21]提出，采用磁共振动脉期/延迟期强化比值  $> 1.5$  鉴别 fpRAML 与 RCC，灵敏度、特异度、准确率分别可达 67%、92%、89%。

#### 4. 超声影像学鉴别 fpRAML 与 RCC

在常规超声检查中，肾脏低回声占位常被判定为恶性病变，反之，高回声及等回声占位多提示为良性病变。典型的 RAML 由于含有丰富的脂肪，表现为强回声(约等于肾窦脂肪回声)，但是 fpRAML 由于缺乏脂肪成分，在超声下多表现为低回声，导致 fpRAML 与 RCC 的内部回声特征难以区分。Liang 等[27]的回顾性研究纳入 50 枚 fpRAML 及 104 枚 RCC 病例，肿瘤最大直径均  $< 5$  cm，术前均完成常规超声及超声造影检查，通过分析常规超声图像发现 fpRAML 出现病灶内高回声征(星空征、新月征)的概率更高。病灶内高回声征指低回声肾脏占位内部存在高回声成分：当病灶内微量脂肪随机散在分布于肿瘤实质内，点状高回声弥漫分布，可表现为星空征；当肿瘤膨胀性挤压，少量残存脂肪被推挤至病灶单侧边缘，则可呈现新月征，表现为肿瘤边缘局限性弧形高回声[27]。病灶内高回声征鉴别两类肿瘤的 ROC 曲线下面积达 0.88、灵敏度 78%、特异度 97%、阳性预测值 93%、阴性预测值 90%，因此该征象可以作为鉴别 fpRAML 的预测因素[27]。

超声造影技术蓬勃发展，国内外不少研究探讨了超声造影技术在肾脏肿瘤的良恶性鉴别中的应用，本文着重关注超声造影技术对于 fpRAML 与 RCC 的鉴别诊断研究。在这些研究中，肿瘤的超声造影特征通过定性及定量的方式进行分析。定性分析主要包括，肿瘤相对于肾皮质的增强强度(反应肿瘤血供的丰富程度)、均匀度(反应肿瘤血供的分布情况)，增强方式(造影剂的进入及消退方式)等。

Atri 等[4]的前瞻性研究比较了良恶性肾脏实性小肿瘤的超声造影特征，其结果显示，在动脉期，与肾实质相比，呈低血供的肿瘤都是恶性的(主要为 pRCC)；包括 fpRAML 在内的良性肿瘤在动脉期都呈等或高血供。但是，该研究发现其他超声造影特征如肿瘤增强的均匀性、消退特征、假包膜等，并不能鉴别肾脏实性小肿瘤的良恶性[4]。但是，Liang 等[27]的研究纳入了直径  $< 5$  cm 的 fpRAML 及 RCC，其结果表明，肿瘤均匀性强化这一超声造影特征鉴别 fpRAML 与 RCC 的 AUC 为 0.70、灵敏度 96%、特异度 44%、阳性预测值 45%、阴性预测值 96%，因此该研究认为均匀强化指标可作为鉴别 fpRAML 的独立预测指标。Jiang 等[28]的研究也认为，假包膜征、不均匀性增强是肾脏恶性肿瘤的鉴别点，但是其研究并没有对入组的肾肿瘤的大小进行限定。然而，假包膜征及不均匀性增强的特征，均与肿瘤的大小相关。病理学上小型 fpRAML 生长缓慢，内部微血管、平滑肌均匀分布，无缺血坏死、囊变，造影剂均匀灌注。

研究表明, <2 cm 的肾恶性肿瘤很少出现假包膜征, 较大的恶性肿瘤(>4 cm)比小肿瘤出现不均匀增强的可能性更大[29]。

超声造影定量分析通过特定的软件, 可以获得肿瘤在造影过程中的时间-强度曲线及一系列的定量评价参数, 包括峰值强度、达峰时间、造影剂进入、消退速度等客观参数。虽然当前的研究表明 CEUS 的某些定量评价参数在良恶性 fpSSRM 之间的差别是有意义的[4] [30]。但是, 这些参数的数值分布在良恶性 fpSSRM 之间有重叠性, 所以在临床实践中, 定量参数对于鉴别 fpSSRM 的性质仍有一定的局限性。

## 5. 血清学指标及临床特征在肾脏肿瘤的鉴别诊断中的应用

碱性磷酸酶(Alkaline phosphatase, ALP)存在于不同的生物物种中, 在各种重要功能中发挥着关键作用, 例如水解多种含磷酸盐的生理化合物、促进 DNA 合成、骨骼钙化和炎症的衰减[31]。ALP 在癌症进展中的作用具有一定的争议。有学者对血清 ALP 与肾肿瘤的相关性进行研究, 发现肾细胞癌患者中血清 ALP 水平高于良性肾肿瘤患者; 与不伴有骨转移的 RCC 患者相比, 合并骨转移的 RCC 患者血清中 ALP 水平更高[32] [33]。ALP 对血管内皮生长因子(VEGF)和丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)的信号传导有影响[34]。VEGF 是促进 RCC 增长的主要因素之一, MAPK 通路的激活可抑制 RCC 细胞增殖[35] [36]。因此, ALP 可能通过影响 VEGF 的表达或通过抑制 MAPK 通路的信号传导, 来促进 RCC 的增殖或转移。

临床特征方面, 既往的研究发现, 对良性及恶性肾脏肿瘤患者进行比较, 二者在年龄、性别、肿瘤大小方面均有差异, 男性、高龄、肿瘤体积较大者, 肿瘤为恶性的概率更高, 而且性别这一预测因子的鉴别诊断价值较其它两者更高[37] [38]。

Peng 等[33]的研究纳入 32 例 fpRAML 与 133 例 RCC 病例, 肿瘤直径均<4 cm, 结合术前血清 ALP 水平、平扫及动脉早期 CT 定量指标开展多因素回归建模, 结果显示年轻女性、更低的血清 ALP 水平、更高的 CT 平扫值、更低的肿瘤相对强化比值, 为 fpRAML 的特征; 相较于单一血清学或 CT 诊断模型, 融合性别、ALP、平扫 CT 值、相对强化比值四项指标的联合模型诊断效果最优, ROC 曲线下面积高达 0.922。女性患者若 ALP < 70.50 U/L、平扫肿瘤 CT 值 > 35.97 Hu、肿瘤相对强化比值 < 82.66, 病灶判定为 fpRAML 的可能性更高。

## 6. 基于影像学的人工智能(Artificial Intelligence, AI)技术在 fpRAML 与 RCC 鉴别诊断中的应用

CT 是肾脏肿瘤首选影像学检查, 用于鉴别 fpRAML 与 RCC 的 AI 技术分为传统影像组学、多通道卷积深度学习两类, 围绕平扫、皮髓质期、肾实质期、排泄期四期 CT 完成多组建模验证。Yang 等纳入 163 例经病理证实的肾脏小肿瘤(118 例 RCC, 45 例 fpRAML), 提取四期 CT 特征、共构建 224 个分类模型、总计得到 3360 个判别模型, 对比所有模型分类效能, 结果证实平扫 CT 提取影像特征的鉴别效能显著优于其余三期增强图像, SVM (Support Vector Machine)搭配特征筛选模型 AUC 可达 0.90; 其研究结果证明依托平扫 CT 提取影像组学特征, 结合机器学习分类模型即可实现 fpRAML 与 RCC 的精准鉴别[39]。一项纳入 452 例患者的双中心回顾性研究, 构建并验证了一种基于 Xception 架构的多通道 CNN (convolutional neural network)深度学习模型, 用于鉴别 fpRAML 与 RCC, 该模型无需人工提取特征, 输入多层连续平扫 CT 图像可完整捕捉肿瘤三维异质性信息[40]。研究发现, 基于平扫 CT 训练的模型效能显著优于增强 CT 模型; 平扫 CT 联合 7 通道模型整体诊断效能最优, 五折交叉验证 AUC 0.951, 内部验证 AUC 0.966、外部跨中心验证 AUC 0.898, 肿瘤直径  $\geq 40$  mm 时识别精度更高, 此研究是首项完成跨机构外部验证的平扫 CT 深度学习相关研究, 证实其深度学习模型具备跨设备、跨人群稳定鉴别能力[40]。上述基于 CT 的 AI 研究表明: 平扫 CT 构建的 AI 模型整体诊断效能优于增强期图像, 不受肾功能、造影剂干

扰,特征可重复性更高;临床层面仅依靠平扫即可搭建高性能 AI 辅助诊断工具,减少多期增强带来的辐射及对比剂相关风险。但也存在一定的缺点,影像组学需医师手动勾画感兴趣区,耗时且存在观察者差异;而深度学习为黑盒模型,可解释性较差。

MRI 凭借 T2WI (T2-weighted imaging)、ADC (Apparent Diffusion Coefficient)、IVIM (intravoxel incoherent motion)多参数功能成像可获取水分子扩散与微循环灌注信息,相关 AI 模型包括常规 T2WI 组学与 DWI (diffusion-weighted imaging)功能影像分析。Jian 等[41]的研究共纳入 69 例肾脏肿瘤患者(50 例 RCC, 19 例 fpRAML),均行常规 MRI 及 IVIM-DWI 检查,研究评估基于 MRI 的影像组学模型对 fpRAML 与 RCC 的鉴别诊断效能;发现基于血肌酐构建的临床模型 AUC 为 0.802,基于灌注分数 f 构建的 IVIM 定量参数模型 AUC 为 0.692, T2WI 影像组学模型 AUC 为 0.883, IVIM 影像组学模型 AUC 为 0.874,融合两种序列的联合影像组学模型 AUC 为 0.919,临床-影像组学联合模型诊断效能最优、AUC 达 0.931;因此证明临床-影像组学模型可作为无创手段鉴别 fpRAML 与 RCC,为临床诊疗决策提供参考依据。目前 MRI 相关 AI 研究多为单中心小样本队列,缺乏多中心外部验证,加之检查耗时、成本高,其临床应用进展相对落后于 CT 相关 AI 体系。

超声具备无创、无辐射、筛查普及度高等优势,但病灶回声与血流信号重叠度高,单纯肉眼鉴别误差较大。Zhang 等[42]纳入 194 例实性肾脏小肿瘤患者(67 例 fpRAML、127 例 RCC),探讨基于超声图像的深度特征与影像组学特征鉴别小型 fpRAML 与小型 RCC 的诊断效能,基于超声图像分别构建三类 SVM 模型:传统影像组学模型经 LASSO 筛选 7 个最优人工特征,自编码器模型提取并筛选 45 个深层特征,深度-组学融合模型整合两类特征;结果显示融合深度特征与影像组学特征构建的分类模型诊断效能最优,训练集 AUC 达 0.96、独立测试集 AUC 为 0.85,优于单纯影像组学(AUC 为 0.77)与单纯深度特征模型(AUC 为 0.84)。此研究证实,联合超声图像深度特征与影像组学特征鉴别 fpRAML 与 RCC 具备良好的可行性;但超声图像质量受医师操作水平、设备分辨率影响较大,会影响该模型跨中心推广使用时的整体稳定性。

## 7. 总结与展望

当前,各类影像检查技术的普及应用使肾脏肿瘤的临床检出率不断升高,其中乏脂肪实性肾肿瘤的术前鉴别诊断始终是临床影像学与泌尿外科的难点。此类病灶无典型脂肪影像学特征,常规 CT、MRI、超声单一影像手段鉴别效能有限,且临床常用的穿刺活检因肿瘤体积偏小、取样不足、亚型鉴别难度大、存在并发症风险等缺陷,有时难以实现精准诊断,进而导致部分良性 fpRAML 患者接受过度手术治疗,造成医疗资源浪费与患者接受不必要的手术。精准区分 fpRAML 与 RCC、明确肾脏乏脂肪实性肿瘤的良恶性,是术前制定个体化治疗方案、规避不必要手术、改善患者预后的核心关键。梳理近年国内外相关研究可见,单一模态影像仅能获取肿瘤单一维度的特征信息,存在固有诊断局限性,难以实现高效、精准的鉴别诊断。而融合多模态影像学指标,整合临床人口学特征、血清学标志物等多维度信息的联合诊断模型,可有效弥补单一检查手段的不足,显著提升两类肿瘤的鉴别诊断准确率,是现阶段突破临床诊断困境的有效方案。与此同时,人工智能影像组学与深度学习技术的快速发展,可客观提取肉眼难以识别的影像学特征,摆脱传统定性征象主观判读的局限,为 fpRAML 与 RCC 无创鉴别提供了全新技术路径,但是多数人工智能模型仅依托单中心回顾性小样本队列构建,外部多中心、跨设备验证不足,模型泛化能力有待进一步验证。未来,仍需开展大样本、多中心、前瞻性标准化的对照研究,统一各类影像征象的评估标准、量化诊断阈值,进一步优化多模态联合诊断模型的精准度与适用性;同时提升深度学习模型可解释性,完成多中心外部队列验证,推动该类影像评估工具落地临床常规诊疗。

## 基金资助

陕西省人民医院科技人才支持计划 2022JY-22; 陕西省自然科学基金基础研究计划一般项目(青年) 2025JC-YBQN-1234。

## 参考文献

- [1] Sasaguri, K. and Takahashi, N. (2018) CT and MR Imaging for Solid Renal Mass Characterization. *European Journal of Radiology*, **99**, 40-54. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.12.008>
- [2] van Oostenbrugge, T.J., Fütterer, J.J. and Mulders, P.F.A. (2018) Diagnostic Imaging for Solid Renal Tumors: A Pictorial Review. *Kidney Cancer*, **2**, 79-93. <https://doi.org/10.3233/kca-180028>
- [3] Richard, P.O., Jewett, M.A.S., Bhatt, J.R., Kachura, J.R., Evans, A.J., Zlotta, A.R., *et al.* (2015) Renal Tumor Biopsy for Small Renal Masses: A Single-Center 13-Year Experience. *European Urology*, **68**, 1007-1013. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2015.04.004>
- [4] Atri, M., Tabatabaeifar, L., Jang, H., Finelli, A., Moshonov, H. and Jewett, M. (2015) Accuracy of Contrast-Enhanced US for Differentiating Benign from Malignant Solid Small Renal Masses. *Radiology*, **276**, 900-908. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015140907>
- [5] Zhang, J., Lefkowitz, R.A., Ishill, N.M., Wang, L., Moskowitz, C.S., Russo, P., *et al.* (2007) Solid Renal Cortical Tumors: Differentiation with Ct. *Radiology*, **244**, 494-504. <https://doi.org/10.1148/radiol.2442060927>
- [6] Strother, M., Uzzo, R.N., Handorf, E. and Uzzo, R.G. (2023) Distinguishing Lipid-Poor Angiomyolipoma from Renal Carcinoma Using Tumor Shape. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*, **41**, 208.e9-208.e14. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2023.01.008>
- [7] Varghese, B.A., Chen, F., Hwang, D.H., Cen, S.Y., Gill, I.S. and Duddalwar, V.A. (2018) Differentiating Solid, Non-Macroscopic Fat Containing, Enhancing Renal Masses Using Fast Fourier Transform Analysis of Multiphase CT. *The British Journal of Radiology*, **91**, Article 20170789. <https://doi.org/10.1259/bjr.20170789>
- [8] Yang, C.W., Shen, S.H., Chang, Y.H., Chung, H., Wang, J., Lin, A.T., *et al.* (2013) Are There Useful CT Features to Differentiate Renal Cell Carcinoma from Lipid-Poor Renal Angiomyolipoma? *American Journal of Roentgenology*, **201**, 1017-1028. <https://doi.org/10.2214/ajr.12.10204>
- [9] Schieda, N., Hodgdon, T., El-Khodary, M., Flood, T.A. and McInnes, M.D.F. (2014) Unenhanced CT for the Diagnosis of Minimal-Fat Renal Angiomyolipoma. *American Journal of Roentgenology*, **203**, 1236-1241. <https://doi.org/10.2214/ajr.14.12630>
- [10] Ogawa, Y., Morita, S., Takagi, T., Yoshida, K., Tanabe, K., Nagashima, Y., *et al.* (2021) Early Dark Cortical Band Sign on CT for Differentiating Clear Cell Renal Cell Carcinoma from Fat Poor Angiomyolipoma and Detecting Peritumoral Pseudocapsule. *European Radiology*, **31**, 5990-5997. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-07717-z>
- [11] Kim, Y.H., Han, K., Oh, Y.T., Jung, D.C., Cho, N.H. and Park, S.Y. (2017) Morphologic Analysis with Computed Tomography May Help Differentiate Fat-Poor Renal Angiomyolipoma from Renal Cell Carcinoma: A Retrospective Study with 602 Patients. *Abdominal Radiology*, **43**, 647-654. <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1244-y>
- [12] Kang, H.S. and Park, J.J. (2021) Circularity Index on Contrast-Enhanced Computed Tomography Helps Distinguish Fat-Poor Angiomyolipoma from Renal Cell Carcinoma: Retrospective Analyses of Histologically Proven 257 Small Renal Tumors Less than 4 Cm. *Korean Journal of Radiology*, **22**, 735-741. <https://doi.org/10.3348/kjr.2020.0865>
- [13] Song, X., Zhang, W., Li, X., Sun, D., Zhang, Q., Ma, H., *et al.* (2025) Usefulness of the Internal-to-External Circle Area Ratio in Contrast-Enhanced CT to Differentiate Small (< 3 Cm) Fat-Poor Angiomyolipoma from Renal Cell Carcinoma. *BMC Medical Imaging*, **25**, Article No. 236. <https://doi.org/10.1186/s12880-025-01758-2>
- [14] Bagheri, S.M., Khajehasani, F., Fatemi, I. and Ayoubpour, M.R. (2017) Tumoral Vascular Pattern in Renal Cell Carcinoma and Fat-Poor Renal Angiomyolipoma as a Novel Helpful Differentiating Factor on Contrast-Enhanced CT Scan. *Tumor Biology*, **39**, Article 101042831773314. <https://doi.org/10.1177/1010428317733144>
- [15] Yanagi, M., Kiriya, T., Akatsuka, J., Endo, Y., Takeda, H., Katsu, A., *et al.* (2022) Differential Diagnosis and Prognosis of Small Renal Masses: Association with Collateral Vessels Detected Using Contrast-Enhanced Computed Tomography. *BMC Cancer*, **22**, Article No. 856. <https://doi.org/10.1186/s12885-022-09971-w>
- [16] Hodgdon, T., McInnes, M.D.F., Schieda, N., Flood, T.A., Lamb, L. and Thornhill, R.E. (2015) Can Quantitative CT Texture Analysis Be Used to Differentiate Fat-Poor Renal Angiomyolipoma from Renal Cell Carcinoma on Unenhanced CT Images? *Radiology*, **276**, 787-796. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015142215>
- [17] You, M.-., Kim, N. and Choi, H.J. (2019) The Value of Quantitative CT Texture Analysis in Differentiation of Angiomyolipoma without Visible Fat from Clear Cell Renal Cell Carcinoma on Four-Phase Contrast-Enhanced CT Images.

- Clinical Radiology*, **74**, 547-554. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2019.02.018>
- [18] Hakim, S.W., Schieda, N., Hodgdon, T., McInnes, M.D.F., Dilauro, M. and Flood, T.A. (2016) Angiomyolipoma (AML) without Visible Fat: Ultrasound, CT and MR Imaging Features with Pathological Correlation. *European Radiology*, **26**, 592-600. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-3851-8>
- [19] Hindman, N., Ngo, L., Genega, E.M., Melamed, J., Wei, J., Braza, J.M., *et al.* (2012) Angiomyolipoma with Minimal Fat: Can It Be Differentiated from Clear Cell Renal Cell Carcinoma by Using Standard MR Techniques? *Radiology*, **265**, 468-477. <https://doi.org/10.1148/radiol.12112087>
- [20] Campbell, N., Rosenkrantz, A.B. and Pedrosa, I. (2014) MRI Phenotype in Renal Cancer. *Topics in Magnetic Resonance Imaging*, **23**, 95-115. <https://doi.org/10.1097/rmr.000000000000019>
- [21] Sasiwimonphan, K., Takahashi, N., Leibovich, B.C., Carter, R.E., Atwell, T.D. and Kawashima, A. (2012) Small (< 4 Cm) Renal Mass: Differentiation of Angiomyolipoma without Visible Fat from Renal Cell Carcinoma Utilizing MR Imaging. *Radiology*, **263**, 160-168. <https://doi.org/10.1148/radiol.12111205>
- [22] Schieda, N., Dilauro, M., Moosavi, B., Hodgdon, T., Cron, G.O., McInnes, M.D.F., *et al.* (2016) MRI Evaluation of Small (< 4 Cm) Solid Renal Masses: Multivariate Modeling Improves Diagnostic Accuracy for Angiomyolipoma without Visible Fat Compared to Univariate Analysis. *European Radiology*, **26**, 2242-2251. <https://doi.org/10.1007/s00330-015-4039-y>
- [23] Childs, D.D., Clingan, M.J., Zagoria, R.J., Sirintrapun, J., Tangtiang, K., Anderson, A., *et al.* (2014) In-Phase Signal Intensity Loss in Solid Renal Masses on Dual-Echo Gradient-Echo MRI: Association with Malignancy and Pathologic Classification. *American Journal of Roentgenology*, **203**, W421-W428. <https://doi.org/10.2214/ajr.13.11113>
- [24] Murray, C.A., Quon, M., McInnes, M.D.F., van der Pol, C.B., Hakim, S.W., Flood, T.A., *et al.* (2016) Evaluation of T1-Weighted MRI to Detect Intratumoral Hemorrhage within Papillary Renal Cell Carcinoma as a Feature Differentiating from Angiomyolipoma without Visible Fat. *American Journal of Roentgenology*, **207**, 585-591. <https://doi.org/10.2214/ajr.16.16062>
- [25] Kim, J.K., Park, S., Shon, J. and Cho, K. (2004) Angiomyolipoma with Minimal Fat: Differentiation from Renal Cell Carcinoma at Biphasic Helical CT. *Radiology*, **230**, 677-684. <https://doi.org/10.1148/radiol.2303030003>
- [26] Scialpi, M., Di Maggio, A., Midiri, M., Loperfido, A., Angelelli, G. and Rotondo, A. (2000) Small Renal Masses: Assessment of Lesion Characterization and Vascularity on Dynamic Contrast-Enhanced MR Imaging with Fat Suppression. *American Journal of Roentgenology*, **175**, 751-757. <https://doi.org/10.2214/ajr.175.3.1750751>
- [27] Liang, X., Zeng, X., Hong, Z., Su, M., Yang, J.C. and Wu, S.S (2024) Determinants of Conventional and Contrast-Enhanced Ultrasound Diagnosis of Fat-Poor Angiomyolipoma < 5 Cm. *Frontiers in Oncology*, **14**, Article ID: 1446801. <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1446801>
- [28] Jiang, J., Chen, Y., Zhou, Y. and Zhang, H. (2010) Clear Cell Renal Cell Carcinoma: Contrast-Enhanced Ultrasound Features Relation to Tumor Size. *European Journal of Radiology*, **73**, 162-167. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2008.09.030>
- [29] Kazmierski, B., Deurdulian, C., Tchelepi, H. and Grant, E.G. (2018) Applications of Contrast-Enhanced Ultrasound in the Kidney. *Abdominal Radiology*, **43**, 880-898. <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1307-0>
- [30] Li, C., Lu, Q., Huang, B., Xue, L., Yan, L., Zheng, F., *et al.* (2016) Quantitative Evaluation of Contrast-Enhanced Ultrasound for Differentiation of Renal Cell Carcinoma Subtypes and Angiomyolipoma. *European Journal of Radiology*, **85**, 795-802. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.01.009>
- [31] Zaher, D.M., El-Gamal, M.I., Omar, H.A., Aljareh, S.N., Al-Shamma, S.A., Ali, A.J., *et al.* (2020) Recent Advances with Alkaline Phosphatase Isoenzymes and Their Inhibitors. *Archiv der Pharmazie*, **353**, e2000011. <https://doi.org/10.1002/ardp.202000011>
- [32] Chen, X., Lan, M., Zhou, Y., Chen, W., Hu, D., Liu, J., *et al.* (2017) Risk Factors for Bone Metastasis from Renal Cell Cancer. *Journal of Bone Oncology*, **9**, 29-33. <https://doi.org/10.1016/j.jbo.2017.10.004>
- [33] Peng, T., Fan, J., Xie, B., Wang, Q., Chen, Y., Li, Y., *et al.* (2023) Alkaline Phosphatase Combines with CT Factors for Differentiating Small ( $\leq 4$  Cm) Fat-Poor Angiomyolipoma from Renal Cell Carcinoma: A Multiple Quantitative Tool. *World Journal of Urology*, **41**, 1345-1351. <https://doi.org/10.1007/s00345-023-04367-2>
- [34] Nam, H.K., Sharma, M., Liu, J. and Hatch, N.E. (2017) Tissue Nonspecific Alkaline Phosphatase (TNAP) Regulates Cranial Base Growth and Synchronosis Maturation. *Frontiers in Physiology*, **8**, Article ID: 161. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00161>
- [35] Choueiri, T.K. and Kaelin, W.G. (2020) Targeting the HIF2-VEGF Axis in Renal Cell Carcinoma. *Nature Medicine*, **26**, 1519-1530. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-1093-z>
- [36] Liu, Y., Lv, H., Li, X., Liu, J., Chen, S., Chen, Y., *et al.* (2021) Cyclovirobuxine Inhibits the Progression of Clear Cell Renal Cell Carcinoma by Suppressing the IGFBP3-AKT/STAT3/MAPK-Snail Signalling Pathway. *International Journal of Biological Sciences*, **17**, 3522-3537. <https://doi.org/10.7150/ijbs.62114>

- 
- [37] Feng, S., Gong, M., Zhou, D., Yuan, R., Kong, J., Jiang, F., *et al.* (2023) A CT-Based Radiomics Nomogram for Differentiation of Benign and Malignant Small Renal Masses ( $\leq 4$  Cm). *Translational Oncology*, **29**, Article 101627. <https://doi.org/10.1016/j.tranon.2023.101627>
- [38] Li, C., Qiao, G., Li, J., Qi, L., Wei, X., Zhang, T., *et al.* (2022) An Ultrasonic-Based Radiomics Nomogram for Distinguishing between Benign and Malignant Solid Renal Masses. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article ID: 847805. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.847805>
- [39] Yang, R., Wu, J., Sun, L., Lai, S., Xu, Y., Liu, X., *et al.* (2019) Radiomics of Small Renal Masses on Multiphasic CT: Accuracy of Machine Learning-Based Classification Models for the Differentiation of Renal Cell Carcinoma and Angiomyolipoma without Visible Fat. *European Radiology*, **30**, 1254-1263. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06384-5>
- [40] Yao, H., Tian, L., Liu, X., Li, S., Chen, Y., Cao, J., *et al.* (2023) Development and External Validation of the Multichannel Deep Learning Model Based on Unenhanced CT for Differentiating Fat-Poor Angiomyolipoma from Renal Cell Carcinoma: A Two-Center Retrospective Study. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, **149**, 15827-15838. <https://doi.org/10.1007/s00432-023-05339-0>
- [41] Jian, L., Liu, Y., Xie, Y., Jiang, S., Ye, M. and Lin, H. (2022) MRI-Based Radiomics and Urine Creatinine for the Differentiation of Renal Angiomyolipoma with Minimal Fat from Renal Cell Carcinoma: A Preliminary Study. *Frontiers in Oncology*, **12**, Article ID: 876664. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.876664>
- [42] Zhang, L., Sun, K., Shi, L., Qiu, J., Wang, X. and Wang, S. (2023) Ultrasound Image-Based Deep Features and Radiomics for the Discrimination of Small Fat-Poor Angiomyolipoma and Small Renal Cell Carcinoma. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **49**, 560-568. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2022.10.009>