

多模态超声预测模型对肾占位性病变的诊断价值研究

王含叶, 张曼, 张树华*

华北理工大学附属医院超声医学科, 河北 唐山

收稿日期: 2026年3月8日; 录用日期: 2026年4月2日; 发布日期: 2026年4月9日

摘要

目的: 比较常规超声、彩色多普勒超声与超声造影鉴别肾肿瘤良恶性的价值, 并分别构建基于单一技术及联合技术的预测模型, 评估其诊断效能。方法: 回顾性收集174例经病理证实的肾占位性病变, 包含恶性病变106例, 良性病变68例。记录患者的二维超声、彩色多普勒及超声造影特征并进行标准化描述, 通过单因素logistic回归筛选有统计学意义的特征纳入多因素logistic回归模型, 绘制受试者工作特征曲线(ROC)比较不同预测模型的诊断效能。结果: 整合常规超声、彩色多普勒和超声造影的多模态模型, 是鉴别肾占位性病变良恶性的最优超声诊断方案, ROC曲线下面积、灵敏度、特异度分别为0.938、93.4%和83.8%。结论: 基于多模态数据构建的Logistic回归风险模型可以较好地预测肾恶性占位病变的风险, 为临床医师对肾占位性病变的诊断与决策提供了重要参考。

关键词

肾占位性病变, 超声造影, 预测模型

A Study on the Diagnostic Value of Multimodal Ultrasound Predictive Models for Renal Space-Occupying Lesions

Hanye Wang, Man Zhang, Shuhua Zhang*

Department of Ultrasound, Affiliated Hospital of North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: March 8, 2026; accepted: April 2, 2026; published: April 9, 2026

*通讯作者。

文章引用: 王含叶, 张曼, 张树华. 多模态超声预测模型对肾占位性病变的诊断价值研究[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 1829-1836. DOI: 10.12677/acm.2026.1641423

Abstract

Objective: To compare the value of conventional ultrasound, color Doppler ultrasound, and contrast-enhanced ultrasound in differentiating benign from malignant renal tumors, and to construct predictive models based on single techniques and combined techniques, and evaluate their diagnostic efficacy. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 174 cases of pathologically confirmed renal space-occupying lesions, including 106 malignant lesions and 68 benign lesions. The two-dimensional ultrasound, color Doppler, and contrast-enhanced ultrasound features were recorded and standardized. Statistically significant features were screened by univariate logistic regression and included in multivariate logistic regression models. Receiver Operating Characteristic (ROC) curves were drawn to compare the diagnostic efficacy of different predictive models. **Results:** The multimodal model integrating conventional ultrasound, color Doppler, and contrast-enhanced ultrasound is the optimal ultrasound diagnostic approach for differentiating benign and malignant renal space-occupying lesions, with an area under the ROC curve, sensitivity, and specificity of 0.938, 93.4%, and 83.8%, respectively. **Conclusion:** The logistic regression risk model based on multimodal data can effectively predict the risk of malignant renal space-occupying lesions, providing an important reference for clinicians in the diagnosis and decision-making of renal space-occupying lesions.

Keywords

Renal Space-Occupying Lesions, Contrast-Enhanced Ultrasound, Predictive Model

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

我国最新流行病学数据显示,肾恶性占位的死亡率在男性中为 1.30/10 万,女性为 0.54/10 万,男性约为女性的 2.4 倍[1]。肾细胞癌(Renal Cell Carcinomas, RCC)是最常见的肾恶性上皮性肿瘤,约占所有肾脏恶性占位的 90%以上[2]。流行病学数据显示,其全球发病率约占所有癌症的 3%,并呈现出持续上升趋势[3]。在临床影像学上,它常表现为需要鉴别的肾脏实性恶性占位。随着影像学检查的普及,超过 60% 的 RCC 为偶然发现[4],出现经典腰痛、血尿、腹部肿块三联征的患者目前已较少见,且通常提示肿瘤已进展至晚期[5]。大量肾占位性病变在患者尚未出现任何症状的早期阶段即被检出。因此,对肾占位性病变良恶性的早期、精准鉴别至关重要,不仅能将治疗窗口前移,使患者有机会接受保留肾单位的微创手术,也能改善患者长期预后。

2. 资料与方法

2.1. 研究对象

回顾性收集 2020 年 9 月至 2025 年 9 月经华北理工大学附属医院初次诊断为肾占位性病变的 174 例患者病理结果及超声检查图像,其中恶性病变 106 例,良性病变 68 例,包含肾血管平滑肌脂肪瘤(Renal Angiomyolipoma, RAML) 52 例、肾嗜酸细胞腺瘤(Renal Oncocytoma, RO) 15 例、RAML 伴出血 1 例,透明细胞肾细胞癌(Clear Cell Renal Cell Carcinoma, CCRCC) 88 例,乳头状肾细胞癌(Papillary Renal Cell

Carcinoma, PRCC) 12 例和嫌色细胞肾细胞癌(Chromophobe Renal Cell Carcinoma, ChRCC) 6 例。

纳入标准: 均在我院接受常规超声(Conventional Ultrasound, CUS), 彩色多普勒(Color Doppler Flow Imaging, CDFI)和超声造影(Contrast-Enhanced Ultrasound, CEUS)检查, 保留完整的影像资料及病理结果; CEUS 检查前患者或家属知情且签署书面同意书; 初次检查为肾占位性病变, 且未接受过任何干预治疗。排除标准: 患者对全氟丁烷或造影剂其他成分过敏; 存在严重肝、肾、心、肺功能损害; 病理结果不明确, 影像资料不完整, 图像质量不佳。

2.2. 仪器与方法

采用日本佳能 Aplio i800 彩色多普勒超声诊断仪配备 CEUS 测量分析功能。探头种类为腹部凸阵探头, 频率为 1~8 MHz。检查时患者依次取仰卧位、侧卧位, 必要时取俯卧位, 充分暴露患侧腰部, 对肾脏行冠状面及横切面扫查, 获取清晰的 CUS 及 CEUS 图像。首先使用 CUS 对肾占位性病变进行观察, 包括位置、大小、边界、形态、回声、钙化。其次行 CDFI 检查, 参考 Adler 半定量法[6]将病变血流分为 0~I 级、II~III 级; 并观察病变周边血流。最后进行 CEUS 检查, 采用专有低机械指数造影成像模式, 造影剂选择注射用全氟丁烷微球(示卓安), 使用前按说明书以 5.0 ml 生理盐水复溶, 经肘静脉团注。参照欧洲临床超声造影指南, 剂量 1.0~1.5 ml, 造影过程中机械指数 MI 为 0.06~0.08 [7], 持续动态观察病灶及周围肾实质至少 3 分钟, 存储动态影像。观察病变的增强时相, 增强程度, 增强均匀性及周边有无环状增强。超声图像均由 2 位具有 5 年以上腹部超声经验的医师分别进行标准化描述, 结果不一致时, 由两人共同阅片再次分析特征后协商结果, 所有后续的统计分析均基于此协商一致的最终数据。

2.3. 统计学方法

应用 Excel 2015 建立数据库, 采用 SPSS 22.0 软件。将所有数据均输入建立的数据库中, 首先对两位医师的标准化描述结果进行一致性分析, 而后对一致性较好的超声特征进行单因素 Logistic 分析, 选取有统计学意义的变量进行多因素 Logistic 回归分析。分别建立基于 CUS、CDFI、CEUS 的单一检查方法模型, 以及 CUS + CDFI、CUS + CEUS、CUS + CDFI + CEUS 三种联合检查方法模型。利用 ROC 曲线下的面积(Area Under the Curve, AUC)对模型诊断效能进行检验评价, 比较不同模型的诊断效能。双侧 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 观察者间一致性分析

所有关键特征均表现出良好一致性(Kappa > 0.60)。其中, 最大径的一致性最高($\kappa = 0.952$), 而增强均匀性的一致性最低($\kappa = 0.699$)。见表 1。所有存在差异的判读均通过协商达成一致, 并用于后续分析。

Table 1. Interobserver agreement in interpretation of primary ultrasound features (n = 174)

表 1. 主要超声特征判读的观察者间一致性(n = 174)

变量名	Kappa (κ)值	P 值	一致性强度
最大径($\geq 4\text{cm}/< 4\text{cm}$)	0.952	<0.001	极好
位置(上极/中极/下极/中上极/中下级)	0.844	<0.001	极好
边界(清晰/不清晰)	0.759	<0.001	好
形态(规整/不规整)	0.799	<0.001	好

续表

回声(高回声/等回声/低回声)	0.791	<0.001-	好
钙化(有/无)	0.845	<0.001	极好
CDFI 血流分级(0~I 级/II~III 级)	0.754	<0.001	好
CDFI 周边血流(有/无)	0.830	<0.001	极好
造影剂增强模式(慢进快退/慢进慢退/快进慢退/快进快退/同进快退/同进慢退)	0.821	<0.001	极好
增强程度(低增强/高增强)	0.754	<0.001	好
增强均匀性(均匀/不均匀)	0.699	<0.001	好
周边环状增强(有/无)	0.747	<0.001	好

3.2. 肾占位性病变的多模态超声特征单因素 Logistic 回归分析

单因素 Logistic 分析结果显示肾占位性病变的最大径、边界、形态、回声、CDFI 血流分级、CDFI 周边血流、增强程度、增强均匀性、周边环状增强差异有统计学意义($P < 0.05$), 肾占位性病变的位置、钙化差异无统计学意义($P > 0.05$), 其中造影剂增强模式以快进慢退作为参照设置了哑变量, 结果显示, 造影剂快进慢退有统计学意义($P < 0.05$), 其余增强模式与参照组之间差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 2。

Table 2. Results of univariate Logistic regression analysis for ultrasound features of renal space-occupying lesions
表 2. 肾占位性病变的超声特征单因素 Logistic 回归分析结果

变量名	β	OR	95% CI	P 值
最大径	1.047	2.85	1.508~5.387	0.001
位置	-	-	-	-
上极	-	-	-	0.803 (参照)
中极	0.333	1.395	0.626~3.107	0.415
下极	0.448	1.565	0.492~4.983	0.448
中上极	-0.071	0.932	0.400~2.173	0.87
中下级	20.958	126×10^7	0.000~	0.999
边界	1.654	5.227	2.517~10.855	<0.001
形态	1.288	3.625	1.857~7.077	<0.001
回声	-	-	-	-
高回声	-	-	-	<0.001 (参照)
等回声	1.629	5.1	1.795~14.491	0.002
低回声	2.91	18.36	7.930~42.511	<0.001
钙化	20.901	133×10^7	0.000~	0.998
CDFI 血流分级	1.418	4.128	1.949~8.744	<0.001
CDFI 周边血流	2.468	11.803	4.004~34.794	<0.001

续表

造影剂增强模式	-	-	-	-
慢进快退	-	-	-	<0.001 (参照)
慢进慢退	-3.402	0.033	0.010~0.110	<0.001
快进慢退	-0.441	0.644	0.126~3.276	0.596
快进快退	0.727	2.069	0.431~9.925	0.363
同进快退	19.222	222×10^6	0.000~	0.999
同进慢退	19.222	222×10^6	0.000~	0.999
增强程度	1.654	5.229	2.589~10.558	<0.001
增强均匀性	2.483	11.983	5.564~25.808	<0.001
周边环状增强	2.563	12.972	5.162~32.596	<0.001

3.3. 肾占位性病变的风险预测模型建立及诊断效能分析

将单因素 Logistic 分析中差异有统计学意义的变量纳入多因素 logistic 回归并建立模型。结果显示，多模态模型优于单一模态模型。在单一模态模型中，CEUS 模型的诊断效能较优，AUC 为 0.883；在多模态模型中，CUS + CDFI + CEUS 三种联合模型的诊断效能最高，AUC 为 0.938，95% CI 为 0.902~0.974，且 CUS + CDFI + CEUS 联合模型的 AUC 高于最优的单一 CEUS 模型($P < 0.05$)，表明多模态超声特征能提供更全面的诊断信息，有效提升鉴别诊断能力。见图 1、图 2 及表 3。

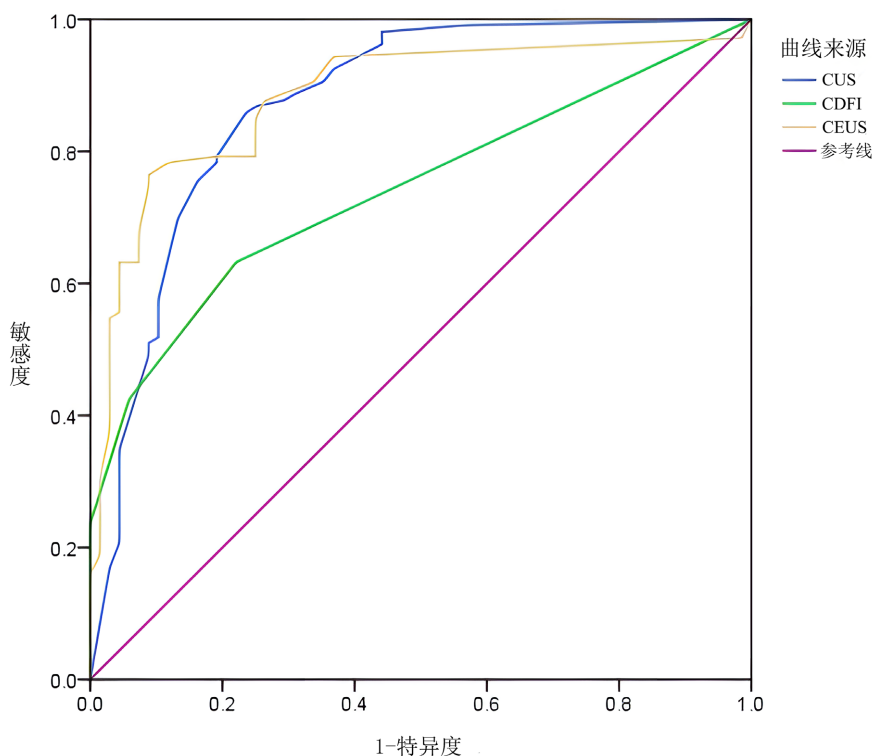


Figure 1. ROC curve for differentiating benign from malignant renal lesions using single-modality ultrasound
图 1. 单一模态超声鉴别肾占位性病变良恶性的 ROC 曲线

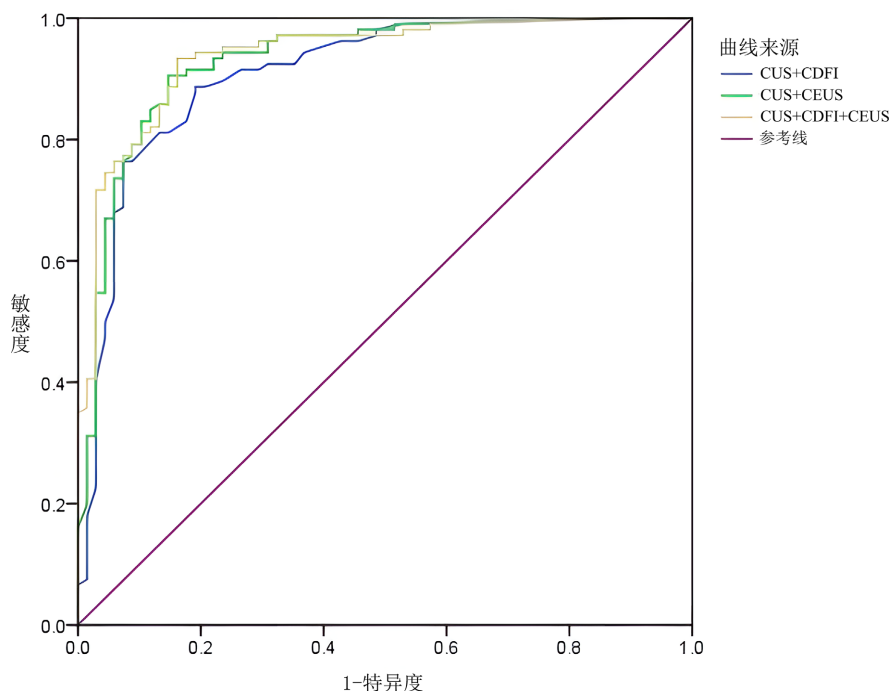


Figure 2. ROC curve for multimodal ultrasound in differentiating benign from malignant renal lesions
图 2. 多模态超声鉴别肾占位性病变良恶性的 ROC 曲线

Table 3. Comparison of area under the ROC curve, sensitivity, and specificity among models
表 3. 各模型 ROC 曲线下面积、灵敏度及特异度比较

预测模型	AUC (95% CI)	灵敏度/%	特异度/%	P 值
CUS	0.872 (0.814~0.930)	85.8	76.4	<0.001
CDFI	0.741 (0.669~0.813)	63.2	77.9	<0.001
CEUS	0.883 (0.831~0.936)	78.3	88.2	<0.001
CUS + CDFI	0.909 (0.861~0.956)	76.4	92.6	<0.001
CUS + CEUS	0.930 (0.890~0.971)	90.6	85.3	<0.001
CUS + CDFI + CEUS	0.938 (0.902~0.974)	93.4	83.8	<0.001

4. 讨论

本研究通过构建并比较六种基于不同超声模态的预测模型，系统评估了 CUS、CDFI、CEUS 单独及联合应用对肾恶性占位病变的诊断效能。主要发现如下：第一，单一模态中，CEUS 展现出了优异的诊断性能；第二，多模态超声融合能显著提升模型的综合鉴别能力，其中 CUS + CDFI + CEUS 模型诊断效能最高。

4.1. 单一模态诊断效能的比较与分析

本研究中，单一模态的诊断效能存在差异。CUS 模型表现出较高的灵敏度(85.8%)，提示 CUS 在检测肾占位性病变、避免漏诊方面具有重要价值，有学者的研究显示，CEUS 对肾占位性病变良恶性鉴别的灵敏度是高于 CUS 的[8]，这与本研究结果存在差异。这可能与本研究所纳入的恶性肾占位性病变中包含更多在 CUS 上表现出典型恶性特征的病灶，使得 CUS 的初始筛查价值凸显。并且在临床实践中，CUS 通常被认为是肾占位性病变筛查的首选方法[9]。CDFI 模型效能相对较低(AUC = 0.741)，可能因为其评

估病灶内微血管时存在一定局限性,对微小血管内低速血流信号不敏感[10]。CEUS模型的AUC值(0.883)与特异度(88.2%)最高,肾恶性病变造影剂灌注常呈快进快退高增强表现,肾良性病变造影剂灌注常呈同进同出等增强表现[11],CEUS技术可以通过实时、连续地观察病灶内微血管的灌注模式,识别肾良恶性占位间的微观血流差异[12],本研究结果说明鉴别肾占位性病变良恶性方面CEUS具有优势,其高特异度意味着能有效减少不必要的穿刺活检。

4.2. 多模态超声模型的诊断效能比较与分析

首先,多模态联合模型的AUC均高于单一模态模型的AUC,这提示多种超声技术联合应用,可以更加全面地分析病变特征,从而为肾占位性病变的良恶性精准预测提供充足依据。这与既往研究[13][14]一致,即两种或两种以上超声技术的应用可以提高对肾占位性病变良恶性综合判别能力。本研究中,CUS+CDFI+CEUS联合所构建的模型对肾占位性病变的良恶性判别能力最高(AUC=0.938),该模型通过整合了病变三个维度的信息,最优地综合了形态、宏观血流与微灌注特征。当单一模态特征不典型时,如良性的肾占位性病变常常血流信号不明显,但PRCC也表现为乏血供时[15],另两种模态的信息可提供交叉验证与决策支持。同样,当较大的RAML伴出血时,CUS上表现为低回声与高回声混合表现,仅凭单一模态表现与肾恶性占位鉴别困难,此时借助CDFI与CEUS表现可增加诊断的准确性。该模型同样表现出了最高的灵敏度(93.4%),这意味着相比其他模型具有更低的漏诊率,可能使更多患者能在疾病早期、可治愈阶段获得干预机会,从而从根本上改善预后。CUS+CDFI模型特异度最高(92.6%),这提示该模型在避免假阳性方面具有优势,但该模型的AUC值(0.909)和灵敏度(76.4%)却是三种联合模型中最低的,说明该模型在诊断不典型的肾恶性占位病变时具有局限性。这可能是由于本研究所纳入的恶性病变中以CCRCC为主,其作为肾癌最常见的亚型,富血供是其典型特征之一[16]。CUS+CDFI模型恰好能高特异性地识别此类典型病例,但CCRCC本身也存在不典型的乏血供亚型或者内部发生坏死、囊变,这就造成了病变的CDFI特征不典型,而CUS所提供的形态学信息不足以独立做出准确判断,导致模型无法有效识别。所以在统计学上表现为灵敏度的下降,在临床上则意味着对不典型恶性病变的漏诊风险。

4.3. 预测模型的临床实践考量

基于本研究的发现,我们建议采用分层递进的诊断策略,即并非所有患者都需要全套检查,而是根据临床实践选择检查类型。对于CUS和CDFI检查后,呈现典型恶性或典型良性特征的病变,直接进行临床决策可能是高效且经济的。而对于非典型病变,当CUS和CDFI检查后,可以通过CEUS加以补充,CEUS通过提供微血管灌注这一维度的关键信息,能够显著提升诊断的灵敏度和总体准确性,避免不必要的漏诊或过度治疗。

4.4. 研究的不足

首先,作为一项单中心回顾性研究,患者队列可能无法完全代表更广泛的人群,且存在固有的选择偏倚。其次,我们的模型尚未在包含更多罕见病理类型的独立外部队列中进行验证。

综上所述,本研究通过比较不同超声模态及其组合的诊断效能,证实了多模态融合在肾良恶性占位病变鉴别中的价值。CUS、CDFI与CEUS三者联合的模型性能最优,通过多维度特征有效平衡了诊断的敏感性与特异性,降低了对乏血供等非典型恶性肿瘤的漏诊风险。未来的研究可进一步探索基于此模型的智能化诊断系统,或将其与临床、实验室指标结合,构建更为强大的风险预测模型。

声 明

由于本研究为回顾性设计,对患者信息匿名化处理,故豁免知情同意。本研究已获得华北理工大学

附属医院伦理委员会批准(批件号: KY20250929014)。

基金项目

河北省医学科学研究课题(20260641)。

参考文献

- [1] Han, B., Zheng, R., Zeng, H., Wang, S., Sun, K., Chen, R., *et al.* (2024) Cancer Incidence and Mortality in China, 2022. *Journal of the National Cancer Center*, **4**, 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.jncc.2024.01.006>
- [2] Powles, T., Albiges, L., Bex, A., *et al.* (2022) Renal Cell Carcinoma: ESMO Clinical Practice Guideline for Diagnosis, Treatment and Follow-Up. *Annals of Oncology*, **33**, 1437-1448.
- [3] Ljungberg, B., Albiges, L., Abu-Ghanem, Y., Bedke, J., Capitanio, U., Dabestani, S., *et al.* (2022) European Association of Urology Guidelines on Renal Cell Carcinoma: The 2022 Update. *European Urology*, **82**, 399-410. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2022.03.006>
- [4] Vasudev, N.S., Wilson, M., Stewart, G.D., Adeyoju, A., Cartledge, J., Kimuli, M., *et al.* (2020) Challenges of Early Renal Cancer Detection: Symptom Patterns and Incidental Diagnosis Rate in a Multicentre Prospective UK Cohort of Patients Presenting with Suspected Renal Cancer. *BMJ Open*, **10**, e035938. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-035938>
- [5] Thorstenson, A., Bergman, M., Scherman-Plogell, A., Hosseinnia, S., Ljungberg, B., Adolffson, J., *et al.* (2014) Tumour Characteristics and Surgical Treatment of Renal Cell Carcinoma in Sweden 2005-2010: A Population-Based Study from the National Swedish Kidney Cancer Register. *Scandinavian Journal of Urology*, **48**, 231-238. <https://doi.org/10.3109/21681805.2013.864698>
- [6] Adler, D.D., Carson, P.L., Rubin, J.M. and Quinn-Reid, D. (1990) Doppler Ultrasound Color Flow Imaging in the Study of Breast Cancer: Preliminary Findings. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **16**, 553-559. [https://doi.org/10.1016/0301-5629\(90\)90020-d](https://doi.org/10.1016/0301-5629(90)90020-d)
- [7] Claudon, M., Cosgrove, D., Albrecht, T., Bolondi, L., Bosio, M., Calliada, F., *et al.* (2008) Guidelines and Good Clinical Practice Recommendations for Contrast Enhanced Ultrasound (CEUS)—Update 2008. *Ultraschall in der Medizin—European Journal of Ultrasound*, **29**, 28-44. <https://doi.org/10.1055/s-2007-963785>
- [8] 汪朝阳, 黄鹏飞, 张晴, 等. 常规超声结合超声造影诊断肾占位性病变的价值[J]. 东南国防医药, 2021, 23(5): 479-483.
- [9] 张燕妮, 冯军, 信天游. 常规超声及超声造影诊断肾脏占位性病变的价值[J]. 吉林医学, 2022, 43(12): 3227-3229.
- [10] Li, C., Qi, L., Geng, C., Xiao, H., Wei, X., Zhang, T., *et al.* (2025) Comparative Diagnostic Performance of Color Doppler Flow Imaging, Microflow Imaging and Contrast-Enhanced Ultrasound in Solid Renal Tumors. *Academic Radiology*, **32**, 3475-3484. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.12.057>
- [11] 柴学云, 霍学军, 李娟. 超声造影联合增强 CT 在肾占位性病变中的应用价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2022, 20(4): 118-120+129.
- [12] Jia, Z., Yang, F., Zhang, W. and Li, W. (2023) Application of Contrast-Enhanced Ultrasound in Renal Space-Occupying Lesion Puncture Biopsy. *BMC Medical Imaging*, **23**, Article No. 178. <https://doi.org/10.1186/s12880-023-01137-9>
- [13] 闫媛媛, 俞雪娟. 多普勒超声联合超声造影用于肾实质性肿瘤鉴别诊断的价值[J]. 影像研究与医学应用, 2025, 9(9): 117-119.
- [14] 刘雪, 杨崇一, 杨丰强, 等. 彩色多普勒超声联合超声造影用于肾实质性肿瘤鉴别诊断的临床观察[J]. 中华全科医学, 2022, 20(3): 458-460, 472.
- [15] Mendhiratta, N., Muraki, P., Sisk, A.E. and Shuch, B. (2021) Papillary Renal Cell Carcinoma: Review. *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*, **39**, 327-337. <https://doi.org/10.1016/j.urolonc.2021.04.013>
- [16] Nezami, B.G. and MacLennan, G.T. (2025) Clear Cell Renal Cell Carcinoma: A Comprehensive Review of Its Histopathology, Genetics, and Differential Diagnosis. *International Journal of Surgical Pathology*, **33**, 265-280. <https://doi.org/10.1177/10668969241256111>