

影像学检查在肾积液性质鉴别诊断上的研究进展

付云锐*, 刘冬野

重庆市南川区人民医院泌尿外科, 重庆

收稿日期: 2025年11月24日; 录用日期: 2025年12月17日; 发布日期: 2025年12月23日

摘要

目的: 肾积液(即肾积水)为泌尿系统梗阻导致的肾盂、肾盏内部潴留尿液并形成扩张的液腔。在肾积水进一步感染后导致肾组织坏死, 积液由尿液转变为脓液后形成肾积脓。对肾积脓的诊断现阶段仍以穿刺引流出脓性为金标准。二者由于临床症状较为相似, 但肾积脓对患肾损伤较大, 如何在疾病早期依靠影像学特征对肾积水和肾积脓进行无创鉴别诊断以挽救肾功能非常重要。本文对近年来影像学检查在肾积液性质鉴别诊断效能上的研究进展进行综述, 旨在为临床开展进一步治疗方案提供思路及参考。

关键词

影像学检查, 肾积水, 肾积脓, 肾功能

Research Progress on the Diagnostic Efficacy of Imaging Examinations in Differentiating the Nature of Hydronephrosis

Yunrui Fu*, Dongye Liu

Department of Urology, The People's Hospital of Nanehuan Chongqing, Chongqing

Received: November 24, 2025; accepted: December 17, 2025; published: December 23, 2025

Abstract

Objective: Hydronephrosis refers to the dilation of the renal pelvis and calyces due to urinary retention caused by obstruction within the urinary system. When hydronephrosis is contaminated by infection, necrosis of the renal tissue may occur, and the retained urine can transform into pus, resulting

*通讯作者。

文章引用: 付云锐, 刘冬野. 影像学检查在肾积液性质鉴别诊断上的研究进展[J]. 亚洲外科手术病例研究, 2025, 13(3): 27-34. DOI: 10.12677/acrs.2025.133003

in pyonephrosis. At present, the gold standard for diagnosing pyonephrosis is the aspiration and drainage of purulent fluid in surgery. Although the clinical manifestations of hydronephrosis and pyonephrosis are often similar, pyonephrosis causes more severe damage to the affected kidney. It is crucial to achieve non-invasive differential diagnosis between hydronephrosis and pyonephrosis at an early stage using imaging features for renal function preservation. This article reviews recent advances in imaging techniques for distinguishing the nature of hydronephrosis, aiming to provide insights and references for further clinical treatment strategies.

Keywords

Imaging Examination, Hydronephrosis, Pyonephrosis, Renal Function

Copyright © 2025 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

肾积液(即肾积水)为泌尿系统梗阻导致的肾盂、肾盏内部潴留尿液并形成扩张的液腔,随着液腔的积聚、扩大,造成肾实质压迫的同时导致了肾功能下降。肾积脓是肾实质感染所致广泛的化脓性病变,大多为尿路梗阻后发展至肾盂肾盏积水、继发感染而形成一个积聚脓液的脓腔[1]。肾积脓早期症状体征较轻,但后期病情凶险,可发展成肾衰竭、脓毒血症,且不容易于术前得到确诊,在临床工作中多依靠穿刺引流出液体性质作为诊断金标准。早发现、早诊断、早治疗是延缓病情恶化的关键。

2. 肾积液相关诊疗手段概述

肾积液,通常诊断为肾积水,多由输尿管结石、先天性泌尿系畸形、泌尿系或腹腔肿瘤等[2]导致,发展至中、重度患者一般仍无明显症状,此过程会持续性造成患者肾皮质功能受损并进展至肾功能不全,甚至肾功能衰竭。肾积脓是肾积水达到中、重度后合并肾实质感染所致广泛的化脓性病变,随无法排出的脓液积聚并逐渐形成脓腔,其主要病理变化是由于肾盂内高压的脓液渗入肾实质形成脓性炎症反应及肾实质脓肿,破坏肾组织,致使肾脏功能丧失,严重者细菌入血可致全身感染[3]。

近年来,对肾积液诊断的常规检查手段主要依靠B超、增强CT等,阅片后可见明显肾内系统的分离而确诊,但对于二者现阶段鉴别诊断依旧主要通过术中引流或穿刺得到脓尿而明确诊断[4],临床上仍未形成以影像学为主的规范化诊断流程。肾积水和肾积脓在通过早期的诊断和干预下能够显著减少并发症、提高患者生存率及生活满意度,在现阶段穿刺引流作为诊断金标准前提下,凭借影像学无创的优势能够很好提高肾积脓诊断率、挽救肾功能。随着医学影像技术的发展,各项CT定量及影像组学技术对传统影像学特征上难以鉴别的疾病有了更好的诊断效能,如肾内积液性质、确定疾病进程等方面的应用研究越来越多。积液性质的早期确诊有利于尽快开展临床诊疗工作且确定手术方案,进而可提高患者治疗效果。本文将归纳、总结目前影像组学在肾积水和肾积脓鉴别诊断的研究进展,以期临床诊断、治疗提供新视角与方法。

3. 影像学检查在肾积液性质鉴别诊断上的研究进展

3.1. 平扫CT在肾积液性质鉴别诊断上的应用

平扫CT作为尿路梗阻性引起的肾积液诊断的金标准,在实用性及便捷性上优于其余检查手段,对

于输尿管形态的判断、结石嵌顿部位以及肾内积液程度都有极大的诊断价值。在肾积液的形成过程中, 以结石形成为介导的过量微生物入血、入肾, 同时导致肾盂实质等组织的炎性破坏导致了肾盂尿中掺杂大量微生物及感染性物质, 病情迁延形成脱落的坏死组织、炎性介质导致肾内积液的成分更加复杂, 密度逐渐升高。许昌[5]等人研究中对 CT 鉴别诊断肾脏囊性疾病的价值进行分析, 包括肾囊肿、肾积水、肾盂旁囊肿、肾结核、囊性肾癌, 其特点均为在平扫或增强 CT 中存在液性暗区。将肾积水同其余疾病鉴别可以发现液性暗区通常较其余疾病存在造影剂增强, 且伴随可能出现的造影剂排泄迟缓, 这也同患者肾内形成梗阻性病灶的病因相一致。

多项研究已经证实了通过 CT 成像中液区的 CT 值(HU)的水平不同可以一定程度判别肾积水和肾积脓。张剑平[6]等研究确定了肾盂内积液的 CT 值和肾积液感染程度的正相关, 同时肾积水、急性肾盂肾炎、肾积脓组积液的 CT 值依次升高。在廖树彬[7]等的研究中通过纳入的 78 例肾积脓患者肾积液 CT 值相比较, 发现其在部分肾积脓患者中异常升高, 同时相对于超声诊断及患者 CRP 水平, CT 能更加完整及清晰显示结石位置, 提高术中定位的同时提高术中通道建立的准确性及低伤害性。成龙[8]等研究纳入了 267 例梗阻性肾积液患者, 结合患者术前平扫 CT 值、肾盂尿培养等生理生化指标确定了在 CT 值为 9.21 HU 时, 对肾积脓患者预测能力最好; CT 值 ≥ 9.17 HU 时, 诊断肾积脓的灵敏度为 80.49%, 且阳性预测值达到 81.25%, 阴性预测值为 76.42%, 对于肾内积液为脓液且密度较高时, CT 值对于其诊断效能灵敏度要高于 8 成。但仍然存在对于边界性肾积脓难以加以鉴别、难以证实进展至脓毒症血症等问题; 吴江[9]等的研究中, 发现区别于无感染肾积水、急性肾盂肾炎伴发肾积水, 肾积脓患者组的 CT 值为 (13.92 ± 6.21) HU, 明显高于另外两组。Gholipour F [10]等的研究证实了当患者肾积液区 HU 值在 5 以上时能判定患者尿培养为阳性, 敏感性 85.3%; 在 HU 值在 14.3 以上时可诊断为高度浑浊的脓液, 敏感性为 100%, 对比其余临床参数有着更好诊断性能。Yuruk E [11]等研究中发现, 肾积脓患者集合系统的 CT 衰减(HU)要显著大于肾积水患者; 当测定集合系统 CT 衰减值为 9.21 HU 或以上可准确诊断肾积脓, 敏感性为 65.96%。而 Huang B [12]等则比较了肾积水和肾积脓二者不同切片的肾积液区 HU 值的变化范围(Δ HU), 在多变量分析中, Δ HU 的值在 6.56 以上时对肾积脓的诊断有着 88.7%的敏感性, 也进一步说明了可以通过肾积液内部物质是否分布均匀进行鉴别诊断。而在叶树朝[13]等的研究中则提出通过建立肾盂尿和膀胱尿平均 CT 值的差值模型同样推断患者肾积液是否为肾积脓: 当肾盂尿和膀胱尿平均 CT 值的差值截断值为 6.54 HU 时, 且联合血白细胞计数、血小板计数构建的模型能够较好预测肾积脓。

相比于单独在术前应用平扫 CT 对患者肾内积液一般情况进行评估时, 联合患者术前、术后的生理生化指标可以更加精准判断患者对于肾内感染形成的易感性、危险性以及预后。既往文献报告发现糖尿病、同侧泌尿手术史、中度至重度肾积水、发热史、结石负荷大、血清 CRP 及 PCT 水平是上尿路结石继发肾积脓的独立危险因素[14]。在年智[15]等的研究中通过对比患者术前的血清学指标联合平扫 CT 值对梗阻性肾积脓的危险因素进行预测, 多因素回归分析纳入了患者术前血清学指标、结石相关数据及肾内积液 CT 值进行比较, 证实了患者术前肾盂内积液 CT 值结合某些结石特征可作为上尿路结石伴发肾积脓发生的独立因素。成龙[16]等证实了平扫 CT 值和白细胞介素 6(IL-6)在尿路梗阻性肾积液中的诊断价值, 二者数值呈正相关且相对于单独利用 IL-6 水平和肾内积液 CT 值对肾积液性质进行单因素预测, 二者联合的诊断效能更优, 最佳敏感度达到 86.74%。郭亮[17]等探究了胱抑素 C (Cys C)和肾积液 CT 值在结石引起的梗阻性肾积脓患者中的临床意义, 研究纳入了 87 例肾积脓患者, 与肾积水患者对比, 其血清 BUN、肌酐水平同肾积液 CT 值正相关, 且血清 Cys C 联合肾积液 CT 值界别诊断最佳灵敏度为 68.63%, 优于血清 Cys C 单独鉴别诊断肾积脓的效能, 特异度优于二者作为危险因素单独鉴别诊断肾积脓。而与之相比, Islam U [18]等通过深度卷积网络对肾积水的超声检测图像进行深度学习分析, 采取了 Novel DCNN 模型并获得了高达 99.8%的诊断准确率。Becker J [19]等在研究中着重提到了可通过深度学习算法基于肾

实质的分析来高精度检测肾积水, 运用其形成的 AI 肾积水检测模型可以在较短时间内对肾积水进行诊断。

以上研究结果表明, 结合血清生化指标时, 选择炎症相关指标结合 CT 值预测肾积液性质往往比单纯依靠 CT 值检测效果准确性较好, 而影像组学联合深度学习分析对积水性质诊断及时限的准确度较平常影像学检查更有优势。

3.2. 增强 CT 在肾积液性质鉴别诊断上的应用

增强 CT 相较于常规 CT 平扫的优势在于, 可通过动脉期、静脉期、延迟期的多层面影像特征对肾积液情况进行多维度评估。周云[20]等的研究证实了增强 CT 对肾脓肿合并肾周围感染的诊断价值: 对于肾内已形成积液的患者, 平扫 CT, 增强 CT 可以针对肾实质的厚度、受损部位及程度、肾周感染等指标等对肾脓肿进行预测。研究发现在肾周脓肿期, 患者的 MSCT 表现为多发脂肪密度影增高, 脓腔存在分层; 在刚形成肾周脓肿时, 可见密度不均匀同低密度影同时出现, 且边界不清。在明确为肾积脓患者时, 阅片可见最典型的变化是肾筋膜由于病灶压迫出现被斑片状高密度影环绕且与周围低密度影双环环绕, 证明在脓肿形成腔体内存在气体, 且周围被丰富血管网环绕; 以上影像学变化在动脉期、静脉期和延迟期三期未见明显区别。字蕾[21]等研究中证实增强 CT 相对于平扫 CT 可见肾内密度一致的低密度影, 并呈现在肾周围的筋膜处可见变厚的筋膜、积液中密度较低位置形成的环状强化、周边组织条理不清晰的特点。此类图像特征在通过经验丰富的影像科医师阅片后可辨认并得出诊断。

相比于平扫 CT, 增强 CT 会在 4 期扫描成像中(UP 平扫期、CMP 皮髓质期、NP 实质期、排泄期)观察肾内积液、肾实质受造影剂影响程度、肾筋膜周围相关组织的关系来确定患者肾积液性质。在欧意敏[22]等的多层螺旋 CT 双期增强在单侧肾积水肾功能评估中的价值研究中, 评价患者肾功能指标包括最大轴位上的肾盂分离宽度、肾实质厚度、肾实质期和皮质期的皮质强化程度。肾盂分离宽度为最能体现患者肾功能恶化程度, 证明在出现严重的肾盂分离时, 肾功能下降明显, 最能够引发后续感染形成肾积脓。

术前对患肾功能的评价同时也能客观证明和判断其形成梗阻性肾积脓的风险, 有利于做出更加明确的临床治疗方案, 以上研究也间接证明了对于肾积液排泄障碍的肾功能异常患者, 其形成且进展为肾积脓的风险更高。

3.3. MRI 在肾积液性质鉴别诊断上的应用

MRI 凭借其高软组织分辨力、多序列成像及无碘对比剂优势, 在肾积水与肾积脓的鉴别中具有重要价值。在无法选择增强 CT 的孕妇、以及肾功能不佳或对碘造影剂严重过敏的患者可使用此方案进行检查[23]。在 T1 加权像(T1WI)中, 肾积脓由于存在脓液构成为水及坏死组织表现为低信号, 肾积水则为均匀低信号; 在 T2 加权像(T2WI)中, 肾积脓则呈高信号, 肾积水亦为高信号, 但无脓肿壁存在, 表现为边界更清晰; 在增强扫描图像中可见相对于肾积水, 肾积脓的脓肿壁存在明显环状强化[24]。

Cruz J [25]等通过 MR 尿路造影(MRU)对肾积液进行分析。肾积脓的影像特点为肾盂壁加厚(>2 mm)并伴随肾集合系统的扩张, T1-WI 上呈低信号, 在 T2-WI 上呈高信号。同时对肾实质的观察, 相较于肾积水可见更严重的纹状肾图以及更低的 ADC 值。某些研究证实了磁共振弥散加权成像与表观扩散系数(ADC)在肾积水、肾积脓诊断上存在一定价值, 由于肾脏器自身的高血流量和水分子转运功能, 其 ADC 值较腹部其他脏器高, 因此使肾脏可作为 DWI 检查的理想器官[26] [27]。在余小亚[28]等的研究中发现, 在肾积水诊断中, 磁共振泌尿系统水成像(MRU)对肾积水的检出率、诊断准确率均高于静脉肾盂造影(IVP)、CT 尿路造影(CTU)。基于肾内脓液的高黏稠度, 肾积脓在 DWI 上通常呈明显高信号, ADC 显著降低; 而肾积水的自由水扩散不受限, DWI 呈低信号, ADC 值较高[29]。Gao X [30]等的研究使用核磁共

振扩散加权成像对肾积脓和肾积水进行鉴别, 通过比较二者液性暗区的加权后图像(DW)值和调整 b 值重建的 ADC 图像数值后, 根据患者在术前行 DW-MRI 后行阅片的诊断检测率为 84.00%; 基于患者的 ADC 值显示肾积脓平均 ADC 值小于肾积水, 最佳临界值在 $1.39 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 诊断敏感性最高, 且在 $b \geq 500 \text{ s/mm}^2$ 时, 肾积脓的信号强度明显强于肾积水, 而二者 CT 值无统计学差异。与传统 MR 检查手段相比, Lai C [31] 等通过深度学习开发的感染性肾积水诊断模型(IHDM)使用支持向量机模型(SVM)结合血液中性粒细胞计数进行诊断, ROC (Receiver Operating Characteristic) 达到高至 91.9%。Mendi BAR [32] 等的研究也通过相同的肾积液自动分割影像组学参数证实了 SVM、RFC、XGBoost 和决策树分析模型都能够预测肾积水的存在。

相较于需要通过造影剂来了解患者泌尿系形态的检查手段, MRI 不仅减少了对患肾的放射损伤, 也可在造影剂分泌较差的情况下提示肾内积水、狭窄或梗阻等病因, 提高了肾积水的临床诊断能力和对肾积脓的鉴别诊断效能。与之相比, 深度学习算法在积水及积脓鉴别诊断中亦是表现出色, 因此传统 MRI 检查在积水与积脓的鉴别诊断及临床运用中是否更优于学习算法仍需更加严谨的验证及实验。

3.4. 能谱 CT 单能量成像在肾积液性质鉴别诊断上的应用

能谱 CT 单能量成像利用高低能量切换获取双能量数据, 通过不同物质显示出的不同的 X 线衰减 (CT 值) 进行成像的原理, 从而进行物质分离和定量分析, 在鉴别不同组织或病变时图像信息更细致, 避免了常规 CT 运用总衰减信息的方式而降低诊断能力的问题。于常规 CT 相比, 其优势体现在增强识别、双层探测器能谱 CT 在缩减伪影、在物质分离及组织灌注等中的应用。同时应用后处理工作站及 GSI 浏览器能够提供多种能谱分析技术, 从而能够获得基物质密度及其分布图像、组织的能谱曲线和有效原子序数[33][34], 在肾积水和肾积脓的鉴别诊断方面优于传统 CT 成像。在程明[35]等的研究中使用能谱 CT 成像特征对肾积水和单纯性肾囊肿的积液性质进行了鉴别; 韩东[36]等则进一步通过能谱 CT 成像比较肾盂旁囊肿与非结石性肾积水的特征, 并分析了最佳诊断的单能量水平处在 60 keV 单能量层面, 诊断的敏感性 & 特异性分别为 71.74% 和 88.10%。以上研究均证实了应用能谱 CT 在肾积水的鉴别诊断上具有一定价值。同时针对能谱 CT 在肾积水和肾积脓的鉴别诊断, 在付云锐[37]等的研究中证实了在低能量段(40~60 keV)肾积液液区 CT 值显著高于肾积水($P < 0.05$), 能量越低差异越大, 在 40 keV 时差异最明显, 在能谱曲线斜率、有效原子序数、无机物定量与噪声比等后处理数据均可发现二者明显差别, 具有良好鉴别诊断效能。与影像学结合生化指标鉴别诊断相比, Yan Y [38] 等构建了放射组学模型并计算放射组学评分(Radscore), 并结合其余独立危险因素后发现 Naive Bayes 模型有最佳预测性能, 训练集中 AUC 值达到了 0.939。Yuan G [39] 等的研究开发的模型则在发现在二者测试队列差异不显著的情况下, 影像组学评分模型性能优于 3D 卷积神经网络(3DCNN)模型和 CT 衰减(HU)计算模型, 在证明结石性肾积脓时更加有效。

以上研究以肾积水及积脓的鉴别诊断出发, 阐述了影像学在诊断过程中各参数的值所对应结果的不同, 及所可能会出现普通影像学资料难以获得的疾病诊断的相关资料, 并通过能谱 CT 特有的后处理工作站, 对影像学资料进行基本物质鉴别、CT 值衰减曲线、有效原子序数等指标分析, 为能谱 CT 在诊疗过程中的运用提供了新的诊断思路, 而基于影像学所构建的模型在疾病诊断及鉴别诊断方面亦是表现优异, 在某些疾病早期及时提供有价值参考, 为疾病早期干预治疗进而使患者受益提供了可行性。

4. 讨论

肾积水是泌尿外科最常见的疾病之一, 因其早期无症状或症状很轻, 常忽视其存在, 如小儿肾积水相关病因包括肾盂输尿管连接处梗阻(uretero pelvic junction obstruction, UP-JO)、腹膜后纤维化、重复肾畸

形等[40]。晚期可导致肾功能不全, 严重者导致肾功能衰竭, 因此早期诊断并介入干预治疗尤为重要。肾积脓是肾脏的急性炎症性病理改变, 其临床表现为两大类型: 以寒战、高热、全身无力、呕吐和腰部疼痛为主的急性发作型; 以反复发作腰痛, 有时腰部可扪及肿块[41]的慢性病程型。由于卫生条件的改善和抗生素的应用, 本病早期临床表现不典型, 且症状体征较轻, 不容易及时确诊。因此, 在疾病早期或术前阶段诊断肾积脓并判断其程度变得尤为重要。

St Lezin [42]等认为临床症状、实验室及影像学检查均不能区别脓肾和肾积水, 只有肾穿刺检查才是唯一的确诊方法。陈龙龙[43]等对肾积脓相关危险因素中的探究提到的最易导致罹患肾积脓原因为糖尿病、肾积水程度、鹿角形结石、泌尿系统手术史等。对于梗阻性肾积脓, 由于未及时解除梗阻所导致肾功能丧失者, 可致肾切除。赵文兵[41]报告脓肾患者肾切除率达 7.5% (3/40 例), 即使近年来医疗水平的进步, 因早期抗生素的运用所致病情延误仍时有发生。因此尽早确定肾积脓的诊断, 对于挽救患者肾功能非常重要, 现阶段临床需加快普及各类影像学检查及影像模型在肾积水和肾积脓鉴别诊断中的应用。

平扫 CT 在泌尿系梗阻引起的肾积液患者的入院诊断中通常扮演较为重要角色, 在林资咏[44]等人的研究中针对术前患侧 APD、患侧肾盏大小、患侧肾皮质厚度、患侧肾皮质厚度与 APD 比值分析了患儿肾积水程度和肾功能恢复情况, 此类图像信息对于患者入院期间的全程管理可能具有一定指导意义。关于 DWI 加权成像特征对肾积液性质及肾功能的预测效能, 由于肾积脓患者的脓液内存在大量的炎性介质及细胞碎片, 这会导致液性暗区内存在密度不均的情况, 从而在 DW 图像中会有典型弥散受限的表现。在能谱 CT 的检查中, 进行鉴别诊断体现在有机物和无机矿物质含量上、细胞学分析的差别、较高的钙、碘摄取率等, 根据能谱衰减曲线在保证和增强 CT 同步进行且不增添其余操作步骤下, 多类信息的同步处理能够很好提高诊断效率。随着 AI 及学习模型在医学领域的发展, 可以通过相关参数如肾脏分割模型、积液体积、分肾功能、感染指标等联合影像学表现进行模型构建, 通过不同算法建立并优化诊断方案。但现阶段仍需优化算法并标准化, 整合多模态数据以增强临床实用性。

目前, 影像学检查肾积液正从形态学评估转向多维信息与诊断模型水平的精准诊断。多类影像学辅助诊断、多模式融合、人工智能和深度学习算法的加入显著提升了肾积水和肾积脓的鉴别诊断效率和临床决策能力, 在多项技术优化、多中心合作的诊疗模式普及后, 对于肾积液患者的鉴别诊断和全程管理将迎来巨大进步。

基金项目

基于神经网络与能谱 CT 成像特征的肾积脓预测模型的构建与应用(基金项目编号: CSTB2022NSCQ-MSX1606)。

参考文献

- [1] Maiti, A., Saha, D. and Das, A. (2017) Emphysematous Pyelitis: An Entity Distinct from Emphysematous Pyelonephritis. *The American Journal of the Medical Sciences*, **353**, 505. <https://doi.org/10.1016/j.amjms.2016.07.005>
- [2] 柯倩, 宇传华, 刘晓雪, 等. 基于 GBD 数据的中国慢性肾疾病疾病负担现状及趋势分析[J]. 公共卫生与预防医学, 2021, 32(5): 1-5.
- [3] 吴阶平. 吴阶平泌尿外科学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2004: 204.
- [4] Florido, C., Herren, J.L., Pandhi, M.B. and Niemeyer, M.M. (2020) Emergent Percutaneous Nephrostomy for Pyonephrosis: A Primer for the On-Call Interventional Radiologist. *Seminars in Interventional Radiology*, **37**, 74-84. <https://doi.org/10.1055/s-0039-3401842>
- [5] 许昌, 陈亮, 曲正伟, 等. 多层螺旋 CT 对 53 例肾脏囊性病诊断与鉴别报告[J]. 影像研究与医学应用, 2020, 4(14): 47-49.
- [6] 张剑平, 吴小霞, 林荣凯. CT 值对上尿路结石继发肾感染的诊断价值[J]. 天津医药, 2020, 48(10): 978-981.

- [7] 廖树彬, 杨东参, 苏晓琳. CT 在诊断肾结石合并脓肾及手术前定位中的应用[J]. 影像科学与光化学, 2022, 40(4): 725-729.
- [8] 成龙, 杨伟忠, 石崇军, 等. 平扫 CT 值在梗阻性肾积液中的新用途[J]. 国际医药卫生导报, 2021, 27(15): 2308-2311.
- [9] 吴江, 李道兵, 赵长永, 等. CT 值对肾积水合并感染的诊断价值[J]. 中华泌尿外科杂志, 2018, 39(1): 54-57.
- [10] Gholipour, F., Bagheri, M., Mohammadi Sichani, M., *et al.* (2025) Computed Tomography in Pyonephrosis: The Diagnostic Performance of Hounsfield Unit Compared to Conventional Tools. *Translational Research in Urology*, **7**, 70-76.
- [11] Yuruk, E., Tuken, M., Sulejman, S., Colakerol, A., Serefoglu, E.C., Sarica, K., *et al.* (2016) Computerized Tomography Attenuation Values Can Be Used to Differentiate Hydronephrosis from Pyonephrosis. *World Journal of Urology*, **35**, 437-442. <https://doi.org/10.1007/s00345-016-1888-1>
- [12] Huang, B., Lu, G., Zhao, Y., Tu, W., Shao, Y., Wang, D., *et al.* (2024) The Mean Hounsfield Unit Range Acquired from Different Slices Produces Superior Predictive Accuracy for Pyonephrosis in Obstructive Uropathy. *Investigative and Clinical Urology*, **65**, 286-292. <https://doi.org/10.4111/icu.20230240>
- [13] 叶树朝, 卢东明, 廖尚范, 等. 基于肾盂尿和膀胱尿平均 CT 值的差值预测肾积脓风险列线图的建立和验证[J]. 中华泌尿外科杂志, 2025, 46(2): 97-103.
- [14] 聂德新, 陈龙龙, 谢兵山, 等. 上尿路结石继发肾积脓危险因素分析[J]. 临床泌尿外科杂志, 2020, 35(9): 688-691, 695.
- [15] 年智, 申大年, 穆元忠. 血清学指标联合 CT 值预测上尿路结石继发肾积脓的价值及其危险因素[J]. 现代泌尿外科杂志, 2022, 27(2): 119-123.
- [16] 成龙, 杨伟忠, 石崇军, 等. 平扫 CT 值和白细胞介素 6 在尿路梗阻性肾积液中的诊断价值[J]. 临床泌尿外科杂志, 2021, 36(12): 932-936.
- [17] 郭亮, 徐鹏程, 胡恒龙. 胱抑素 C 和肾积液 CT 值在尿路结石梗阻性肾积脓患者中的临床意义[J]. 分子诊断与治疗杂志, 2020, 12(10): 1406-1410.
- [18] Islam, U., A. Al-Atawi, A., Alwageed, H.S., Mehmood, G., Khan, F. and Innab, N. (2024) Detection of Renal Cell Hydronephrosis in Ultrasound Kidney Images: A Study on the Efficacy of Deep Convolutional Neural Networks. *PeerJ Computer Science*, **10**, e1797. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1797>
- [19] Becker, J., Woźnicki, P., Decker, J.A., Risch, F., Wudy, R., Kaufmann, D., *et al.* (2024) Radiomics Signature for Automatic Hydronephrosis Detection in Unenhanced Low-Dose CT. *European Journal of Radiology*, **179**, Article ID: 111677. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111677>
- [20] 周云, 周鹏新. 多层螺旋 CT 增强扫描对肾脓肿合并肾周感染患者的诊断价值[J]. 实用医学影像杂志, 2021, 22(4): 396-398.
- [21] 字蕾, 张莹, 姜曼. 肾脓肿合并肾周感染运用多排螺旋 CT 扫描的诊断价值分析[J]. 影像研究与医学应用, 2019, 3(21): 187-188.
- [22] 欧意敏. 多层螺旋 CT 双期增强扫描在单侧肾积水肾功能评估中的价值研究[D]: [硕士学位论文]. 衡阳: 南华大学, 2020.
- [23] Karajgikar, J.A., Bagga, B., Krishna, S., Schieda, N. and Taffel, M.T. (2025) Multiparametric MR Urography: State of the Art. *RadioGraphics*, **45**, e240151. <https://doi.org/10.1148/rq.240151>
- [24] 武志峰, 朱捷, 刘荣波, 等. 磁共振成像在结核性脓肾与肾积水鉴别诊断中的应用[J]. 中华全科医师杂志, 2005, 4(12): 727-729.
- [25] Cruz, J., Figueiredo, F., Matos, A.P., Duarte, S., Guerra, A. and Ramalho, M. (2019) Infectious and Inflammatory Diseases of the Urinary Tract: Role of MR Imaging. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, **27**, 59-75. <https://doi.org/10.1016/j.mric.2018.09.001>
- [26] Kulali, F. (2023) Diffusion-Weighted Imaging versus Non-Contrast Magnetic Resonance Imaging in the Diagnosis of Acute Appendicitis during Pregnancy. *Revista da Associação Médica Brasileira*, **69**, 56-60. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.20220578>
- [27] 刘福贵, 施从忠, 乐春燕. 磁共振弥散加权成像与 ADC 在肾积水肾功能评估的价值分析[J]. 中国医疗器械信息, 2022, 28(2): 110-112.
- [28] 余小亚. IVP、CTU 及 MRU 在肾积水诊断中的临床应用效果评价[J]. 影像研究与医学应用, 2019, 3(12): 205-206.
- [29] Ye, J., Kumar, B.S., Li, X., Li, H., Zhou, Y. and Liu, L. (2015) Clinical Applications of Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging in Diagnosis of Renal Lesions—A Systematic Review. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, **37**, 459-473. <https://doi.org/10.1111/cpf.12313>

- [30] Gao, X., Sun, Y., Li, L., Peng, Y., Fang, Z., Wang, Z., *et al.* (2018) AB061. Can Diffusion-Weighted Magnetic Resonance Imaging Be Efficient in the Differential Diagnosis of Uronephrosis and Pyonephrosis? *Translational Andrology and Urology*, **7**, AB061. <https://doi.org/10.21037/tau.2018.ab061>
- [31] Lai, C., Hu, Z., Zhu, J., Dai, M., Qi, X., Zhai, Q., *et al.* (2025) Development and Validation of a Deep Learning-Based Automated Computed Tomography Image Segmentation and Diagnostic Model for Infectious Hydronephrosis: A Retrospective Multicentre Cohort Study. *eClinicalMedicine*, **82**, Article ID: 103146. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2025.103146>
- [32] Mendi, B.A.R. and Batur, H. (2025) Machine Learning Algorithms Can Recognize Hydronephrosis in Non-Contrast CT Images. *Acta Radiologica*. <https://doi.org/10.1177/02841851251327892>
- [33] 韩文艳. CT 能谱成像的基本原理与临床应用优势[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(12): 90-91, 94.
- [34] Cui, Y., Gao, S., Wang, Z., Li, X., Sun, Y., Tang, L., *et al.* (2012) Which Should Be the Routine Cross-Sectional Reconstruction Mode in Spectral CT Imaging: Monochromatic or Polychromatic? *The British Journal of Radiology*, **85**, e887-e890. <https://doi.org/10.1259/bjr/27844842>
- [35] 程明, 肖喜刚, 陈文军, 等. 能谱 CT 成像在肾积水和单纯性肾囊肿鉴别中的应用价值[J]. 哈尔滨医科大学学报, 2017, 51(1): 35-40.
- [36] 燕洋洋, 韩冬, 师卫华, 等. 基于能谱 CT 平扫构建肾盂旁囊肿与非结石性积水的鉴别诊断模型[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(6): 972-976, 992.
- [37] 刘冬野, 刘川, 付云锐, 等. 能谱 CT 成像在肾积脓和肾积水鉴别中的应用研究[J]. 重庆医科大学学报, 2025, 50(2): 175-182.
- [38] Yan, Y., Liu, Y., Guo, Y., Li, B., Li, Y. and Wang, X. (2024) Early Diagnostic Model of Pyonephrosis with Calculi Based on Radiomic Features Combined with Clinical Variables. *BioMedical Engineering OnLine*, **23**, Article No. 97. <https://doi.org/10.1186/s12938-024-01295-z>
- [39] Yuan, G., Cai, L., Qu, W., Zhou, Z., Liang, P., Chen, J., *et al.* (2024) Identification of Calculous Pyonephrosis by Ct-Based Radiomics and Deep Learning. *Bioengineering*, **11**, Article 662. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11070662>
- [40] 翁婷, 郑怡, 朴雪瑞, 等. CTU 在儿童先天性泌尿系畸形中的诊断价值[J]. 中国优生与遗传杂志, 2018, 26(9): 76-77, 72.
- [41] 赵文兵, 王毅东, 原小斌, 等. 梗阻性肾积脓 40 例诊疗体会[J]. 山西医药杂志, 2010, 39(15): 745-747.
- [42] Gasparini, M.E., Chang, T.W., St Lezin, M., Skerry, J.E., Chan, A. and Ramaswamy, K.A. (2019) Feasibility of a Telemedicine-Administered, Pharmacist-Staffed, Protocol-Driven, Multicenter Program for Kidney Stone Prevention in a Large Integrated Health Care System: Results of a Pilot Program. *The Permanente Journal*, **23**, No. 4. <https://doi.org/10.7812/tpp/19.023>
- [43] 陈龙龙. 上尿路结石梗阻性肾积脓的危险因素分析[D]: [硕士学位论文]. 天津: 天津医科大学, 2020.
- [44] 林资咏, 杨屹, 殷晓鸣, 等. 小儿肾积水手术后肾功能的相关因素分析及预测模型建立[J]. 临床小儿外科杂志, 2022, 21(2): 156-161.