泌尿系统疾病

DOI：10.13406/j.cnki.cyxb.003643

能谱CT成像在肾积脓和肾积水鉴别中的应用研究

刘冬野[1]，刘　川[1]，付云锐[2]，杨仕海[3]

（1.重庆庆医科大学附属第二医院泌尿外科，重庆　400000；2.重庆市南川区人民医院泌尿外科，重庆　408400；
3.重庆市南川区人民医院放射科，重庆　408400）

【摘　要】目的：评价能谱CT成像各功能参数在肾积脓和肾积水鉴别方面的临床应用价值。**方法：**回顾性分析2021年2月至2023年3月于重庆市南川区人民医院泌尿外科行能谱CT扫描的中重度肾积液患者共46例，包括18例肾积脓患者和28例肾积水患者，所有患者均于增强CT肾内积液显影时间段内行宝石能谱CT双能量能谱成像（gemstone spectral imaging，GSI）模式扫描，在后处理工作站及GSI浏览器获取患者肾积水液区的能谱CT 40~140 keV各层面下单光子能量图像、能谱衰减曲线、尿无机物定量及有效原子序数等特征参数图像；由公式k=（HU40/HU100）/60计算其能谱曲线斜率，对比以上参数差异。同时纳入肾积脓白细胞定量、肾积脓钙定量同能谱40 keV单能量图像上CT值的多元线性回归分析，并将所得数据均进行独立样本t检验，绘制ROC曲线对比各参数对肾积脓和肾积水鉴别上的敏感性和特异性。本研究拟通过以上相关参数以确定能谱CT在二者间的诊断效能。**结果：**能谱CT显示肾积脓液区在40~60 keV的3个低能量层面能谱CT值差异有统计学意义，且能量越低（40 keV）差异性越大；肾积脓组的能谱曲线斜率、有效原子序数值、噪声比数值高于肾积水组，钙离子定量低于肾积水组，差异有统计学意义；肾积脓混合能量CT值略大于肾积水CT值，差异无统计学意义。根据能谱CT单能量图像和术后肾盂尿钙离子定量对患者肾积脓程度的多因素线性回归分析，肾盂脓尿白细胞个数（b=0.886，β=0.725，P<0.001）和肾盂脓尿钙定量（b=−75.037，β=−0.193，P=0.043）能够分别正向、负向预测能谱40 keV单能量图像上脓尿液区的CT值，并共同证实了对肾积脓诊断64.8%的预测率。ROC曲线分析表示脓尿中白细胞定量、40 keV单能量图像液性暗区的CT值、噪声比及脓尿钙离子相对定量均具有对肾积脓诊断效能，且预测效果较好。**结论：**能谱CT成像结合多种能谱分析技术在肾积脓和肾积水的鉴别上有着良好的预测及诊断效能。

【关键词】肾积脓；能谱CT成像；能谱曲线；有效原子序数

【中图分类号】R814.42；R692.2　　**【文献标志码】**A　　**【收稿日期】**2024-02-21

Application of spectral computed tomography in the differential diagnosis of pyonephrosis and hydronephrosis

Liu Dongye[1]，*Liu Chuan*[1]，*Fu Yunrui*[2]，*Yang Shihai*[3]

（*1. Department of Urology，The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University；2. Department of Urology，The People's Hospital of Nanchuan；3. Department of Radiology，The People's Hospital of Nanchuan*）

【Abstract】*Objective*：To investigate the clinical application value of various functional parameters of spectral computed tomography（CT）in the differential diagnosis of pyonephrosis and hydronephrosis. ***Methods*：**A retrospective analysis was performed for 46 patients with moderate or severe renal effusion who underwent spectral CT in Department of Urology，The People's Hospital of Nanchuan，from February 2021 to March 2023，among whom there were 18 patients with pyonephrosis and 28 patients with hydronephrosis. All patients underwent scanning in the gemstone spectral imaging（GSI）mode within the period of contrast-enhanced CT for renal effusion. The post-processing workstation and GSI browser were used to obtain the specific spectral CT parameters of the hydronephrosis area at every alternate 10 keV level of spectral CT 40~140 keV，including monochromatic spectral image，spectrum attenuation curve，quantification of inorganic compounds in urine，and effective atomic number，and the formula k=（HU40/HU100）/60 was used to calculate the slope of the spectral curve；the above parameters were compared. Then a multivariate linear regression analysis was performed for CT values on 40 keV monochromatic spectral CT imaging together with the quantification of leukocytes and calcium in pyonephrosis，and the independent samples t-test was used for the analysis of related data. The receiver operating characteristic（ROC）curve was plotted to investigate the sensitivity and specificity of each parameter in the

作者介绍：刘冬野，Email：993863019@qq.com，
研究方向：输尿管结石、肾积液相关方面研究。

通信作者：刘　川，Email：liuchuan100@126.com。

基金项目：重庆市自然科学基金资助项目面上项目（编号：CSTB2022NSCQ-MSX1606）。

优先出版：https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20241209.1227.006（2024-12-09）

differential diagnosis of pyonephrosis and hydronephrosis. The above parameters were analyzed to determine the diagnostic efficacy of spectral CT for pyonephrosis and hydronephrosis. ***Results***: Spectral CT showed that there were significant differences in spectral CT values between the three low-energy levels of 40-60 keV, and the lower the energy (40 keV), the greater the difference. Compared with the hydronephrosis group, the pyonephrosis group had significantly higher slope of spectral curve, effective atomic number, and contrast-to-noise ratio and significantly lower quantification of calcium, as well as a slightly higher mixed-energy CT value with no significant difference. The multivariate linear regression analysis of the degree of pyonephrosis in patients based on monochromatic spectral CT imaging and postoperative calcium ion quantification showed that the number of leukocytes (b=0.886, β=0.725, P<0.001) and urinary calcium quantification in pyonephrosis (b=-75.037, β=-0.193, P=0.043) could positively or negatively predict the CT values of the pyuria area on the 40 keV monochromatic spectral CT image, accounting for 64.8% of the prediction rate in the diagnosis of pyonephrosis. The ROC curve analysis showed that leukocyte quantification in pyuria, CT value of fluid sonolucent area on the 40 keV monochromatic spectral CT image, contrast-to-noise ratio, and relative quantification of calcium ions in pyuria had a certain diagnostic efficacy for pyonephrosis, with a relatively good predictive effect. ***Conclusion***: Spectral CT imaging combined with various energy spectrum analysis techniques has good predictive and diagnostic efficacy in the differential diagnosis of pyonephrosis and hydronephrosis.

【Key words】pyonephrosis; spectral computed tomography; spectral curve; effective atomic number

肾积脓是肾实质感染所致广泛的化脓性病变，或尿路梗阻后肾盂肾盏积水、感染而形成一个积聚脓液的脓腔[1]。近年来由于广谱抗生素的应用等原因，导致肾积脓临床表现不典型，并且现阶段影像学检查相较于肾积水无特异性临床数据作为确诊依据，亦无明确确诊标准[2]。

现阶段临床上依旧依靠器械进入肾盂引流后发现有脓液引出才确诊为肾积脓。此类情况下一般先终止计划手术，干预措施则转而选择行经皮肾造瘘或输尿管内支架置入引流，否则引发脓毒血症、感染性休克的发生率较高，危及患者生命[3-4]。则对肾积脓患者可以尽早诊断并行早期局麻的引流手术干预，待患者感染情况控制较好后，再二期行手术治疗可以更大程度使患者受益：早期诊断肾积脓，解除梗阻，挽救肾功能；避免一期全麻手术对患者的身体打击；更精准的治疗方案：先准备经皮肾造瘘或输尿管内支架置入术的一期引流手术或直接手术，减轻了患者经济负担，给患者合理术前心理预期，降低医疗纠纷风险[5]。

能谱CT的问世，为影像学的发展开辟了新的方向。其物质衰减的原理为CT物理学家Brooks RA.于1977年发现，并奠定了能谱CT能够采取MD物质定性分离并定向测定的实验基础[6]。其利用单X球管瞬间实现高低能量切换能够达到双能量成像的目的[7]，同时后处理工作站及宝石能谱CT双能量能谱成像（gemstone spectral imaging，GSI）浏览器能够获取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等，比常规CT图像提供了更多的信息[8-11]。本研究旨在探讨能谱CT及其相关分析技术在肾积脓和肾积水早期鉴别诊断上的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究纳入2021年2月至2023年3月重庆市南川区人民医院泌尿外科经影像学诊断为肾积水患者，根据纳入标准进行术前能谱CT检查108例，由于前期手术取样方案不当及术中手术医师操作等因素排除部分病例，根据术中是否发现肾积脓分为肾积水组（对照组）与肾积脓组（试验组）2组。入院时患者均通过彩超等影像学检查确定存在肾盂系统内分离≥2 cm的扩张区域，同时包括入院检查时肾盂分离不明显但输尿管近端明显扩张且已证实由肾盂输尿管连接处梗阻所致积液的患者，考虑液区随体位变换造成的位置变化。纳入的所有患者入组需要明确证实：影像科图像及分析所得数据，来源于术中确诊的肾积脓（术中明确导管引出脓尿、镜下见脓尿等）。最终符合入组标准的肾积水患者46例，28例肾积水，18例肾积脓。纳入标准：①入院患者超声或平扫CT诊断为单侧/双侧肾中重度肾积水，肾盂横径≥20 mm者；②近期无外伤史，无明显血尿、蛋白尿等；③近期未进行增强CT、造影等检查造成肾脏额外排泄造影剂者。排除标准：①由于患者难以配合或其他因素导致能谱CT图像不清晰者；②患者有泌尿系统手术史（肾盂输尿管连接部狭窄及既往中重度积水患者）或输尿管支架置入者；③先天泌尿系统畸形者；④能谱CT未见液区强化者。本研究通过医院伦理委员会审批（审批号：YXYJ-2022-005）。

1.2 检查方法

检查前，向患者交代扫描中的注意事项，训练患者呼吸平稳，除去衣物上的金属物品及配饰。所有患者取仰卧位，均采用美国通用电气公司Revolution 256排512层螺旋CT机进行增强扫描，行宝石能谱CT高分辨率扫描模式的延迟1 min GSI模式扫描：管电压为高低能量140 kVp和80 kVp高速切换，选择智能管电流（最大485 mAs）。层厚及层间距均为5.0 mm，螺距（pitch）为0.508∶1，扫描速度为

0.5 s/周，重建单能量图像包含40~140 keV（以10 keV为间隔），所有图像均传送到图像后处理工作站（picture archiving and communication system，PACS）进行图像后处理。

1.3 图像处理及数据分析

能谱CT扫描数据传入PACS影像归档和通信系统，获得2组病例的40~140 keV单能量图像、能谱衰减曲线及斜率、有效原子序数图等特征性图像；在各层级单能量图像中，画取3个不同平面的感兴趣区（region of interest，ROI）获取CT值并取其平均值。由能谱衰减曲线斜率计算公式k=（HU40/HU100）/60计算其能谱曲线斜率。对比2组病例在不同keV水平下单能量图像中的CT值差异，获得能谱衰减曲线及斜率、有效原子序数图等能谱成像特征参数；结合实验室检查对术中获取标本的白细胞定量、钾、钙等无机元素成分定量检测进行数据支持。

1.4 统计学方法

采用SPSS 22.0统计软件分析，符合正态分布的计量资料采用均数 ± 标准差（$\bar{x} \pm s$）表示，并进行独立样本t检验，检验水准α=0.05。获得患者组间差异性高的单层面图像CT值，肾盂脓尿白细胞定量、Ca无机物定量作为自变量行多因素线性回归分析；绘制能谱多参数成像的受试者工作特征（receiver operating characteristic，ROC）曲线，比较各能谱相关特征参数鉴别肾积脓和肾积水的敏感性和特异性。研究能谱特征参数与实验室检查结果的相关性并建立多因素线性回归方程。

2 结 果

2.1 肾积脓和肾积水混合能量和不同单能量图像CT值比较

肾积水混合能量CT值（9.90 ± 2.80）HU，肾积脓CT值（11.03 ± 2.60）HU，差异无统计学意义（t=1.751，P=0.085），见表1。在通过肾积脓和肾积水2组间40~140 keV不同单能量图像液性暗区显示的CT值比较后，40~60 keV 3个低能量层面在2组中分别展示出的差异有统计学意义，且能量越低差异性越大（图1A、C），同对比70~140 keV单能量图像展示出明显差异。随着能量升高（70~140 keV），2组图像的CT值趋于接近，差异无统计学意义。见表1。

2.2 能谱CT成像对肾积脓和肾积水患者能谱衰减曲线斜率的对比分析

在肾积脓和肾积水组能谱曲线及斜率值比较中，肾积脓患者的能谱衰减曲线在低能量端衰减幅度较肾积水患者曲线更大（图1B、D）；将肾积脓组和肾积水组不同单能量（40~140 keV）对应的平均CT值在同一坐标系中重新生成能谱曲线，肾积脓患者较肾积水患者的能谱衰减曲线斜率更大；于低能量端（40 keV）可见明显斜率差异；2组患者能谱CT各层面的CT均值绘制衰减曲线并进行拟合，低能量端斜率差异较大，且曲线于高能量端处区域趋于重叠（图1E）。

通过试验组同对照组能谱衰减斜率值（k值）的统计学对照，肾积脓的能谱曲线斜率（0.84 ± 0.18）明显大于肾积水的斜率（0.64 ± 0.24），差异有统计学意义（t=3.144，P=0.006），见表2。

2.3 有效原子序数对肾积脓和肾积水鉴别诊断的效能分析

如图2所示，在患者患侧肾的能谱CT图像上分别于上、中、下盏进行ROI画取，所得3个不同层面图像汇入后处理工作站行软件分析。图3为肾积脓患者与肾积水患者的有效原子序数特征图对比。肾积脓组有效原子序数值（9.43 ± 0.27）明显高于肾积水组（7.86 ± 0.21），差异有统计学意义（t=1.645，P<0.001），见表2。

2.4 能谱CT图像噪声比的比较

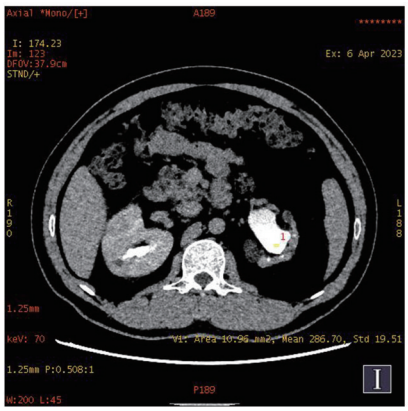
肾积脓组噪声比数值（200.66 ± 160.42）明显高于肾积水组（74.10 ± 35.610），差异存在统计学意义（t=3.299，P<0.001），见表2。

表1 2组患者能谱单能量CT值比较（$\bar{x} \pm s$）

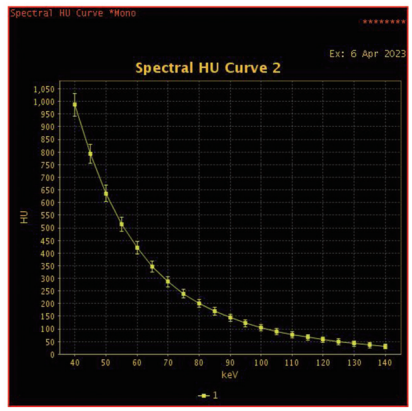
组别	混合能量CT值	40 keV（HU）	50 keV（HU）	60 keV（HU）	70 keV（HU）	80 keV（HU）
对照组	9.90 ± 2.80	834.70 ± 433.92	577.80 ± 232.80	419.90 ± 123.82	321.85 ± 88.67	258.80 ± 98.97
试验组	11.03 ± 2.60	1 986.11 ± 781.45	1 495.10 ± 816.51	1 022.05 ± 559.52	730.45 ± 409.09	542.78 ± 318.23
t值	1.751	−4.600	−2.126	−1.491	−2.126	−1.757
P值	0.085	0.001	0.033	0.052	0.063	0.179
组别	90 keV（HU）	100 keV（HU）	110 keV（HU）	120 keV（HU）	130 keV（HU）	140 keV（HU）
对照组	217.40 ± 118.11	188.70 ± 134.75	168.34 ± 147.71	153.98 ± 157.37	142.72 ± 164.42	134.24 ± 170.78
试验组	419.51 ± 263.80	333.47 ± 230.02	272.69 ± 209.56	223.22 ± 220.66	191.77 ± 191.81	156.50 ± 186.67
t值	−1.202	−1.202	−1.017	−0.832	−0.647	−0.466
P值	0.229	0.229	0.309	0.405	0.518	0.516

表2 肾积脓和肾积水相关能谱参数及无机物定量比较

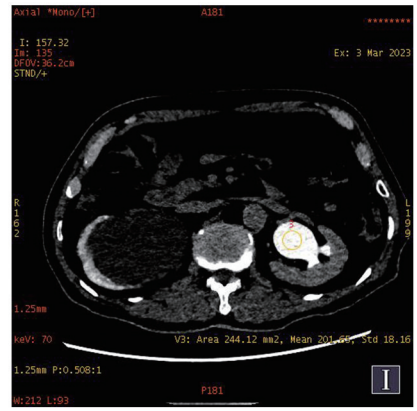
项目	曲线斜率	Eff-Z值	噪声比	钙定量	钾定量
肾积脓	0.84 ± 0.18	9.43 ± 0.27	200.66 ± 160.42	1.629 ± 0.74	13.363 ± 5.17
肾积水	0.64 ± 0.20	7.86 ± 0.21	74.10 ± 35.61	3.650 ± 2.20	19.377 ± 5.87
t值	3.144	1.645	3.299	−3.752	−1.808
P值	0.006	<0.001	<0.010	<0.001	0.671



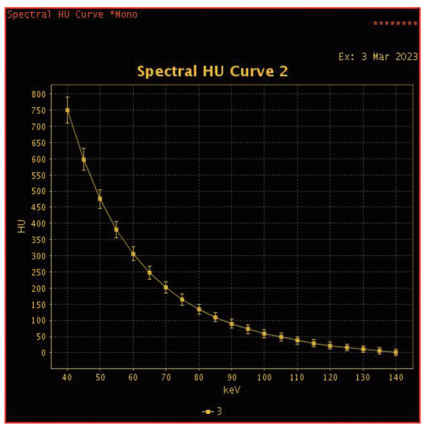
A. 左侧输尿管结石并肾积脓患者40 keV下单能量图像



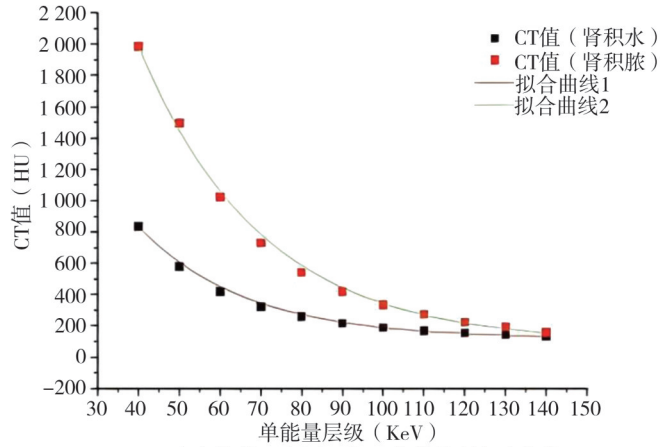
B. 左侧输尿管结石并肾积脓患者能谱衰减曲线



C. 左侧肾积水患者40 keV下单能量图像



D. 左侧肾积水患者能谱衰减曲线



E. 以2组患者能谱CT各层面的CT均值绘制衰减曲线

图1　肾积脓、肾积水患者单能量图像对比

2.5　患者肾盂尿的无机物定量分析

在术中获取肾盂尿标本进行尿沉渣定量分析及无机物定量，肾积脓组钙离子含量数值（1.629 ± 0.739）低于肾积水组（3.650 ± 2.203），差异有统计学意义（t=−3.752，P<0.001）；肾积脓组钾离子含量数值（13.363 ± 5.166），肾积水组（19.377 ± 5.866），差异无统计学意义（t=−1.808，P=0.671），见表2。

2.6　白细胞定量、钙定量与能谱40 keV能量CT值的多元线性回归分析

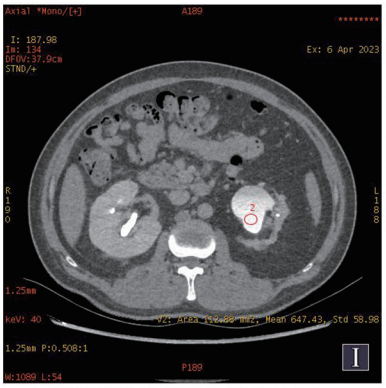
根据以上相关统计学分析，为确定以上相关指标体现在肾积脓在40 keV单能量图像CT值上的权重，将40 keV单能量图像CT值作为因变量，肾盂脓尿白细胞定量、肾盂尿钙定量作为自变量进行独立性分析：R^2=0.719，证明白细胞个数联合肾盂尿中钙含量能够较为充分解释在40 keV单能量下的CT值升高；DW=1.930，证明此项纳入3种定量物质及影像学特征性参数代表的独立性良好。采用多元线性回归分析结果显示，回归方程明显，F=44.321，P<0.001。其中，肾盂脓尿白细胞个数（b=0.886，β=0.725，P<0.001）能够正向预测能谱40 keV单能量图像上脓尿液区的CT值；肾盂脓尿钙定量（b=−75.037，β=−0.193，P=0.043）能够负向预测能谱40 keV单能量图像上脓尿液区的CT值；以上2种指标共同证实了对肾积脓诊断64.8%的预测率。见表3。

2.7　ROC曲线评价能谱CT特征参数及肾盂尿钙指标预测肾积脓的诊断价值

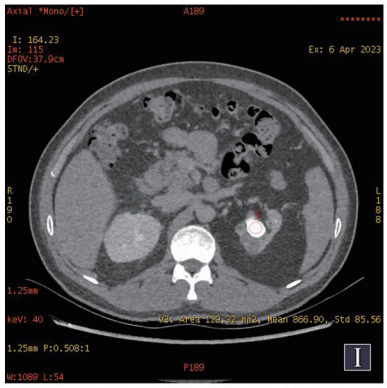
以肾盂脓尿为阳性值，肾积水为对照值，真阳性定义为临床确诊为肾积脓而且影像诊断为肾积水的概率；假阳性定义为临床确诊为肾积脓而影像误诊为肾积水的概率。结果显示：①脓尿中白细胞定量、40 keV单能量图像液性暗区的CT值、噪声比及脓尿钙离子相对定量ROC曲线下面积（area under the curve，AUC）=0.970、0.900、0.735、0.827，P=0.001、0.013、0.070和0.001，证明4者均对肾内脓尿具有诊断效能，且预测效果较好。②由截断结果可以看出，当脓尿白细胞数

表3　白细胞定量、钙定量与能谱40KeV能量CT值的多元线性回归分析

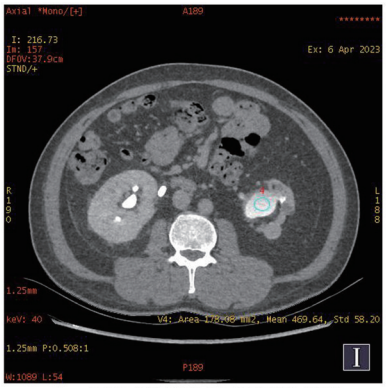
项目	B	β	t	P	F	调整后R^2
白细胞个数	0.886	0.725	7.819	<0.001	44.321	0.648
钙含量	−75.037	−0.193	−2.08	0.043		



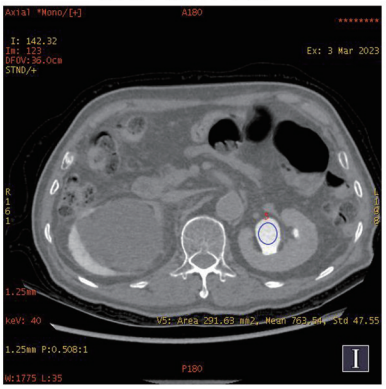
A. 某肾积脓患者肾上盏平面40 keV能量下能谱CT图像



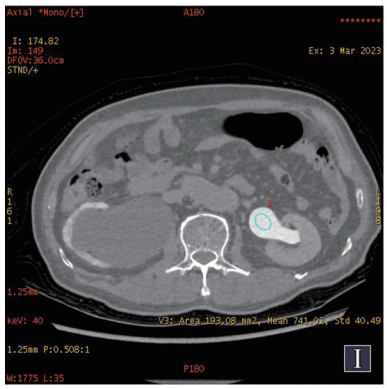
B. A图患者同能量下肾中盏图像



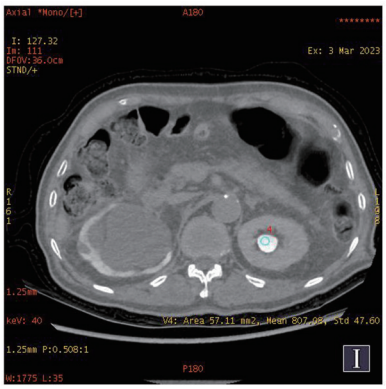
C. A图患者同能量下肾下盏图像



D. 某肾积水患者肾上盏平面40 keV能量下能谱CT图像



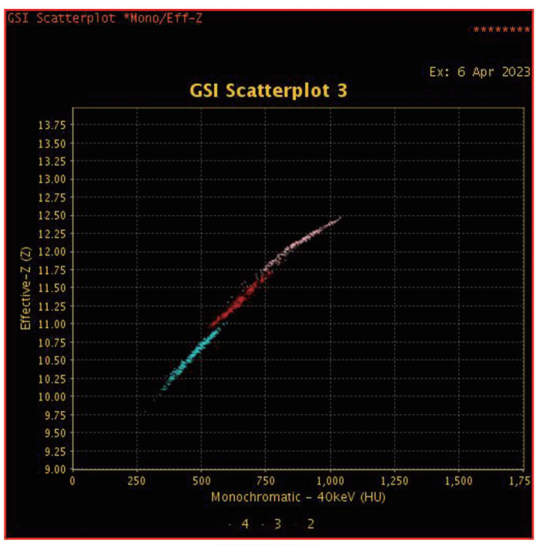
E. D图患者同能量下肾中盏图像



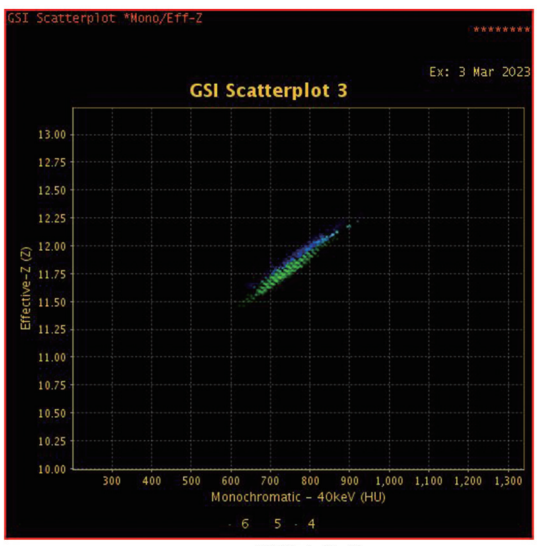
F. D图患者同能量下肾下盏图像

注：A、B、C属于同一肾积脓患者，D、E、F属于同一肾积水患者；均在能谱CT 40 keV单能量扫描下获取上、中、下盏的3个层面，避免钙化及不均质，进行对应CT值、有效原子序数均值计算并获取数据

图2　患者ROI截取方式



A. 肾积脓患者



B. 肾积水患者

图3　有效原子序数特征图对比

大于11.5、40 keV单能量图像液性暗区的CT值>1 163.395 HU、噪声比>186.635、脓尿钙离子相对定量>0.491时，即肾盂尿钙离子定量低于2.037时，可以判断其具备诊断肾盂脓尿的必要条件。③在40 keV单能量图像液性暗区的CT值条件下，其鉴别出肾盂脓尿的敏感度77.8%，特异度为99.3%；液性暗区噪声比鉴别肾盂脓尿的敏感度为61.1%，特异度为96.5%；脓尿钙离子相对定量鉴别肾积水和单纯性肾囊肿的敏感度为77.2%，特异度为80.0%。能谱CT特征参数等预测积脓的ROC结果见表4，肾积脓和肾积水各参数的ROC曲线图见图4。

表 4　能谱 CT 特征参数等预测积脓的 ROC 结果

指标	AUC 面积	*P* 值	截断值	灵敏度	特异度	约登指数
白细胞数	0.970	0.001	11.500	0.889	0.967	0.856
40 keV 单能量图像 CT 值	0.900	0.013	1 163.395	0.778	0.993	0.771
噪声比	0.735	0.070	186.635	0.611	0.965	0.576
脓尿相对钙离子定量	0.827	0.070	0.491	0.722	0.800	0.522

注：AUC 面积越接近 1.0 说明该指标诊断准确性较高；若面积接近 0.5 证明其准确性越差

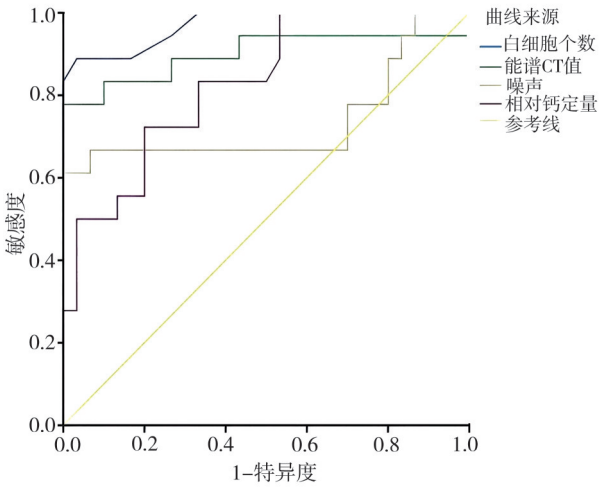


图 4　肾积脓和肾积水各参数的 ROC 曲线图

3　讨　论

国内外现阶段缺乏对肾积脓和肾积水进行鉴别诊断明确影像学标准。在以往研究中，根据不同疾病产生的积液的病理区别通过能谱 CT 的单能量成像进行了较精准的诊断[12-14]。唐劲松等[15]的研究通过运用能谱 CT 非增强模式无水碘图进行了骨松质骨密度的分析，此举意味着通过能谱 CT 的后成像运算技术能够很好地对固体物质密度进行分析。李大铭等[16]的研究通过能谱 CT 成像评估肝肿瘤内部是否存在微血管侵犯来判断预后情况；沈静娴等[17]通过能谱 CT 定量参数能够鉴别诊断非小细胞肺癌是否存在淋巴结转移，从而证实了在能谱 CT 下通过基物质浓度等相关参数来确定组织成分是可行的。并且，结合能谱 CT 单能量成像特点进行分析的处理工作站及 GSI 浏览器能够提供多种能谱分析技术[18-19]，可区分组织成分差异、溶液浓度差异及肿瘤良恶性差异[20]等，且已于国内外成功运用于肾囊肿与肾积水的鉴别诊断、结核性与恶性胸腔积液鉴别诊断、泌尿系结石成分分析[21]及卵巢积脓的诊断等方面[22-23]，而肾积脓与肾积水的组织成分差异及溶液浓度差异存在，所以理论上可推测应用能谱 CT 诊断肾积脓程度并鉴别肾积脓及肾积水的这一学术构想是可行的。

CT 成像的本质在于通过 X 线的衰减来运算出空间图像，并且任何一种物质的衰减都可通过两种基物质的浓度来表达，例如，水、碘的 μ 值分别以 μwater 和 μiodine 代表，则代表公式为 μ=Dwater*μwater+Diodine*μiodine。在原始数据空间，对“同时、同源、同向”采集到的高地双能（Plow，Phigh）数据进行“矩阵式物质解析”。在确定 D 值物质浓度后，即可进行物质定性分离及定量测定。而人体组织并非由单纯的 2 种基物质构成，基物质对难以真正反应组织内的真正成分，所以对于患者病灶情况需要更多的特异性参数进行评估[8,24]。

单能量图像不但可以提高图像的对比噪声比，更加清晰地显示病灶，还可以增加不同组织结构之间的对比，利于与实质脏器内病灶检出和鉴别[25]。本研究显示在单能量图上，能量越低，肾积水和肾积脓的 CT 值差别越大，在 40 keV 时差别最大，在高能量端肾积水和肾积脓 CT 值差别无统计学意义，这与能谱成像中，低能量图像在液体组织的对比度大，高能量图像组织对比度较小有关。本研究亦测量了混合能量常规图像的 CT 值，统计结果显示，肾积脓的 CT 平均值与肾积水差异无统计学意义，说明以往患者入院常规行 CT 检查无法有效鉴别出肾内积液性质，而能谱 CT 低能量端图像对二者之间鉴别有重要作用。

能谱 CT 衰减曲线以 keV 水平为横轴，单能量 CT 值为纵轴，将 40~140 keV 对应 CT 值在坐标系中绘成能谱衰减曲线。该曲线可以显示不同病变或人体组织随着 X 射线能量水平（keV）的改变趋势。由于不同物质具有特定的衰减系数，因此我们推断可以通过此曲线的走势大致特点推断出不同物质的能谱曲线存在的区别。张迎等[26]运用实验研究的方法，将不同成分和浓度的溶液进行能谱扫描，认为不同成分溶液能谱曲线形态不同，能谱曲线斜率与溶液成分和浓度有较强的相关性，从而得出能谱曲线可以区分不同成分及浓度的溶液的结论。辛

小燕等[27]的研究显示在常规混合能量扫描时，渗出液与漏出液通过常规CT检查难以发现二者CT值的明显差别，而通过能谱曲线斜率明显高于漏出液组的特点可以显著鉴别二者的差异，因此本研究引入肾积水和肾积脓二者的能谱曲线进行对比。建立相应坐标系后，可以看见在低能量端两条曲线斜率都较大，肾积脓积液强化区的曲线代表的CT值要大于肾积水，曲线位于积水之上，且衰减程度存在肉眼可见差距，证明此方面可为鉴别肾积脓和肾积水的有效可行方案。肾积脓能谱衰减曲线斜率明显大于肾积水，说明2种液体的X线衰减系数存在差别，这和之前发现二者之间成分及物质组成不同的结论保持吻合。

有效原子序数（effective atomic number，EffZ）是从化学元素周期表的原子序数中引申而来的一个概念，如某化合物或混合物对X线的质量衰减系数与某种化学元素的衰减系数相同，则该元素的原子序数就被认为是该化合物或混合物的有效原子序数[28]。本研究中肾积脓的有效原子序数高于肾积水，考虑肾积脓与肾积水存在无机物、有机物组成的差异造成。肾积脓组钙含量低于肾积水组，也证实了该差异存在。

国内外至今尚缺乏对于肾积脓较为完整且准确的预测及诊断指标，为此，本研究将最具有差异性的单能量图像CT值同患者肾积脓的程度（镜检白细胞个数）进行多因素线性回归分析，探索二者是否存在线性关系，这与本课题组为寻找术前无创评估方案出发点相同。在发现积液性质在低能量图像（40 keV）下能被较为明显观测到后，本课题组在检验科得到其相应的镜下脓白细胞个数。对此进行分析后发现其相关程度较高，并且在肉眼难以鉴别、镜下可发现白细胞的入组脓液上，通过影像学也可见明显差别，这就说明可以在此基础上更加灵敏地鉴别诊断出肾积脓，这对于解决尿路梗阻的术前积液性质评估有很大帮助。

综上，在单能量图像尤其低能量图像、能谱曲线斜率、有效原上等成像参数方面，本研究发现了肾积水和肾积脓（肾盂脓尿）之间存在着明显的差异，而之后的定量分析，本课题组了解了如何初步根据低能量能谱CT值诊断出肾积脓：在能谱CT单能量成像对肾积脓诊断标准时，在40~70 keV单能量图像、能谱曲线特征、能谱曲线衰减斜率、有效原子序数上等成像参数上存在明显的差异，并且本研究发现，在获得患者单能量成像下的HU值情况下，可较为准确推算出患者肾积脓的脓液镜下白细胞个数，进而判断患者肾积脓的严重程度。相对于以往常规的CT检查，应用能谱CT低能量成像的特点可以更好地区分肾积水和肾积脓，并更特异地为肾积脓提供了诊断依据，提供了无创诊断的新思路与新方法。

由于研究时间有限，所收集到的病例数量不足，仍存在可能出现的问题。在进行肾盂尿液标本采集时本课题组使用改进后方案：于术中置入输尿管支架入肾盂内取样，此举使采集标本为准确的肾盂尿；但前期研究中因输尿管解剖因素或结石位置等导致取样困难，因输尿管镜冲水造成取样脓液的浓度误差，导致排除病例较多。同时，课题进行中术前进行抗感染治疗周期不同，可能因抗生素使用导致术中脓液取样同入院时获取影像数据有偏差。本课题组设想或可术前行能谱CT影像学检查，或对齐抗生素使用种类及治疗周期长短。本课题组设想以上问题待后续研究中收集更多病例及采用多因素线性回归分析来解决。

综上，对于新入院诊断为输尿管结石、输尿管狭窄等引起肾积液（肾积水、肾积脓）需判断其性质的患者，在指南建议首先进行增强CT检查的基础之上，使用能谱CT成像系统（与增强CT检查同步进行，不增加患者经济负担及检查时间）进行其肾积液性质判断，同比入院时常规所行CT平扫检查，可达到较高的敏感度及特异度，从而精准判断患者肾积液性质和精准预测手术方案。肾积脓早诊断后，可早期干预，从而改善预后并减轻患者医疗负担。

参 考 文 献

[1] Abderrahmane D，Mahmoud A，Mehdi S，et al. Managing of pyonephrosis：about 42 cases[J]. Mathews J Urol Nephrol，2024，6(2)：1-5.

[2] Tamburrini S，Lugarà M，Iannuzzi M，et al. Pyonephrosis ultrasound and computed tomography features：a pictorial review[J]. Diagnostics，2021，11(2)：331.

[3] Flukes S，Hayne D，Kuan M，et al. Retrograde ureteric stent insertion in the management of infected obstructed kidneys[J]. BJU Int，2015，115(Suppl 5)：S31-S34.

[4] Chang CW，Huang CN. Pyonephrosis drained by double-J catheter[J]. Clin Case Rep，2020，8(12)：3586-3587.

[5] Scarneciu I，Constantina A，Grigorescu D，et al. Pyonephrosis：diagnosis and treatment：report of 65 cases[J]. Jurnal Medical Brasovean，2015(2)：45-48.

[6] 任庆国，滑炎卿，李剑颖. CT能谱成像的基本原理及临床应用[J]. 国际医学放射学杂志，2011，34(6)：559-563.
Ren QG，Hua YQ，Li JY. The basic principle and clinical applications

of CT spectral imaging[J]. Int J Med Radiol,2011,34(6):559-563.

[7] Brooks RA. A quantitative theory of the Hounsfield unit and its application to dual energy scanning[J]. J Comput Assist Tomogr, 1977, 1(4):487-493.

[8] 王 欣,陈刘成,沈龙山,等. CT能谱成像基本原理及其临床应用进展[J]. 中国中西医结合影像学杂志,2021,19(2):197-200.

Wang X, Chen LC, Shen LS, et al. Basic principle and clinical application of CT energy spectrum imaging[J]. Chin Imag J Integr Tradit West Med,2021,19(2):197-200.

[9] 王 艳,史大鹏,朱绍成,等. 比较以自适应性统计迭代重建技术和滤过反投影重建的低剂量腹部CT的图像质量[J]. 中国医学影像技术,2012,28(10):1902-1905.

Wang Y, Shi DP, Zhu SC, et al. Image quality of low-dose abdominal CT: comparison between adaptive statistical iterative reconstruction and filtered back projection reconstruction[J]. Chin J Med Imag Technol, 2012,28(10):1902-1905.

[10] 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.

Han WY. Basic principle and advantages of clinical application of CT energy spectrum imaging[J]. China Med Devices, 2015, 30(12): 90-91,94.

[11] Cui Y, Gao SY, Wang ZL, et al. Which should be the routine cross-sectional reconstruction mode in spectral CT imaging: monochromatic or polychromatic?[J]. Br J Radiol,2012,85(1018):887-890.

[12] 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,2017,3(1):35-40.

Cheng M, Xiao XG, Chen WJ, et al. Value of spectral CT imaging on identifying hydronephrosis and simple renal cysts[J]. J Harbin Med Univ,2017,3(1):35-40.

[13] 骆 佳,钟桥维,张秀红,等. 能谱CT定性诊断胸腔积液性质研究[J]. 中华实用诊断与治疗杂志,2015,29(5):496-498.

Luo J, Zhong QW, Zhang XH, et al. Value of spectral CT to the qualitative diagnosis of pleural effusion[J]. J Chin Pract Diagn Ther, 2015, 29(5):496-498.

[14] 鞠 烨,刘爱连,汪禾青,等. 能谱CT综合分析对良恶性浆膜腔积液的鉴别价值[J]. 中国临床医学影像杂志,2013,24(8):564-568.

Ju Y, Liu AL, Wang HQ, et al. The value of comprehensive analysis of spectral CT in differentiating benign and malignant serous cavity effusion[J]. J China Clin Med Imag,2013,24(8):564-568.

[15] 唐劲松,魏 雯,钱宝鑫,等. 基于AI技术光谱CT非增强模式椎体松质骨无水碘图测量值与骨密度对比研究[J]. 临床医学进展,2023,13(10):16483-16493.

Tang JS, Wei W, Qian X, et al. A comparative study of iodine-no-water map observed value and bone density of vertebral cancellous bone in non-enhanced spectral CT mode based on AI[J]. Advances in Clinical Medicine,2023,13(10):16483-16493.

[16] 李大铭,张玉婷,马小梅. 能谱CT成像在评估肝细胞癌微血管侵犯中的价值[J]. 中国CT和MRI杂志,2024,22(1):91-93,106.

Li DM, ZhangYT, Ma XM. Value of energy spectrum CT imaging in evaluating microvascular invasion of hepatocellular carcinoma[J]. Chin J CT MRI,2024,22(1):91-93,106.

[17] 沈静娴,谢传淼,习 勉,等. 能谱CT定量指标在鉴别诊断非小细胞肺癌转移淋巴结与非转移淋巴结中的价值[J]. 中山大学学报(医学科学版),2014,35(5):738-743.

Shen JX, Xie CM, Xi M, et al. Differentiating metastatic lymph nodes from non-metastatic lymph nodes in non-SmallCell lung cancer: the value of spectral CT quantitative indicators[J]. J Sun Yat Sen Univ Med Sci,2014,35(5):738-743.

[18] Lee YH, Park KK, Song HT, et al. Metal artefact reduction in gemstone spectral imaging dual-energy CT with and without metal artefact reduction software[J]. Eur Radiol,2012,22(6):1331-1340.

[19] Chandra N, Langan DA. Gemstone detector: dual energy imaging via fast kVp switching[M]//Dual Energy CT in Clinical Practice. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010:35-41.

[20] Liang XH, Xue CQ, Huang XY, et al. Value of energy spectrum CT parameters in the differential diagnosis of high-grade clear cell renal cell carcinoma and type Ⅱ papillary renal cell carcinoma[J]. Acta Radiol,2022,63(4):545-552.

[21] Ogawa N, Sato S, Ida K, et al. Evaluation of urinary stone composition and differentiation between urinary stones and phleboliths using single-source dual-energy computed tomography[J]. Acta Med Okayama,2017,71(2):91-96.

[22] 杨露露. CT能谱成像在鉴别结核性与恶性胸腔积液中的应用价值[D]. 银川:宁夏医科大学,2014.

Yang LL. Application value of CT energy spectrum imaging in differentiating tuberculous from malignant pleural effusion[D]. Yinchuan: Ningxia Medical University,2014.

[23] 李 烨,刘爱连,鞠 烨,等. 单源双能CT平扫能谱综合分析鉴别诊断卵巢子宫内膜异位囊肿和卵巢输卵管积脓或积水[J]. 中国医学影像学杂志,2018,26(8):612-615.

Li Y, Liu AL, Ju Y, et al. Differential diagnosis of ovarian endometriosis and ovarian pyosalpinx and *Hydrosalpinx* using single-source dual-energy CT energy spectrum comprehensive analysis[J]. Chin J Med Imag,2018,26(8):612-615.

[24] Greffier J, Villani N, Defez D, et al. Spectral CT imaging: technical principles of dual-energy CT and multi-energy photon-counting CT [J]. Diagn Interv Imaging,2023,104(4):167-177.

[25] Vaniqui A, Schyns LEJR, Almeida IP, et al. The impact of dual energy CT imaging on dose calculations for pre-clinical studies[J]. Radiat Oncol,2017,12(1):181.

[26] 张 迎,邢立红,武莹莹,等. 能谱CT成像区别不同溶液的可行性研究[J]. 实用放射学杂志,2014(5):838-840,847.

Zhang Y, Xing LH, Wu YY, et al. Feasibility study of discriminating different solutions using spectral CT imaging[J]. J Pract Radiol, 2014(5):838-840,847.

[27] 辛小燕,朱 斌,陈君坤,等. CT能谱成像在胸腔渗出液与漏出液定性鉴别中的作用[J]. 中华放射学杂志,2011,45(8):723-726.

Xin XY, Zhu B, Chen JK, et al. The use of spectral CT imaging in characterization of pleural fluid: a new method to differentiate transudates from exudates[J]. Chin J Radiol,2011,45(8):723-726.

[28] Kawahara D, Ozawa S, Yokomachi K, et al. Accuracy of the raw-data-based effective atomic numbers and monochromatic CT numbers for contrast medium with a dual-energy CT technique[J]. Br J Radiol, 2018,91(1082):20170524.

（责任编辑：曾 玲）

本文引用格式：

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.