

常规 CT 特征联合直方图分析预测急性肾损伤的价值

严金国, 朱建国, 李燕, 薛莲, 陈建秋, 郭浩东, 李海歌

【摘要】 目的:探讨 CT 平扫特征及直方图分析诊断梗阻性急性肾损伤(AKI)的价值。**方法:**收集我院急性单侧尿路结石梗阻患者 77 例,其中急性肾损伤组 40 例,非急性肾损伤组 37 例。应用 Siemens 区域增长功能,测量常规 CT 平扫特征(包括梗阻侧、非梗阻侧肾脏体积比,结石体积、位置,肾周炎)和 CT 平扫直方图参数(包括 Kurtosis、Skewness、Variance、Mean、1%、10%、50%、90%、99% 百分位值)。计数资料采用 χ^2 检验,计量资料采用 t 检验(符合正态分布)或 Mann-Whitney U 检验(符合偏态分布)进行组间比较,将组间差异显著的参数纳入二元 logistic 回归分析,评估预测 AKI 的独立预测因素。采用受试者操作特征(ROC)曲线评价各参数价值;采用 Spearman 相关分析,比较各参数与估算肾小球滤过率(eGFR)的相关性。**结果:**AKI 与非 AKI 组比较,常规 CT 特征(结石体积、肾周炎、肾脏体积比)及直方图参数(Kurtosis、Skewness、Variance 及 90% 百分位值)具有统计学意义(P 均 <0.05);二元 Logistic 回归分析显示,肾脏体积比、Kurtosis、Variance 是预测 AKI 的独立因素;ROC 曲线显示联合参数诊断 AKI 效能较高,ROC 曲线下面积(AUC)为 0.94,特异度 89.2%,敏感度 82.5%,高于单一参数模型。相关性分析显示肾脏体积比、Kurtosis、Skewness、Variance、90% 百分位值与 eGFR 相关性较高。**结论:**常规 CT 联合直方图分析预测 AKI 的效能较高,可用于无创性评估急性肾损伤。

【关键词】 体层摄影术,X 线计算机;肾脏;急性肾损伤;估算肾小球滤过率;直方图

【中图分类号】 R814.42;R816.7 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)03-0300-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.03.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Value of conventional CT features combined with histogram analysis in predicting acute kidney injury

YAN Jin-guo, ZHU Jian-guo, LI Yan, et al. Department of Medical Imaging, the Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210011, China

【Abstract】 Objective: To explore the value of conventional CT features combined with histogram analysis in predicting acute kidney injury. **Methods:** CT of 77 patients with acute unilateral urinary tract stone obstruction were reviewed. There were 40 in AKI group and 37 in non-AKI group. The regional growth function of Siemens post-processing technology was used to measure the characteristics of conventional CT plain scan (including the volume ratio of kidney on obstructive side and non-obstructive side, stone volume, location and perinephritis) and CT plain scan histogram (including kurtosis, skewness, variance, mean value, and 1%, 10%, 50%, 90% and 99% percentile values). Counting data were compared by χ^2 test. The measurement data were compared between groups by t -test (normal distribution) or Mann Whitney U -test (skew distribution). The parameters with significant differences between groups were included in binary logistic regression analysis to determine the independent predictors of AKI. The receiver operating characteristic (ROC) curve was used to evaluate the diagnostic performance. Pearson and Spearman analysis was used to determine correlation between imaging parameters and estimated glomerular filtration rate (eGFR). **Results:** Compared with non AKI group, conventional CT parameters (stone volume, perinephritis, kidney volume ratio) and histogram parameters (kurtosis, skewness, variance and 90% percentile value) were statistically significant in AKI and non-AKI groups ($P<0.05$). Logistic regression analysis showed that renal volume ratio, kurtosis and variance were independent factors for AKI prediction. ROC curve showed higher performance of com-

作者单位: 210011 南京, 南京医科大学第二附属医院医学影像科(严金国、朱建国、李燕、陈建秋、郭浩东、李海歌), 血液科(薛莲)

作者简介: 严金国(1987-), 男, 江苏盐城人, 主治医师, 主要从事泌尿系统疾病的影像诊断工作。

通讯作者: 李海歌, E-mail: lihaige@nimu.edu.cn

combined parameters in diagnosis of AKI, with AUC of 0.94, specificity of 89.2% and sensitivity of 82.5%, respectively. eGFR showed high correlation with thickening bridging septa in the perinephric space, renal volume ratio, kurtosis, skewness, variance and 90% percentile value were highly correlated with. **Conclusion:** Conventional CT combined with histogram analysis is effective tool in predicting AKI.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Kidney; Acute kidney injury; Estimated glomerular filtration rate; Histogram

随着生活水平逐渐提高,尿路结石发病率逐渐上升,在中国不同地区结石患病率 1%~20% 不等,国内总体发病率为 6.4%^[1]。由于对结石引起急性肾损伤 (acute kidney injury, AKI) 认识不足,导致 AKI 居高不下。AKI 指多种疾病导致的肾功能极速下降,血肌酐上升及尿量减少是其主要临床表现,目前评估肾功能的技术有超声、MRI、肾功能核素显像等^[2-4],但这些技术对于急性尿路梗阻患者具有一定局限性。急性尿路梗阻会导致肾脏水肿增大、炎症等一系列病理改变^[5],若治疗迟滞,则会导致肾脏不可逆损伤,易演变为慢性梗阻性肾病。因此早期诊断并及时治疗,不仅可以缓解患者疼痛,同时能降低急性肾梗阻患者演变为慢性肾病的几率。CT 直方图分析作为医学新兴成像技术,可以用来评估病变内部结构异质性,目前 CT 直方图参数与估算肾小球滤过率 (estimated glomerular filtration rate, eGFR)^[6]相关性的研究较少,利用直方图参数评估尿路结石梗阻性 AKI 研究更少^[7],本研究旨在探讨 CT 平扫肾脏体积比及直方图参数无创性评估 AKI 的价值。

材料与方法

1. 研究对象

回顾性分析本院 2021 年 1 月—2021 年 8 月急性单侧尿路结石患者的病例资料资料。纳入标准:①为急性单侧尿路结石梗阻者;②梗阻时间<48 h;③入院 4 h 内行 CT 平扫检查及血肾功能检查。排除标准:①肾先天异常、肾动脉狭窄、多囊肾、肾肿瘤、慢性尿路梗阻、慢性肾衰及其他基础疾病患者;②临床资料有缺失者;③图像质量欠佳,伪影较多不利于感兴趣区勾画者。最终共纳入 77 例。诊断 AKI 的标准^[8] 根据 2012 年

KDIGO 指南:①肌酐在 48 h 内升高 $\geq 26.5 \mu\text{mol/L}$ (0.3 mg/dL) 或②7 d 内肌酐升至 ≥ 1.5 倍基线值或③连续 6 天尿量 $<0.5 \text{ mL/kg/h}$,符合以上任一条件即可诊断 AKI。本次研究均以肌酐在 48 h 内升高 $\geq 26.5 \mu\text{mol/L}$ 作为诊断 AKI 标准,将研究对象分为 AKI 组及非 AKI 组。

2. 检查设备

采用 Siemens 双源 CT 进行常规平扫,扫描范围为中腹部及盆腔,扫描参数:管电压 120 kV,管电流 30 mA,层厚 2 mm,层距 2 mm,FOV 320 mm $\times$ 285 mm~390 mm $\times$ 320 mm,螺距 1 mm,采用标准 1 mm 重建图像。

3. 图像处理

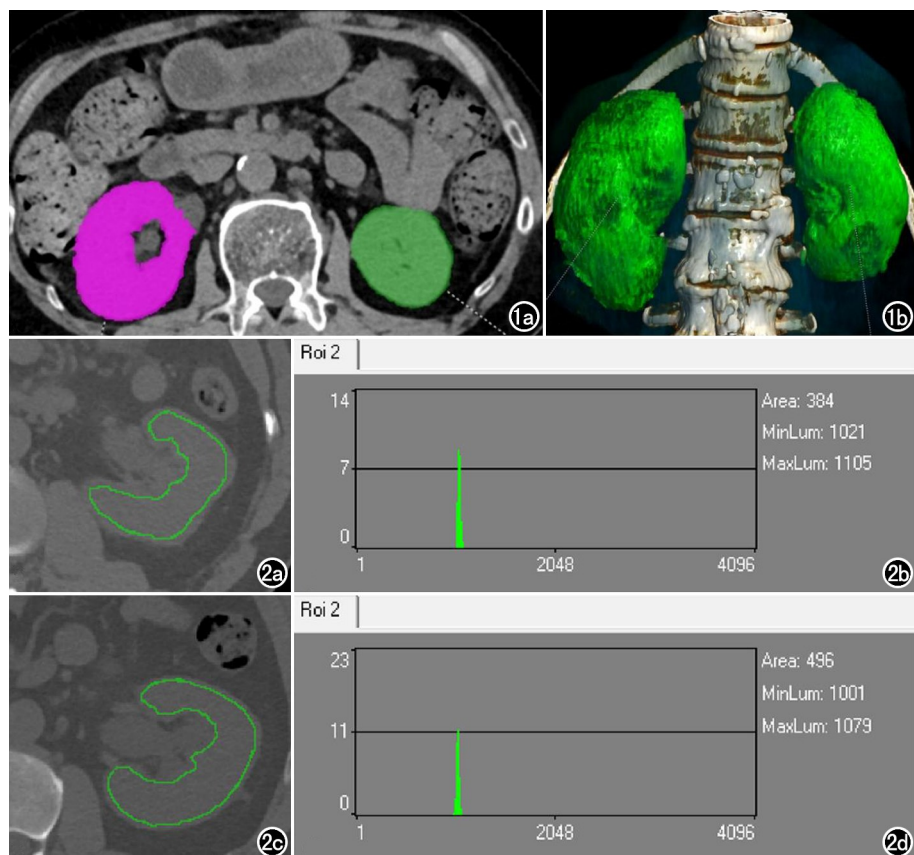


图 1 肾脏体积测量。a) 红色为梗阻侧肾脏,绿色为非梗阻侧肾脏;b) 区域增长功能计算两侧肾脏体积。图 2 梗阻肾脏直方图测量。a、b) AKI 组 ROI 示意图及直方图;c、d) 非 AKI 组 ROI 示意图及直方图。

利用 Siemens 区域增长功能,计算梗阻与非梗阻肾脏体积比值(图 1),另外测量结石体积、位置,同时统计肾周炎^[9-10]。将入组病例图像以 DICOM 格式导出,并导入 Mazda 纹理分析软件,在轴位选取梗阻侧肾脏横径最大层面,由两名影像诊断医师采用双盲法,分别勾画肾脏轮廓二维感兴趣区(图 2),通过该软件计算相应直方图参数:峰度(Kurtosis)、偏度(Skewness)、方差(Variance)、均值(Mean)、1%、10%、50%、90%、99%百分位值,取两名医师测量值的平均值作为最终数据,进行后续统计分析。

4.统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件包进行分析,两位医师测量数据采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient,ICC)评估数据可信度,ICC 系数>0.75 认为数据重复性好,ICC<0.4 认为重复性差。计量资料采用 Kolmogorov-Smirnov 检验分析数据是否符合正态分布,符合正态分布的计量资料用均值±标准差描述,非正态分布计量资料以中位数±四分位间距描述。两组间的计量资料比较采用独立样本 *t* 检验(符合正态分布)或 Mann-Whitney *U* 检验(偏态分布);两组间的计数资料采用 χ^2 检验。将组间差异显著的参数纳入二元 logistic 回归分析,评估诊断 AKI 的独立预测因素,并绘制受试者操作特征(receiver operating characteristic,ROC)曲线,构建联合诊断模型,评估预测 AKI 效能, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。此外,采用 spearman 相关分析评估各参数与 eGFR 相关性,eGFR 标准根据慢性肾脏流行病公式(chronic kidney disease epidemiology,CKD-EPI)^[11]计算。

结 果

1.数据可信度评估

ICC 检验显示 CT 平扫特征、梗阻侧肾脏直方图各参数一致性良好(95%CI:0.81~0.94)。

2.AKI 与非 AKI 组基本资料及常规 CT 特征比较

本次研究共收集急性单侧尿路结石患者 77 例,临床均出现腰痛症状。AKI 组 40 例,其中男 35 例,女 5 例,年龄 28~84 岁(平均 49.68±2.63 岁);非 AKI 组 37 例,其中男 27 例,女 10 例,年龄 27~74 岁(平均 47.42±2.47 岁)。结石体积、肾周炎、肾脏体积比值在 AKI 组及非 AKI 组差异具有统计学意义(P 均<0.05),性别、年龄及结石位置(是否处于尿路生理狭窄处)组间差异无统计学意义,见表 1。

3.AKI 与非 AKI 组 CT 直方图参数比较

两组 CT 直方图参数比较显示:Kurtosis、Skewness、Variance 及 90%百分位值在组间比较差异有统

表 1 AKI 组与非 AKI 组临床资料及常规 CT 特征

参数	AKI 组	非 AKI 组	<i>t</i> / χ^2 值	<i>P</i> 值
年龄/岁	49.68±2.63	47.42±2.47	-0.95	0.346 *
性别			1.065	0.302 #
男	35	27		
女	5	10		
结石位置			1.73	0.188 #
生理狭窄	20	24		
非生理狭窄	20	13		
结石体积/mm ³	201.2±102.10	259.93±131.64	-2.17	0.03 *
肾周炎			6.961	0.008 #
有	25	12		
无	15	25		
体积比	1.22±0.11	1.09±0.08	-5.81	<0.001 #

注:* 采用 *t* 检验,# 采用 χ^2 检验

计学意义(P 均<0.05,表 2);Mean、1%、10%、50%、99%百分位值差异无统计学意义。

表 2 AKI 组及非 AKI 组直方图参数比较

参数	AKI 组	非 AKI 组	<i>t</i> / <i>Z</i> 值	<i>P</i> 值
Kurtosis	1.02±0.54	0.25±0.44	-6.81	<0.001 *
Skewness	-0.80(1.90)	-0.13(0.18)	-5.75	<0.001 #
Variance	144.24(54.19)	98.85(22.30)	-5.71	<0.001 #
Mean	1049.62±4.07	1049.71±4.27	0.11	0.91 *
1%百分位值	1018.18±6.86	1015.32±7.81	-1.70	0.09 *
10%百分位值	1032.08±5.89	1031.57±5.88	-3.80	0.71 *
50%百分位值	1049.93±4.30	1049.84±4.31	0.09	0.93 *
90%百分位值	1225.02(6.00)	1066.00(5.75)	-4.34	<0.001 #
99%百分位值	1.02±0.54	1.02±0.54	-0.56	0.58 #

注:* 使用 *t* 检验,# 使用 Mann-Whitney *U* 检验

4.二元 Logistic 回归分析结果

将具有统计学意义的自变量(结石体积、肾周炎、肾脏体积比、Kurtosis、Skewness、Variance 及 90%百分位值)纳入二元 Logistic 回归分析中。结果显示,肾脏体积比、Kurtosis、Variance 共 3 个参数是预测 AKI 的独立预测因素(表 3)。ROC 曲线显示肾脏体积比、Kurtosis、Variance 单因素模型 AUC 分别为 0.84、0.89、0.88;利用以上 3 个因素建立联合预测模型 AUC 为 0.94(表 4,图 3),高于常规 CT 特征模型。

表 3 二元 Logistic 回归分析独立预测因素

参数	B 值	OR 值	95% CI	<i>P</i> 值
体积比	1.28	3.60	1.10~11.72	0.034
Kurtosis	0.26	1.30	1.02~1.65	0.035
Variance	0.04	1.04	1.01~1.07	0.008

表 4 独立预测参数及联合诊断效能

参数	AUC	敏感度	特异度	截断值
体积比	0.84	77.52%	81.13%	1.14
Kurtosis	0.89	77.55%	89.22%	0.62
Variance	0.88	75.06%	78.43%	109.38
联合诊断	0.94	82.52%	89.27%	0.60

注:联合诊断=1.28 体积比+0.26 Kurtosis+0.04Variance

5.CT 平扫各参数与 eGFR 相关性分析

CT 平扫各参数中,结石位置与 eGFR 无统计学意义,各参数与 eGFR 相关性分析显示,结石体积($r=$

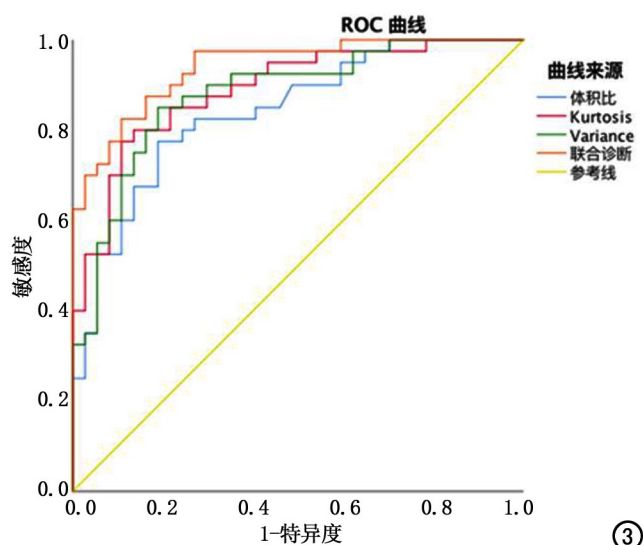


图 3 单一参数及联合诊断 ROC 曲线。体积比与联合诊断 AUC 差异有统计学意义($P=0.0067$)。

$-0.30, P=0.008$)、肾脏体积比($r=-0.65, P<0.001$)、Kurtosis($r=-0.80, P<0.001$)、Skewness($r=-0.78, P<0.001$)、Variance($r=-0.75, P<0.001$)、90%百分位值($r=-0.64, P<0.001$)，见图 4。

讨论

本研究结果显示，单侧急性尿路结石梗阻患者易出现 AKI，ROC 曲线分析显示，肾脏体积比能很好地区分 AKI 与非 AKI。在研究过程中发现结石体积具有统计学意义，结石位置对于 AKI 诊断无统计学意义，这与其他学者研究结果相似^[12]。另外，有研究认为肾周炎对于诊断 AKI 有统计学意义^[9]，本研究结果与其相符。部分学者研究肾脏总体积、表面积与 eG-

FR 相关性来评估 AKI^[13-14]，本研究以体积比作为参考变量，降低个体差异，诊断效能明显提高。

直方图作为新兴技术，可提取影像学特征，在临床研究中应用越来越广泛。近年来，直方图分析除了应用于肾脏肿瘤的诊断、鉴别诊断外^[15-16]，也被应用于肾脏非肿瘤性病变的评估^[17-18]。Ding 等^[17]研究认为，基于 MR 的直方图参数可用于评估肾功能不全。贾颖等^[18]提出，基于 CT 增强图像直方图参数在诊断急性胰腺炎是否合并 AKI 时具有较高的准确度。本研究显示 CT 直方图参数诊断急性梗阻性 AKI 的效能较高，具体分析为：直方图参数能够反映肾脏的病理学特征，Variance 代表 ROI 内 CT 值均匀性，间接反映了梗阻肾脏水肿严重程度；Kurtosis、Skewness 体现直方图的峰度、对称性，代表直方图形态学特征。肾脏发生急性梗阻时，肾脏水肿会导致肾小球细胞死亡，进而导致无菌性炎症，水肿越严重则死亡细胞越多，细胞死亡程度决定了 AKI 的程度。急性梗阻肾脏因水肿、炎症、微血管损伤等微观变化^[19-20]，导致肾功能受损，进而表现为 AKI 与非 AKI 组 Kurtosis、Skewness 存在显著差异。除此之外，AKI 患者出现细胞死亡时，同时也出现了淋巴细胞、巨噬细胞等免疫细胞来抵消异常炎症并支持内在修复，这可能是直方图中某些参数差异没有统计学意义的原因。

王璐等^[21]研究显示上尿路结石患者合并肾周炎，分肾功能损伤加重，本研究显示肾周炎与 eGFR 有关($r=-0.38, P<0.01$)，与前者相符。董尚波等^[22]研究表明梗阻肾脏皮质、髓质厚度、皮质强化幅度与 GFR 相关性较高，差异具有统计学意义，本研究显示体积比与 eGFR 有关($r=-0.68, P<0.01$)，与前者类似。但本研究利用 CT 平扫直方图参数避免了对比剂

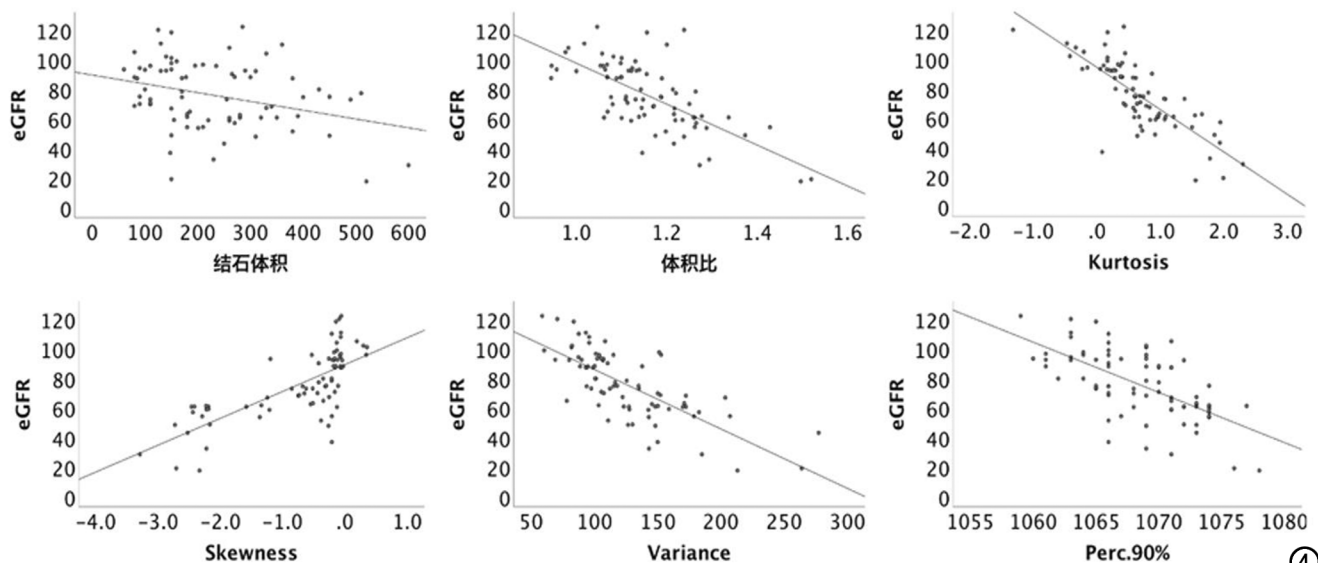


图 4 CT 平扫特征、直方图参数与 eGFR 相关性散点图分布图。

进一步损伤肾脏^[23-24],同时直方图也反映了急性梗阻肾脏微观变化,具有一定优势。

本研究具有一定局限性:①本研究选取梗阻肾脏最大层面勾画 ROI 获取二维直方图的参数,未能将梗阻肾脏的 3D 直方图纳入其中;②入组病例偏少,可能会造成数据偏倚;③本研究未进行单侧肾功能的测定,在今后研究中,会进一步完善肾功能显像检查。

综上所述,常规 CT 平扫特征可显示梗阻肾脏形态变化,直方图参数能够反映急性梗阻肾脏的病理学变化,两者联合,预测 AKI 效能提高,可用于无创性评估急性肾损伤,具有一定临床价值。

参考文献:

- [1] Zeng G, Mai Z, Xia S, et al. Prevalence of kidney stones in China: an ultrasonography based cross-sectional study[J]. BJU Int, 2017, 120(1): 109-116.
- [2] Matsuo M, Yamagishi F, Higuchi A. A pilot study of prediction of creatinine clearance by ellipsoid volumetry of kidney using non-contrast computed tomography[J]. JMA J, 2019, 2(1): 60-66.
- [3] 曹琳, 夏庆来, 吴虹仪, 等. 螺旋 CT 评价肾功能的研究进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2019, 42(3): 331-345.
- [4] 冒炜, 丁玉芹, 曾蒙苏, 等. 磁共振 DKI 评估慢性肾脏病肾功能价值的初步研究[J]. 放射学实践, 2021, 36(8): 1032-1037.
- [5] Gaut JP, Liapis H. Acute kidney injury pathology and pathophysiology: a retrospective review[J]. Clin Kidney J, 2021, 14(2): 526-536.
- [6] Yuan X, Tang W, Shi W, et al. Determination of glomerular filtration rate (GFR) from fractional renal accumulation of iodinated contrast material: a convenient and rapid single-kidney CT-GFR technique[J]. Eur Radiol, 2018, 28(7): 2763-2771.
- [7] Wang Y, Liu K, Xie X, et al. Potential role of imaging for assessing acute pancreatitis-induced acute kidney injury[J]. Br J Radiol, 2021, 94(1118): 20200802.
- [8] Guthrie G, Guthrie B, Walker H, et al. Developing an AKI consensus definition for database research: findings from a scoping review and expert opinion using a delphi process[J]. Am J Kidney Dis, 2021, 79(4): 488-496.
- [9] Wang Y, Cao LK, Wei Y, et al. The value of modified renal rim grade in predicting acute kidney injury following severe acute pancreatitis[J]. J Comput Assist Tomogr, 2018, 42(5): 680-687.
- [10] 张福康, 黄凯清, 陈桂泉, 等. 急性单侧上尿路梗阻肾周桥隔增厚与分肾功能的相关性[J]. 中山大学学报(医学版), 2018, 39(2): 252-257.
- [11] Brañez-Condorena A, Goicochea-Lugo S, Zafra-Tanaka JH, et al. Performance of the CKD-EPI and MDRD equations for estimating glomerular filtration rate: a systematic review of Latin American studies[J]. Sao Paulo Med J, 2021, 139(5): 452-463.
- [12] Pillai S, Kriplani A, Chawla A, et al. Acute kidney injury post-percutaneous nephrolithotomy (PNL): prospective outcomes from a university teaching hospital[J]. J Clin Med, 2021, 10(7): 1373.
- [13] Müller A, Meier M. Assessment of renal volume with MRI: experimental protocol[J]. Methods Mol Biol, 2021, 2216: 369-382.
- [14] Wahba R, Franke M, Hellmich M, et al. Computed tomography volumetry in preoperative living kidney donor assessment for prediction of split renal function[J]. Transplantation, 2016, 100(6): 1270-1277.
- [15] Duan C, Li N, Niu L, et al. CT texture analysis for the differentiation of papillary renal cell carcinoma subtypes[J]. Abdom Radiol (NY), 2020, 45(11): 3860-3868.
- [16] Yap Fy, Varghese BA, Cen SY, et al. Shape and texture-based radiomics signature on CT effectively discriminates benign from malignant renal masses[J]. Eur Radiol, 2021, 31(2): 1011-1021.
- [17] Ding J, Xing Z, Jiang Z, et al. Evaluation of renal dysfunction using texture analysis based on DWI, BOLD, and susceptibility-weighted imaging[J]. Eur Radiol, 2019, 29(5): 2293-301.
- [18] 贾颖, 黄子星, 汪翊, 等. 基于 CT 增强图像纹理分析对急性胰腺炎合并急性肾损伤的诊断价值[J]. 中国普外基础与临床杂志, 2019, 26(7): 865-869.
- [19] Vallon V, Thomson SC. The tubular hypothesis of nephron filtration and diabetic kidney disease[J]. Nat Rev Nephrol, 2020, 16(6): 317-336.
- [20] Packialakshmi B, Stewart IJ, Burmeister DM, et al. Large animal models for translational research in acute kidney injury[J]. Ren Fail, 2020, 42(1): 1042-1058.
- [21] 王璐, 滕随毅, 李建军, 等. 急性单侧上尿路梗阻肾周桥隔增厚与 CT 检测分肾功能的关系研究[J]. 中国中西医结合肾病杂志, 2019, 20(11): 993-995.
- [22] 董尚波, 黄江波. 肾脏增强 CT 评估肾积水患者肾功能损伤程度价值分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2021, 19(11): 137-139.
- [23] 马丽娅, 李震, 沈亚琪, 等. 碘对比剂相关急性肾损伤及相关危险因素的大样本回顾性研究[J]. 放射学实践, 2018, 33(9): 918-22.
- [24] 王蕊, 孙艳, 邱建星. 肾病患者静脉注射钆基对比剂——美国放射学会和国家肾脏基金会共识解读[J]. 放射学实践, 2021, 36(11): 1338-1345.

(收稿日期: 2022-03-24 修回日期: 2022-05-24)