

论 著

基于KUB、低剂量CT影像组学列线图预测攀枝花泌尿系统结石成分价值*

刘范林^{1,*} 蒋 群² 杨小君¹
马清明¹1.攀枝花市第二人民医院医学影像科
(四川 攀枝花 617000)2.攀枝花市第二人民医院超声科
(四川 攀枝花 617000)

【摘要】目的 探讨基于X线腹部平片(KUB)、低剂量CT影像组学列线图预测攀枝花泌尿系统结石成分价值, 以期临床明确结石成分、制定治疗方案提供依据。**方法** 选取2019年6月至2022年6月我院96例泌尿系统结石患者作为研究对象, 均行KUB、低剂量CT检查, 根据术后结石成分红外光谱检测法定性结果分为尿酸结石组($n=83$)和非尿酸结石组($n=13$), 采用A.K.软件提取CT影像组学特征并构建影像组学标签, Logistic回归方程筛选泌尿系统结石成分预测因子, 构建列线图模型, ROC曲线评估模型预测效能, 行内外验证。**结果** 尿酸结石组和非尿酸结石组BMI、血UA、尿pH值、血Scr、高血压、糖尿病比较存在显著差异($P<0.05$); 血UA、尿pH值、高血压、糖尿病、影像组学标签评分是泌尿系统结石成分影响因素($P<0.05$); ROC曲线显示, 列线图模型在训练集和验证集人群中AUC分别为0.915、0.915, 该模型预测在训练集和验证集人群中结果与实际观察结果之间有很好相关性, DCA曲线显示在范围0.8~0.9、0.3~0.9内, 该模型在训练集和验证集人群中净获益值较好。**结论** 基于KUB、低剂量CT影像组学列线图可用于攀枝花泌尿系统结石成分预测评估中, 临床可通过模型相关因素早期预测结石成分, 以针对性制定治疗方案。

【关键词】 X线腹部平片; 低剂量CT; 影像组学; 列线图; 泌尿系统结石; 预测价值**【中图分类号】** R814.4**【文献标识码】** A**【基金项目】** 攀枝花市指导性科技计划项目
(2020ZD-S-11); 四川省医学科研课题
计划项目(Q18044)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.09.043

Prediction of Component Value of Urinary Calculi in Panzhihua Based on KUB and Low-dose CT Imaging*

LIU Fan-lin^{1,*}, JIANG Qun², YANG Xiao-jun¹, MA Qing-ming¹.

1. Medical Imaging Department, Panzhihua Second People's Hospital, Panzhihua 617000, Sichuan Province, China

2. Department of Ultrasound, Panzhihua Second People's Hospital, Panzhihua 617000, Sichuan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of predicting urinary calculi composition in Panzhihua based on plain abdominal radiographs (KUB) and low-dose CT image, so as to provide a basis for clinical determination of the composition of stones and formulation of treatment plans. **Methods** 96 patients with urinary system stones in our hospital from June 2019 to June 2022 were selected as research objects. All patients underwent KUB and low-dose CT examination. According to the qualitative results of postoperative modified Mauer method, they were divided into uric acid calculi group ($n=83$) and non-uric acid calculi group ($n=13$). The A.K. software was used to extract the CT imageomics characteristics and construct the imageomics tags, the Logistic regression equation was used to screen the predictors of urinary system stone composition, and the nomogram model was constructed. The ROC curve was used to evaluate the prediction efficiency of the model, and the internal and external validation was performed. **Results** There were significant differences in BMI, blood UA, urine pH, blood Scr, hypertension and diabetes between uric acid stone group and non-uric acid stone group ($P<0.05$). Blood UA, urine pH, hypertension, diabetes, and imaging label score were the factors affecting urinary calculus composition ($P<0.05$). ROC curve showed that the AUC of the line graph model in the training set and the verification set population was 0.915 and 0.915, respectively. There was a good correlation between the results predicted by the model in the training set and the verification set population and the actual observation results, and the DCA curve was displayed in the range of 0.8~0.9 and 0.3~0.9. The net benefit value of this model is good in both training set and verification set. **Conclusion** KUB and low-dose CT image histogram can be used to predict and evaluate urinary stone composition in Panzhihua. In clinic, early prediction of stone composition can be made based on factors related to the model, so as to make targeted treatment plan.

Keywords: Plain Abdominal Radiographs; Low-dose CT; Imaging Omics; A Column Diagram; Urinary Calculi; Predictive Value

泌尿系统结石为临床常见泌尿系统疾病, 可发生于膀胱、输尿管等部位, 且不同部位临床症状存在差异, 其中输尿管、肾结石以肾绞痛、血尿为主, 膀胱结石以排尿困难、尿痛为主, 严重影响患者生活质量^[1-2]。报道显示^[3-4], 泌尿系统结石成分可分为尿酸结石、非尿酸结石, 手术过程中若毒素进入血液循环系统, 可导致术后出现感染症状, 影响预后恢复。因此, 尽早明确泌尿系统结石成分至关重要。目前临床对于泌尿系统结石主要通过X线腹部平片(KUB)、CT、静脉尿路造影等进行早期诊断, 可有效评估结石大小及距皮肤距离, 但无法明确结石成分^[5-6]。近年来影像组学逐渐应用于临床, 通过高通量数据影像组学特征信息构建风险预测模型, 可有效预测、评估、诊断患者病情。但目前鲜有关于通过影像组学预测泌尿系统结石成分相关研究, 基于此, 本研究试分析基于KUB、低剂量CT影像组学列线图预测泌尿系统结石成分的价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2019年6月至2022年6月我院96例泌尿系统结石患者作为研究对象, 其中男53例, 女43例, 年龄42~67岁, 平均(57.25 ± 5.12)岁; 体质指数(BMI)18.8~26.4 kg/m², 平均(22.23 ± 1.18) kg/m²; 结石直径3.7~9.6 mm, 平均(6.71 ± 1.31) mm。本研究经我院伦理委员会审核批准。

纳入标准: 均经影像学检查, 结合临床症状证实为泌尿系统结石; 可接受本研究治疗、检查方案; 均为初次发病; 知晓本研究, 并签订知情同意书。排除标准: 合并严重尿路感染者; 脊柱畸形无法取截石位者; 甲状腺功能亢进者; 合并KUB、CT检查绝对禁忌症者; 肝、肾等重大脏器功能障碍者; 合并泌尿系统肿瘤; 合并循环系统疾病、自身免疫性疾病者; 合并精神异常或对本研究治疗、检查依从性较差者。

1.2 方法 结石成分评估: 所有患者入院后均行经皮肾穿刺取石术进行治疗, 根据结石成分红外光谱检测分为尿酸结石、非尿酸结石。

影像学检查: 术前均行常规KUB检查明确结石位置、大小等信息, KUB检查完成后均采用美国GE公司Discovery CT750HD扫描仪检查, 处仰卧位, 扫描范围为T12水平至耻骨联合下缘, 扫描过程中叮嘱患者屏住呼吸, 均给予低剂量进行扫描, 参数设置为管电压为120 kV, 管电流范围250 mA, 旋转时间0.5 s/r, 螺距为1.375: 1, 噪声25。

图像处理分析: 将图像均上传至GE ADW4.3工作站完成图像分析测量工作, 采用ASIR、FBP技术处理, 重建层厚1.25 mm, 所有图像均由同两名具有丰富经验的影像

【第一作者】刘范林, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 影像等。E-mail: Liufanlin783@163.com

【通讯作者】刘范林

学医师检阅。影像组学特征：提取PACS检索导出的图像，经3D-Slicer软件勾画感兴趣区，批量导入影像组学处理软件，提取形态学特征、灰度共生矩阵特征、灰度连通大小矩阵特征等，共396个，影像组学标签构建从A.K.软件中自动提取105个特征，基于影像组学特征及相关回归系数构建影像组学标签评分，分值越高预测效能越高。

资料收集：均采用医院自制调查问卷调查统计临床资料，包括年龄、性别、BMI、结石直径、结石数量(单发、多发)、结石位置(上尿路、下尿路)、合并疾病(糖尿病、高血压)、有无饮酒史、吸烟史、职业类型(体力劳动、脑力劳动、退休)、有无结石家族史、肾积水。分别采集患者入院时5mL外周静脉血及5mL尿液送至医院检验科进行检测，测定所有患者血甘油三脂(TG)、总胆固醇(TC)、尿酸(UA)、谷丙转氨酶(ALT)、肌酐(Scr)、谷草转氨酶(AST)、γ-谷氨酰转肽酶(GGT)、尿钠(Na)、钾(Ca)、钙(Ca)。

调查质量保障：调查前对医护人员进行严格培训，经调查质量核查及数据质量核查制定相应调查问卷，采用相同调查问卷收集临床资料，以保障调查问卷准确性，录入数据时再次确认数据准确性，核实后由专业人员进行录入。

1.3 观察指标 (1)统计比较尿酸结石组、非尿酸结石组及训练集、验证集临床资料。(2)分析泌尿系统结石影像组学特征。(3)泌尿系统结石成分多因素分析。(4)列线图预测模型构建与验证。

1.4 统计学方法 采用SPSS 23.0软件对不同数据类型进行相关处理分析，用EXCEL软件建立数据库，常规进行逻辑检错，符合正态分布的计量资料用($\bar{x} \pm s$)表示，组间比较采用独立样本t检验，组内比较采用配对t检验，计数资料用n(%)表示，两组间比较行 χ^2 检验，Lasso回归分析筛选影像组学特征，Logistic回归方程分析相关影响因素，预测价值分析采用ROC曲线，获取AUC，采用DCA曲线分析模型效益，默认双侧检验， $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同分组患者一般资料 尿酸结石组和非尿酸结石组BMI、血UA、尿pH值、血Scr、高血压、糖尿病比较差异有统计学意义($P<0.05$)；训练集和验证集一般资料比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表1。

表1 两组临床资料对比

一般资料	尿酸结石组(n=83)	非尿酸结石组(n=13)	t/ χ^2 , P	训练集(n=48)	验证集(n=48)	t/ χ^2 , P
性别(男/女)	46/37	7/6	0.011, 0.915	25/23	28/20	0.379, 0.538
年龄(岁)	56.55±5.48	57.89±4.33	0.840, 0.403	57.72±5.64	56.18±4.45	1.485, 0.141
BMI(kg/m ²)	23.52±1.33	21.01±1.01	6.505, <0.001	21.58±1.22	21.63±1.17	0.205, 0.838
结石直径(mm)	6.75±1.24	6.68±1.39	0.186, 0.853	6.55±1.18	6.63±1.10	0.344, 0.732
血UA(μmol/L)	395.56±60.62	321.15±58.55	4.133, 0.001	378.06±59.93	375.99±62.28	0.166, 0.869
尿pH值	5.54±0.85	6.23±1.11	2.607, 0.011	5.93±0.74	6.05±0.70	0.816, 0.417
血Scr(μmol/L)	73.78±6.64	66.11±5.57	3.948, <0.001	69.46±5.69	70.95±4.87	1.378, 0.171
尿Na(mmol/24h)	140.12±12.23	138.85±14.46	0.339, 0.735	137.89±15.35	139.01±12.98	0.386, 0.700
尿K(mmol/24h)	30.31±4.46	31.12±3.58	0.623, 0.535	31.42±3.56	29.29±4.46	2.586, 0.011
尿Ca(mmol/24h)	5.61±0.87	5.43±0.99	0.681, 0.498	5.72±0.65	5.65±0.77	0.481, 0.631
血ALT(IU/L)	25.06±3.38	23.96±4.97	1.018, 0.311	26.60±3.58	25.46±4.13	1.448, 0.152
血GGT(IU/L)	44.64±4.71	45.45±4.02	0.587, 0.559	44.98±5.42	46.01±4.25	1.036, 0.303
血AST(IU/L)	23.34±3.58	22.71±4.46	0.570, 0.569	23.58±4.63	24.45±3.74	1.013, 0.314
血TG(mmol/L)	2.34±0.58	2.26±0.63	0.457, 0.649	2.41±0.52	2.36±0.55	0.458, 0.648
血TC(mmol/L)	5.10±0.85	4.92±0.95	0.699, 0.486	5.07±0.89	5.15±0.87	0.445, 0.657
结石数量			0.059, 0.808			0.042, 0.838
单发	39(46.99)	6(46.15)		23(47.92)	22(45.83)	
多发	44(53.01)	7(53.85)		25(52.08)	26(54.17)	
结石位置			0.427, 0.513			0.042, 0.838
上尿路	43(51.81)	8(61.54)		26(54.17)	25(52.08)	
下尿路	40(48.19)	5(38.46)		22(45.83)	23(47.92)	
合并疾病						
糖尿病	43(51.81)	2(51.81)	5.987, 0.014	21(43.75)	24(50.00)	0.377, 0.540
高血压	38(45.78)	2(15.38)	4.273, 0.038	19(39.58)	21(43.75)	0.171, 0.679
高脂血症	12(14.46)	2(15.38)	0.112, 0.738	6(12.50)	8(16.67)	0.335, 0.563
吸烟史			0.427, 0.513			0.042, 0.838
有	40(48.19)	5(38.46)		23(47.92)	22(45.83)	
无	43(51.81)	8(61.54)		25(52.08)	26(54.17)	
饮酒史			0.102, 0.749			0.591, 0.442
有	16(19.28)	3(23.08)		11(22.92)	8(16.67)	
无	67(80.72)	10(76.92)		37(77.08)	40(83.33)	
职业类型						
脑力劳动	34(40.96)	7(53.85)	0.762, 0.383	20(41.67)	21(43.75)	0.043, 0.836
体力劳动	34(40.96)	4(30.77)	0.489, 0.485	21(43.75)	17(35.42)	0.697, 0.404
退休	15(18.07)	2(15.38)	0.056, 0.813	7(14.58)	10(20.83)	0.643, 0.423
饮用水源			0.271, 0.603			0.253, 0.615
井水	18(21.69)	2(15.38)		9(18.75)	11(22.92)	
自来水	65(78.31)	11(84.62)		39(81.25)	37(77.08)	
结石家族史			0.264, 0.607			0.000, 1.000
有	6(7.23)	1(15.38)		3(6.25)	4(8.33)	
无	77(92.77)	12(84.62)		45(93.75)	44(91.67)	
肾积水			0.029, 0.864			0.043, 0.835
有	49(59.04)	8(61.54)		28(58.33)	29(60.42)	
无	34(40.96)	5(38.46)		20(41.67)	19(39.58)	

2.2 影像组学特征 提取及影像组学标签构建从A.K.软件中自动提取105个特征,采用Lasso降维筛选出4类(6个)可预测泌尿系统结石成分的定量化影像组学特征(图1,表2),基于上述特征和其相应的回归系数计算影像组学标签评分,分值越高预测泌尿系统结石成分概率越高。

2.3 泌尿系统结石成分多因素分析 以泌尿系统结石成分是否为尿酸作为因变量(是=1,否=0),表1中具有统计学意义指标及影像组学标签评分为自变量纳入Logistic回归方程,结果显示血UA、尿pH值、高血压、糖尿病、影像组学标签评分是泌尿系统结石成分影响因素($P<0.05$)。见表3、表4。

表2 提取的预测泌尿系统结石成分的影像组学特征

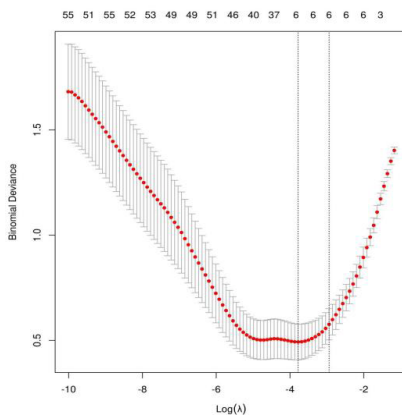
类型	特征
一阶统计量特征	中间灰度强度
灰度级共生矩阵特征	区域差异
	相关性的信息量度
	群集阴影
形状特征	最小轴长度
领域灰度差分矩阵	粗糙度

表3 赋值情况

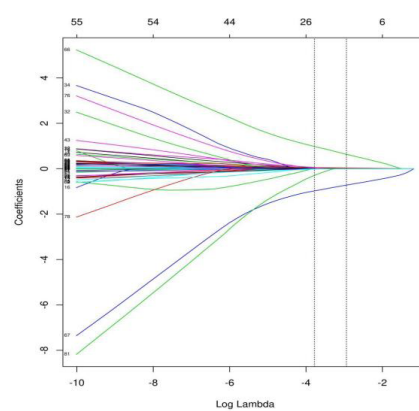
自变量	赋值
X1	BMI 实测值
X2	血UA 实测值
X3	尿pH值 实测值
X4	血Scr 实测值
X5	高血压 有=1, 无=0
X6	糖尿病 有=1, 无=0
X7	影像组学标签评分 实测值

表4 泌尿系统结石成分多因素分析

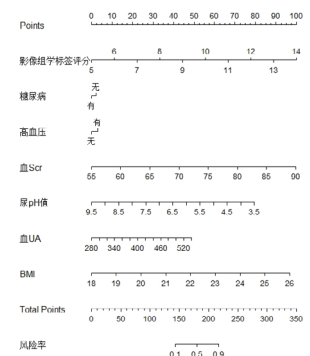
自变量	β	S.E.	Wald χ^2	OR	95%CI	P
常量	16.687	-	-	-	-	-
BMI	-1.160	1.332	0.759	0.313	0.068~1.445	>0.05
血UA	1.486	0.397	14.012	4.420	1.247~15.664	<0.001
尿pH值	-1.840	0.495	13.819	0.159	0.032~0.788	<0.001
血Scr	0.428	0.356	1.444	1.534	1.002~2.348	>0.05
高血压	2.236	0.527	18.009	9.360	3.345~26.189	<0.001
糖尿病	2.014	0.543	13.750	7.490	2.741~20.465	<0.001
影像组学标签评分	1.315	0.338	15.133	3.724	1.342~10.335	>0.05



1A



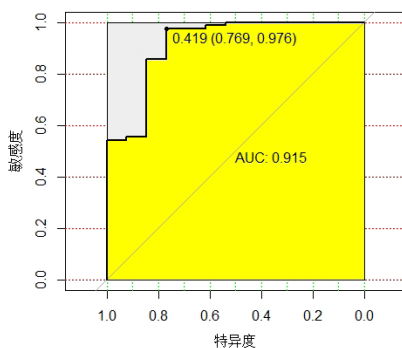
1B



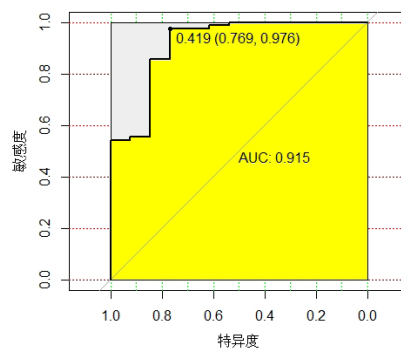
2

图1A-图1B 影像组学特征的提取及筛选; 图1A Lasso模型中调节参数选择; 图1B 105个影像组学特征在模型中系数

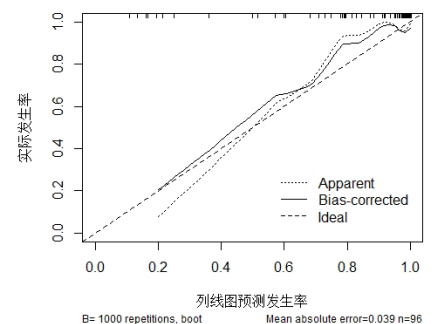
图2 列线图预测模型



3A



3B



4A

图3A-图3B 列线图预测模型的ROC曲线(左为训练集, 右为验证集)

图4A-图4B 列线图预测模型的校准曲线(左为训练集, 右为验证集)

图5A-图5B 列线图预测模型的DCA曲线(左为训练集, 右为验证集)

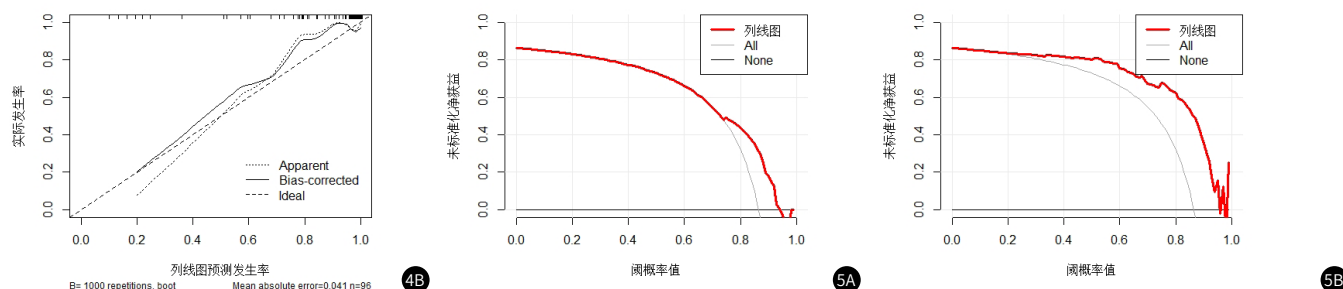


图4A-图4B 列线图预测模型的校准曲线(左为训练集, 右为验证集)
图5A-图5B 列线图预测模型的DCA曲线(左为训练集, 右为验证集)

3 讨论

泌尿系统结石多由晶体物质在泌尿系统内堆积形成, 根据结石嵌顿位置不同可出现不同临床症状, 为导致尿路梗阻、尿路感染的主要原因^[7-8]。目前临床主要通过输尿管碎石取石、经皮肾镜碎石取石等方案进行治疗, 可有效清除泌尿系统结石, 但受结石密度、成分、负荷等因素影响, 部分患者无法一次性清除, 且易因碎石成分感染^[9-10]。因此, 术前预测患者结石成分至关重要。

KUB、CT均为临床诊断泌尿系统结石的有效方案, 可明确结石形状、位置等信息, 有助于医师制定相应治疗方案, 具有无创、简便快捷等优点, 而影像组学为一种新兴的影像学评估方法, 可将CT、X线片、MRI等影像图像数据化, 通过高通量定量分析综合评估病变空间异质性^[11-13]。本研究基于KUB、低剂量CT影像组学特征分析发现, 经Lasso降维筛选出6个可预测泌尿系统结石成分的定量化影像组学特征, 分别为中间灰度强度、区域差异、相关性的信息量度、群集阴影、最小轴长度、粗糙度。报道显示^[14-15], 影像组学通过计算机辅助诊断技术将CT影像特征转化为可量化数据, 用数据间接表达影像特征并进行分析, 从而建立预测模型。另有学者表明^[16-17], 泌尿系统结石影像组学特征中群集阴影表示偏度及均匀性的亮度, 与结石的褶皱程度相关, 结石越粗糙, 群集阴影越大, 提示三维空间越不对称, 推测尿酸结石内部存在分层现象, 内部密度不均匀导致。灰度强度可测量低灰度值分布, 尿酸结石与含钙量多的草酸钙结石相比, 其灰度值较低, 因此可通过该值测量结石低灰度值分布^[18-19]。此外, 本研究通过上述特征及其相应的回归系数计算影像组学标签评分, 发现影像组学标签评分为泌尿系统结石成分的重要影响因素, 可用于早期预测评估结石成分。

本研究还发现血UA、尿pH值、高血压、糖尿病也为泌尿系统结石成分的相关影响因素, 对于术前预测结石成分具有一定价值。分析其原因可能在于, (1)血UA偏高患者内环境呈酸性, 尿酸排泄量较高, 易沉积形成结晶, 逐渐形成草酸钙结石, 而尿pH值与肾脏氨类物质分泌相关, UA于尿液酸性环境中溶解度降低可增加沉淀及结晶析出率^[20-21]。(2)既往有学者研究表明^[22-23], 原发性高血压患者每24h尿钙排泄量增加25mg以上, 而多数高血压患者BMI较高, 肥胖者每24h尿液中草酸排泄量增加50mg以上, 因此高血压与泌尿系统结石成分密切相关。(3)糖尿病患者可引起代偿性高胰岛素血症, 从而导致尿钙排泄量增加, 且糖尿病患者尿液pH显著下降, 从而增加沉淀及尿酸结晶的析出, 此外糖尿病患者尿蛋白升高、UA重吸收增多、脂质代谢紊乱等也可参与尿酸结石的形成^[24-25]。基于上述研究结果, 本研究构建列线图预测模型, 经ROC分析显示该模型在训练集和验证集人群中AUC分别为0.91、0.915, 具有较高预测价值, 进一步经DCA曲线分析显示, 该模型在训练集和验证集人群中净获益值较好。

综上所述, 基于KUB、低剂量CT影像组学列线图对于攀枝花泌尿系统结石成分具有较高预测价值, 为临床术前制定治疗方案提供参考, 以改善预后。

参考文献

- [1] 石海兵, 周卫丽, 尤淑芳. 双源CT双能量成像联合曲面重建技术在输尿管结石诊断中的应用[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(5): 72-73.
- [2] 曾剑兵, 刘仁伟, 方进智, 等. 低剂量自适应统计迭代重建技术对泌尿系统结石图像质量的影响[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(3): 59-61.

- [3] Williams JC Jr, Gambaro G, Rodgers A, et al. Urine and stone analysis for the investigation of the renal stone former: a consensus conference[J]. Urolithiasis, 2021, 49(1): 1-16.
- [4] Ramesh S, Chen TT, Maxwell AD, et al. In vitro evaluation of urinary stone comminution with a clinical burst wave lithotripsy system[J]. J Endourol, 2020, 34(11): 1167-1173.
- [5] 李杰, 孙伟, 刘小玲. 宝石能谱CT混合能量模式检测对泌尿系统结石患者的疗效预测[J]. 实用放射学杂志, 2023, 39(1): 83-86.
- [6] 林伟广, 傅晓彬, 卢志荣, 等. 应用CT能谱成像和彩色多普勒闪烁伪影分析泌尿系统结石成分的临床研究[J]. 重庆医学, 2020, 49(19): 3252-3254.
- [7] Chugh S, Pietropaolo A, Montanari E, et al. Predictors of urinary infections and urosepsis after ureteroscopy for stone disease: a systematic review from EAU section of urolithiasis (EULIS) [J]. Curr Urol Rep, 2020, 21(4): 16.
- [8] Suarez-Ibarrola R, Hein S, Reis G, et al. Current and future applications of machine and deep learning in urology: a review of the literature on urolithiasis, renal cell carcinoma, and bladder and prostate cancer[J]. World J Urol, 2020, 38(10): 2329-2347.
- [9] 罗屹斌, 宋启侠. 体外冲击波碎石术与内镜取石术治疗泌尿系统结石患者的效果比较[J]. 中国医学创新, 2022, 19(14): 150-153.
- [10] 林军, 张志炎, 郑攀丰. 血必净对泌尿系统结石患者经皮肾镜钦激光碎石术后肾损伤标志物和IL-6、IL-18、CRP水平的影响[J]. 国际检验医学杂志, 2019, 40(7): 824-827.
- [11] 王威钟, 王忠, 何大鹏, 等. 螺旋CT三维重建联合B超定位在微创经皮肾镜取石术中的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2020, 18(10): 93-96.
- [12] 张超. MSCT多平面重建联合静脉肾盂造影在输尿管阴性小结石中的诊断分析[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(1): 65-66.
- [13] Lewis SM, Asselin-Labat ML, Nguyen Q, et al. Spatial omics and multiplexed imaging to explore cancer biology[J]. Nat Methods, 2021, 18(9): 997-1012.
- [14] Watson ER, Taherian Fard A, Mar JC. Computational methods for single-cell imaging and omics data integration[J]. Front Mol Biosci, 2022, 17(8): 48-50.
- [15] Dewez F, Ojten J, Henkel C, et al. MS imaging-guided microproteomics for spatial omics on a single instrument[J]. Proteomics, 2020, 20(23): 247-249.
- [16] Liu Y, Chang Y, Zha X, et al. A combination of radiomic features, imaging characteristics, and serum tumor biomarkers to predict the possibility of the high-grade subtypes of lung adenocarcinoma[J]. Acad Radiol, 2022, 29(12): 1792-1801.
- [17] 廖文彪, 曾国华, 邢金春, 等. 采用国产一次性电子输尿管软镜与可重复使用电子输尿管软镜治疗上尿路结石的前瞻性多中心随机对照研究[J]. 中华泌尿外科杂志, 2022, 43(5): 374-378.
- [18] 张云峰, 王超, 乔小妮, 等. 基于机器学习的影像组学技术在泌尿系统肿瘤中的临床研究进展[J]. 磁共振成像, 2023, 14(2): 197-202.
- [19] 白晶晶, 张璐, 王效春, 等. 基于多参数磁共振成像的影像组学在膀胱癌精准诊疗中的研究进展[J]. 磁共振成像, 2022, 12(11): 157-160.
- [20] Adomako E, Moe OW. Uric Acid and urate in urolithiasis: the innocent bystander, instigator, and perpetrator[J]. Semin Nephrol, 2020, 40(6): 564-573.
- [21] Halinski A, Bhatti KH, Boeri L, et al. Stone composition of renal stone formers from different global regions[J]. Arch Ital Urol Androl, 2021, 93(3): 307-312.
- [22] Aizezi X, Xie L, Xie H, et al. Epidemiological and clinical characteristics of stone composition: a single-center retrospective study[J]. Urolithiasis, 2022, 50(1): 37-46.
- [23] Bargagli M, Mochhala S, Robertson WG, et al. Urinary metabolic profile and stone composition in kidney stone formers with and without heart disease[J]. J Nephrol, 2022, 35(3): 851-857.
- [24] Zhong F, Lei M, Zeng G. Editorial comment on: "Variation in Kidney Stone Composition Within the United States" by Grant et al [J]. J Endourol, 2021, 35(6): 921.
- [25] Sampogna G, Basic D, Geavlete P, et al. Endoscopic identification of urinary stone composition: a study of south eastern group for urolithiasis research (SEGUR 2) [J]. Actas Urol Esp, 2021, 45(2): 154-159.