

泌尿系统结石单源双能量 CT 特征及结石危险因素分析

李昊,徐子慧,陈家明,姜凡丽,赵其强,何思雨,刘淇

广元市精神卫生中心放射科,四川 广元 628000

摘要: **目的** 探究泌尿系统结石单源双能量 CT 特征及结石的危险因素。**方法** 回顾性分析 2016 年 11 月到 2017 年 9 月期间在我院泌尿外科治疗的 138 例结石患者的临床资料,观察结石在单源双能量 CT 扫描下的特征,并以术后红外光谱法的分析结果为金标准,评价单源双能量 CT 预测结石类型的正确率、敏感度和特异度。另外,应用 Logistics 回归分析法分析结石的危险因素。**结果** 单源双能量 CT 预测各类型结石的正确率中尿酸结石最高为 98.85%;预测胱氨酸结石和草酸钙-磷酸钙结石的敏感度较差,分别为 70.59%、42.86%;预测各类型结石的特异度均 >90%,尿酸结石最高为 100.00%。各类结石 CT 测量值从高到低依次为草酸钙-磷酸钙结石 > 草酸钙结石 > 混合尿酸结石 > 胱氨酸结石 > 尿酸结石。各类型结石 CT 值比较结果:尿酸结石与其他结石组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$),草酸钙结石与胱氨酸结石、混合尿酸结石两组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。胱氨酸结石、混合尿酸结石和草酸钙-磷酸钙结石组间两两两两比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。各类型结石 DEI 比较结果:尿酸结石及混合尿酸结石的 DEI 与其他结石组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。Logistics 回归分析显示: BMI 指数、高脂血症、家族泌尿结石病史、血清 Ca 以及血清 TG 水平过高是结石的危险因素(OR 值均大于 1, P 值均 < 0.05)。**结论** 单源双能 CT 能较好区分尿酸结石、草酸钙结石和混合尿酸结石,但在区分草酸钙结石与草酸钙-磷酸钙结石、胱氨酸结石与混合尿酸结石之间存在较大误差。Logistics 回归分析显示: BMI 指数、高脂血症、家族泌尿结石病史、血清 Ca 以及血清 TG 水平过高是结石的主要危险因素。

关键词: 泌尿系统; 结石; 单源双能量 CT; 危险因素

中图分类号: R816.7 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2019)03-0341-05

Analysis of single-source dual-energy CT features and risk factors of calculi in urinary system

LI Hao, XU Zihui, CHEN Jiaming, JIANG Fanli, ZHAO Qiqiang, HE Siyu, LIU Qi

Department of Radiology of Guangyuan Mental Health Center, The Fourth People's Hospital of Guangyuan City, Guangyuan 628000 China

Abstract: **Objective** To investigate the characteristics of single-source dual-energy CT and the risk factors of calculi in urinary system. **Methods** The clinical data of 138 patients of calculi treated in urology department in our hospital from November 2016 to September 2017 were retrospectively analyzed. The characteristics of calculi under single-source dual-energy CT scan were observed. The analysis results of postoperative infrared spectroscopy were used as the gold standard to evaluate the correct rate, sensitivity and specificity of single-source dual-energy CT prediction of stone types. In addition, logistic regression analysis was used to analyze the risk factors of stones. **Results** Single-source dual-energy CT predicted the highest rate of uric acid stones in all types of stones; 98.85%. The sensitivity of cystine stones and calcium oxalate-calcium phosphate stones was poor, 70.59% and 42.86%, respectively. The specificity of each type of stones is predicted to be >90%, and the highest value of uric acid stones is 100.00%. The CT measurements of various types of stones from high to low were calcium oxalate-calcium phosphate stones > calcium oxalate stones > mixed uric acid stones > cystine stones > uric acid stones. The results of CT value comparison of different types of stones; the difference of uric acid stones compared with other stones group ($P < 0.05$), ($P < 0.05$), the difference of calcium oxalate stones and cystine stones, mixed uric acid stones were statistically significant ($P < 0.05$). There were significant differences between the groups of cystine stones, mixed uric acid stones and calcium oxalate-calcium phosphate stones ($P < 0.05$). The results of DEI comparison of different types of stones; the DEI of uric acid stones and mixed uric acid stones were significantly different from other stone groups ($P < 0.05$). Logistic regression analysis showed that BMI index, hyperlipidemia, family history of urinary stones, serum Ca and serum TG levels were risk factors for stones (OR values all > 1, P values all < 0.05). **Conclusion** Single-source dual-energy CT can better distinguish uric acid stones, calcium oxalate stones and mixed uric acid stones, but there is a big error between calcium oxalate stones and calcium oxalate-calcium phosphate stones, cystine stones and mixed uric acid stones. Logistic regression analysis showed that BMI index, hyperlipidemia, family history of urinary stones, serum Ca and serum TG levels were the main risk factors for stones.

Key words: Urinary System; Stones; Single Source Dual Energy CT; Risk Factors

基金项目:2017 广元市第二批科技计划项目(2017ZCZDYF013)
作者简介:李昊(1976-),男,主治医师,从事心血管 CTA,双能 CT 工作。E-mail:lihao10086@yeah.net

泌尿系统结石是泌尿外科最常见的疾病之一,可发生于输尿管、膀胱、肾和尿道的任何部位,其中以输尿管和肾结石最常见^[1]。我国人群泌尿系统结石发病率较高,且近年来呈不断升高趋势,10 年复发率高达 50% 以上^[2]。目前泌尿系统结石的临床治疗方法较多,包括外科治疗、水化疗法、体外超声波碎石术以及药物疗法等^[3]。而根据结石的大小、部位等的不同选择合适的治疗方案,对减少患者的治疗费用和治疗时间,以及避免不必要的手术创伤具有重要意义^[4]。目前,临床主要采用 CT 平扫检查辅助诊断和治疗,了解结石大小、边界及位置,但很难具体分析结石的成分。双源双能量 CT 检查是近年来一种新的结石检查方法,可较好进行体内结石成分的分析,但由于双源 CT 成本费用较高等原因未能广泛普及。有文献报道^[5],应用单源 CT 进行双能量非同步检查方法可作为无双源 CT 的替代检查方案,但目前关于单源双能量 CT 在泌尿系统结石中的应用报道较少,且尚需临床数据加以验证,本研究就泌尿系统结石单源双能量 CT 特征及结石的危险因素进行研究,旨在为临床提供参考,现将研究情况汇报如下:

1 材料与方法

1.1 一般资料 研究对象选取 2016 年 11 月到 2017 年 9 月期间在我院泌尿外科治疗的结石患者 138 例,入院经超声检查均诊断为泌尿系统结石,结石直径均 ≥ 5 mm。138 例患者中男性 86 例,女性 52 例,年龄 21 ~ 62 岁,平均 (49.68 ± 9.45) 岁,左侧输尿管结石 41 例,右侧输尿管结石 39 例,右肾结石 19 例,左肾结石 13 例,多发部位结石 26 例。所有患者对本研究内容知情并签署知情同意书,经输尿管镜取石或经皮肾切开取石术共获得结石标本 174 枚。本研究经我院医学伦理委员会批准进行。

1.2 方法

1.2.1 设备及参数设定 CT 扫描设备采用西门子光子 64 排 384 层螺旋 CT (Somatom Definition Edge, 德国西门子公司)。扫描参数:图像矩阵为 512×512 ,准直器为 128×0.6 mm,视野 (FOV) 为 400 mm,扫描螺距为 1.0,球管旋转时间为 0.28 s,锐利度为 B35。图像重建层厚 1 mm,重建卷积算法为 Kernel B20 Smooth。扫描范围:双肾到骨盆底。80 kVp 及 140 kVp 的扫描参数均相同。

1.2.2 扫描方法 扫描前指导患者进行呼吸和憋气训练,练习 2 ~ 3 次。指导患者平卧于 CT 扫描床上,

双手上举抱头。先行常规泌尿系扫描序列,采集图像,并获取患者结石的具体位置。切换为 80 kVp 管电压进行扫描:将定位线调整至结石上缘约 2 cm 处,此时嘱患者吸气、憋气,并进行扫描,看到结石后立刻停止扫描,嘱患者正常呼吸。140 kVp 管电压扫描方法与 80 kVp 相同。

1.2.3 图像分析及 CT 值测量^[6-7] 将扫描图像传入西门子 AS 64 排 128 层螺旋 CT 配备的处理工作站 Syngo VB10 软件中处理图像。设置腹部软组织窗宽为 350,窗位为 40,观察 80 kVp 及 140 kVp 管电压下两个双能量扫描的结石图像。所有患者的图像均由两名高年资影像科医师进行分析,选取结石最大截面并手工勾画出大于结石最高密度 90% 以上的感兴趣区 (ROI),测量结石的 CT 值 (HU),每个序列测量 3 次后取平均值。最后利用不同电压下测量的 CT 值 (HU) 计算 DEI。

$$DEI = \frac{HU(80 \text{ kVp}) - HU(140 \text{ kVp})}{HU(80 \text{ kVp}) + HU(140 \text{ kVp}) + 2000}$$

1.2.4 结石类型分析^[8-9] 结石成分采用傅氏转换红外光谱分析法 (fourier transform infrared spectroscopy, FTIR) 分析,仪器为全自动电脑分析仪 (LIIR-20, 天津蓝莫德公司)。将扫描标记并通过术后取出的结石用蒸馏水洗净,风干。每枚结石样本取 1 mg,与烘干的溴化钾粉末 200 ~ 300 mg 均匀混合,研磨至 μm 级的细粉,利用加压机压制成半透明薄片,立即放入红外光谱槽中扫描。全自动电脑分析仪采集样本光谱数据,并计算出透过率,描绘出红外光谱图。软件将结石数据结石数据库进行自动匹配,进行对比分析,打印分析报告。对于混合成分结石,依据各种成分吸收峰的强度确定主要成分和次要成分。主要成分大于 90% 时认为结石为单一成分结石。

1.3 观察指标 ①单源双能量 CT 分析泌尿系统结石成分的正确率;②ROC 曲线分析单源双能量 CT 在泌尿系统结石成分分析中的效能;③不同成分结石的 CT 测量值结果;④泌尿系统结石危险因素分析。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 23.0 进行数据统计分析:以例 (百分比) [n (%)] 表示计数资料,并行 χ^2 检验,检验水准选取双侧 $\alpha = 0.05$;以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示计量资料,各组结石的 CT 值总体分布位置不同或不全相同的使用 Mann-Whitney 检验进行组间两两比较,各组结石 DEI、两组患者临床资料组间比较采用单因素方差分析,结石危险因素分析采用 Logistics 二分类回归分析, $P < 0.05$ 均评价为比较差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 泌尿系统结石成分单源双能量 CT 预测结果及红外广谱法分析结果比较 138 例患者通过单源双能 CT 扫描共发现 174 枚结石,利用配套软件进行分析,预测结果为:尿酸结石 36 枚、草酸钙结石 51 枚、胱氨酸结石 16 枚、羟基磷灰石 9 枚、混合尿酸结石 40 枚、草酸钙-磷酸钙结石 22 枚。所有结石通过手术等方式取出后进行红外光谱分析结石类型,结果为:尿酸结石 38 枚、草酸钙结石 56 枚、胱氨酸结石 17 枚、混合尿酸结石 35 枚、草酸钙-磷酸钙结石 28 枚;而单源双能 CT 预测的 9 枚羟基磷灰石中,红外光谱分析为草酸钙结和胱氨酸结石各 2 枚、混合尿酸结石 1 枚、草酸钙-磷酸钙结石 4 枚;详见表 1。

表 1 泌尿系统结石类型单源双能量 CT 预测结果及红外广谱法分析结果比较[*n*(%)]

单源双能量 CT (<i>n</i> =174)	红外光谱分析(<i>n</i> =174)				
	尿酸 结石 38	草酸钙 结石 56	胱氨酸 结石 17	混合尿酸 结石 35	草酸钙-磷酸钙 结石 28
尿酸结石 36	36	0	0	0	0
草酸钙结石 51	0	44	0	0	7
胱氨酸结石 16	2	0	12	2	0
羟基磷灰石 9	0	2	2	1	4
混合尿酸结石 40	0	0	3	32	5
草酸钙-磷酸钙结石 22	0	10	0	0	12

2.2 单源双能量 CT 预测结石类型的正确率、敏感度和特异度 单源双能量 CT 预测各类型结石的正确率中尿酸结石最高为 98.85%;预测胱氨酸结石和草酸钙-磷酸钙结石的敏感度较差,分别为 70.59%、42.86%;预测各类型结石的特异度均>90%,尿酸结石最高为 100.00%;详见表 4。

表 2 单源双能量 CT 预测结石类型的正确率、敏感度和特异度[*n*(%)]

MSCT 诊断	正确率(%)	敏感度(%)	特异度(%)
尿酸结石	98.85	94.74	100.00
草酸钙结石	89.08	78.57	94.07
胱氨酸结石	94.83	70.59	97.45
混合尿酸结石	93.68	91.43	94.42
草酸钙-磷酸钙结石	85.06	42.86	93.15

2.3 不同类型结石的 CT 测量值结果 各类结石 CT 测量值从高到低依次为草酸钙-磷酸钙结石>草酸钙结石>混合尿酸结石>胱氨酸结石>尿酸结石;电压升高时,除尿酸结石的 CT 值变化不大外,其他类型的结石均减小,且草酸钙结石和草酸钙-磷酸钙结石的

CT 值差值最大;各类型结石 CT 值比较结果:尿酸结石与其他结石组比较差异均有统计学意义($P<0.05$),草酸钙结石与胱氨酸结石和混合尿酸结石比较差异均有统计学意义($P<0.05$)。胱氨酸结石、混合尿酸结石和草酸钙-磷酸钙结石组间两两比较较差异均有统计学意义($P<0.05$),其余各组间 CT 值存在明显重叠,比较差异无统计学意义($P>0.05$);各类型结石 DEI 比较结果:尿酸结石与其他结石组比较差异均有统计学意义($P<0.05$),混合尿酸结石与其他结石比较差异均有统计学意义($P<0.05$),其他各组间两两比较差异不明显($P>0.05$);详见表 3,图 1、图 2。

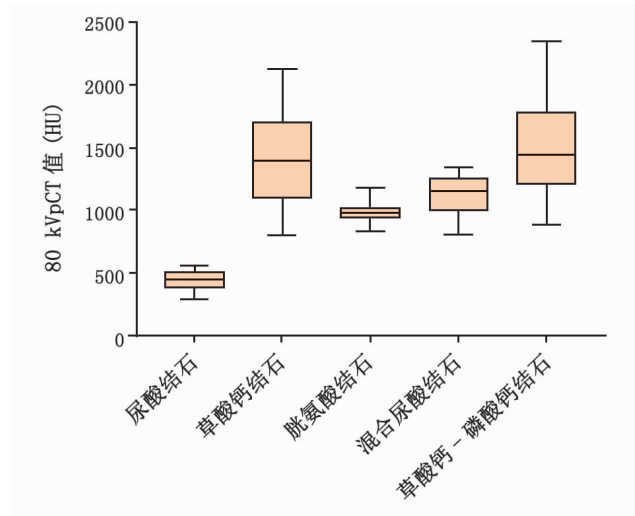


图 1 各组结石 80 kVpCT 值箱式图

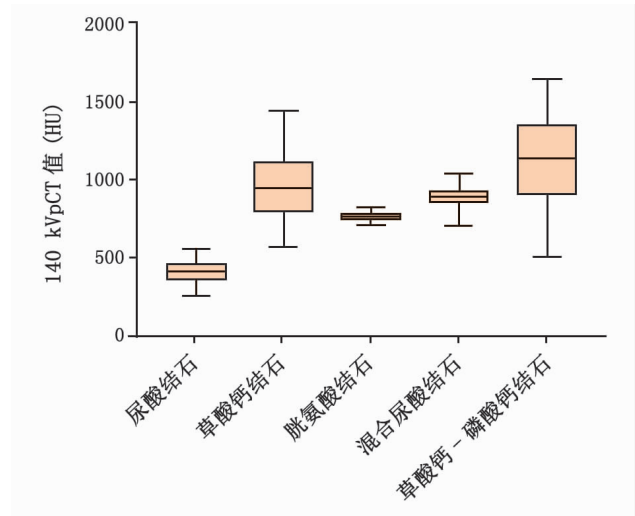


图 2 各组结石 140kVpCT 值箱式图

2.4 案例展示 图 3 为各类结石在不同电压下的 CT 图像特征。其中 a 为胱氨酸结石;b 为草酸钙-磷酸钙结石(左侧)和混合尿酸结石(右侧);c 为尿酸结石;详见图 3。

2.5 泌尿系统结石危险因素分析 选取同期门诊健康体检无结石的患者 106 例,回顾两组患者的具体临床资料,并进行统计分析,采用卡方检验或单因素方差

分析比较两组临床资料,结果显示:结石组患者在 BMI 指数、高脂血症、家族泌尿结石病史、血清 Ca 以及血清 TG 水平方面与无结石组比较差异具有统计学意义($P < 0.05$),详见表 4;将上述具有统计学意义的因素作

为自变量,以有无结石作为应变量进行 Logistics 二分类回归分析,结果显示: BMI 指数、高脂血症、家族泌尿结石病史、血清 Ca 以及血清 TG 水平过高是结石的危险因素(OR 值均大于 1, P 值均 < 0.05),详见表 5。

表 3 不同类型结石的 CT 测量值结果比较[$n(\%)$]

结石类型	例数(n)	80 kVpCT 值(HU)	140 kVpCT 值(HU)	DEI
尿酸结石	38	436.58 ± 93.32 ¹⁾	410.25 ± 87.16 ¹⁾	0.012 ± 0.004 ¹⁾
草酸钙结石	56	1 397.66 ± 470.43	988.08 ± 214.52	0.099 ± 0.016
胱氨酸结石	17	983.15 ± 57.82	763.67 ± 21.39	0.085 ± 0.036
混合尿酸结石	35	1 106.85 ± 190.73	892.66 ± 60.35	0.050 ± 0.027
草酸钙-磷酸钙结石	28	1 520.86 ± 491.55	1 130.49 ± 349.46	0.106 ± 0.024

注:1)与其他类型结石 CT 值和 DEI 比较, $P < 0.05$ 。

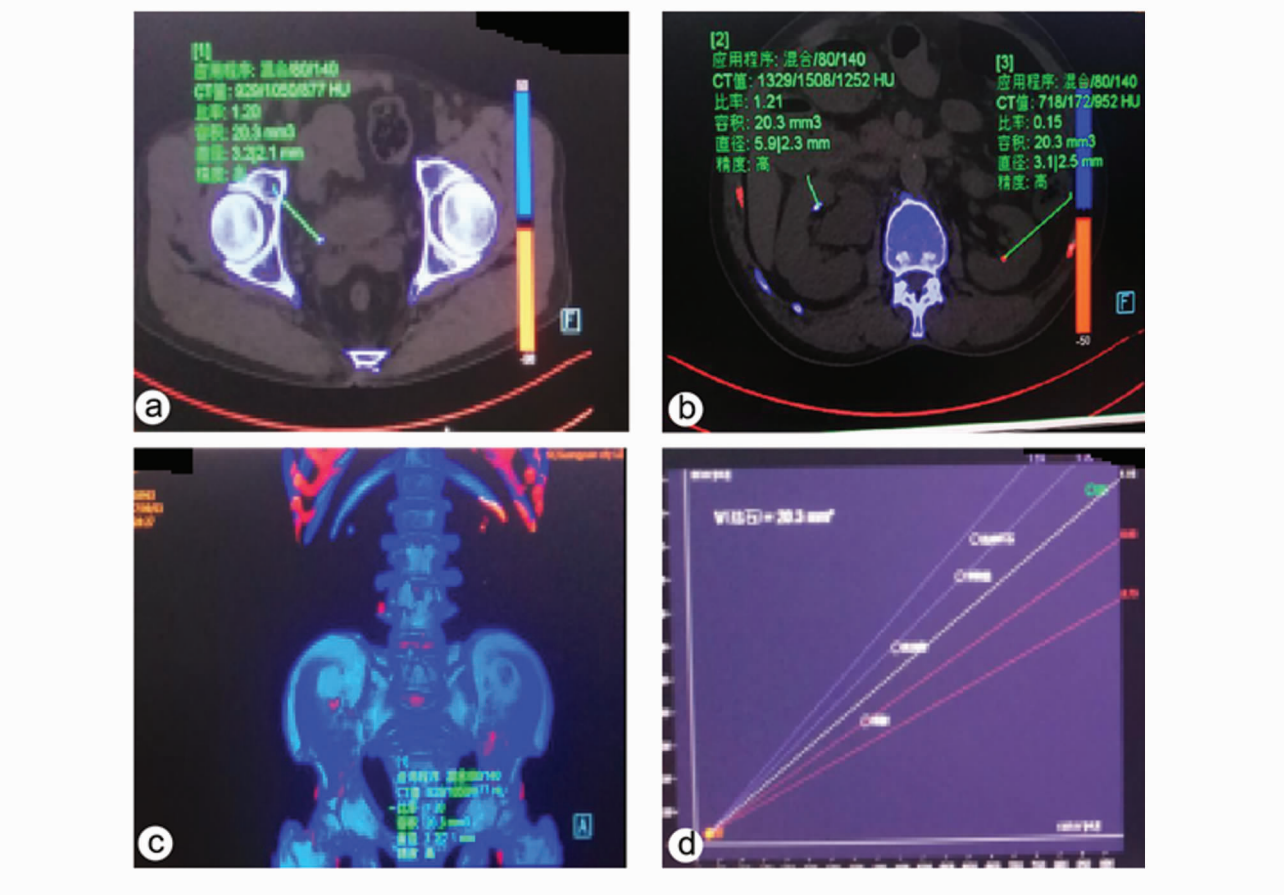


图 3 各类型结石不同电压下 CT 图像

3 讨论

泌尿系统结石目前已发现包括 32 中成分,临床可大致分为含钙结石和无钙结石两大类。所有泌尿系统结石中 40% ~ 60% 为草酸钙结石,5% ~ 10% 为尿酸结石,而磷酸钙结石占胱氨酸结石较少,只占 4% 以下^[10]。草酸钙结石多呈圆形或卵圆形,硬度最大,临床较多采用药物排石治疗;尿酸结石与草酸钙相似但硬度较低,也主要采用药物疗法;磷酸结石外形多样,鹿角行多见,硬度比尿酸结石大,但易被冲击波击碎,因此多采用体外碎石疗法;而胱氨酸类结石宜直

接手术取石^[11-12]。因此,明确结石的成分对治疗方案的选择和制定以及治疗效果具有重要影响,术前如何准确区分结石的化学成分成为临床研究的热点和关注的焦点^[13]。

传统的术前诊断和评估方法主要是超声、X 片以及腹部 CT,超声和 X 片只能明确结石部位和结石二维平面的大小,而 CT 也只能较好观察结石的具体空间位置以及大概轮廓和大小,并不能准确分析结石的成分^[14]。近年来,CT 技术和设备得到不断进步和改良,国外利用双源 CT 即将两个球管安装在同一个机架内,并设置不同的电压值。在扫描时可同时产生能

量不同的两组 X 线并得到相应电压值下的 CT 图像^[15]。根据物质原子序数的不同,其在不同能量 X 线成像条件下的 CT 值也不同,通过分析 CT 值的不同以及电压变化是 CT 值的变化,从而可以将不同的物质加以区分^[16-17]。临床研究发现,不同成分的结石在双源 CT 双能量扫描下的 CT 值具有其特点^[18-19]:尿酸类结石和非尿酸类结石的 X 线衰减特性不同,因此在低能量和高能量扫描时得到的 CT 图像和 CT 值明显不同;尿酸类结石随着电压值的升高,CT 值也逐渐升高,而含钙结石则降低。因此,临床可利用结石在双能量 CT 扫描下的特性区分结石的成分。目前,双源双能量 CT 在预测结石的成分中得到了临床广泛认可,但由于设备成本等原因,我国较少普及,临床亟待提出可替代双源 CT 的其他诊断方法。

表 4 两组患者临床资料比较[$n(\%) / (\bar{x} \pm s)$]

指标	结石组 ($n=138$)	无结石组 ($n=106$)	χ^2/F 值	P 值
性别(例)				
男	82(53.33)	64(50.00)	0.03	0.86
女	56(46.67)	42(50.00)		
年龄(岁)	49.68±9.45	47.84±10.21	1.44	0.15
BMI(kg/m ²)	27.67±2.53	23.94±2.46	11.60	0.00
高血压(例)	52(37.68)	30(28.30)	2.36	0.12
糖尿病(例)	48(34.78)	27(25.47)	2.44	0.12
冠心病(例)	36(26.09)	17(16.04)	3.56	0.06
高脂血症(例)	85(61.59)	22(20.75)	40.61	0.00
家族泌尿结石病史(例)	76(55.07)	14(13.21)	45.13	0.00
Ca(mmol/L)	2.56±0.19	2.28±0.21	10.76	0.00
TG(mmol/L)	1.63±0.54	0.94±0.48	10.54	0.00

表 5 泌尿系统结石危险因素分析

Logistics 回归分析($n=244$)

相关因素	B 值	SE	OR 值	P 值
BMI	1.549	0.732	1.39	0.00
高脂血症	-3.305	0.265	1.62	0.00
家族泌尿结石病史	-3.518	1.725	2.05	0.00
Ca	2.692	2.687	1.33	0.02
TG	2.682	3.783	1.41	0.01

近年来,有专家提出了单源 CT 双能量扫描方法,其原理与双源 CT 相同,只是在扫描时依次进行不同能量的扫描,实现非同步的双能量扫描。但目前单源双能 CT 在泌尿系统结石成分预测中的应用效果及报道较少,为进一步探究其可行性,本研究将单源双能量 CT 应用于泌尿系统结石患者中,预测结石的成分并分析结石危险因素,结果显示:CT 值方面,不同电压下均为:草酸钙-磷酸钙结石 > 草酸钙结石 > 混合尿酸结石 > 胱氨酸结石 > 尿酸结石;通过组间 CT 值比较发现,单源双能 CT 在尿酸结石、混合尿酸结石和

草酸钙结石之间可较好区分,而在混合尿酸结石和胱氨酸结石之间有以及羟基磷灰石和含钙类结石之间不易区分,不同电压下 CT 值的箱式图可见较大重叠;各类型结石 DEI 比较结果:尿酸结石及混合尿酸结石的 DEI 与其他结石组比较差异均有统计学意义($P < 0.05$)。预测情况方面显示:尿酸结石的正确率、敏感度和特异度均为最高,分别为 98.85%、100.00% 和 94.74%,而胱氨酸结石和草酸钙混合结石的敏感度较差分别为 70.59%、42.86%,这与双源 CT 的预测结果相似^[20]。本研究中,单源双能 CT 预测羟基磷灰石 9 例,但术后红外光谱法明确无 1 例羟基磷灰石,主要是含钙类结石,这可能与单源双能 CT 无法同步扫描有关,同时受到患者的配合度、ROI(感兴趣区)的选择以及阅片者的误差等的影响,这可能是本研究对其他结石预测的敏感度较低的原因。另外,本研究通过 Logistics 回归分析显示:BMI 指数、高脂血症、家族泌尿结石病史是结石的主要危险因素,同时患者机体 Ca 等微量元素代谢异常、TG 水平过高也与结石的发病有关。

综上所述,传统的术前诊断和评估方法主要是超声、X 片以及腹部 CT,超声和 X 片只能明确结石部位和结石二维平面的大小,而 CT 也只能较好观察结石的具体空间位置以及大概轮廓和大小,并不能准确分析结石的成分。单源双能量 CT 可较好区分尿酸结石,可大致区分草酸钙结石和混合尿酸结石,可在没有双源 CT 的条件下作为区分结石成分的替代方法,为临床制定和选择结石治疗方案提供指导,掌握结石的危险因素可更好的预防结石的形成及复发,改善患者预后。

参考文献

[1] 岑秀雅,高源统,罗敏,等. 单源双能量 CT 在体内泌尿系结石成分分析中的应用研究 [J]. 医学影像学杂志,2015,275(8):453-459.

[2] Yuping MA,Wei W,Jianru L,et al. Dual-energy CT features of urinary calculi and risk factors comparison between Uyghur and Han [J]. J Xinjiang Med Univ,2016. 334(22):235-237.

[3] Ascenti G,Siragusa C,Racchiusa S,et al. Stone-targeted dual-energy CT: A new diagnostic approach to urinary calculosis [J]. American Journal of Roentgenology,2010,195(4):953-958.

[4] 李昊,李枝峻,徐子慧,等. 单源双能量 CT 在体内泌尿系结石成分分析中的应用研究 [J]. 中国急救医学,2017. 365(43):451-459.

[5] Zhang G M Y,Sun H,Xue H D,et al. Prospective prediction of the major component of urinary Stone composition with dual-source dual-energy CT in vivo [J]. Clinical Radiology,2016,71(11):1178-1183.

- (6):548-552.
- [6] 张烨,黄晓东,高黎,等.鼻咽癌 IMRT 后长期存活者晚期损伤及其变化趋势——患者评价和医生评价结果[J].中华放射肿瘤学杂志,2018,27(8):721-726.
- [7] Coffey CW, Ding GX. Radiation dose from kilovoltage cone beam computed tomography in an image-guided radiotherapy procedure. [J]. International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, 2009,73(2):610-617.
- [8] Kim DW, Chung WK, Yoon M, et al. Imaging doses and secondary cancer risk from kilovoltage cone-beam ct in radiation therapy[J]. Health Physics: Official Journal of the Health Physics Society, 2013,104(5):499-503.
- [9] Yamashita T, Araki K, Tomifuji M, et al. Clinical features and treatment outcomes of Japanese head and neck cancer patients with a second primary cancer[J]. Asia Pac J Clin Oncol, 2017,13(3):172-178.
- [10] Wikstrom K, Nilsson K, Isacson U, et al. A comparison of patient position displacements from body surface laser scanning and cone beam CT bone registrations for radiotherapy of pelvic targets[J]. Acta Oncol 2014;53:268-277.
- [11] Torsten M, Gregor H, Matthias U, et al. Clinical Evaluation of a Laser Surface Scanning System in 120 Patients for Improving Daily Setup Accuracy in Fractionated Radiation Therapy[J]. Int J Radiation Oncol Biol Phys, 2013,85(3):846-853.
- [12] Jonsson M, Ceberg S, Nordstrom F, et al. Technical evaluation of a laser-based optical surface scanning system for prospective and retrospective breathing adapted computed tomography[J]. Acta Oncol 2015,54:261-265.
- [13] Gopan O, Wu Q. Evaluation of the accuracy of a 3D surface imaging system for patient setup in head and neck cancer radiotherapy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2012,84:547-552.
- [14] Zhong R, Song Y, Yan Y, et al. Analysis of which local set-up errors can be covered by a 5-mm margin for cone-beam CT-guided radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma [J]. BRITISH JOURNAL OF RADIOLOGY. 2018, Vol. 91 (No. 1088).
- [15] aura I. C, Nicole D, Matthew T, et al. Initial clinical experience with a frameless and maskless stereotactic radiosurgery treatment [J]. Practical Radiation Oncology. 2012, Vol. 2 (No. 1):54-62.
- 收稿日期:2019-03-17

(上接第 345 页)

- [6] Eiber M, Holzapfel K, Frimberger M, et al. 尿路结石单源 CT 靶向双能量成像特征: 实验与临床研究 [J]. 国际医学放射学杂志, 2012, 235(33): 578-581.
 - [7] Ferrero A, Chen B, Huang A, et al. SU-G-IeP2-15: virtual insertion of digital kidney stones into dual-source, dual-energy CT projection data [J]. Med Phys, 2016, 43(6Part26): 3658-3659.
 - [8] 罗敏, 高源统, 岑秀雅, 等. 单源双能量 CT 在显示痛风结石沉积中的应用研究 [J]. 医学影像学杂志, 2014, 24(9): 1583-1585.
 - [9] Xiuya C, Yuanlong G, Min L, et al. Diagnostic value of single source dual energy CT for in vivo urinary stone characterization [J]. China Modern Doctor, 2015, 245(2): 23-35.
 - [10] Ferrero A, Gutjahr R, Halaweish A F, et al. Characterization of urinary Stone composition by use of whole-body, photon-counting detector CT [J]. Academic Radiology, 2018, 25(10): 1270-1276.
 - [11] 张古沐阳, 石冰, 薛华丹, 等. 双源双能量 CT 前瞻性分析体内泌尿系结石的主要成分 [J]. 放射学实践, 2018(1): 55-59.
 - [12] Takahashi N, Hartman R P, Vrtiska T J, et al. Dual-energy CT iodine-subtraction virtual unenhanced technique to detect urinary stones in an iodine-filled collecting system: A phantom study [J]. American Journal of Roentgenology, 2008, 190(5): 1169-1173.
 - [13] 李培秀, 董立军, 都日娜, 等. 双能量 CT 技术及其对泌尿系结石成分分析的临床应用研究 [J]. 医疗卫生装备, 2017, 38(4): 10-13.
 - [14] Duan X H, Li Z B, Yu L F, et al. Characterization of urinary Stone composition by use of third-generation dual-source dual-energy CT with increased spectral separation [J]. American Journal of Roentgenology, 2015, 205(6): 1203-1207.
 - [15] 涂备武, 周洁, 李惠民, 等. 泌尿系结石成分的体内双源双能量 CT 分析 [J]. 中国医学计算机成像杂志, 2013, 19(1): 57-60.
 - [16] Zhi-Peng L, Jian-Hui S, Lian-Zhi T, et al. The Value Study In Urinary Stone Composition Analysis by Dual Source CT Dual Energy Technology [J]. Syst Med, 2016, 134(54): 217-220.
 - [17] 杨琪放, 张挽时, 孟利民, 等. 双源 CT 双能量成像对泌尿系统结石成分分析的初步研究 [J]. 中华放射学杂志, 2011, 45(2): 133-137.
 - [18] 周璿姬. 泌尿系结石患者发病危险因素调查研究 [J]. 河北医学, 2016, 22(3): 458-461.
 - [19] Assimos D G. Re: characterization of urinary Stone composition by use of third-generation dual-source dual-energy CT with increased spectral separation [J]. Journal of Urology, 2016, 195(6): 1949-1950.
 - [20] Leng S, Huang A, Cardona J M, et al. Dual-energy CT for quantification of urinary Stone composition in mixed stones: A phantom study [J]. American Journal of Roentgenology, 2016, 207(2): 321-329.
- 收稿日期: 2018-12-20