

术前CT平扫观察结石成分与经皮肾镜碎石术清石效果的关系

刘海龙,解婷,黄培楷,刘天柱

广东省中医院珠海医院影像科,广东 珠海 519000

【摘要】目的:分析术前CT平扫观察结石成分与肾结石经皮肾镜碎石术(PCNL)清石效果的关系。**方法:**纳入2016年1月至2018年1月于广东省中医院珠海医院收治的310例肾结石PCNL患者为研究对象,开展回顾性分析。按照术前CT平扫观察的结石成分,分为易碎石组(208例)、难碎石组(102例),并与术后实际结石清除率比较,观察术前CT判断与术后实际结石清除率的一致性。**结果:**310例肾结石患者术后结石清除288例(92.90%),其中一水草酸钙结石28例(9.72%),磷酸钙结石48例(16.67%),二水草酸钙结石91例(31.60%),磷酸镁铵结石70例(24.31%),尿酸结石51例(17.70%);310例肾结石患者术后未清除22例(7.10%),其中一水草酸钙结石7例(31.82%),磷酸钙结石9例(40.91%),二水草酸钙结石3例(13.64%),磷酸镁铵结石2例(9.09%),尿酸结石1例(4.54%)。易碎石组手术时间显著短于难碎石组($P<0.05$),术中出血量、CT值显著低于难碎石组($P<0.05$),住院时间较难碎石组无统计学意义($P>0.05$);PCNL术后实际碎石效果显示清除组手术时间显著短于未清除组($P<0.05$),术中出血量、CT值显著低于未清除组($P<0.05$),住院时间较未清除组无统计学意义($P>0.05$),证实术前CT判断与术后实际结石清除率存在一致性。术前CT判断结石清除效果灵敏度为71.53%,特异度为90.91%,准确率为72.22%,阳性预测值为99.04%,阴性预测值为19.61%,Kappa值为0.73。**结论:**术前CT平扫观察结石成分对PCNL的清石效果具有一定预测价值,临床上应引起足够重视。

【关键词】CT平扫;结石成分;肾结石;经皮肾镜碎石术

【中图分类号】R692.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)10-1155-05

Relationship between stone composition detected by preoperative CT plain scan and the therapeutic effect of percutaneous nephrolithotomy

LIU Hailong, XIE Ting, HUANG Peikai, LIU Tianzhu

Department of Imaging, Zhuhai Hospital, Traditional Chinese Medicine Hospital of Guangdong Province, Zhuhai 519000, China

Abstract: Objective To analyze the relationship between stone composition detected by preoperative CT plain scan and renal stone removal by percutaneous nephrolithotomy (PCNL). **Methods** From January 2016 to January 2018, 310 patients with renal stones who underwent PCNL in Zhuhai Hospital, Traditional Chinese Medicine Hospital of Guangdong Province were enrolled in this study. The stones were divided into the treatable group (208 cases) and refractory group (102 cases) according to the stone composition detected by preoperative CT plain scan. The stone-free rates in different groups were compared. The consistency between the preoperative CT judgment and the stone-free rate after operation was analyzed. **Results** Of 310 patients with renal stones, 288 cases (92.90%) achieve renal stone removal, including 28 cases (9.72%) with calcium oxalate monohydrate stones, 48 (16.67%) with calcium phosphate stones, 91 (31.60%) with calcium oxalate dihydrate stones, 70 (24.31%) with magnesium ammonium phosphate stones, and 51 (17.70%) with uric acid stones. The stones in the other 22 cases were not removed (7.10%), including calcium oxalate monohydrate stones in 7 cases (31.82%), calcium phosphate stones in 9 cases (40.91%), calcium oxalate dihydrate stones in 3 cases (13.64%), magnesium ammonium phosphate stones in 2 cases (9.09%), and uric acid stones in 1 case (4.54%). The operation time of treatable group was significantly shorter than that of refractory group ($P<0.05$), and the intraoperative blood loss and CT value of treatable group were significantly lower than those of refractory group ($P<0.05$). No statistical significance was found in hospital stay between two groups ($P>0.05$). According to the outcomes of PCNL, the patients were divided into stone group in which the stones were not removed and stone-free group in which the stones were removed. Compared with stone group,

【收稿日期】2018-07-11

【基金项目】珠海市卫生局研究基金(20181117A010062)

【作者简介】刘海龙,主治医师,E-mail: yueting1452@163.com

【通信作者】刘天柱,主治医师,E-mail: 153462964@qq.com

stone-free group had significantly shorter operation time ($P<0.05$), and obviously decreased intraoperative blood loss and CT value ($P<0.05$), and there were no statistical differences in hospital stay between two groups ($P>0.05$). The consistency between the preoperative CT judgment and the stone-free rate after operation was confirmed. The sensitivity, specificity, and accuracy of preoperative CT judgment for stone removal were 71.53%, 90.91% and 72.22%, respectively. The positive and negative predictive values of preoperative CT judgment were 99.04% and 19.61%, respectively, and the Kappa value was 0.73. **Conclusion** Preoperative CT plain scan which has certain predictive value for the therapeutic effect of PCNL should be paid enough attention in clinic.

Keywords: computed tomography plain scan; stone composition; renal stone; percutaneous nephrolithotomy

前言

泌尿系结石属于泌尿外科常见疾病,流行病学调查发现国内发病率达1%~10%,我国南方属于高发地区,1/4患者需住院接受治疗。其中肾结石最为常见,占泌尿系结石的40%~50%,若治疗不及时,会诱发泌尿系梗阻、尿路感染,甚至是肾功能不可逆性损伤,进展为泌尿系肿瘤风险较高^[1]。目前外科手术是治疗肾结石的关键手段,常用方法包括体外冲击波碎石术、腹腔镜下取石术、经皮肾镜取石术(Percutaneous Nephrolithotomy, PCNL)等,其中PCNL应用广泛^[2]。有报道称肾结石手术治疗与结石成分、脆性、部位、大小及有无感染等合并症存在一定关联,其中术前结石成分判定可指导临床治疗方法的选择,并预测治疗效果^[3]。多层螺旋CT机平扫对泌尿系结石成分的判断存在较高的特异性与敏感性,具有切层薄、纵轴采集范围宽、扫描速度快、不受呼吸影响等优势,能检出其他影像检出中易遗漏的

含钙量低的结石,显示出小结石,还能借助超薄层横断面图像行二维和三维重建,立体清晰显示泌尿系结石数量、位置、大小,已成为近年来鉴别结石组织成分的常用方法^[4]。但目前关于术前CT平扫观察结石成分与PCNL清石效果之间关系的报道较少,基于此,本文主要深入探究术前CT预测PCNL清石效果的作用,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入2016年1月至2018年1月于广东省中医院珠海医院收治的310例肾结石PCNL患者为研究对象,开展回顾性分析。本研究获我院医学伦理委员会批准。按照术前CT平扫观察的结石成分,分为易碎石组(208例)和难碎石组(102例)。两组一般资料比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表1。

表1 两组患者一般资料比较

Tab.1 Comparison of general information between two groups

Group	Age/year	Male/ Female	Diameter of stone/mm	Course of disease/ month	Lithiasis [cases(%)]			Complication [cases(%)]			
					Left kidney	Right kidney	Double kidney	Diabetes	Hypertension	Coronary heart disease	Others
Treatable (n=208)	44.87±9.02	117/91	19.28±6.15	6.97±3.82	112(53.85)	85(40.86)	11(5.29)	17(8.17)	25(12.02)	14(6.73)	9(4.33)
Refractory (n=102)	43.96±8.26	52/50	20.37±5.29	6.85±3.76	45(44.11)	51(50.00)	6(5.89)	10(9.80)	17(16.67)	8(7.84)	6(5.88)
t/ χ^2 value	0.857	0.766	1.533	0.261		2.625				0.149	
P value	0.392	0.381	0.126	0.794		0.269				0.985	

1.2 纳入标准

(1)符合《中国泌尿外科疾病诊断治疗指南手册》^[5]中相关诊断标准,均经实验室或B超、X线、放射性核素肾显像等影像学检查确诊为肾结石;(2)结石于某一部位滞留时间<1年;(3)年龄≥25岁,均接受PCNL治疗,无手术禁忌证;(4)患者肾功能良好,

若患侧存在肾积水,则积水程度在中度以下;(5)对本研究知情且签署同意书。

1.3 排除标准

(1)伴严重脑血管疾病、原发性心血管,存在脑梗死、脑出血等病史;(2)存在胆结石病史;(3)合并严重心、脑、造血系统等原发性疾病及精神疾病;(4)

输尿管狭窄或肾盂输尿管连接部狭窄;(5)移植肾结石;(6)脓肾、尿培养呈阳性、尿常规白细胞(++)以上者;(7)妊娠期或哺乳期妇女。

1.4 方法

1.4.1 术前CT检查设备及方法 采用320排640层动态容积CT机(日本东芝公司)进行检查。检查前4 h,禁食,检查前30 min服用温水500 mL,扫描前再喝温水500 mL,至膀胱充盈。同时,检查前需训练好患者呼吸,确保扫描时每次屏气量均匀,将患者身上皮带扣、钥匙等不透X线物品除去。取患者仰卧位,于双侧髂髌关节区,采用自制加压装置(纱布裹成椭圆形,外用医用胶带缠绕,于双侧髂髌关节区放置,用CT扫描床自带腹部同定带将其固定)施压。行双肾平扫,管电压120 kV,管电流50 mA,扫描层厚5 mm,层距5 mm,重建层厚1.25 mm。待扫描参数设置好后,应用标准认定方法予以CT平扫,对图像予以有序重建。若结石直径<15 mm,则行结石层面1 mm薄层扫描。扫描完毕后将所得数据传至工作站 Advantage Workstation 4.4(GE Healthcare, Milwaukee, Wis),行GSI Viewer多参数分析。扫描完的结石取出后洗净,采用红外结石光谱分析仪(LIIR-20型)行结石化学成分分析。将一水草酸钙、磷酸钙结石(包括碳酸磷灰石、羟基磷灰石、磷酸三钙、二水磷酸氢钙、磷酸八钙)纳为难碎石组,二水草酸钙、磷酸镁铵及尿酸结石(包括无水尿酸、尿酸铵、一水尿酸钠)归为易碎石组。同时,将结石最大层面去除,测量结石核心部位、边缘部分及中间部分区域CT值,计算平均CT值。采用双盲法,由2名高年资影像医师观察并分析影像资料。

1.4.2 手术方法 两组患者均接受PCNL治疗。术前行尿培养检查,常规备血。采用全身麻醉或腰硬联合麻醉,取截石位,常规消毒铺巾后通过尿道植入德国Wolf 8.5/9.8输尿管硬镜,顺着输尿管间嵴明确患侧输尿管口,逆行插入F5输尿管导管,同时保留至肾盂。将输尿管硬镜退出,并行F18导尿管留置,固定留置输尿管导管与导尿管。改变患者体位,取俯卧位,垫高肾区腹部至10~15 cm,确保患侧腰背部与手术台面呈30°夹角。待常规消毒铺巾后,将漏斗集液袋粘贴于穿刺区域,便于收集术中冲洗液及结石。予以超声检查,明确患侧肾脏状况,定位目标肾盏。基于超声引导采用18 G穿刺针自目标肾盏穿入,针芯拔出后一旦显示有尿液流出,则表明穿刺成功,将安全导丝导入后妥善固定。采用筋膜扩张器,顺着安全导丝按照顺序扩张至F16,行Peel-away鞘留置,构建经皮肾通道。基于导丝引导下输尿管硬镜进入肾盂,明确结石位置,根据实际情况予以钬激光碎石;或采用套叠式金属筋膜扩张器行通道扩张,

至F24,将经皮肾镜外鞘置入,并行wolf F20.8肾镜插入,明确结石位置。应用第3代EMS系统予以碎石,击碎结石碎屑行负压吸出,或借助灌注水流自工作通道冲出碎石屑,可用取石钳夹出较大结石块。术后,行5F双J管留置,肾造瘘口行F18肾造瘘管留置。术后行常规抗菌素治疗,维持48 h;术后第3天行腹部平片复查,明确碎石状况及双J管位置,术后2~4周依据患者病情拔除双J管。

1.5 观察指标

观察术后结石清除效果,根据结果将其分为清除组和未清除组,对比4组围术期手术时间、术中出血量、住院时间及CT值,并分析术前CT判断与术后结石清除率的一致性。碎石清石判断标准:参考《现代泌尿外科诊疗指南》^[6],于术后4周行B超、肾脏CT(平扫)或尿路平片复查,结果显示无结石残留,或残留结石直径为3 mm及以下,且无明显临床症状,则判断为碎石清石成功,由此计算清石率。

1.6 统计学方法

采用SPSS 19.0软件处理上述数据,以%表示计数资料,组间行 χ^2 检验;以均数 \pm 标准差表示计量资料,组间行 t 值检验,采用Kappa一致性检验评估术前CT判断与术后实际结石清除率的一致性, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术后结石清除率

310例肾结石患者术后结石清除288例,占92.90%,设为清除组;其中一水草酸钙结石28例,占9.72%;磷酸钙结石48例,占16.67%;二水草酸钙结石91例,占31.60%;磷酸镁铵结石70例,占24.31%;尿酸结石51例,占17.70%。310例肾结石患者术后未清除22例,占7.10%,设为未清除组;其中一水草酸钙结石7例,占31.82%;磷酸钙结石9例,占40.91%;二水草酸钙结石3例,占13.64%;磷酸镁铵结石2例,占9.09%;尿酸结石1例,占4.54%。

2.2 各组围术期指标比较

易碎石组手术时间显著短于难碎石组($P<0.05$),术中出血量、CT值显著低于难碎石组($P<0.05$),住院时间较难碎石组无统计学意义($P>0.05$)。PCNL术后实际碎石效果显示,清除组手术时间显著短于未清除组($P<0.05$),术中出血量、CT值显著低于未清除组($P<0.05$),住院时间较未清除组无统计学意义($P>0.05$),见表2。

2.3 术前CT判断与术后实际结石清除率一致性分析

术前CT判断结石清除效果灵敏度为71.53%,特异

表2 各组围术期指标比较($\bar{x} \pm s$)Tab.2 Comparison of perioperative indicators among four groups ($Mean \pm SD$)

Group		Operation time/min	Intraoperative blood loss/mL	Hospital stay/d	CT value/HU
CT examination	Treatable ($n=208$)	78.48 \pm 10.25	10.05 \pm 4.34	4.20 \pm 1.13	765.28 \pm 150.14
	Refractory ($n=102$)	93.98 \pm 17.24	12.79 \pm 4.08	4.10 \pm 2.14	1075.38 \pm 210.57
Postoperative outcome	Removed ($n=288$)	77.52 \pm 10.13	9.89 \pm 4.31	4.25 \pm 1.17	764.89 \pm 150.46
	Not removed ($n=22$)	94.76 \pm 17.20	12.41 \pm 4.07	4.08 \pm 2.16	1073.69 \pm 210.63
t value		61.397	13.940	0.346	118.131
P value		0.000	0.000	0.792	0.000

度为90.91%,准确率为72.22%,阳性预测值为99.04%,阴性预测值为19.61%,Kappa值为0.73,见表3。

表3 术前CT判断与术后实际结石清除率一致性分析

Tab.3 Consistency between preoperative CT judgment and postoperative stone-free rate

Group	Removed	Not removed	Total
Treatable	206	2	208
Refractory	82	20	102
Total	288	22	310

3 讨论

有报道称结石成分与结石硬度息息相关,碎石时间又取决于结石硬度,而手术方式影响碎石时间及效率^[7]。有研究表明输尿管软镜碎石术常用钬激光碎石,碎石方式较为单一,故受结石成分影响较大;而PCNL存在钬激光、气压弹道碎石机、气压弹道联合超声EMS清石系统、双导管超声碎石机等碎石工具,术中能根据患者具体情况选择合适碎石器械,并非依靠单一能量源来粉碎结石,故受结石成分影响较小^[8]。但有报道称在PCNL术前及术中取石过程中,采用CT平扫轴向旋转视频显像,能直观提供结石空间分布、形态等重要影像信息,便于设计合适的PCNL通道入路与数目,指导结石定位,并准确预测结石余数目与部位,对提高复杂性肾结石PCNL结石清除率、保证手术安全具有重要作用^[9]。因此,笔者将结石分为易碎结石组和难碎结石组进行分析,并与术后实际结石清除率比较,旨在观察术前CT对结石清除疗效的预测作用。

本研究结果显示310例肾结石患者术后结石清除率为92.90%,其中二水草酸钙结石、磷酸镁铵结石、尿酸结石所占比例高于一水草酸钙结石、磷酸钙结石;术后结石未清除率为7.10%,其中一水草酸钙结石、磷酸钙结石所占比例高于二水草酸钙结石、磷酸镁铵结石、

尿酸结石,提示虽然钬激光可粉碎各种类型结石,但结石硬度仍会对PCNL疗效产生影响。有报道称磷酸镁铵、二水草酸钙、尿酸结石硬度较低,粉碎成功率及排空率明显高于硬度较高的一水草酸钙、磷酸钙结石,这与本文研究结论相似^[10]。另外,有报道称二水草酸钙、磷酸镁铵、尿酸结石若直径为10~30 mm,其结石清除率较一水草酸钙、磷酸钙结石高;若直径>20 mm,则其结石清除率与≤20 mm的一水草酸钙和磷酸钙相接近,提示结石成分会影响手术方式选择^[11]。结石成分信息通过术后才能获得临床数据。笔者认为,若术前获取结石成分信息,则可预测术后疗效。对此,本研究采用日本东芝公司生产的Aquilion 640层螺旋CT机,能对全身及各个部位及脏器进行检查,获取精细图像,实现高清晰成像,扫描时间快,时间分辨率高,辐射剂量超低,伪影少,噪声低。在肾结石诊断方面,CT与其他影像学检查比较,特异性、敏感性均较高,且无需造影剂,基本不受肠道气体与肾功能干扰,能清晰显示阳性结石与阴性结石位置、大小、形态、CT值,并准确显示扩张输尿管和分离肾集合系统,对图像行二维与三维重建,准确判断结石成分与内部结构^[12]。体外研究表明,采用CT检查,将窗宽、窗位适当调整,可动态显示肾结石三维形态、肾脏内结石空间分布情况及各部位结石间空间结构关系,获取结石区域CT值,并将相对均质的结石区域化为感兴趣区域,经测量所得结石CT值将有可能预测某种结石成分^[13]。

本研究结果显示易碎石组手术时间、术中出血量、CT值明显优于难碎石组;而PCNL术后实际碎石效果显示,清除组上述指标均优于未清除组,证实术前CT判断与术后实际结石清除率存在一致性,术前CT判断结石清除效果灵敏度为71.53%,特异度为90.91%,准确率为72.22%。目前虽有报道称术前CT平扫CT值能区分草酸钙结石与一水草酸钙结石,部分预判结石硬度,但鲜有关于术前CT平扫观察结石成分与PCNL清石效果之间关系的报道^[14]。有研究显示结石CT值与PCNL预

后存在一定关系;当肾结石患者CT值小于970 HU时,PCNL术后结石清除率达96%;当CT值为970 HU及以上时,PCNL术后结石清除率为38%,提示CT值对预测PCNL术后疗效具有重要预测价值^[15]。本研究中,易碎石组CT值明显低于难碎石组,而清除组CT值亦低于未清除组,提示术前CT判断与术后实际结石清除率存在一致性。笔者认为,CT平扫观察结石成分及硬度,预测PCNL术后结石清除效果是可行的,利于术式选择。具体而言,一水草酸钙结石、磷酸钙结石与二水草酸钙结石、磷酸镁铵结石、尿酸结石对PCNL治疗效果差别较大,上述几种成分结石的预测对临床治疗效果的预测具有指导意义^[16]。CT平扫可清晰显示肾脏动态三维重建影像,立体展现肾脏与周围组织脏器的空间毗邻关系,自任意角度观察结石形态,分析目标形态结构与空间关系,于术前对结石立体分布情况及成分有详细了解;术中,可按照通道与结石的空间关系准确定位结石,根据结石成分选择合适碎石工具并予以清除,能有效减少术中出血量,缩短手术时间,提高术后结石清除率,改善患者预后。但有报道称扫描层厚、扫描电压、操作CT设备的医生技术水平、结石大小、感兴趣区域选择、CT值测量方法的不同均会影响CT平扫结果^[17-18],关于这些因素是否会影响CT预测PCNL清石疗效尚需进一步深入探究。

综上所述,术前CT平扫观察结石成分,能有效预测PCNL清石效果,便于临床术式选择,值得积极推广与应用。

【参考文献】

- [1] AMINSHARIFI A, IRANI D, MASOUMI M, et al. The management of large staghorn renal stones by percutaneous versus laparoscopic versus open nephrolithotomy: a comparative analysis of clinical efficacy and functional outcome[J]. Urolithiasis, 2016, 44(6): 1-7.
- [2] CONE E B, EISNER B H, URSINY M, et al. Cost-effectiveness comparison of renal calculi treated with ureteroscopic laser lithotripsy versus shockwave lithotripsy[J]. World J Urol, 2016, 28(6): 1-6.
- [3] SOLOMON J, MILETO A, NELSON R C, et al. Quantitative features of liver lesions, lung nodules, and renal stones at multi-detector row CT examinations: dependency on radiation dose and reconstruction algorithm[J]. Radiology, 2018, 279(1): 185-194.
- [4] 沈晓波, 聂生东. 低剂量CT技术发展及其临床应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2016, 33(3): 238-242.
SHEN X B, NIE S D. Development and clinical application of low dose computed tomography technology [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2016, 33(3): 238-242.
- [5] 那彦群, 叶章群, 孙颖浩, 等. 中国泌尿外科疾病诊断治疗指南手册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014: 211-213.
NA Y Q, YE Z Q, SUN Y H, et al. Guidelines for diagnosis and treatment of urological surgery in China[M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2014: 211-213.
- [6] 吴宏飞. 现代泌尿外科诊疗指南[M]. 南京: 东南大学出版社, 2005: 278-281.
- [7] 熊超玉, 陈刚, 陈函, 等. 重庆地区单中心泌尿系结石成分分析及临床研究(附839例报告)[J]. 重庆医科大学学报, 2018, 43(2): 264-269.
XIONG C Y, CHEN G, CHEN H, et al. Composition analysis and clinical study of single center urinary calculi in Chongqing area (a report of 839 cases)[J]. Journal of Chongqing Medical University, 2018, 43(2): 264-269.
- [8] 吴明亮, 夏茂楠, 张国海, 等. 256例泌尿系结石成分分析及意义[J]. 实用临床医药杂志, 2016, 20(13): 213-215.
WU M L, XIA M N, ZHANG G H, et al. Composition analysis and significance of 256 cases of urinary calculi [J]. Journal of Clinical Medicine in Practice, 2016, 20(13): 213-215.
- [9] 钟东亮, 吴玉姬, 刘冠昭, 等. 联用多种措施提高经皮肾镜取石术治疗鹿角形肾结石的清除率[J]. 微创泌尿外科杂志, 2016, 5(4): 218-221.
ZHONG D L, WU Y J, LIU G Z, et al. Several strategies of increasing the stone-free rate of staghorn calculi by percutaneous nephrolithotomy [J]. Journal of Minimally Invasive Urology, 2016, 5(4): 218-221.
- [10] 唐寅, 程鸿明, 王坤杰, 等. 四川省243例泌尿系结石成分及相关因素分析[J]. 现代泌尿外科杂志, 2016, 21(1): 27-30.
TANG Y, CHENG H M, WANG K J, et al. Components of urinary stones and analysis of correlation factors of 243 patients in Sichuan province [J]. Journal of Modern Urology, 2016, 21(1): 27-30.
- [11] BONATTI M, LOMBARDO F, ZAMBONI G A, et al. Renal stones composition *in vivo* determination: comparison between 100/ Sn140 kV dual-energy CT and 120 kV single-energy CT [J]. Urolithiasis, 2016, 45(3): 1-7.
- [12] 王炜, 李先承. 泌尿系结石CT值的临床应用价值[J]. 医学与哲学, 2016, 37(16): 9-10.
WANG W, LI X C. The study on dual energy of dual source CT values in clinical application of urinary calculi [J]. Medicine & Philosophy, 2016, 37(16): 9-10.
- [13] ZUMSTEIN V, BETSCHART P, HECHELHAMMER L, et al. CT-calculometry (CT-CM): advanced NCCT post-processing to investigate urinary calculi [J]. World J Urol, 2018, 36(1): 117-123.
- [14] LARGO R, STOLZMANN P, FANKHAUSER C D, et al. Predictive value of low tube voltage and dual-energy CT for successful shock wave lithotripsy: an *in vitro* study [J]. Urolithiasis, 2016, 44(3): 271-276.
- [15] 朱家利, 汪溢, 李志伟, 等. 宝石能谱CT原子序数法与红外光谱法分析泌尿系结石成分的效果比较[J]. 重庆医学, 2017, 46(33): 4662-4663.
ZHU J L, WANG Y, LI Z W, et al. Effects comparison of gemstone energy spectrum CT atomic number method and infrared spectroscopy for analyzing composition of urinary calculus [J]. Chongqing Medicine, 2017, 46(33): 4662-4663.
- [16] ZHANG G M, 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]. Clin Radiol, 2016, 71(11): 1178-1183.
- [17] 刘义, 吴静云, 马帅, 等. 泌尿系结石CT征象与手术方式的相关性: NLP研究[J]. 放射学实践, 2017, 32(11): 1179-1182.
LIU Y, WU J Y, MA S, et al. Correlation between CT signs of urinary calculi and surgical methods: NLP study [J]. Radiological Practice, 2017, 32(11): 1179-1182.
- [18] SHAVIT L, GIRFOGLIO D, KIRKHAM A, et al. Increased renal papillary density in kidney stone formers detectable by CT scan is a potential marker of stone risk, but is unrelated to underlying hypercalciuria [J]. Urolithiasis, 2016, 44(5): 471-475.

(编辑:黄开颜)