

• 能谱 CT 影像学专题 •

双能 CT 对离体泌尿系尿酸结石的诊断价值

范兵, 邱建星, 王霄英, 郭小超, 董健, 张蓓, 龚侃, 黄海超

【摘要】 目的:探讨双能 CT 对离体泌尿系尿酸结石的诊断价值。**方法:**搜集经体外光谱分析证实的 63 枚离体泌尿系结石(其中尿酸结石 9 枚,非尿酸结石 54 枚)。模拟体内环境,对结石进行常规 CT 扫描及双能 CT 扫描。后处理时采用单能模式(40 和 140 keV)重建,统计结石的能谱曲线类型,测量 40 和 140 keV 时结石的 CT 值、有效原子序数及常规扫描时 CT 值。计算上述参数对不同成分的结石进行鉴别诊断的敏感度和特异度。统计方法采用 Kruskal-Wallis U 检验及操作者工作特征曲线(ROC)分析。**结果:**尿酸结石 9 枚中有 7 枚(77.8%)呈上升型曲线,其它 56 枚结石均为下降型曲线,此征象诊断尿酸结石的敏感度为 77.8%,特异度 100%,阳性预测值 100%,阴性预测值 96.4%。尿酸结石常规扫描时 CT 值(403 ± 112) HU,非尿酸结石(854 ± 335) HU,两者之间差异有统计学意义($Z = -3.869, P < 0.01$);ROC 分析曲线下面积(Az)为 0.905,以 564 HU 为阈值,诊断尿酸结石的敏感度为 100%,特异度 76.4%。40 keV 单能图像上:尿酸结石 CT 值(341 ± 127) HU,非尿酸结石(1689 ± 853) HU,两者之间差异有统计学意义($Z = -4.5, P < 0.01$);ROC 分析 Az 为 0.971,以 615 HU 为阈值,诊断尿酸结石的敏感度为 100%,特异度 88.9%。140 keV 单能图像上:尿酸结石 CT 值(404 ± 119) HU,非尿酸结石(445 ± 130) HU,两者之间差异无统计学意义($Z = -0.778, P = 0.436$);ROC 分析 Az 为 0.581。有效原子序数:尿酸结石 7.02 ± 0.43 ,非尿酸结石 11.93 ± 2.16 ,两者之间差异具有统计学意义($Z = -4.65, P < 0.01$);ROC 分析 Az 为 0.988,以 7.96 为阈值,诊断尿酸结石的敏感度 100%,特异度 92.6%。**结论:**双能 CT 测量有效原子序数及 40 keV 单能图像上 CT 值测量对尿酸结石及非尿酸结石的鉴别诊断价值较高,较常规平扫 CT 的诊断特异性高。上升型能谱曲线是诊断尿酸结石的可靠征象。

【关键词】 泌尿系结石;尿酸;体层摄影术,X 线计算机;能谱成像

【中图分类号】 R814.42; R693 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2012)03-0268-03

Diagnosis of uric acid calculi by dual energy CT: with ex vivo calculi spectroscopy as the reference standard FAN Bing, QIU Jian-xing, WANG Xiao-ying, et al. Department of Medical imaging, the First Hospital of Beijing University, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To prospectively determine the capability of dual energy CT Gemstone spectral imaging and advanced post-processing techniques to identify uric acid calculi, with ex vivo urinary calculi spectroscopy as the reference standard. **Methods:** Sixty-three urinary stones were obtained by endoscopic lithotripsy. The chemical composition of the stones was confirmed by spectroscopy (including 9 cases of uric acid calculus, 54 cases of non-uric acid stones). These urinary calculi were placed in the fresh porcine kidney pelvis dipped in physiological saline. Both routine CT scan and dual energy CT scan were performed. All the images of 63 urinary calculi were analyzed at workstation. CT value of the calculi was measured on the images of routine scan, 40keV monoenergetic (MONO) images, and 140keV MONO images, respectively. Effective Z (Eff-Z) was measured for each calculus. The spectral HU curve and histogram of 63 urinary calculi were created. Kruskal-Wallis U test and ROC curve analysis were used to evaluate the capability of these parameters to differentiate the urinary calculi components. **Results:** CT values of uric acid stones were as follows: (403 ± 112) HU on routine scan images, (341 ± 127) HU on 40keV MONO images, (404 ± 119) HU on 140keV MONO images. CT values of non-uric acid stones were as follows: (854 ± 335) HU on routine scan images, (1689 ± 853) HU on 40keV MONO images, (445 ± 130) HU on 140keV MONO images. The CT values of uric acid stone and non-uric acid stone were different on both routine scan ($P < 0.01$) and 40keV MONO images ($P < 0.01$). But the CT values of uric acid stone and non-uric acid stone were not significantly different ($P = 0.436$) on 140keV MONO images. Eff-Z of uric acid stones and non-uric acid stones were significantly different ($P < 0.01$). Seven in 9 (77.8%) uric acid stones demonstrated rising spectral energy curve, whereas the other 56 non-uric acid stones all demonstrated reversed spectral energy curve. **Conclusion:** Dual energy CT is a promising noninvasive imaging modality that can show the characterization of uric acid and non-uric acid stones.

【Key words】 Urinary calculi; Uric acid; Tomography, X-ray computed; Spectral imaging

作者单位: 100034 北京, 北京大学第一医院 医学影像科(范兵、邱建星、王霄英、郭小超、董健), 泌尿外科(张蓓、龚侃、黄海超)

作者简介: 范兵(1979—), 男, 湖北人, 博士研究生, 主要从事泌尿生殖系统影像诊断工作。

通讯作者: 王霄英, E-mail: cjr.wangxiaoying@vip.163.com

泌尿系结石是泌尿系统最常见的疾病, 发病率约 2%~3%, 比较常见的泌尿系结石有 4 种: 含钙结石、感染性结石、尿酸结石及胱氨酸结石。泌尿系结石的

形成机制尚未完全阐明,一般认为,尿酸结石是体内嘌呤代谢紊乱的产物,碱化尿液、口服别嘌呤醇及饮食调节有较好的治疗作用^[1]。而其它类型的结石需要碎石或取石治疗。因此,准确区分尿酸及非尿酸结石对治疗方法的选择非常重要。

双能 CT 利用高压瞬间切换技术,实现了在原始数据空间层面进行物质解析,可得到物质的 X 线衰减曲线,在物质鉴别方面提供了新的平台^[2]。本研究通过模拟体内环境,研究双能 CT 对离体泌尿系结石的诊断价值,重点观察双能 CT 对尿酸结石的鉴别诊断,并对双能 CT 不同扫描参数进行诊断效能的比较,旨在探讨双能 CT 在泌尿系结石诊断中的价值。

材料与方法

经北京大学第一医院伦理委员会批准,搜集 2010 年 9 月—2010 年 12 月我院泌尿外科 63 例患者经内镜碎石术取出的泌尿系结石标本。每例患者选取最大的 1 枚结石,入组结石 63 枚中尿酸结石 9 枚,非尿酸结石 54 枚,所有结石经体外光谱分析确定结石成分。结石直径 0.4~1.2 cm,平均(0.7±0.3) cm。由泌尿外科医师对结石随机统一编号,研究者及数据搜集人员不知结石成分。

取新鲜猪肾 1 个置于生理盐水中,模拟体内环境。每次从结石标本中随机选取 3 枚结石,分别置于上、中、下肾盏内,置放过程中尽量排除肾盂内气泡。

采用 GE Discovery CT 750HD 能谱 CT 机,所有结石进行 2 次 CT 扫描,分别为开启 GSI 模式及关闭 GSI 模式,关闭 GSI 模式相当于常规 CT 检查。扫描参数:120 kV,150 mA,0.625 mm×64i,螺距 0.984,机架旋转速度 1 s/r,视野 120 mm×120 mm,矩阵 512×512。两次检查扫描参数保持一致。

所有图像传送到 GE AW 4.4 工作站,GSI 模式所得图像采用单能模式(40 和 140 KeV)重建,由 1 位具有多年工作经验的放射科医师在不知道结石成分的前提下分别测量在常规 CT 及 40 和 140 keV 图像上结石的 CT 值、有效原子序数等参数。选取结石最大层面手工勾画兴趣区(ROI),ROI 应足够大,尽可能包含肾结石全部。每枚结石测量 3 次取平均值。所有数据测量完毕后再由泌尿外科医师告知每枚结石的成分。

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行处理,分别对尿酸及非尿酸结石的各项参数进行 Kruskal-Wallis U 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。然后对各参数分别进行受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve,ROC)分析。数据处理工作由实验方案设计者独立完成。

结 果

1. 能谱曲线

尿酸结石 9 枚中有 7 枚(7/9)呈上升型曲线,其它 56 枚结石均为下降型(图 1),此征象诊断尿酸结石的敏感度 77.8%,特异度 100%,阳性预测值 100%,阴性预测值 96.4%。

2. CT 值

常规平扫图像上尿酸结石 CT 值(403±112) HU,非尿酸结石(854±335) HU,两者之间差异有高度统计学意义($Z=-3.869, P<0.01$)。ROC 分析曲线下面积(Az)为 0.905,以 564 HU 为阈值,诊断尿酸结石的敏感度为 100%,特异度为 76.4%。

40 keV 单能图像上尿酸结石的 CT 值为(341±127) HU,非尿酸结石 CT 值(1689±853) HU,两者之间差异有高度统计学意义($Z=-4.500, P<0.01$)。ROC 分析 Az 为 0.971,以 615 HU 为阈值,诊断尿酸结石的敏感度为 100%,特异度为 88.9%。

140 keV 单能图像上尿酸结石的 CT 值为(404±119) HU,非尿酸结石 CT 值为(445±130) HU,两者之间差异无统计学意义($Z=-0.778, P=0.436$)。ROC 分析 Az 为 0.581。

3. 有效原子序数

不同成分的结石,有效原子序数不同(图 2)。本组中测得的尿酸结石原子序数为 7.02 ± 0.43 ,非尿酸结石为 11.93 ± 2.16 ,两者之间差异有高度统计学意义($Z=-4.650, P<0.01$)。ROC 分析有效原子序数的 Az 为 0.988,以 7.96 为阈值,诊断尿酸结石的敏感度为 100%,特异度为 92.6%。与其它参数比较,有效原子序数的诊断效能最高(图 3)。

讨 论

泌尿系结石是临床常见病、多发病,每 10 万人每年新发病例约 100 例,人群发病率 1%~3%。泌尿系结石中以草酸钙结石最常见,磷酸盐、尿酸盐和碳酸盐结石次之,胱氨酸结石罕见。结石成分不同,治疗方法也存在差异。术前准确区分尿酸结石及非尿酸结石对治疗方法的选择至关重要。

CT 平扫安全、快速、准确、无检查禁忌证、不受肠气干扰,成为泌尿系结石的重要检查手段^[3-4]。不同成分的结石 CT 值存在差异,尿酸结石的 CT 值最低,然后依次为胱氨酸、磷酸镁胺、磷酸钙和草酸钙,混合性结石的 CT 值位于相应各种纯结石之间^[5]。李炯明等^[6]的研究中,以结石平均 CT 值<500 HU 为标准鉴别纯尿酸结石,其敏感度为 92.31%,特异度为 96.53%,阳性预测值为 70.59%,阴性预测值为 99.29%。本研究

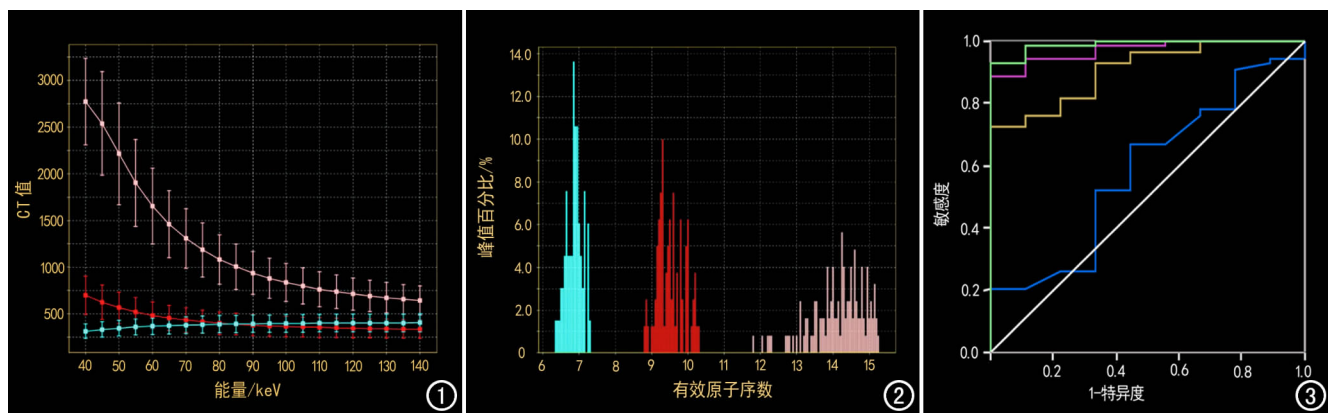


图1 能谱曲线图,蓝色曲线代表尿酸结石,为上升型曲线,红色代表胱氨酸结石、粉色代表草酸钙结石,后两者均为下降型曲线;40keV单能模式下,各种结石的CT值差异较大,140keV时各种结石的CT值趋于一致。图2 有效原子序数分布图,从左到右依次为尿酸结石(蓝色)、胱氨酸结石(红色)和草酸钙结石(粉色)。图3 ROC图,有效原子序数(绿色)、40keV单能图像(玫红色)、常规平扫(黄色)和140keV单能图像(蓝色)的曲线下面积分别为0.988、0.971、0.905和0.581,有效原子序数的诊断效能最高。

结果与文献报道类似,以常规扫描CT值 <564 HU作为阈值诊断尿酸结石,敏感度100%,特异度76.4%。

双能CT利用X线球管在80和140 kVp间瞬间切换,利用两种能量的X线成像信息,后处理时可在原始数据空间层面进行物质分离,得到不同物质X线衰减曲线,为物质成分的鉴别提供了新的研究平台^[7-8]。与常规CT相比,双能CT提供了更多的分析工具及定量指标,能够获得不同keV水平的单能量图像,同时能够计算所观察物质的有效原子序数^[9-10]。本组结果显示,40 keV单能模式下各种不同的结石CT值差异较大,而140 keV时各种不同结石的CT值趋于一致。提示低keV对结石成分的鉴别潜能较大,统计学分析结果也支持此结论,40 keV单能图像上,尿酸结石与非尿酸结石CT值之间的差异具有统计学意义($P<0.01$),而140 keV时两者之间的差异无统计学意义($P>0.05$)。另外,在曲线类型方面,尿酸结石9枚中有7枚呈上升型曲线,其它56枚结石均为下降型,上升型曲线是诊断尿酸结石的可靠征象。

利用ROC下面积作为诊断效能的指标,可以看出,有效原子序数对尿酸结石的诊断效能最高,Az达0.988,其次为40 keV单能图像($Az=0.971$),两者均较常规CT平扫($Az=0.905$)为高。以有效原子序数低于7.96作为诊断尿酸结石的标准,特异度为92.6%,敏感度达100%。这充分说明双能CT在泌尿系结石的鉴别诊断方面较常规CT具有一定的优势。

本研究的局限性:所搜集的样本为连续63例患者的结石标本,具有一定的代表性,但是样本量较少;另外,没有对非尿酸结石进行进一步区分,这是本文的缺陷,也是我们下一步所要做的工作。

总之,双能CT在泌尿系结石的鉴别诊断方面能

发挥重要作用,上升型曲线是诊断尿酸结石可靠的征象;有效原子序数及40 keV单能图像上CT值测量对尿酸及非尿酸结石的鉴别诊断价值较高,能够比常规平扫CT进一步提高诊断准确性。

(致谢:衷心感谢GE公司许骅提供技术支持!)

参考文献:

- [1] 郭应禄,祝光学. 外科学[M]. 北京:北京大学医学出版社,2003:735-742.
- [2] 林晓珠,沈云,陈克敏. CT能谱成像的基本原理与临床应用研究进展[J]. 中华放射学杂志,2011,45(8):798-800.
- [3] 郭俊渊. 不增强的螺旋CT诊断泌尿系结石[J]. 放射学实践,2000,15(2):120.
- [4] 张建军,程广,刘铁. 非增强螺旋CT与B超在泌尿系结石诊断中的价值比较[J]. 放射学实践,2007,22(6):594-596.
- [5] Thomas C, Krauss B, Ketelsen D, et al. Differentiation of urinary calculi with dual energy CT: effect of spectral shaping by high energy tin filtration[J]. Invest Radiol, 2010, 45(7):393-398.
- [6] 李炯明,王光,刘建和,等. 螺旋CT扫描预测上尿路结石成分的体内研究[J]. 临床泌尿外科杂志,2010,25(2):98-100.
- [7] Venema HW. Virtual monochromatic spectral imaging with fast kilovoltage switching should not be used as standard CT imaging modality[J]. Radiology, 2011, 260(3):916-917.
- [8] Lin XZ, Miao F, Li JY, et al. High-definition CT Gemstone spectral imaging of the brain: initial results of selecting optimal monochromatic image for beam-hardening artifacts and image noise reduction[J]. J Comput Assist Tomogr, 2011, 35(2):294-297.
- [9] Goodsitt MM, Christodoulou EG, Larson SC. Accuracies of the synthesized monochromatic CT numbers and effective atomic numbers obtained with a rapid kVp switching dual energy CT scanner[J]. Med Phys, 2011, 38(4):2222-2232.
- [10] Karcaaltincaba M, Aktas A. Dual-energy CT revisited with multidetector CT: review of principles and clinical applications[J]. Diagn Interv Radiol, 2011, 17(3):181-194.

(收稿日期:2012-02-03)