

• 能谱 CT 影像学专题 •

双能 CT 成像在分次团注双期 CTU 中的临床应用

胡娟, 王鹤, 王霄英, 杨学东, 邱健星

【摘要】 目的:探讨分次团注双期 CTU 检查时双能 CT 成像的临床应用价值。**方法:**48 例血尿待查患者分为两组, 试验组 24 例, 行全泌尿系 CT 平扫及分两次团注对比剂后行肾实质-肾盂期 CTU 扫描; 对照组 24 例, 行全泌尿系 CT 平扫及单次团注对比剂后行实质期和肾盂期双期增强扫描。实验组的肾实质-肾盂期图像的采集采用高低压瞬切双能 CT 扫描模式(GSI), 其它所有期相的图像采集均采用普通 CT 扫描模式。在工作站上使用 GSI 后处理软件获得实质-肾盂期最佳 keV 图像。将 CTU 图像中集合系统分段, 测量实验组的肾实质-肾盂期最佳 keV 图像和对照组的肾盂期图像中集合系统各段管腔内的 CT 值, 并计算对比噪声比(CNR)。记录所有病例完成 CTU 全部检查序列的有效辐射量。两组病例 CT 值、CNR 和有效辐射量的比较使用非参数秩和检验。**结果:**分次团注 CTU 实质-肾盂期最佳 keV 图像各段集合系统腔内 CT 值均高于常规 CTU 肾盂期图像, 其差异有统计学意义($P < 0.05$)。分次团注 CTU 实质-肾盂期最佳 keV 图像与常规 CTU 肾盂期图像各段集合系统 CNR 差异没有统计学意义($P > 0.05$)。分次团注 CTU 完成全部检查的有效辐射量(平均 17.6 mSv)明显低于常规 CTU(平均 25.8 mSv), 差异有统计学意义($P < 0.05$)。**结论:**双能 CT 成像用于分次团注双期 CTU 在降低辐射量同时, 可获得与常规单次团注双期 CTU 相同的泌尿系成像质量。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 泌尿系成像; 双能成像; 肾脏病变; 集合系统

【中图分类号】 R814.42; R692 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2012)03-0259-05

Application of dual energy CT in split-bolus 2-phase CT urography HU Juan, WANG He, WANG Xiao-ying, et al. Department of Radiology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the effect of fast kVp switching dual energy CT in split-bolus 2-phase CT urography. **Methods:** Forty-eight patients with hematuria were recruited in this study. Group A: Twenty-four of them underwent split-bolus 2-phase CTU examination. The images of nephrographic-pyelographic phase were acquired with fast kVp switching dual-energy CT mode (gemstone spectral imaging mode, GSI). Images of optimal keV were calculated by the workstation. Group B: The other twenty-four patients underwent single-bolus 3-phase CTU examination as a control. The CT value in the lumen of collecting system of each patient was measured segmentally. The CT values and CNR of each segment of different collecting system segments were compared between the two groups. The radiation dose of each examination was recorded. Mann-Whitney rank sum test was used for statistical analysis. **Results:** There was significant difference in CT values in lumen of each segment between the two groups ($P < 0.05$). The CT values of every segment of Group A were significantly higher than those of Group B. There was no significant difference in CNR of each segment of urinary tract between the two groups ($P > 0.05$). Effective radiation doses of split-bolus 2-phase CTU on fast kVp switching dual energy CT were less than those of single-bolus 3-phase CTU ($P < 0.05$). **Conclusion:** Images acquired by the two techniques are the same in imaging quality, while the new split-bolus 2-phase examination on fast kVp switching dual energy CT can reduce the efficient radiation exposure but does not need more iodinated contrast agent.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Urography; Optimal keV; Dual energy imaging; Renal disease; Collecting system

CT 尿路成像是血尿待查的首选影像学检查方法^[1], 分次团注双期 CT 尿路成像技术是近年来较受关注的成像方法^[2], 但需注射较大剂量对比剂。双能 CT 可在某种程度上提高 CT 组织对比^[3], 本研究将双能 CT 扫描模式与分次团注双期 CTU 扫描方法相结合, 旨在探讨对 CT 尿路成像方法的进一步优化。

材料与方法

1. 临床资料

2011 年 5 月—7 月在本院因“血尿待查”申请 CT 尿路成像检查的连续病例 48 例, 病例纳入标准: ①无肾功能不全(血肌酐 $< 133 \mu\text{mol/l}$); ②无碘对比剂使用禁忌; ③患者一般情况可, 可多次上、下 CT 扫描床; ④腹部超声未发现肾脏或其它实质脏器肿瘤。

实验组 24 例, 男 18 例, 女 6 例, 年龄 33~88 岁, 平均 56.0 岁; 腹围 66~102 cm, 平均 88.2 cm。

作者单位: 100034 北京, 北京大学第一医院医学影像科

作者简介: 胡娟(1984—), 女, 四川人, 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

对照组 24 例,男 17 例,女 7 例,年龄 26~82 岁,平均 56.7 岁;腹围 70~108 cm,平均 87.8 cm。

2. CT 扫描及增强方案

所有患者检查前 30~60 min 饮水 500~1000 ml,检查前膀胱呈半充盈状态。实验组进行分次团注双期 CTU 扫描,对照组进行单次团注三期 CTU 扫描(图 1)。两组均使用欧乃派克(300 mg I/ml),总量 95 ml,采用同型号高压注射器。

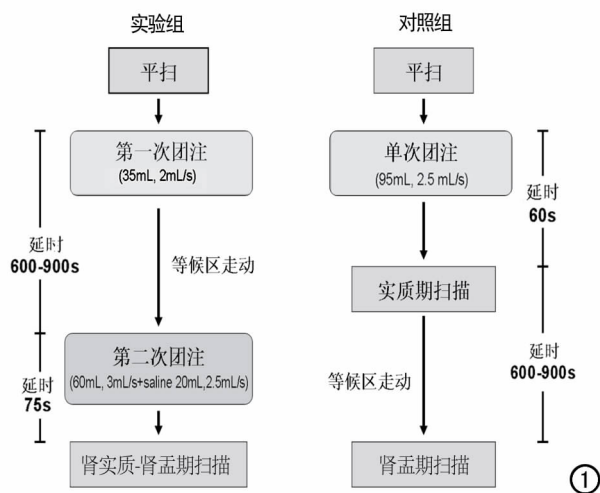


图 1 分次团注双期 CTU 及单次团注三期 CTU 检查流程图。实验组平扫后行第一次团注(35ml),下床走动,延时 600~900s 后再进行第二次团注(60ml),延时 75s 后扫描获得实质-肾盂期图像。对照组平扫后单次团注(95ml)后即刻行实质期扫描,再下床走动,延时 600~900s 后行肾盂期扫描。

实验组使用 GE Discovery CT 750HD CT 机,扫描 2 次,扫描范围均包括双侧肾上腺至膀胱。①CT 平扫:采用普通模式,120 kV,自动毫安,噪声指数 11.57,30% 自适应统计迭代重建技术,64i × 0.625 mm;②实质-肾盂期扫描:采用高低瞬切能谱成像(gemstone spectral imaging,GSI)模式,探测器宽度 40 mm,视野 350 mm × 350 mm,64i × 0.625 mm。

对照组使用 GE LightSpeed VCT 机。扫描 3 次:平扫、增强扫描实质期和肾盂期。三期均为普通模式扫描,扫描参数:120 kV,自动毫安,层厚 0.625 mm,间隔 0.5 mm,螺距 1.375,噪声指数 7.81,64i × 0.625 mm,扫描范围为双侧肾上腺至膀胱。

3. 图像后处理

所有图像后处理均在 GE AW4.4 后处理工作站进行,实验

组所有实质-肾盂期双能数据使用 GSI 后处理软件,以腰大肌代表软组织,输尿管腔作为背景,分别放置 ROI,可生成最佳 CNR 曲线,曲线最高点即为兴趣区的最佳单能量(图 2),生成并保存此最佳单能量图像。将受验组的最佳单能量图像和对照组的肾盂期图像传至 PACS 进行后续的图像测量和分析。

4. 数据分析

由两位有 3 年以上 CTU 读片经验且对检查方法不知情的医师阅片。将集合系统分为 8 段:上肾盏(S1)、中肾盏(S2)、下肾盏(S3)、肾盂(S4)、输尿管上段(S5)、输尿管中段(S6)、输尿管下段(S7)及膀胱(S8),左右侧分别评价。对尿路各个分段近、中、远侧分别进行测量,取平均值代表该医师对此段尿路的测量值,再对两位医师的测量值取平均值,得到此段尿路最终 CT 测量值。另测量腰大肌的 CT 值及脐水平腹部皮下脂肪 CT 值的标准差,分别代表软组织 CT 值($CT_{\text{软}}$)及背景噪声($CT_{\text{噪}}$)。按公式(1)计算双侧各段尿路的对比噪声比(CNR):

$$CNR = \frac{CT_{\text{尿路}} - CT_{\text{软}}}{CT_{\text{噪}}} \quad (1)$$

记录每位患者各扫描期相的 CTDIvol 及腹部和盆腔的扫描范围(L_1 和 L_2),并按公式(2)计算有效辐射量(effective radiation dose,ERD)^[4]:

$$ERD = CTDIvol \times (L_1 \times 0.012 + L_2 \times 0.016) \quad (2)$$

5. 统计分析

使用 SPSS 13.0 统计软件进行数据分析。对实验组与对照组对侧各段集合系统管腔内的 CT 值、CNR 以及患者有效辐射剂量总和分别采用独立样本非参数秩和检验(Mann-Whitney U),以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

实验组和对照组分别有 3.6% 和 5.8% 的分段未

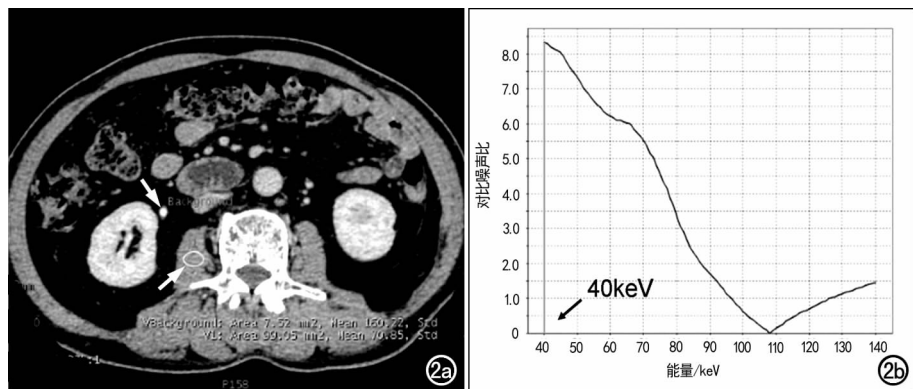


图 2 实质-肾盂期 GSI 数据后处理获得最佳单能图像。a) 能谱扫描横轴面 CT 图像,分别在腰大肌及输尿管腔内放置 ROI,代表软组织及背景;b) 最佳 CNR 曲线,曲线最高点对应 40keV,即为最佳单能量水平。

见显影,因此实验组和对照组各有 347 和 339 段进入统计分析。

观察不同单能量水平 CTU 图像,发现随着单能量水平降低,各组织 CT 值逐渐升高,以血管、泌尿系集合系统等对比剂浓聚的结构更为明显(图 3)。实验组最佳单能量为 40~56 keV,平均(42.7±5.0) keV。

实验组实质-肾盂期最佳单能图像上各段集合系统管腔内 CT 值明显高于对照组肾盂期图像(图 4,表 1),差异有统计学意义($Z=-4.289\sim-2.843$, P 均 <0.01)。同时,实验组实质-肾盂期最佳单能图像背景噪声提高,较对照组增高约 101%,但实质-肾盂期最佳单能图像 CNR 与对照组肾盂期比较差异无统计学意义($Z=-1.959\sim-0.078$, $P=0.050\sim0.938$)。

实验组总体有效辐射量低于对照组(图 5),两组间差异有统计学意义($Z=-5.815$, $P<0.001$)。

讨 论

CT 泌尿系成像(computed tomography urography,CTU)是血尿待查的首选影像检查方法,可同时显示肾实质、全泌尿道以及周围脏器的病变。既往的研究多认为 CTU 可作为血尿查因患者的一站式检查方法^[1]。然而,相对于超声、膀胱镜、排泄性尿路造影(IVP)和 MRI 等其它泌尿系检查而言,CTU 的最大缺点在于其较大的辐射剂量。三期 CTU(平扫、实质期、肾盂期)全腹扫描是腹部 CT 成像中辐射剂量最高的一项检查,随着对医疗辐射的重视,越来越多的研究对如何降低 CTU 剂量进行了探索。近年来,出现了各种低剂量 CTU 的研究,从降低扫描条件、减少扫描范围、减少扫描期相等各个方面对辐射剂量进行缩减^[5-7]。

分次团注双期 CTU 就是一种非常巧妙的减少辐

射剂量的 CT 成像方法,受到很大关注^[2]。与常规的单次团注三期 CTU 相比,这种新方法通过分次团注对比剂,仅扫描两次,减少了一期全腹扫描,能明显降低辐射剂量。但分次团注时,为了使集合系统内有足够的对比剂,需要注射较常规剂量更多的对比剂^[8-10]。常规的单次团注三期 CTU 肾盂期图像,采集图像时对比剂已基本分泌至集合系统,肾实质内对比剂较少,集合系统与肾实质的对比很好。而分次团注双期 CTU 采集的实质-肾盂期图像,肾实质与泌尿系集合系统同时显示,为了提高集合系统与肾脏背景的对比,集合系统内需沉积更多的对比剂。因此多项研究中,分次团注双期 CTU 使用对比剂的用量为 120~150 ml(常规为 <100 ml),浓度 300~320 mg I/ml。结果是,分次团注双期 CTU 虽然降低了射线辐射剂量,但增加了对比剂风险。尤其是对已有肾功能损害的患者,有可能增加对比剂肾病的发生率。

在本研究的分次团注双期 CTU 方案中,使用的碘对比剂总量仍采用常规单次团注三期 CTU 用量(95 ml,浓度 300 mg I/ml)。平扫后进行第一次对比剂团注(35 ml),患者下床走动,促进对比剂均匀分布,避免膀胱内出现分层,600~900 s 后再次上床进行第二次对比剂团注(60 ml),延时 75 秒进行扫描。此时第一次团注的对比剂已排泄至膀胱及下尿路,第二次团注的对比剂则主要分布于肾实质及上尿路,获得实质-肾盂期图像(图 4)。仅 95 ml 对比剂同时分布于肾实质及泌尿系集合系统,如果不解决集合系统内对比剂浓度降低所致显影程度下降,检查效果将受到很大影响。双能 CT 恰好可以提高组织对比,特别是提高含碘结构与周围组织的对比^[11-12]。当观察对象为含碘管腔时,低能量 X 射线成像可显著提高含碘管腔的 CT 值(图 3)^[13]。在本研究中,实质-肾盂期图像采集使用能谱成像模式,读片时用最佳单能图像代替混合

表 1 实验组和对照组对侧各段集合系统 CT 值和 CNR 测量结果

CT 值(HU)					对比噪声比				
分段	A 组	B 组	Z 值	P 值	分段	A 组	B 组	Z 值	P 值
S1 _L	1450±813	612±300	-3.629	<0.001	S1 _L	58±34	48±25	-1.010	0.312
S2 _L	1196±579	601±326	-3.608	<0.001	S2 _L	48±27	47±27	-0.103	0.918
S3 _L	1105±521	569±295	-3.670	<0.001	S3 _L	44±25	45±23	-0.196	0.845
S4 _L	1694±990	579±301	-3.908	<0.001	S4 _L	69±43	45±23	-1.959	0.0501
S5 _L	1280±758	558±312	-3.340	<0.001	S5 _L	50±31	43±25	-0.680	0.496
S6 _L	1235±814	545±277	-3.268	<0.005	S6 _L	48±34	43±25	-0.454	0.650
S7 _L	1111±782	537±297	-2.843	<0.005	S7 _L	45±33	43±25	-0.078	0.938
S8	1107±689	362±186	-4.289	<0.001	S8	49±34	50±33	-2.000	0.045
S1 _R	1348±729	563±239	-3.656	<0.001	S1 _R	52±29	46±24	-0.636	0.525
S2 _R	1290±771	571±281	-3.644	<0.001	S2 _R	49±30	47±28	-0.227	0.820
S3 _R	1077±560	559±260	-3.156	<0.005	S3 _R	41±22	45±22	-0.727	0.467
S4 _R	1692±1038	594±270	-3.610	<0.001	S4 _R	66±41	49±25	-0.954	0.340
S5 _R	1453±986	544±286	-3.270	<0.005	S5 _R	55±40	44±23	-0.545	0.586
S6 _R	1429±846	563±291	-3.499	<0.001	S6 _R	54±33	46±26	-0.705	0.481
S7 _R	1388±912	489±168	-3.529	<0.001	S7 _R	54±36	40±20	-1.098	0.272

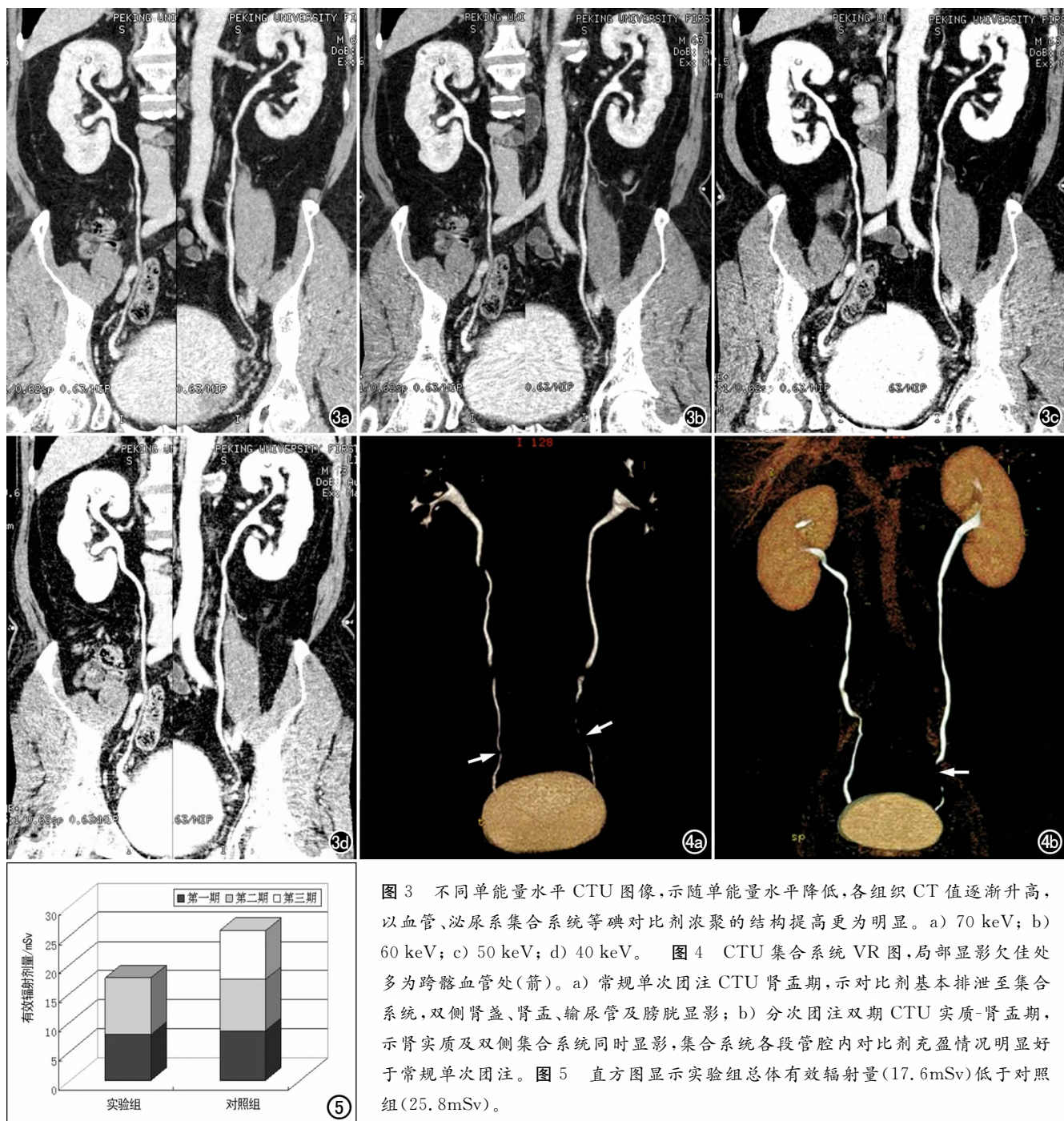


图 3 不同单能量水平 CTU 图像, 示随单能量水平降低, 各组织 CT 值逐渐升高, 以血管、泌尿系集合系统等碘对比剂浓聚的结构提高更为明显。a) 70 keV; b) 60 keV; c) 50 keV; d) 40 keV。图 4 CTU 集合系统 VR 图, 局部显影欠佳处多为跨髂血管处(箭)。a) 常规单次团注 CTU 肾孟期, 示对比剂基本排泄至集合系统, 双侧肾盂、肾盂、输尿管及膀胱显影; b) 分次团注双期 CTU 实质-肾孟期, 示肾实质及双侧集合系统同时显影, 集合系统各段管腔内对比剂充盈情况明显好于常规单次团注。图 5 直方图显示实验组总体有效辐射量(17.6mSv)低于对照组(25.8mSv)。

能量成像进行图像分析。研究结果显示, GSI 扫描所得单能图像, 与常规单次团注三期 CTU 成像效果相似, 说明 GSI 可提高对比剂较少情况下集合系统内的显影, 双能 CT 与分次团注双期扫描方法结合, 成为了一种低辐射剂量、同时不增加碘对比剂量的 CTU 检查方法。

另外, 患者的体型、心功能、肾功能以及泌尿系有无梗阻等差异也会影响双侧或某一侧泌尿系的显影程度, 双能 CT 的另一优势在于, 可以通过个性化的最佳单能量图像, 最大程度减少这些因素的影响。本研究所得分次团注双期 CTU 的实质-肾孟期图像, 在后处理时, 通过双能数据获得了最佳 CNR 曲线, 从而得到

组织的最佳单能量图像, 进一步提高成像质量, 实现个性化的最佳图像。两组病例的体型变异均较大, 均统一应用了 95 ml 对比剂, 实质-肾孟期与肾孟期图像显示集合系统内显影程度随体型不同有较大差异, 大体型病例 CTU 的成功, 提示对比剂剂量还有降低的空间, 将来个性化地使用对比剂可进一步降低对比剂用量。

双能模式 CT 扫描辐射剂量略高于普通模式全腹扫描, 但因 GE HD-750 CT 机可应用自适应统计迭代重建技术(ASIR)降低噪声、提高分辨力, 两组病例其它普通模式扫描使用自动毫安技术时, 实验组设置的噪声指数(11.57)高于对照组(7.81), 实验组平扫剂量

低于对照组。由于分次团注双期 CTU 扫描全腹两次,常规单次团注三期 CTU 扫描全腹三次,综合的结果,分次团注双期 CTU 的辐射剂量低于常规 CTU 扫描。

本研究的局限性:本次研究目的是初步评估双能成像对提高泌尿系集合系统显影程度的价值,因此在试验设计中纳入条件进行了限制,通过腹部超声排除了肾实质或其它实质脏器肿瘤患者,并没有对实质-肾盂期的另一部分——肾实质强化情况进行评价,这将在下一步研究中继续深入。此外,本研究只从技术上初步肯定了最佳单能图像在低剂量对比剂分次团注双期 CTU 中的应用价值,并未验证这种新的 CTU 方法对泌尿系统疾病的诊断效能,这需要更大样本的进一步研究。

致谢:感谢 GE CTSC 科学家张帅对双能 CT 原理方面的指导。

参考文献:

- [1] Dillman JR, Caoili EM, Cohan RH. Multi-detector CT urography: a one-stop renal and urinary tract imaging modality[J]. Abdom Imaging, 2007, 32(4): 519-529.
- [2] Maheshwari E, O'Malley ME, Ghai S, et al. Split-bolus MDCT urography: upper tract opacification and performance for upper tract tumors in patients with hematuria[J]. Am J Roentgenol, 2010, 194(2): 453-458.
- [3] Marin D, Nelson RC, Samei E, et al. Hypervascular liver tumors: low tube voltage, high tube current multidetector CT during late hepatic arterial phase for detection-initial clinical experience[J]. Radiology, 2009, 251(3): 771-779.
- [4] Jessen KA, Shrimpton PC, Geleijns J, et al. Dosimetry for optimisation of patient protection in computed tomography [J]. Appl Radiat Isot, 1999, 50(1): 165-172.

- [5] Yanaga Y, Awai K, Funama Y, et al. Low-dose MDCT urography: feasibility study of low-tube-voltage technique and adaptive noise reduction filter[J]. Am J Roentgenol, 2009, 193(3): 220-229.
- [6] Vrtiska TJ, Hartman RP, Kofler JM, et al. Spatial resolution and radiation dose of a 64—MDCT scanner compared with published CT urography protocols[J]. Am J Roentgenol, 2009, 192(4): 941-948.
- [7] Portnoy O, Guranda L, Apter S, et al. Optimization of 64-MDCT urography: effect of dual-phase imaging with furosemide on collecting system opacification and radiation dose[J]. Am J Roentgenol, 2011, 197(5): 882-886.
- [8] Chow LC, Kwan SW, Olcott EW, et al. Split-bolus MDCT urography with synchronous nephrographic and excretory phase enhancement[J]. Am J Roentgenol, 2007, 189(2): 314-322.
- [9] Dillman JR, Caoili EM, Cohan RH, et al. Comparison of urinary tract distension and opacification using single-bolus 3-Phase vs split-bolus 2-phase multidetector row CT urography[J]. J Comput Assist Tomogr, 2007, 31(5): 750-757.
- [10] 王鹤, 孙晓伟, 王继琛, 等. 正常集合系统分次团注双期与传统单次团注多期 CT 泌尿系造影的比较[J]. 中国医学影像技术, 2009, 25(11): 2076-2080.
- [11] Imafuji A, Hara M, Sasaki S, et al. Usefulness of dual—energy CT scanning at 80 kVp for identifying hilar and mediastinal structures: evaluation of contrast enhancement of the pulmonary vessels and lymph nodes[J]. Jpn J Radiol, 2012, 30(1): 69-77.
- [12] Chandarana H, Godoy MC, Vlahos I, et al. Abdominal aorta: evaluation with dual-source dual-energy multidetector CT after endovascular repair of aneurysms-initial observations [J]. Radiology, 2008, 249(2): 692-700.
- [13] Wintersperger B, Jakobs T, Herzog P, et al. Aorto-iliac multidetector-row CT angiography with low kV settings: improved vessel enhancement and simultaneous reduction of radiation dose [J]. Eur Radiol, 2005, 15(2): 334-341.

(收稿日期:2012-02-02 修回日期:2012-02-22)

中华医学会放射学分会第十九次全国放射学学术会议

中华医学会放射学分会第十九次全国放射学学术会议定于 2012 年 10 月 18—21 日在四川省成都市世纪城新国际会展中心举行。本次大会将邀请国内外知名放射学专家到场作专题学术报告,并将分设高端学术论坛、继续教育讲座和大会学术交流等多种形式的学术活动。本次学术大会将沿袭中华放射学会全国学术年会的传统,在全国范围内征集学术论文,并将由中华放射学会各专业学组组织专家进行审阅,优秀论文将编入会议《论文汇编》,特别优秀的学术论文将推荐给《中华放射学杂志》等专业学术杂志刊用,并将根据各学组组织的学术活动内容,择优选择部分论文作大会口头报告和展版这两种形式的学术交流。从 2012 年 4 月 1 日起中华放射学会官方网站(<http://chinaradiology.org>)将开通网上投稿通道,敬请密切关注中华放射学会网站,了解征文内容及要求。中华放射学会热诚邀请全国放射学界同仁踊跃投稿和积极参会。

(中华医学会放射学分会)