

• 双能 CT 技术影像学专题 •

能谱纯化技术在泌尿系虚拟平扫成像中的应用价值

帅桃, 李真林, 阳琴, 赵利娜, 袁元, 陈国勇, 张凯

【摘要】 目的:探讨双源 CT 能谱纯化技术在 CT 泌尿系虚拟平扫成像中的应用价值。**方法:**80 例患者随机均分为两组行泌尿系 CT 扫描, A 组采用一代双源 CT 扫描(140 kV/80 kV 组), B 组采用二代双源 CT 扫描(80 kV/Sn 140 kV 组), 两组间在增强扫描动脉期采用双能量扫描的方式, 其余期相均采用单源扫描。将两组双能量扫描图像通过软件处理获得虚拟平扫图像。比较两组虚拟平扫图像的 CT 值、信噪比及噪声, 并与常规平扫图像比较病灶的检出情况。**结果:**B 组的图像噪声低于 A 组, 信噪比高于 A 组; 与 140 kV/80 kV 组比较, 80 kV/Sn 140 kV 组虚拟平扫提高了对小结石(直径 <4mm)的显示能力; 双能量扫描辐射剂量, 80 kV/Sn 140 kV 组比 140 kV/80 kV 组低约 10%。**结论:**能谱纯化技术可明显提高对物质的识别能力, 提高虚拟平扫的图像质量, 真正达到减少扫描次数、降低患者辐射剂量的目的。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 虚拟平扫; 双能量技术; 能谱纯化技术; 泌尿系统疾病

【中图分类号】 R814.42; R693; R692 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)12-1196-04

Value of CT virtual non-contrast scan in urinary system with tin filter SHUAI Tao, LI Zhen-lin, YANG Qin, et al. Department of Radiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, P. R. China

【Abstract】 Objective: To study the value of CT virtual non-contrast scan in urinary system with tin filter. **Methods:** 80 CT contrast scan cases were divided into two groups randomly. One group underwent CT scan with the first generation dual energy CT (140 kV/80 kV), the other with the second generation dual energy CT (80 kV/Sn 140 kV). Dual energy scan mode was used with the first generation 140 kV/80 kV and the second generation 80 kV/Sn 140 kV, in the arterial phase, while single source scan in the rest phases. Virtual unenhanced images were obtained through dual energy processing software. The noise, SNR and radiation dose of images of the two groups were compared, and the rate of lesion detection of the two groups were compared with the conventional non-contrast images respectively. **Results:** The noise of 80 kV/Sn 140 kV group was lower than that of 140 kV/80 kV group, while the SNR of 80 kV/Sn 140 kV group was higher. The stones with diameter less than 4mm were detected better in 80 kV/Sn 140 kV group. **Conclusion:** Virtual non-contrast scan improves the ability of identifying substances with tin filter, therefore it can not only improved the virtual unenhanced image quality, but also reduce the number of scans to decrease the radiation dose.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Virtual non-contrast scan; Dual-energy technique; Tin filter technique; Urinary system diseases

多层螺旋 CT 的快速大范围扫描以及强大的图像后处理功能, 使 CT 泌尿系成像逐渐取代了传统的 X 线造影, 成为泌尿系疾病的首选检查方法^[1]。由于 CT 泌尿系检查扫描次数较多, 辐射剂量远高于传统泌尿系造影, 因此, 如何有效降低辐射剂量成为泌尿系 CT 检查时所关注的重点问题之一。双源 CT 虚拟平扫(virtual non-contrast, VNC)技术是目前应用在双源 CT 机上的新技术, 在一代双源上就已经得到应用, 但是由于其图像噪声重、对小于 4 mm 的结石显示不足等缺点, 使得其在一代双源 CT 机上在临床并未得到广泛应用^[2-3]。能谱纯化技术(selected photon shield, SPS)是目前应用于二代双源 CT 机上的新技术, 采用 0.5 mm 锡板过滤, 将高千伏射线中的低能射

线滤过, 关于能谱纯化技术在肝脏虚拟平扫方面的应用已有文献报道^[4], 本文旨在比较能谱纯化技术在 CT 泌尿系虚拟平扫成像中的临床应用价值。

材料与方法

1. 一般资料

受试者为 2012 年 8 月—2013 年 8 月因泌尿系疾病在本院行增强扫描的患者 80 例, 男 47 例, 女 33 例, 年龄 16~78 岁, 平均 47 岁。将患者均分为 A、B 两组, A 组采用一代双源 CT 进行双能量扫描, B 组采用第二代双源 CT 进行双能量扫描。其中 A 组男 25 例, 女 15 例, 年龄 26~68 岁, 平均 45 岁; B 组男 22 例, 女 18 例, 年龄 22~79 岁, 平均 41 岁。两组患者性别、年龄差异均无显著性意义($P>0.05$)。

2. 检查方法

采用 Siemens Definition 双源 CT 机进行扫描, 首先行常规平扫, 然后于注射对比剂后 30 s 行动脉期增

作者单位: 610041 成都, 四川大学华西医院放射科

作者简介: 帅桃(1985—), 女, 四川彭山人, 技师, 主要从事 CT 和 MRI 技术工作。

通讯作者: 李真林, E-mail: lzledol@126.com

强扫描,70 s 行实质期增强扫描,8~10 min 行泌尿系延迟扫描。其中,动脉期采用双能量扫描,A 组的扫描参数为管电压 140 kV/80 kV、管电流量 96 mAs/380 mAs,B 组管电压 80 kV/Sn 140 kV、管电流量 380 mAs/147 mAs;常规平扫及实质期增强扫描均采用单源扫描方式,管电压为 120 kV,管电流量 210 mAs;延迟期扫描管电压为 80 kV,管电流量 200 mAs。管电流调节均采用自动曝光控制技术(Care dose 4D)。两组其它扫描参数相同:扫描范围自肾上极至膀胱下缘平面,层厚 5 mm,层间距 5 mm,薄层重建层厚为 2 mm,间距为 2 mm,Bf31 重建算法。增强扫描采用高压注射器注射非离子型碘对比剂欧乃派克(300 mg I/mL),注射流率 3 mL/s,剂量 1.5 mL/kg。

3. 图像质量的主观评价

扫描完成后,将所有图像传输至 Siemens Syngo MMWP VE36A 工作站,将两组双能量图像调入 Dual-Energy 软件中,选择 liver VNC 程序处理图像。调整 CT 与碘对比剂的融合比率,将 CT 的融合比率调节到 100%,碘对比剂的融合比率为 0%,从选择的体素中去除碘,分别得到各自的虚拟平扫图像。请两位相关专业的高年资诊断医师将 80 例患者的虚拟平扫图像与常规平扫图像进行阅片并记录,意见不一致时经协商解决。分别对应比较两组虚拟平扫与常规平扫对疾病的检出情况。

4. 图像质量的客观评价

分别在肝脏、脾脏、腹主动脉、左肾、右肾和竖脊肌

设定兴趣区(ROI),测量每个 ROI 的 CT 值,计算其均值及标准差,ROI 的大小为 $0.8 \sim 1.0 \text{ cm}^2$ 。每个兴趣区域测量 3 次并取平均值,每次测量的部位尽量避开有病变的区域及血管。将获得的两组虚拟平扫图像进行信噪比(signal to noise ratio, SNR)和噪声的比较。以测量的 CT 值的标准差来代表图像的噪声。SNR 按公式(1)计算:

$$\text{SNR} = \frac{\text{兴趣区 CT 值}}{\text{噪声}} \quad (1)$$

5. 辐射剂量比较

记录每例患者双能量扫描的权重剂量指数(CT dose index weight, CTDIw)和剂量长度乘积(dose length product, DLP),并按公式(2)计算有效剂量(effective dose, ED):

$$\text{ED}(\text{mSv}) = \text{DLP} \times k \quad (2)$$

其中 $k = 0.015 \text{ mSv}/(\text{mGy} \cdot \text{cm})$ 。比较两种双能量扫描时的辐射剂量。

6. 统计学分析

将两组普通平扫和虚拟平扫对泌尿系疾病的检出例数进行秩和检验;将两种虚拟平扫图像的 CT 值、图像噪声及信噪比进行两独立样本的 t 检验;两种双能量扫描的辐射剂量行方差分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组虚拟平扫对泌尿系疾病检出情况的比较

两组中虚拟平扫和常规平扫对疾病的检出情况见

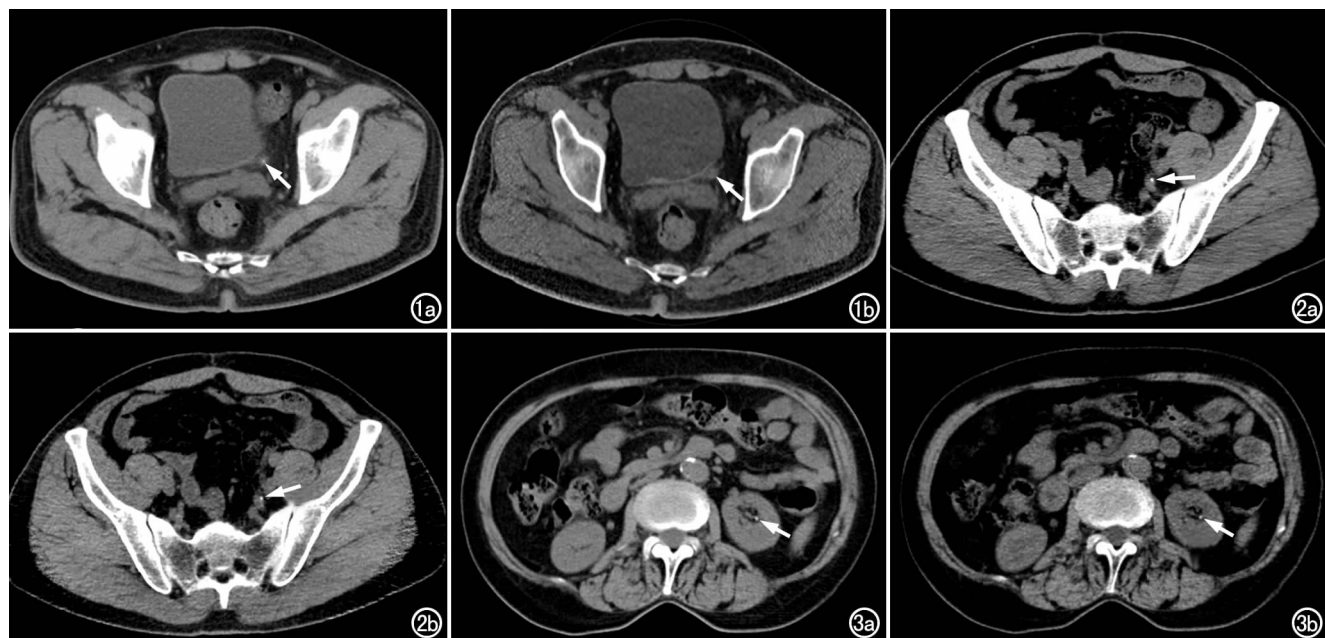


图 1 80 kV/140 kV 组,男,54 岁,左侧输尿管结石。a) 常规普通扫描图,可见输尿管结石(箭),直径小于 4 mm; b) 虚拟平扫图,结石未见显示(箭)。图 2 80 kV/Sn 140 kV 组,男,47 岁,左侧输尿管结石,结石直径小于 4 mm(箭),两图上均可见结石显示。a) 常规普通扫描图; b) 虚拟平扫图。图 3 80 kV/Sn 140 kV 组,女,63 岁,左侧肾结石(箭)。结石直径小于 4 mm,两图上均可见结石显示(箭)。a) 常规普通扫描图; b) 虚拟平扫图。

表 1。在 140 kV/80 kV 组,虚拟平扫与常规平扫对病变的检出差异有统计学意义($P<0.05$)。将虚拟平扫与常规平扫对照,发现有 4 例结石在虚拟平扫上未显示,主要为直径 <4 mm 的小结石(图 1)。在 80 kV/Sn 140 kV 组,虚拟平扫与常规平扫对病变的检出差异无统计学意义($P>0.05$),虚拟平扫对于直径小于 4 mm 的结石显示较好(图 2、3)。与常规平扫对照,有 1 例输尿管结石在虚拟平扫图像上未见显示,为直径 <2 mm 的小结石。

表 1 两组中虚拟和常规平扫对病变的检出情况 (例)

病变类型	常规平扫 (140 kV/ 80 kV)	拟平扫 (140 kV/ 80 kV)	常规平扫 (80 kV/ Sn 140 kV)	虚拟平扫 (80 kV/ Sn 140 kV)
肾囊肿	15	14	13	13
肾盂输尿管扩张	17	17	15	15
肾脏肿瘤	8	7	7	7
肾结石	13	11	16	16
输尿管膀胱肿瘤	6	5	4	4
输尿管膀胱结石	9	7	10	9

2. 两种虚拟平扫图像的噪声和信噪比

两组的虚拟平扫图像上肝脏、脾脏、腹主动脉、左肾、右肾、腰大肌的 CT 值、标准差(噪声)及信噪比测量结果见表 2~4。噪声及信噪比的差异均具有统计学意义($P<0.05$),且 80 kV/Sn 140 kV 组的噪声明显低于 140 kV/80 kV 组;而信噪比明显高于 140 kV/80 kV 组。

表 2 两组虚拟平扫图像 CT 值比较 (HU)

部位	140 kV/80 kV	80 kV/Sn 140 kV	P 值
肝脏	59.80±11.31	70.06±10.39	<0.0001
脾脏	51.73±9.73	65.32±8.73	<0.0001
左肾	27.798±8.739	32.238±6.15	0.0112
右肾	26.70±8.68	32.749±4.91	0.0003
腹主动脉	42.15±8.76	62.54±7.33	<0.0001
竖脊肌	49.75±12.95	56.414±7.42	0.0065

表 3 两组虚拟平扫图像噪声比较 (HU)

部位	140 kV/80 kV	80 kV/Sn 140 kV	P 值
肝脏	9.327±0.729	8.542±0.625	<0.0001
脾脏	7.689±1.436	6.832±1.126	0.0042
左肾	6.8574±1.878	5.247±0.81	<0.0001
右肾	6.735±1.905	4.231±0.706	<0.0001
腹主动脉	7.834±1.865	6.823±0.752	0.0024
竖脊肌	10.725±1.204	6.823±0.657	<0.0001

表 4 两组虚拟平扫图像 SNR 比较

部位	140 kV/80 kV	80 kV/Sn 140 kV	P 值
肝脏	6.193±1.0423	7.788±2.084	<0.0001
脾脏	5.328±1.137	6.334 ±1.875	0.0050
左肾	4.737±0.483	5.846±0.517	<0.0001
右肾	4.635±0.519	5.327±0.846	<0.0001
腹主动脉	4.366±1.3027	6.957±1.847	<0.0001

3. 辐射剂量比较

140 kV/80 kV 组双能量增强扫描的 DLP 为(398.125±82.957) mGy·cm, ED 为(5.9718±1.244) mSv;80 kV/Sn 140 kV 组 DLP 为(351.15±

61.73) mGy·cm, ED 为(5.267±0.915) mSv。两组间比较, DLP 和 ED 的差异均有统计学意义($P<0.05$)。80 kV/Sn 140 kV 组 ED 比 140 kV/80 kV 组低约 10%。

讨 论

双源 CT 虚拟平扫技术是利用两个相互垂直的球管发出高低两种不同能量的 X 线进行同步扫描,获得两组同层面、同时间的高、低能量图像,再利用后处理软件分析各种密度物质在不同能量下的衰减信息,进而得到近似常规平扫的 CT 虚拟平扫图像。能谱纯化技术是目前应用于新一代双源 CT 机上的新技术,它能够去除高能谱射线中的低能谱成分,使高能谱射线纯化,减少与低能谱能量重叠,显著提高碘成分的区分能力,据文献报道^[5-7],采用能谱纯化过滤装置后,在相同射线剂量的前提下对碘的区分能力可提高 80%。

1. 能谱纯化技术对小结石的检出价值

本研究中发现,两组虚拟平扫图像发现输尿管膀胱占位及肾囊肿的准确性较高。对于占位性病变及肾盂输尿管扩张积水病变,两组也能获得与常规平扫相同的显示。但是,在 140 kV/80 kV 组,虚拟平扫对结石的检出能力相对较差,尤其是直径小于 4 mm 的结石,有 4 例结石在虚拟平扫图像上未显示,主要为直径较小的输尿管和膀胱结石。可能是因为针对直径小于 4 mm 的结石,一代双源 CT 在减影过程中不能较好区分结石和碘剂,结石被当成碘剂减影掉了^[8,9]。在 80 kV/Sn 140 kV 组,虚拟平扫对于结石的检出率较好,尤其是对小结石的显示能力明显提高,这可能是由于采用了能谱纯化技术能更好地将各种物质区分开来,使得小结石在减影时未被减影掉。本研究中共有 12 例直径小于 4 mm 的小结石,仅有 1 例直径小于 2 mm 的小结石在虚拟平扫上未见显示,这可能与结石本身成分也有一定关系^[10-12],如尿酸盐结石本身对 X 线衰减较弱。

2. 能谱纯化技术对提高虚拟平扫图像质量的作用

在本研究中,80 kV /Sn 140 kV 组虚拟平扫图像的噪声明显低于 140 kV/80 kV 组,同时其信噪比高于 140 kV/80 kV 组。这可能是由于在 140 kV/80 kV 组,能谱射线纯化度不够,低能量的光子被高密度的物质所吸收,从而导致探测器接受到的总的光子能量减少,使噪声增加,进而影响虚拟平扫的图像质量。可见,采用能谱纯化技术,可有效滤过 140 kV 中的低能量射线,有效提高虚拟平扫图像的信噪比,降低其噪声。

3. 能谱纯化技术对降低辐射剂量的作用

多层螺旋 CT 已成为泌尿系疾病检查的常用手段,它既可以从形态学方面来进行观察,同时还可了解泌尿系的排泄功能。小儿泌尿系疾病在临床上也属于外科常见病。CT 图像质量和辐射剂量历来就是 CT 检查中关注的重点。根据国际电量离辐射生物委员会(BEIR)等的估计,如果 5 岁的儿童接受的辐射剂量为 100 mGy 时,其致死性癌症的发病率为 1.2%~1.5%,15 岁的女孩接受同样的辐射剂量其乳腺癌的发生率会增加 0.3%^[13,14]。国际放射防护委员会(international commission on radiological protection, ICRP)提出了剂量最优化原则(as long as reasonable),即在保证图像质量具有诊断价值的前提下尽可能降低患者的辐射量。Ralf 等^[15]研究认为,在双能量成像时,140 kV 射线中含有的低能量射线不易穿透而被人体所吸收,增加了人体的吸收剂量,同时增加扫描图像的本底噪声。二代双源 CT 在 X 线球管后设置了能谱纯化技术(selected photon shield, SPS),低能量射线被滤过,可有效提高射线的利用率,减小了人体的吸收剂量,达到降低辐射剂量的目的。本研究中采用 80 kV/Sn 140 kV 扫描与 140 kV/80 kV 组相比减少约 10%的辐射剂量。在传统的泌尿系疾病的 CT 检查中,扫描次数至少 4 次,患者的辐射剂量达到约 20 mSv。在二代双源 CT 扫描时,虚拟平扫图像能够达到常规平扫的图像质量,从而可减少扫描次数,使患者可减少约 1/4 的辐射量。

本研究仍有一些不足之处:首先,虽然二代双源 CT 的 B 球管 FOV 和一代双源 CT 相比较,从 26 cm²提高到了 33.4 cm²,但对于肥胖患者在超出探测器范围时图像噪声较大;其次,本研究的患者样本量较少,将来的研究中可以纳入更多的患者样本,使研究结果更加准确和具有说服力。

总之,针对泌尿系疾病的 CT 检查,能谱纯化技术可明显提高对物质的识别能力,提高虚拟平扫的图像质量,真正达到减少扫描次数、降低患者辐射剂量的目的。

参考文献:

- [1] 帅桃,李真林,邓莉萍,等.多层螺旋 CT 低剂量扫描在小儿上尿路梗阻性疾病中的应用[J].华西医学,2010,25(12):2199-2202.
- [2] 帅桃,李真林,邓莉萍,等.分次团注结合虚拟平扫技术在泌尿系

统 CT 造影成像中的价值[J].四川大学学报,2012,43(4):588-591.

- [3] Elaine M, Caoili, Richard H, Cohan, Prasuna Inampudi, et al. MDCT urography of upper tract urothelial neoplasms[J]. Am J Roentgenol, 2005, 184(6):1873-1881.
- [4] 钱玉娥,胡红杰,张峭巍,等.新双源 CT 虚拟平扫技术在肝脏的检查[J].中华放射学杂志,2011,45(2):120-123.
- [5] Takahashi Ni, Robert P, Terri 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]. AJR, 2008, 190(5):1169-1173.
- [6] Mangold S, Thomas C, Fenchel M, et al. Virtual nonenhanced dual-energy CT urography with tin-filter technology: determinants of detection of urinary calculi in the renal collecting system[J]. Radiology, 2012, 264(1):119-125.
- [7] Stolzmann P, Leschka S, Scheffel H, et al. Characterization of urinary stones with dual-energy CT: improved differentiation using a tin filter[J]. Invest Radiol, 2010, 45(1):1-6.
- [8] 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.
- [9] Leschka S, Stolzmann P, Florian T, Schmid, et al. Low Kilovoltage cardiac dual-source CT: attenuation, noise, and radiation dose[J]. Eur Radiol, 2008, 18(9):1809-1817.
- [10] Takahashi N, Terri J, Vrtiska, Kawashima A, et al. Detectability of urinary stones on virtual non enhanced images generated at pyelographic-phase dual energy CT[J]. Radiology, 2010, 256(1):184-190.
- [11] Cody DD, Moxley DM, Krugh KT, et al. Strategies for formulating appropriate MDCT techniques when imaging the chest, abdomen and pelvis in pediatric patients[J]. Am J Roentgenol, 2004, 182(4):849-859.
- [12] 周长圣,郑玲,张龙江,等.双源 CT 尿路造影中双能量虚拟平扫检查尿路结石[J].中国医学影像技术,2009,25(5):853-855.
- [13] Mannudeep K, Kalra, Michael M, Maher, Thomas L, et al. Strategies for CT radiation dose optimization[J]. Radiology, 2004, 230(2):619-628.
- [14] Yu L, Primak AN, Liu X, Mc Collough CH, et al. Image quality optimization and evaluation of linearly mixed images in dual-source, dual energy CT[J]. Med Phys, 2009, 36(3):1019-1024.
- [15] Ralf W, Seb K, Mat B, et al. Dose and image quality at CT pulmonary angiography-comparison of first and second generation dual-energy CT and 64-slice CT[J]. Eur Radiol, 2011, 21(11):2139-2147.

(收稿日期:2013-10-20 修回日期:2013-11-20)