

• 实验研究 •

低剂量非增强多排螺旋 CT 扫描探查尿路结石:模型研究

蒋黛蒂, 曾蒙苏, 钟叶, 詹青霞, 虞晓明, 郁金惠, 钱春键

【摘要】 目的:探讨将低剂量多排螺旋 CT(MDCT)扫描技术应用我国成人尿路结石探查的可行性方案及其临床应用的可靠性。**方法:**参照 228 例体重 75 kg 以下成人腹盆部骶髂关节水平的体径值制作含有各种组织成分并在其中植入 2~5 mm 的草酸钙结石和 7 mm 管径的水管模型;使用 GE Lightspeed 16 CT 机对模型进行常规剂量和一系列低剂量扫描,筛选出可满足结石诊断要求的低剂量可行性扫描方案,并应用于临床探查尿路结石评价其可靠性。**结果:**辐射量 CT-DIvol 为 2.67、2.99 和 3.4 mGy 的 3 个序列图像质量基本可满足诊断。选择其中 CTDIvol 为 2.99 的序列,扫描参数为 120 kV、60 mA、扫描时间 0.5 s/r、扫描层厚 5 mm、螺距 0.938 应用于临床,检查病例 104 例,诊断尿路结石的灵敏度、特异度分别为 96.67% 和 88.64%;常规剂量尿路结石检查病例 100 例,其灵敏度、特异度分别为 98.18% 和 93.33%;比较两种方法的灵敏度与特异度的 95% 可信区间有重叠,表示两种方法的特异度与灵敏度无统计学差异。**结论:**应用合适的低剂量 MDCT 扫描序列探查成人尿路结石是可行、可靠的。

【关键词】 辐射量; 尿路结石; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R814.42; R693.4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2012)06-0593-05

Study on low dose non-enhanced MDCT scanning for detection of urinary calculi: a phantom study JIANG Dai-di, ZENG Meng-su, ZHONG Ye, et al. Department of Radiology, Qingpu Branch of Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 201700, P. R. China

【Abstract】 Objective: To discuss the feasibility and reliability of the clinical application of low dose MDCT scanning technique for detection of calculus in adult urinary collecting system. **Methods:** According to the average body dimensions at sacroiliac joint level of 228 adults with body weight below 75kg, a fresh pork model contained various tissue constituents with implantations of 2~5mm calcium oxalate calculi and water-filled plastic tube of 7mm in diameter was established. Routine radiation dose and a series of low dose on GE lightspeed 16 CT were tested on the model and optimized to detect urinary calculi. **Results:** The image quality at the dose levels of CTDIvol 2.67, 2.99 and 3.4mGy could basically satisfy the diagnostic requirement. On 104 cases, the sensitivity and specificity of diagnosing urinary calculus was 96.67% and 88.64%, respectively, with CTDIvol 2.99mGy, 120kV, 60mA, 0.5s per rotation, slice thickness 5mm and pitch 0.938. On other 100 cases, the sensitivity and specificity was 98.18% and 93.33%, respectively, using routine dose and parameters. The 95% confidence levels of sensitivity and specificity overlapped and indicated that there was no significant difference between the two methods. **Conclusion:** Application of proper low dose MDCT sequences for detection of adult urinary calculi is feasible and reliable.

【Key word】 Radiation dose; Urinary calculi; Tomography, X-ray computed

尿路结石是泌尿系统最常见的疾病,对于尿路结石的诊断 CT 在诊断准确性上明显优于其他影像学检查方法,因此,目前国外推荐将非增强螺旋 CT 低剂量扫描作为疑似尿路结石的急性腰痛患者的首选检查方法。在我国随着螺旋 CT 的普及,尿路系统 CT 的检查已在临床广泛应用,由于尿路系统扫描覆盖范围广,受到辐射量相应增多,因此在检查时减少不必要辐射是很有必要的。本研究通过对我国成人体径尿路微小结石模型低剂量扫描参数的分析和图像评估,探讨制定将低剂量扫描应用于临床尿路结石检查的可行、可

靠方案。

材料与方法

1. 制作成人尿路结石模型

228 例成人行尿路 CT 检查,体重 ≤ 75 kg,年龄 52.99 岁(20~80 岁),男 131 例,女 97 例,测量其骶髂关节水平 CT 断面上腹腔横径、前后径均值分别为 321.21 mm 和 212.76 mm。参照测量的成人体径值制成含骨、脂肪、肌肉及肾脏的断面横径为 360 mm、前后径为 220 mm 的组织模型,其中植入 2~5 mm 取自尿石症患者的草酸钙结石 7 枚和直径为 7 mm 的注水薄壁塑料管(模拟输尿管,7 mm 为非扩张性输尿管管径上限值^[1])。

2. 扫描方案和数据采集

作者单位: 201700 上海,复旦大学附属中山医院青浦分院放射科(蒋黛蒂、钟叶、詹青霞、虞晓明、郁金惠、钱春键); 200032 上海,复旦大学附属中山医院放射科(曾蒙苏)

作者简介: 蒋黛蒂(1962—),女,新疆乌鲁木齐人,主任医师,主要从事影像诊断工作。

基金项目: 上海市卫生局科研基金资助项目(2007078)

采用 GE Lightspeed 16 CT 机对模型进行常规扫描和一系列低剂量扫描。常规扫描参数: $16i \times 1.25 \text{ mm}$ 、 120 kV 、 0.8 s/r 、 300 mA 、螺距 0.938 、扫描层厚 5 mm ，确定所获图像可清楚显示所有植入的结石、模拟输尿管及微细结构，作为判定诊断结石准确性和评价图像质量的对照(图 1)。低剂量扫描参数: $16i \times 1.25 \text{ mm}$ 、 120 kV 、 0.5 s/r ，扫描层厚 5 mm ，分别在螺距为 0.938 、 1.375 和 1.750 的条件下，变动管电流 300 、 200 、 100 、 60 和 30 mA 进行扫描，获得 15 个序列的数据和图像，记录辐射剂量指数 CTDI_{vol} ，从机器上自动获得。测量图像噪声: 在 5 mm 层厚图像上每个序列选择固定层面、位置，测量图像背景噪声即兴趣区 CT 值的标准差，兴趣区大小 1973 mm^2 ；然后以 10 mm^2 面积分别测量各序列水管、肌肉、脂肪的信号强度 SI 即兴趣区 CT 值，按公式(1)计算各序列图像的噪信比：

$$\text{SNR} = \frac{\text{SI}_{\text{组织}}}{\text{SD}_{\text{背景}}} \quad (1)$$

$$\text{对比噪声比 CNR} = \frac{\text{SI}_{\text{病灶}} - \text{SI}_{\text{组织}}}{\text{SD}_{\text{背景}}}$$

图像处理: 以 1.25 mm 层厚、 0.625 mm 间隔薄层重叠重建，然后行多平面重组。

3. 模型数据分析及图像评价

将各序列扫描参数、辐射剂量、噪声数据制作 Excel 表格绘制散点图分析相互之间的关系。

由 2 位有经验的放射诊断医师在不知情的情况下，按照辐射剂量由低到高的顺序逐个序列独立对结石的有无、位置、数目进行判断，所得结论与标准图像结果核对，评价各参数条件下诊断结石的准确性。两位阅片者之间结果的一致性采用 Kappa 检验，Kappa 值 > 0.75 时认为有很好的的一致性， $0.40 \sim 0.75$ 认为中度的一致性， < 0.40 认为一致性较差。图像评价对照常规扫描图像以能否显示模拟输尿管和肌肉内细小

纹理作为图像能否显示输尿管扩张和区分尿路与相邻组织结构关系的标准来评价低剂量扫描图像质量能否满足诊断需要。

4. 临床应用评价

选择可满足诊断要求的低剂量扫描序列应用于体重 $\leq 75 \text{ kg}$ 的成人尿路结石的探查，将非增强低剂量扫描的诊断结果与同时做增强及 CTU 检查得到的准确诊断结果对比，计算非增强低剂量扫描诊断尿路结石的灵敏度、特异度、阳性预测值及阴性预测值；另对相同人群情况的非增强常规剂量扫描探查尿路结石病例进行统计。比较非增强低剂量扫描与非增强常规剂量扫描两种方法的灵敏度和特异度的 95% 可信区间 (CI)，判断两种方法的差异有无统计学意义。

结果

1. 扫描参数和辐射剂量以及噪声之间的关系

在电压、扫描时间、螺距不变的情况下，辐射剂量

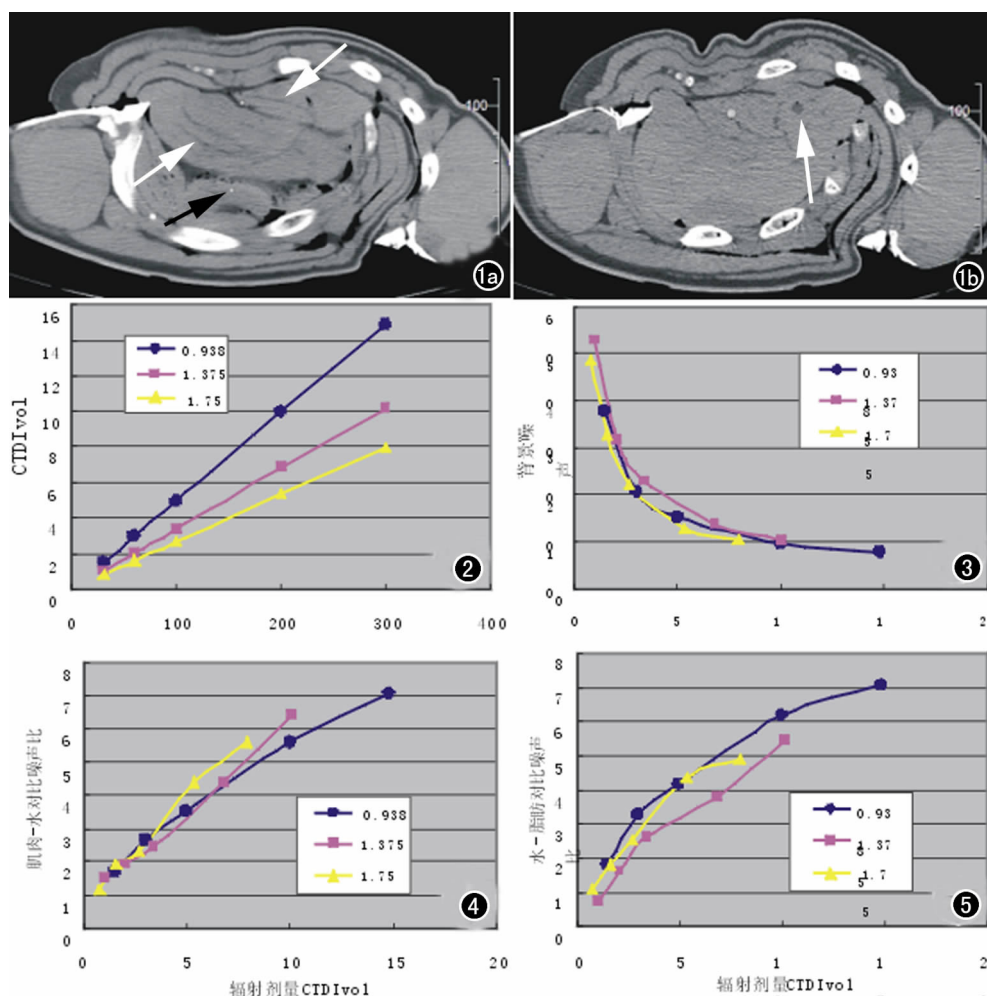


图 1 常规剂量扫描图像(CTDI_{vol} 为 23.68 mGy)。a) 横轴面示点状高密度为 2 mm 结石(黑箭)，条线状低密度影为肌肉内细小纹理(白箭)；b) 横轴面水管层面，圆形水样密度影为 7 mm 模拟输尿管(箭)。图 2 不同螺距下 mA 与剂量关系线条图。图 3 不同螺距下剂量与噪声关系的线图。图 4 不同螺距下剂量、肌肉-水对比噪声比关系的线条图。图 5 不同螺距下剂量、水-脂肪对比噪声比关系的线条图。

表 1 常规序列和 15 个低剂量序列扫描参数、噪声、剂量列表

螺距	mA	CTDIvol	背景噪声 SD	水 SI	肌肉 SI	脂肪 SI	肌肉-水 CNR	水-脂肪 CNR
0.938	300	23.68	5.93	8.00	64.63	-47.37	9.55	9.34
0.938	300	14.8	8.00	8.00	64.63	-48.51	7.08	7.06
0.938	200	9.97	9.66	10.00	63.96	-49.64	5.59	6.17
0.938	100	4.98	15.22	13.8	67.26	-49.89	3.51	4.19
0.938	60	2.99	20.72	15.7	70.91	-52.35	2.66	3.28
0.938	30	1.49	37.72	15.89	79.7	-53.34	1.69	1.84
1.375	300	10.09	10.06	5.26	69.62	-49.57	6.4	5.45
1.375	200	6.8	13.66	5.69	65.48	-46.04	4.38	3.79
1.375	100	3.4	23.01	8.04	64.52	-52.68	2.45	2.64
1.375	60	2.04	31.62	0.18	61.43	-51.09	1.94	1.62
1.375	30	1.02	53.14	-2.18	77.07	-40.25	1.49	0.72
1.750	300	7.9	10.59	7.48	66.52	-44.30	5.58	4.89
1.750	200	5.34	12.94	10.41	67	-46.14	4.37	4.37
1.750	100	2.67	22.05	11.33	61.47	-44.81	2.27	2.55
1.750	60	1.6	32.77	9.57	72.56	-49.71	1.92	1.81
1.750	30	0.8	48.66	8.13	63.15	-43.96	1.13	1.07

与毫安成正比;在电压、扫描时间、毫安不变的情况下,增加螺距则辐射剂量降低。在电压、扫描时间不变的情况下,噪声随辐射剂量变化的趋势表现为在一定范围内剂量减低、噪声缓慢增大,当辐射剂量降低到某个节点以下时,噪声将显著增大。组织间对比噪声比随着辐射剂量的增加而增加;相同剂量下不同螺距,水-脂肪、水-肌肉的对比噪声比不同(表 1,图 2~5)。

2. 判断结石准确性

两位阅片者之间对结石的诊断结果,Kappa 值为 0.897 (> 0.750),表示一致性较好。当管电流 ≥60 mA 时,对所有 2~5 mm 的结石均能做出正确判断,符合率为 100%。

3. 模型图像质量评价

对管电流 ≥60 mA 的低剂量扫描序列进行评价,整体图像质量基本可满足诊断需要的 3 个不同螺距下的最低剂量序列分别为管电流 60 mA、螺距 0.938 和管电流 100 mA、螺距 1.375 及 1.750,相对应的 CTDIvol 分别为 2.99、2.67 和 3.40 mGy。表现为横轴面、矢状面图像上,水管清楚显示,肌肉内细小纹理尚可显示,伪影、噪声基本不影响对组织结构的观察;在冠状面图像上水管尚可辨认,伪影、颗粒对组织的观察有一定程度影响,总体不影响诊断(图 6)。辐射剂量低于此 3 个序列的图像显示不出肌肉内细小纹理;水管显示模糊或难以辨认;伪影、噪声明显影响对组织结

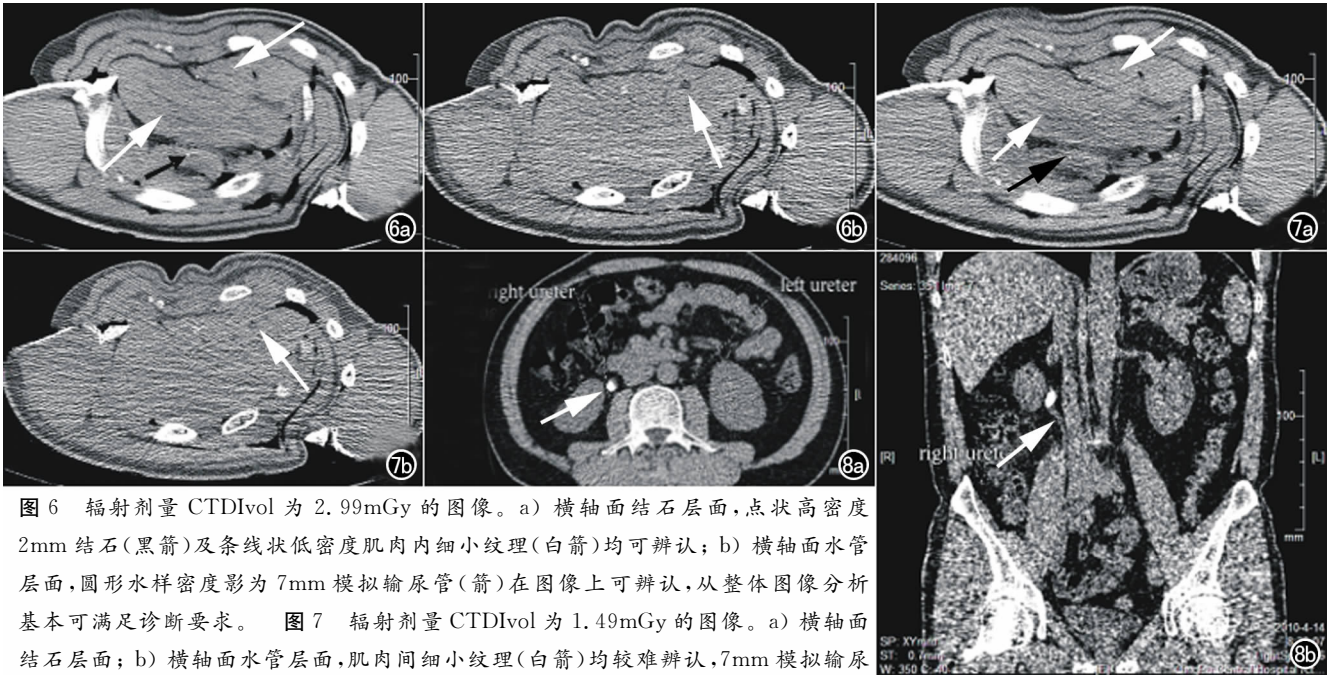


图 6 辐射剂量 CTDIvol 为 2.99mGy 的图像。a) 横轴面结石层面,点状高密度 2mm 结石(黑箭)及条线状低密度肌肉内细小纹理(白箭)均可辨认; b) 横轴面水管层面,圆形水样密度影为 7mm 模拟输尿管(箭)在图像上可辨认,从整体图像分析基本可满足诊断要求。 图 7 辐射剂量 CTDIvol 为 1.49mGy 的图像。a) 横轴面结石层面; b) 横轴面水管层面,肌肉间细小纹理(白箭)均较难辨认,7mm 模拟输尿管(箭)显示模糊,整体图像不能用于诊断。 图 8 应用自动调制技术进行低剂量检查,机器自测辐射剂量 CTDIvol 为 3.27mGy。a) 横轴面示右侧输尿管内 4mm 结石(箭),并可见结石边缘征; b) 冠状面示右侧输尿管上段结石,同时清晰显示结石下方的输尿管(箭)及其与周围结构的关系。

构的观察,不能用于诊断(图 7)。比较基本可满足诊断需要的 3 个低剂量序列,其中 60mA、螺距 0.938 的序列图像颗粒相对小,软组织结构相对细腻,在相对应的辐射剂量范围内,肌肉-水、水-脂肪的对比噪声比均高于另 2 个序列(图 4、5)。选择此序列参数应用于临床。

4. 临床应用评价

将模型评价基本可满足诊断需要的低剂量序列应用于临床探查尿路结石,扫描参数为 $16i \times 1.25 \text{ mm}$, 120 kV, 0.5 s/r, 60 mA, 螺距 0.938, 检查对象为体重 $\leq 75 \text{ kg}$ 的成人,共 104 例,诊断尿路结石的敏感度为 96.67%, 95% 可信区间 92.12~100.00, 特异度为 88.64%, 95% 可信区间 79.26~98.01, 阳性预测值 92.06%, 阴性预测值 95.12%; 行常规剂量扫描共 100 例,诊断尿路结石的敏感度为 98.18%、95% 可信区间 94.65~100.00, 特异度 93.33%、95% 可信区间 86.05~100.00, 阳性预测值 94.74%, 阴性预测值 97.67%。两组人群比较男女比例及年龄分布差异无显著性意义(P 值为 0.3470 和 0.6602); 两种检查方法的敏感度和特异度的 95% 可信区间有重叠。因此将此低剂量扫描参数应用于临床探查尿路结石是可行、可靠的。在此序列参数的基础上应用调制技术,参照剂量噪声分析结果(表 1、图 3~5),设定噪声指数 18, 电流范围 60~100 mA, 将此扫描参数应用于临床检查,图像质量评价均可满足诊断需要(图 8),辐射剂量减少了 78.95%~87.37%。根据有效辐射剂量 $E = \text{DLP}(\text{自动获得}) \times f(\text{转换系数,取 } 0.015^{[2]})$,按照 228 例体重 $\leq 75 \text{ kg}$ 成人测算的平均扫描覆盖长度(L) 38 cm, 预计的有效辐射剂量为 1.87~3.12 mSv。对于体重、体径较大者应用调制技术软件,仅适当增加毫安,图像质量即可满足诊断需要。

讨 论

1. CT 平扫诊断尿路结石的价值及低剂量扫描的必要性和可行性

应用 CT 平扫诊断尿路结石在诸多方面远远优于静脉尿路造影、尿路 X 线片及超声检查。Niemann 等^[3]总结文献报道,常规剂量 CT 诊断尿路结石敏感度和特异度分别为 94%~100% 和 97%; 同时还对 $< 3 \text{ mSv}$ 有效剂量(相当于静脉尿路造影剂量)的 7 篇低剂量 CT 文献进行了分析,结果低剂量 CT 诊断尿路结石的敏感度和特异度分别为 96.6% 和 94.9%, 与常规剂量无显著差异。螺旋 CT 在图像显示上的优势在于可直观清晰显示尿路扫描范围内的所有腹盆腔结构,有利于诊断和鉴别诊断; 另外有研究报道可应用 CT 预测结石成分^[4], 这些都是临床治疗的重要依据,

因此在国外推荐使用低剂量 CT 扫描作为疑似尿石症的首选检查方法。关于辐射剂量,有调查表明在医疗照射中 CT 检查的频率占总的 5%, 剂量占 34%^[5]。而且随着 CT 技术的快速发展和广泛的应用,CT 剂量有增加的趋势。目前我国螺旋 CT 已普及,就尿路系统检查而言,常见的尿路结石检查 CT 已成为常用的检查方法,而尿路扫描范围大,相应的辐射剂量也大,因此在 CT 检查中降低辐射剂量是很有必要的。本研究针对我国成人体重、体径的情况研究制定相应的低剂量扫描方案,诊断尿路结石的敏感度、特异度分别为 96.67% 和 88.64%, 与常规剂量比较无显著性差异,而其辐射剂量减少了 78.95%~87.37%。故笔者认为应用适合的低剂量扫描探查成人尿路结石是可行、可靠的,可有效减少不必要的辐射损伤。

2. 如何制订优化的低剂量扫描方案

根据放射防护原则,在满足临床要求的前提下,使受照射剂量保持在合理的尽可能低的水平。在制定低剂量扫描计划时,首先要明确图像应提供满足诊断所必需的信息,并非是显示所有可能显示的信息。作为急腹症探查尿路结石的检查方法,图像应能确保检出尿路微小结石,同时显示结石引起的继发性征象,并能区分出泌尿系内外的病变。降低辐射剂量可采用的方法有降低管电压、管电流、增大螺距、使用各种调制技术,选择何种的方法视受检人群不同和受检组织的特性而合理应用。

根据内外照射的剂量计算是基于人体医学断层图像而建立的参考计算体模,针对我国成人体重普遍低于国外,断层体径值相对小,本研究特参照我国 75 kg 体重以下成人髌髌关节断层图像制作实验模型研究制定与之相适应的低剂量扫描方案。对于成人而言体径较厚,降低管电压将使 X 线的穿透力下降,其后果是吸收的辐射比率增加,所以不采用降低管电压的方法。本组采用固定管电压,通过降低管电流的方法降低辐射剂量,研究表明随着毫安/电流下降,辐射剂量成正比减低; 在一定范围内,毫安/电流下降和剂量降低,噪声增加的幅度小,对图像质量影响小,尤其是高对比度的结石显示几乎不受影响。本研究结果表明在管电流为 60 mA 时,对 2 mm 以上所有结石均能做出正确判断,符合率为 100%。对管电流 $\geq 60 \text{ mA}$ 的低剂量扫描序列的图像质量进行评价,得到 3 个不同螺距可基本满足用于探查尿路微小结石的最低的辐射剂量序列,CTDIvol 范围在 2.67~3.4 mGy,毫安范围为 60~100 mA。

通过增大螺距可降低辐射剂量,剂量与螺距成反比关系; 而螺距对噪声的影响为非线性关系。余晓鐸等^[6]研究显示在螺旋扫描状态下,螺距为整数时噪声

相对大,本研究使用的机器螺距均为非整数。对于螺距的选择,本组中采用图像评价与噪声分析相结合的方法来确定,研究结果显示在剂量相同的情况下,产生背景噪声由大到小的螺距依次为 1.375、0.938 和 1.750,图像质量评价可基本满足于探查尿路结石,最低辐射剂量在 2.67~3.40 mGy,在此范围内螺距 0.938 的水-脂肪、水-肌肉的对比噪声比高于螺距 1.375 和 1.750,且软组织结构显示相对较细腻,图像整体质量好于 1.375 和 1.750 螺距,故最终采用 0.938 螺距。

随着技术的发展,螺旋 CT 机均配置了各种调制技术,正确使用调制技术也可合理降低辐射剂量。GE Lightspeed 16 CT 机,采用 Z 轴管电流调制技术,根据定位像获取的 Z 轴方向的结构数据在维持各层面图像噪声不变或基本相同,估算出各层最优化的毫安自动调整曝光,GE 公司将这种技术称作 Auto mA。在这种方式下使用者需要设定的是噪声指数,其决定了图像的噪声水平。本组参照可基本满足诊断要求几个低剂量序列的背景噪声值和毫安范围,设噪声指数 18、管电流 60~100 mA 应用于临床图像可满足诊断要求。对于肥胖者体径较大的受检者适当增高管电流

的范围也可满足诊断需要。对于体重过于瘦小者也可适当降低管电流的范围,使辐射剂量合理的降低。由于不同机型使用调制技术不同,需要使用者很好的理解和研究,正确运用才能发挥它的作用,最大程度地降低患者的辐射剂量。

参考文献:

- [1] 熊燕,邓开鸿.低剂量 MSCT 尿路造影对非扩张性输尿管的显示与测量[J].华西医学,2006,12(4):736-737.
- [2] Bongartz G, Golding SJ, Jurik AG, et al. Report EUR 16262en Luxembourg:office for official publications of the European communities,1999:70.
- [3] Niemann T, Kollmann T, Bongartz G. Diagnostic performance of low-dose CT for the detection of urolithiasis;a meta-analysis[J]. Am J Roentgenol,2008,191(8):396-401.
- [4] Chevreau G, Troccaz J, Conort P, et al. Estimation of urinary stone composition by automated processing of CT images[J]. Urol Res, 2009,37(5):241-245.
- [5] Kalra MK, Msher MM, Toch TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization[J]. Radiology,2004,230(3):619-628.
- [6] 余晓镔,林意群,杨金城,等.不同螺距对螺旋 CT 图像噪声影响的实验研究[J].中国医学物理学杂志,1999,16(4):218-219.

(收稿日期:2011-05-05 修回日期:2011-10-18)

《请您诊断》栏目征文启事

《请您诊断》是本刊 2007 年新开辟的栏目,该栏目以临床上少见或容易误诊的病例为素材,杂志在刊载答案的同时配发专家点评,以帮助影像医生更好地理解相关影像知识,提高诊断水平。栏目开办 3 年来受到广大读者欢迎。

本栏目欢迎广大读者踊跃投稿,并积极参与《请您诊断》有奖活动。

《请您诊断》来稿格式要求:①来稿分两部分刊出,第一部分为病例资料和图片;第二部分为全文,即病例完整资料(包括病例资料、影像学表现、图片及详细图片说明、讨论等);②来稿应提供详细的病例资料,包括病史、体检资料、影像学检查及实验室检查资料;③来稿应提供具有典型性、代表性的图片,包括横向图片(X 线、CT 或 MRI 等不同检查方法得到的影像资料,或某一检查方法的详细图片,如 CT 平扫和增强扫描图片)和纵向图片(同一患者在治疗前后的动态影像资料,最好附上病理图片),每帧图片均需详细的图片说明,包括扫描参数、序列、征象等,病变部位请用箭头标明。

具体格式要求请参见本刊(一个完整病例的第一部分请参见本刊正文首页,第二部分请参见 2 个月后的杂志最后一页,如第一部分问题在 1 期杂志正文首页,第二部分答案则在 3 期杂志正文末页)

联系人:石鹤 联系电话:027-83662887

(本刊编辑部)