

不同算法与肾强化程度对肾囊肿假性强化的影响

田志辉, 王琦, 时高峰

【摘要】 目的:采用试验模型研究不同重建算法和肾强化程度对肾囊肿假性强化的影响。**方法:**设计一个可变化浓度的模拟肾脏的体模和模拟不同直径肾内囊肿的试管作为研究对象。将肾浓度设定为 40、100、140 及 240 HU。两种 MSCT 机均采用腹部螺旋扫描模式,层厚分别为 5 mm 和 1 mm。Siemens 双能 CT 使用 B30 和 B70 两种重建算法,GE MSCT 机使用 standard 和 bone 两种重建算法。对比分析肾强化程度及重建算法对肾囊肿 CT 值测定的影响;同时比较囊肿在不同层厚下 CT 值的差异,分析产生假性强化的原因。**结果:**假性强化在两种 CT 机型和不同的重建算法中均可发生,假性强化程度为 11.47~17.46 HU。虽然两种 CT 机均可出现假性强化现象,但 GE MSCT 机发生的概率高于 Siemens 双能 CT。Siemens 双源 CT 仅在 240 HU 背景浓度、B70 算法时出现囊肿假性强化,重建算法对其影响较大。背景浓度为 240 HU 时 GE MSCT 机均可发生假性强化现象,GE MSCT 机不同重建算法和层厚对是否产生肾囊肿假性强化影响不大($P>0.05$)。**结论:**肾囊肿假性强化是客观存在的,它受多种因素的影响。重建算法的 B 值越大出现假性强化现象的概率越高,较高的肾脏强化程度同样会增加假性强化发生的概率。

【关键词】 囊肿; 肾; 体层摄影术, X 线计算机; 假性强化

【中图分类号】 R692.9; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2012)05-0552-04

Renal cyst pseudo-enhancement; influence of multidetector CT reconstruction algorithm and renal attenuation in experimental study TIAN Zhi-hui, WANG Qi, SHI Gao-feng. Department of CT/MRI, the Fourth Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, P. R. China

【Abstract】 Objective: To investigate the dependence of renal cyst pseudo-enhancement on multidetector computed tomographic (CT) convolution kernel and renal attenuation in a phantom. **Methods:** Renal cyst pseudo-enhancement was examined by using a rectangular water plastic tank (30×21×18cm) that simulated the human body. A kidney phantom was created to accept interchangeable 40, 100, 140 and 240HU attenuation that contained pure water cylinders measuring 5, 13 and 18mm in diameter. The GE Light Speed Pro 32 and Siemens Somatom Definition Flash CT were used in the study. Both B30 and B70 convolution kernels were selected in Siemens dual-source CT scanner, and both standard and bone convolution kernel in GE scanner. Reconstruction slice thickness was 5mm and 1mm respectively. This study emphasized particularly on analyzing the influence of renal attenuation and algorithms to the attenuation of renal cysts. The renal cysts attenuation on multidetector CT scanner was analyzed and reconstruction thickness was measured at the same time. **Results:** Pseudoenhancement (range, 11.47~17.46HU) was observed by using both scanners and different reconstruction algorithm. Although pseudoenhancement was observed with both MDCT scanners, the effect of GE MDCT scanner was higher than that of dual-source CT. The dual-source CT only presented pseudo-enhancement on the "B70" in two "cysts" in the background attenuation 240HU. Pseudoenhancement is strongly dependent on dual-source CT convolution kernel. All of cysts presented "pseudoenhancement" phenomenon on 240HU attenuation GE MDCT scanner. Pseudoenhancement was significantly higher with a background renal density of 240HU ($P<0.05$). The essential reason of pseudoenhancement on GE MDCT was not dependent on the reconstruction algorithm and slice thickness ($P>0.05$). **Conclusion:** Varying the parameter may mitigate this phenomenon, which is independent of volume-averaging effects. Pseudo-enhancement more likely occurred in high-spatial-resolution kernels and high levels of renal enhancement.

【Key words】 Cysts; Kidney; Tomography, X-ray computed; Pseudo-enhancement

目前 MSCT 多期增强扫描已成为诊断肾脏疾病的重要影像学检查手段^[1-3]。在实际工作中,部分容积效应产生的伪影一直被认为是肾囊肿假性强化的主要因素^[4-5],为了避免或减少部分容积效应的影响,分析

图像时最常用的是使用薄层图像观察和分析肾囊性病变。随着 CT 硬件和软件技术的提高,16 排以上的 MSCT 基本都可以通过容积数据的重建获得 1 mm 甚至更薄的图像,这样的图像是不是可以最大限度地反映囊肿的 CT 值是我们十分关心的问题,同时,射线束产生的硬化伪影可能导致的肾囊肿假性强化同样值得关注。本文采用不同重建算法和不同肾背景浓度对

作者单位:050011 石家庄,河北医科大学第四医院 CT/MR 室
作者简介:田志辉(1978—),男,河北保定人,硕士研究生,主管技师,主要从事 CT 和 MRI 影像技术工作。
通讯作者:时高峰, E-mail: gaofengs62@sina.com
基金项目:河北省卫生厅科研基金项目(20110134)

模拟肾囊肿体模行 CT 扫描,旨在评价其对肾囊肿 CT 值测量产生的影响。

材料与方法

1. 体模设计

肾囊肿假性强化的研究使用一个 $30\text{ cm} \times 21\text{ cm} \times 18\text{ cm}$ 的塑料水箱作为一个模拟人体内环境的水模。使用一个直径 7 cm 的塑料圆筒模拟肾脏,肾脏背景密度设计为 40 HU(模拟肾脏未强化时的 CT 值),100 及 140 HU(模拟肾脏中等强化的 CT 值),圆筒液体密度设定 100 HU 及 140HU 模拟肾脏中等强化的背景浓度,以 240HU 模拟肾脏强化最显著时的 CT 值。体模内放置 3 支不同直径的塑料试管(A、B、C 管),模拟肾脏内囊肿。A、B、C 管直径分别为 5、13 和 18 mm。为了防止扫描中可能出现的位置移动,妥善固定后放置于体模中心区域,3 支试管壁材质均没有可能产生伪影的物质,同时不会影响 X 射线的穿行。试管内均充满蒸馏水,模拟单纯肾囊肿的密度。将试管完全密封以阻止含碘溶液或气体进入。使用一定长度的试管模拟肾囊肿可以消除病变太小导致的部分容积效应所产生的影响。设计较大的肾脏体模可以为 CT 扫描提供一个较为稳定的外部环境(图 1)。

2. MSCT 扫描图像

为了评价同一模型模拟肾囊肿假性强化的研究,本研究使用较新的两种 MSCT 扫描机,分别为 GE Light Speed Pro 32 CT 机和 Siemens Somatom Definition Flash CT 机。扫描模式均为腹部螺旋扫描,GE Light Speed Pro 32 螺旋扫描参数:管电压 120 kV,管电流 190 mAs,螺距 0.969,重建层厚分别为 5 mm 和 1 mm,视野 $332\text{ mm} \times 332\text{ mm}$,准直器宽度 0.625 mm,旋转时间 0.5 s;Siemens Somatom Definition Flash 螺旋扫描参数:管电压 120 kV,管电流 120 mAs,螺距 0.9,重建层厚分别为 5 mm 和 1 mm,视野 $332\text{ mm} \times 332\text{ mm}$,准直器宽度 0.6 mm,旋转时间 0.5 s。两台机器均将 CTDIvol 固定为 8.71 mGy。所有扫描均为两台扫描机在同一天、同一体模、同一扫描范围内完成扫描。Siemens 公

司使用 B30 和 B70 两种重建算法,GE 公司使用 standard 和 bone 两种重建算法。

3. 数据搜集

两组图像资料分别传入 GE Adavantage Workstation 4.2 和 Siemens Multi Modality Workplace 工作站中,每一个“肾囊肿”CT 值的测量均采用圆形兴趣区(region of interest,ROI),在每一个囊肿相邻的 3 个层面各取一个相同大小和位置的 ROI。3 个试管 ROI 均位于试管的中心,面积分别为 0.10、0.35 和 0.85 cm^2 ,ROI 均与试管内壁保持一定距离。本研究共获得 432 个 ROI 数据,记录 2 种 CT 机得到的“囊肿”的位置、大小、CT 值、ROI 大小、肾脏背景的背景密度值等。囊肿有无强化的界值设定为 10HU,如模拟强化后试管的 CT 值超出未强化的试管 CT 值 10HU 或以上,判定为有假性强化的现象。

4. 数据分析

本研究着重分析不同肾强化程度和不同算法这两个因素对肾囊肿 CT 值测定的影响。同时比较囊肿在 GE Light Speed Pro 32 和 Siemens Somatom DefinitionFlash这两种机型在不同浓度肾背景下CT值的

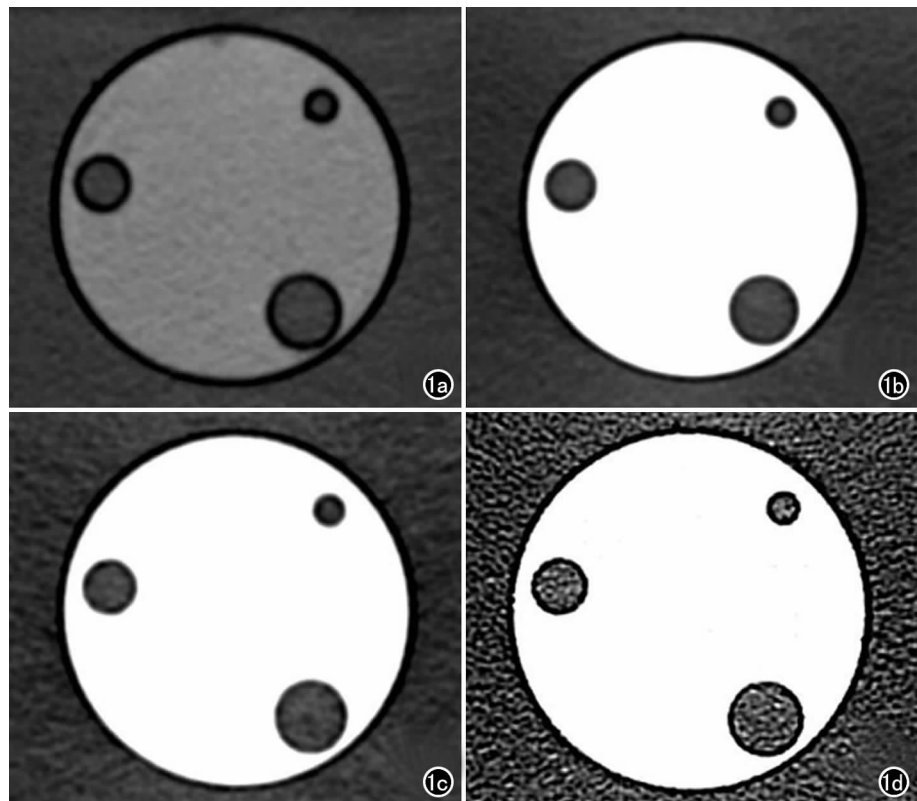


图 1 Siemens 双源 CT 肾囊肿模型扫描图。a) 假定平扫时肾脏背景浓度为 40HU,肾囊肿的 CT 值平均为 (2.70 ± 2.24) HU(重建算法 B30,层厚 5mm); b) 假定肾脏强化最显著时的 CT 值为 240HU,肾囊肿 CT 值的增量为 (8.27 ± 2.44) HU(重建算法 B30,层厚 5mm); c) 重建算法为 B70,层厚 5mm,肾囊肿 CT 值的增量可达 14.63HU,出现假性强化的现象; d) 重建算法 B 值为 70,层厚 1mm,该扫描条件下图像噪声明显加大,肾囊肿也出现假性强化的现象。

差异,评价不同扫描条件其 CT 值是否偏离了囊肿本身的 CT 值范围。比较以上 CT 值的差异采用 SPSS 11.5 统计软件包,CT 增加值以平均值±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,采用方差分析,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

GE MSCT 机 3 个囊肿在不同算法中均出现假性强化;Siemens 双源 CT 只有在 B70 的重建算法条件下才会出现假性强化现象(表 1),说明 GE MSCT 机其层厚和重建算法不是产生假性增强的主要因素, Siemens 双源 CT 受重建算法的影响较大。比较不同重建算法对增强前后囊肿的影响, Siemens MSCT 使用 B30 算法囊肿均无假性强化现象,与算法为 B70 及 GE MSCT 扫描相比,差异均有统计学意义(不同层厚组 F 值分别为 5.545 和 22.915, P 值均 <0.01)。常规腹部扫描应用 B30 的算法较好(表 2)。

表 1 不同螺旋 CT 机型及重建算法 CT 增加值比较 (HU)

重建层厚	CT 增加值 (40HU)	最大浓度之 差(HU)*	假性强 化发生率
5mm			
GE Standard	9.78±2.94	14.89	3/3
GE Bone	10.29±3.96	14.06	3/3
Siemens B30	2.70±2.24	8.77	0/3
Siemens B70	4.23±3.58	14.63	2/3
1mm			
GE Standard	7.09±1.84	16.94	3/3
GE Bone	7.83±2.23	17.46	3/3
Siemens B30	7.01±2.91	-2.50	0/3
Siemens B70	7.73±5.57	11.47	1/3

注:以 40HU 背景下囊肿的 CT 值为基础,不同背景浓度 CT 值增加大于 10HU 定义为发生假性强化。* 代表在 3 个背景浓度下测得的囊肿最大 CT 值与 40HU 背景下囊肿的 CT 值之差。

100、140 及 240 HU 3 种背景浓度造成肾囊肿 CT 值较明显的变化。这在 GE MSCT 机的扫描中表现得尤为突出,在 240 HU 背景浓度下,两种重建层厚和两种重建算法中囊肿均出现了最明显的 CT 值的增加, GE MSCT 假性增强的发生与肾脏的背景浓度密切相

表 2 不同 CT 机重建算法 CT 增加值的比较 (HU)

CT 机与算法	5mm	1mm
Siemens		
B30	8.27±2.44	3.02±3.58
B70	14.98±7.03	7.98±6.90
GE		
Standard	14.89±3.01	16.94±2.64
Bone	14.06±1.89	17.46±3.27

关,受重建算法及层厚的影响较小,100HU 组 F 值为 3.494, $P<0.05$ ($P=0.027$);只有骨算法、层厚为 1mm 时出现假性强化现象。140HU 组与 240HU 组假性增强的发生不受层厚及算法的影响(表 3)。 Siemens 双源 CT 只有在 B70 重建算法和 240 HU 的背景浓度下才会出现假性强化。通过实验说明肾囊肿背景浓度是产生假性强化现象的重要原因之一。

讨 论

无论是生物体内或是生物体外的实验,由于 CT 机自身重建算法的缺陷,假性强化这一现象都是存在的^[4,6]。对于肾脏软组织肿块或炎性病变,增强扫描以后病变出现 10 HU 以上的 CT 值增加提示病变是有血供的病变^[7],这一标准在非螺旋 CT 机时期已被公认。Maki 等^[8]曾质疑其 10 HU 的标准,因为在实际工作中发现一些肾内囊肿可出现超过 10 HU 的假性强化,特别是螺旋 CT 增强扫描时肾脏强化最明显的期相,肾囊肿假性强化较明显,其研究发现病变越小假性强化越明显,在 180 HU 的背景下肾囊肿模型可出现 10~28 HU 的假性强化。

本研究证明肾囊肿假性强化在体外是存在的,本研究考虑到的肾强化程度、重建算法和 CT 机对假性强化都有影响,结果证实了笔者的猜测。在本研究中两种 CT 机都出现假性强化现象,但是两台机器之间假性强化是不一致的。两台机器总体假性增强的发生率达 62.5%,特别是在 240 HU 的背景下,假性强化最明显,GE MSCT 假性强化发生率达 100%,两种机器

表 3 GE 及 Siemens MDCT 机重建算法与层厚在不同背景下囊肿 CT 增加值的比较 (HU)

算法及层厚	100HU		140HU		240HU	
	CT 增加值	P 值	CT 增加值	P 值	CT 增加值	P 值
GE*						
Stad 5mm	1.5±2.31		8.77±3.44		13.23±2.95	
Stad 1mm	4.3±2.78	0.014	5.55±3.05	0.378	16.56±2.24	0.371
Bone 5mm	3.13±3.7	0.134	6.91±4.05	1.000	12.78±4.05	1.000
Bone 1mm	6.31±3.94	0.011	7.67±3.56	1.000	16.67±4.81	0.372
Siemens**						
B30 5mm	-1.79±2.28		3.31±5.52		7.53±2.26	
B30 1mm	2.68±7.43	1.000	-1.57±5.01	0.018	1.1±4.94	0.185
B70 5mm	0.37±4.85	1.000	8.39±7.17	1.000	15.51±6.77	0.008
B70 1mm	-4.07±6.48	1.000	7.14±8.18	0.753	5.45±8.39	1.000

注:* 以标准算法、5mm 层厚为基准与其它重建模式做两两比较(Bonferroni 法);** 以 B30 算法、5mm 层厚为基准与其它重建模式做两两比较(Bonferroni 法)

强化最大程度分别达 17.46 HU (GE) 和 14.63 HU (Siemens)。本研究首先排除由于重建层厚原因导致的部分容积效应的影响,在实验之初笔者设计模拟肾囊肿的试管长度为 6~8 cm,这样可以避免由于病变过小而重建层厚相对较厚而引起的部分容积效应的影响,本研究结果中也未发现“假性强化”的发生与“囊肿”直径有线性关系。

实际工作中笔者发现不同的 CT 机出现假性强化的程度不同,一个可能的原因就是不同的 CT 机采用的重建算法不同,导致了结果的差异。为了验证这种假设,本研究使用两种不同的 CT 机,重建算法也分别使用了标准算法和骨算法,得到的结果表明囊肿假性强化受重建算法的影响很大,特别是 Siemens 双源 CT 机明显受到高 B 值重建算法的影响而出现“假性强化”的现象。在实际工作中一般脏器的扫描推荐使用较低 B 值,从而能更好地反映组织或器官的 CT 值变化。本研究虽然由于样本数较少不能统计两台机器假性强化的差异,但是 Siemens 双源 CT 机无论是假性强化的程度或是发生率都低于 GE MSCT 机。这可能说明 Siemens 双源 CT 机使用的算法对于 X 线硬化伪影的校正要稍好一些。

射束硬化是由 X 射线束能谱的多能性和衰减系数与能量的相关性造成的。朗伯定律在 CT 机的应用是假设穿过物质的线束是单能(单一频率)的波动光子,也就是说在波束中只存在一种频率的波动,但实际的 X 射线不是单能的,而是包含一系列频率的波动,实际的射线在穿过物体与物质发生相互作用时,低能 X 光子比高能 X 光子更容易被大多数材料吸收。穿透物质的 X 射线具有较丰富的高能量成分(硬射线),表现为 X 射线高能成分比例增加,平均能量升高,从而使射线随贯穿长度增加变得更易穿透,频谱分布的峰值向较高的能量方向移动,而传统的 CT 图像重建算法(如滤波反投影、代数重建算法等),都是基于 X 射线源是单能源的假设提出的^[9-10],若直接由多能投影数据用传统的重建算法来重建图像,它会导致密度均匀的被测物体切片在 CT 重建图像上亮度不一,图像上的像素值分布呈中间黑、边缘亮的“茶杯”状,即“杯状”伪影,从而降低图像质量,影响 CT 值标定,这种现象就是射束硬化。在实际工作中只有降低电压和

改为较柔和的重建算法才可以在一定程度上减少射束硬化的影响^[11]。

本研究尚有需要改进之处:试管均位于密度均匀的液体环境内,没有模拟真正人体的内环境,比如周围脂肪、骨骼及肌肉可能对囊肿假性强化产生的影响。另外本研究没有将可能导致硬化伪影的全部因素(如电压、毫安秒等)进行详细分析,本研究只比较了两个厂家两种 MSCT 机在常见的肾强化程度和常用的两种重建算法及层厚对假性强化的影响。

参考文献:

- [1] 梁萍,方华盛.特殊类型肾囊肿的螺旋 CT 诊断及其鉴别诊断[J].放射学实践,2010,25(8):900-903.
- [2] 祝安惠,王继琛,王鹤,等.多层螺旋 CT 结合 Bosniak 分级在肾囊性肿物诊断中的价值[J].临床放射学杂志,2008,27(10):1356-1360.
- [3] Silverman SG, Israel GM, Herts BR, et al. Management of the incidental renal mass[J]. Radiology, 2008, 249(1):16-31.
- [4] 曹广,王继琛,蒋学祥,等.多层螺旋 CT 动态三期扫描对肾囊肿 CT 值变化的观察研究[J].中国医学影像技术,2005,21(10):1559-1561.
- [5] Bae KT, Heiken JP, Siegel CL, et al. Renal cysts: is attenuation artifactually increased on contrast-enhanced CT images? [J]. Radiology, 2000, 216(3):792-796.
- [6] Birnbaum BA, Maki DD, Chakraborty DP, et al. Renal cyst pseudoenhancement: evaluation with an anthropomorphic body CT phantom[J]. Radiology, 2002, 225(1):83-90.
- [7] Bosniak MA. The current radiological approach to renal cysts[J]. Radiology, 1986, 158(1):1-10.
- [8] Maki DD, Birnbaum BA, Chakraborty DP, et al. Renal cyst pseudoenhancement: beam hardening effects on CT numbers[J]. Radiology, 1999, 213(2):468-472.
- [9] Birnbaum BA, Hindman N, Lee J, et al. Renal cyst pseudoenhancement: influence of multidetector CT reconstruction algorithm and scanner type in phantom model[J]. Radiology September, 2007, 244(3):767-775.
- [10] Gokan T, Ohgiya Y, Munechika H, et al. Renal cyst pseudoenhancement with beam hardening effect on CT attenuation[J]. Radiat Med, 2002, 20(4):187-190.
- [11] Wang ZJ, Coakley FV, Fu YJ, et al. Renal cyst pseudoenhancement at multidetector CT: what are the effects of number of detectors and peak tube voltage[J]. Radiology, 2008, 248(9):910-916.

(收稿日期:2011-08-23 修回日期:2011-11-16)