

• 能谱 CT 影像学专题 •

扫描视野对双能 CT 成像 CT 值及物质分离的影响——模体研究

赵永为, 郭小超, 王霄英, 刘建新

【摘要】 目的:探讨改变扫描视野是否会对双能 CT 能谱成像(GSI)时 CT 值的测定及物质分离的计算产生影响。**方法:**取清洗干净后消毒灭菌的试管 17 支,分别注入蒸馏水及不同浓度碘对比剂。17 个试管的碘浓度分别为 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10.0 和 20.0 mgI/ml。采用 GE Discovery 750 HD CT 扫描机,宝石能谱成像(GSI)方式,扫描视野分别选取大(A组)和中等(B组)各扫描一次,其余扫描参数 2 组相同(转速 0.8 s/r,螺距 0.984,探测器宽度 40 mm)。在混合能量、水基和碘基图像上分别测量每组试管的 CT 值、水及碘含量。ROI 选取在试管长轴位的最大截面,大小约 392 mm²。采用 Pearson 相关分析和配对样本 *t* 检验进行统计学分析。**结果:**两组视野的图像,物质分离计算所得碘含量与真实值之间均具有明显相关性(A组 $r=0.9995$, B组 $r=0.9996$, $P<0.001$)。17 个试管 A 组扫描测量平均 CT 值为 (86.86 ± 131.78) HU,平均水含量为 (977.14 ± 10.54) mg/ml,平均碘含量为 (3.91 ± 5.37) mg/ml; B 组扫描测量平均 CT 值为 (106.89 ± 141.51) HU,平均水含量为 (994.39 ± 12.35) mg/ml,平均碘含量为 (3.82 ± 5.59) mg/ml。两组 CT 值及水含量的差异有极显著性意义($P<0.01$),两组碘含量测量值的差异无统计学意义($P=0.19$)。**结论:**双能 CT 能谱扫描能够反映不同浓度碘溶液中的碘含量并能进行定量分析,改变扫描视野可以影响混合能量图像中 CT 值的测定,但对物质分离计算中碘含量的测定没有显著影响。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 能谱成像; 视野; 物质分离

【中图分类号】 R814.42; R814.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2012)03-0271-03

Effect of scan FOV on CT value and material decomposition measurement in dual energy CT: a phantom study ZHAO Yong-wei, GUO Xiao-chao, WANG Xiao-ying, et al. Department of Radiology, the First Hospital of Peking University, Beijing 100034, P. R. China

【Abstract】 Objective: To study whether change of scan field of view (FOV) has effect on measurement of CT value and material decomposition when using dual energy CT scan (Gemstone Spectral Imaging, GSI). **Methods:** Seventeen tubes of water and iodine solution with different concentrations of iodine contrast were scanned with GSI mode. The iodine concentrations of these tubes were 0 (water only), 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 8.0, 10.0 and 20.0 mgI/ml, respectively. All tubes were scanned twice with large and medium FOV, respectively (Group A: Large FOV; Group B: Medium FOV). The CT value was measured on CT images with mixed energy. Aw4.4 workstation was used to calculate water and iodine decomposition in each tube. **Results:** The calculated iodine concentration was highly consistent with actual iodine concentration in the tubes ($r_A=0.9995$, $r_B=0.9996$, $P=0.000$). Measured CT value and calculated water concentration were statistically different between the two FOV groups ($P<0.01$). There was no statistical difference on calculated iodine concentrations between the two FOV groups ($P=0.19$). **Conclusion:** Dual energy CT images can reflect the content of iodine in different concentrations and can be used for quantitative analysis. Changing scan FOV will affect the measurement of CT value, but has no effect on calculation of iodine concentration.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Spectral imaging; Field of view; Material decomposition

CT 值做为重要的定量指标,是目前 CT 诊断的主要依据。但临床使用的 CT 扫描仪发射的 X 线具有一定的能量范围,因此实际上不可能精确地测量 CT 值^[1]。随着双能 CT 广泛应用于临床^[2-4],特别是单球管高低压瞬时切换技术的应用,经过在原始数据空间进行后处理,使物质分离成为可能。在物质分离基础上,可进一步计算 CT 成像体素内的基物质含量。但是,这种物质分离技术是否稳定,是否会受到扫描参数

等因素的影响,目前文献报道还比较少。本研究通过模体实验,观察改变扫描视野是否对采用双能 CT 宝石能谱成像(gemstone spectral imaging, GSI)时 CT 值、水含量及碘含量的测量产生影响。

材料与方法

1. 实验材料制备

选取消毒灭菌后的有盖试管 17 支,试管容量为 20 ml。在对比剂(碘普罗胺, 300 mg I/ml)原液中按比例加入蒸馏水制备成不同浓度的碘溶液,分别加入 17 支试管内,每管加入溶液量为 10~15 ml。17 支试

作者单位: 100034 北京,北京大学第一医院 医学影像科
作者简介: 赵永为(1983—),男,北京人,技师,主要从事 CT 技术工作。
通讯作者: 王霄英, E-mail: cjr.wangxiaoying@vip.163.com

管内碘溶液的浓度分别为 0(纯水)、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.8、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10.0 和 20.0 mgI/ml。

2. 双能 CT 扫描方法

采用 GE Discovery 750 HD CT 机进行扫描。为了尽量降低扫描干扰因素,CT 机关机 8 h 后开机,进行管球预热,然后将 17 支试管轻摇振荡后垂直置于试管架,将试管架水平放置于 CT 检查床中部(图 1a)。使用 GSI 扫描方式,分别使用 Large 和 Medium 视野(分别为 A 组和 B 组)连续扫描 2 次,其它扫描参数相同(螺距 0.984,0.98 s/r,探测器宽度 40 mm)。扫描完成后两组图像均以 0.625 mm 层厚进行无间隔重建,重建图像包括混合能量图像、水基及碘基物质图像。

3. 图像后处理

使用 GE ADW 4.4 后处理工作站,分别测量每支试管内溶液的 CT 值、水含量及碘含量。测量时选择试管横截面最大的图像,ROI 在溶液范围内,大小为 392 mm²,注意不能接近或包括试管壁(图 1b)。所有试管的 CT 值、水含量及碘含量测量均使用相同大小的 ROI。

4. 统计学分析

采用 SPSS 13.0 统计软件进行分析。两组扫描碘含量测量值与真实值之间是否具有相关性采用 Pearson 相关分析法。使用配对样本 *t* 检验比较两种扫描视野所测得的 CT 值、水含量及碘含量是否存在差异,以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。



图 1 试管扫描和图像后处理。a) 17 支试管轻摇振荡后垂直置于试管架,将试管架水平放置于 CT 检查床中部; b) 测量时 ROI 选择试管横截面最大的图像,大小为 392mm²,注意不能接近或包括试管壁。

结 果

两组视野图像,物质分离计算所得碘含量与真实值之间均具有明显相关性(A 组 *r* = 0.9995,B 组 *r* = 0.9996,*P* < 0.001)。

17 个试管采用 2 种视野扫描的混合能量图像上 CT 值、水含量和碘含量测量结果见表 1。

A 组扫描试管的平均 CT 值为 (86.86 ± 131.78) HU,平均水含量为 (977.14 ± 10.54) mg/ml,平均碘含量为 (3.91 ± 5.37) mg/ml;B 组扫描测量试管的平均 CT 值为 (106.89 ± 141.51) HU,平均水含量为 (994.39 ± 12.35) mg/ml,平均碘含量为 (3.82 ± 5.59) mg/ml。采用混合能量图像测得的 CT 值,两组间差异有高度统计学意义 (*P* < 0.01);物质分离计算所得水含量,两间组差异有高度统计学意义 (*P* < 0.01),两组碘含量测量值的差异无统计学意义 (*P* = 0.19)。

表 1 两种视野扫描时混合能量图像上 CT 值、水含量和碘含量测量结果

试管 编号	碘溶液浓度 (mg/ml)	CT 值(HU)		水含量(mg/ml)		碘含量(mg/ml)	
		A 组	B 组	A 组	B 组	A 组	B 组
1	0.0	-4.4	3.6	991.55	1006.60	0.12	-0.10
2	0.1	-11.3	0.7	982.28	1001.25	0.14	-0.03
3	0.2	-8.3	2.9	985.68	1000.07	0.17	0.03
4	0.3	-3.4	10.6	984.72	1002.80	0.32	0.19
5	0.4	-1.3	12.9	983.07	1003.37	0.49	0.24
6	0.5	2.4	16.4	984.26	1003.10	0.55	0.36
7	0.6	4.3	19.3	984.43	1002.05	0.67	0.48
8	0.8	9.9	25.1	982.91	999.85	0.88	0.73
9	1.0	18.3	35.0	982.38	1001.79	1.20	1.01
10	2.0	48.6	67.2	980.63	998.83	2.25	2.12
11	3.0	77.8	97.4	977.55	994.95	3.38	3.25
12	4.0	108.1	129.8	973.59	992.88	4.62	4.47
13	5.0	133.4	158.9	971.72	989.73	5.58	5.50
14	6.0	156.2	181.5	970.30	986.89	6.51	6.50
15	8.0	206.7	235.2	964.57	982.99	8.61	8.56
16	10.0	253.8	286.4	960.77	980.82	10.31	10.24
17	20.0	485.8	534.3	950.95	956.63	20.62	21.48

讨 论

CT 值是物质 X 射线衰减系数在 CT 图像上的反映,是构成 CT 图像灰度的基础。在理想的 CT 成像系统中,物质的 CT 值与其对应的 X 射线衰减系数呈线性关系,而在实际应用中,CT 值的测量会受到很多因素影响,如射线剂量、图像信噪比及像素大小等,成像设备本身及扫描参数的改变也会使 CT 值发生变化^[5,6]。CT 值测量的不稳定性会影响对组织密度高低的判定,从而影响疾病的诊断。

本次研究发现,改变扫描视野会对 CT 值的测量产生影响,中视野较大视野测得的 CT 值高,且随试管内碘浓度增加,两组之间 CT 值的差值也逐渐增加(表 1)。这主要是因为使用相同矩阵的情况下,小视野与大视野相比每个像素的体积减小,像素小意味着其包含的 X 线衰减的信息量也少,相当于增大了该像素的 X 线衰减系数,所以其 CT 值增加^[5]。

近年来,双能 CT 成像得到了飞速发展,目前临床上应用的双能数据采集技术主要可分为分次采集、双球管采集及单球管高低能量瞬时切换采集三种方式^[7]。本研究中所应用的 GE Discovery 750 HD CT 扫描仪应用了单球管高低压瞬切技术,这种技术使 CT 扫描在一个旋转周期内实现高、低能两组数据同时采样,在原始数据投影空间进行运算,得到基物质分离图像及 40~140 keV 的单能量图像,从而使物质分离计算及能谱分析成为可能^[8]。能谱成像突破了常规 CT 仅依靠 CT 值单一参数成像的模式,把 CT 带入了多参数成像的新模式^[9]。然而关于能谱 CT 物质含量测量稳定性的研究报道还比较少。

本研究结果可以说明,利用 GSI 扫描水碘混合溶液时,通过水基与碘基物质分离可以获得比较准确的碘浓度测量值,本实验中两组不同扫描视野获得的碘浓度测量值与真实值间均都具有明显相关性,且两组碘浓度测量值差异无统计学意义。由此可以推断,物质分离计算相比传统 CT 值测量,可能受扫描参数等因素的影响更小,可以更加准确地反映物质真实的 X 线衰减情况。

从混合能量 CT 值、水和碘含量测量值随溶液浓度的变化中还可以发现一些规律。B 组扫描 17 支试管的水含量测量值均高于 A 组,而碘含量测量值除 17 号试管(理论碘浓度为 20 mg/ml)外,其余各个浓度均低于 A 组。当碘含量较高时,两组扫描都可以获得较

为准确的碘浓度测量值,而在碘含量极低情况下(1 号和 2 号试管,分别为纯水和 0.1 mgI/ml),B 组碘浓度测量出现负值,由此可见,对于极低浓度物质的定量分析,GSI 扫描的准确性可能存在一定的限制。相比之下,A 组扫描时对低浓度碘含量的测量值更接近真实值。

本研究属于初步的实验研究,仍存在一定局限性:本研究中只改变了扫描视野一个参数,对于其它 GSI 扫描参数,如机架转速、探测器宽度、螺距等因素是否会对物质定量分析产生影响还有待进一步研究;虽然本研究两组扫描碘浓度测量值的差异无统计学意义,但两组所测得的水含量差异具有统计学意义,这是否会对物质分离及能谱分析结果产生影响仍有待证实。

综上所述,双能 CT 能够反映不同浓度碘溶液中的碘含量,并能进行定量分析,改变扫描视野可以影响混合能量 CT 值的测量,但对碘含量的测量无显著影响,体现了双能 CT 对物质定量的优越性。

参考文献:

- [1] Chiro GD, Brooks RA, Kessler RM, et al. Tissue signatures with dual-energy computed tomography[J]. Radiology, 1979, 131(2): 521-523.
- [2] Ho LM, Yoshizumi TT, Hurwitz LM, et al. Dual energy versus single energy MDCT: measurement of radiation dose using adult abdominal imaging protocols[J]. Acad Radiol, 2009, 16(11): 1400-1407.
- [3] Holmes DR III, Fletcher JG, Apel A, et al. Evaluation of non-linear blending in dual-energy computed tomography[J]. Eur J Radiol, 2008, 68(3): 409-413.
- [4] Graser A, Johnson TR, Bader M, et al. Dual energy CT characterization of urinary calculi: initial in vitro and clinical experience[J]. Invest Radiol, 2008, 43(2): 112-119.
- [5] 兰永树, 黄文龙, 朱德强, 等. 影响 CT 值测量的因素及对策的探讨[J]. 实用放射学杂志, 2006, 22(7): 352-355.
- [6] Szucs-Farkas Z, Verdun FR, von Allmen G, et al. Effect of X-ray tube parameters, iodine concentration and patient size on image quality in pulmonary computed tomography angiography: a chest-phantom-study[J]. Invest Radiol, 2008, 43(6): 374-381.
- [7] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience[J]. Eur Radiol, 2007, 17(6): 1510-1517.
- [8] Michael GJ. Tissue analysis using dual energy CT[J]. Australas Phys Eng Sci Med, 1992, 15(2): 75-87.
- [9] 王明亮, 林晓珠, 缪飞, 等. CT 能谱成像对物质内碘含量测定的价值: 体模研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2011, 17(2): 172-175.

(收稿日期: 2012-02-03)