

Feasibility of low dose scanning of multi-slice CT in quantitative analysis of lung volume and density

ZOU Li-guang, SUN Qing-rong, QI Yue-yong*, DAI Shu-hua, CHEN Ken

(Department of Radiology, Xinqiao Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400037, China)

[Abstract] **Objective** To study the effect of low dose scanning of 16-slice CT in quantitative analysis of lung volume and density. **Methods** One hundred patients were included and divided into three groups. In 20 cases of group A, partial lung segments, 3 cm longitudinally, were scanned with conventional dose (220 mA \times 0.8 s) and 60 mAs low dose during one breathhold. In 60 cases of group B, whole lungs were scanned with 60 mAs low dose at full inspiration and full expiration. In 20 cases of group C, partial lung segments, 3 cm longitudinally, were scanned with 40 mAs low dose and 80 mAs low dose. **Results** The image quality was excellent in both conventional dose scanning and ≥ 60 mAs low dose scanning, and could meet the requirements of lung volume and density quantitative analysis. The partial lung volume measured with low dose scanning was smaller than with conventional dose scanning, there was highly significant difference ($P < 0.01$). The mean lung density measured with low dose scanning was slightly higher than with conventional dose scanning, but the difference was insignificant ($P > 0.05$). **Conclusion** In the detection of lung volume and density using 16-slice CT, low dose scan of 60 mAs can meet the requirements of quantitative analysis.

[Key words] Tomography, X-ray computed; Lung volume; Lung density; Low dose scan

多层螺旋 CT 低剂量扫描肺容积和肺密度定量分析的可行性研究

邹利光, 孙清荣, 戚跃勇*, 戴书华, 陈 垦

(第三军医大学新桥医院放射科, 重庆 400037)

[摘要] **目的** 研究 16 层螺旋 CT 低剂量扫描对肺容积、肺密度定量分析的影响。**方法** 本研究共选择 100 例患者, 根据 CT 扫描方法的不同分为 3 组。A 组 20 例, 一次屏气常规剂量 (220 mA \times 0.8 s) 和 60 mAs 低剂量 MSCT 部分肺段扫描, 纵向扫描范围 3 cm; B 组 60 例, 深吸气末及深呼气末 60 mAs 低剂量 MSCT 全肺扫描。C 组 20 例, 一次屏气 40 mAs 和 80 mAs 低剂量 MSCT 部分肺段扫描, 纵向扫描范围 3 cm。**结果** 常规剂量和 60 mAs 以上低剂量扫描图像质量均为优秀, 能够满足肺容积和肺密度定量分析的需要。低剂量扫描测得的部分肺容积较常规剂量小, 在标准重建下有非常显著性差异 ($P < 0.01$), 在骨重建下具有显著差异 ($P < 0.05$); 低剂量扫描测得的平均肺密度略高于常规剂量测量结果, 但差异无显著性 ($P > 0.05$)。**结论** 16 层螺旋 CT 肺容积和肺密度检测中, 60 mAs 低剂量扫描能够满足图像定量分析的需要。

[关键词] 体层摄影术, X 线计算机; 肺容积; 肺密度; 低剂量扫描

[中图分类号] R814.42; R322.35 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2007)10-1491-04

CT 肺容积测定的研究有较多报道, 16 层螺旋 CT (multi-slice spiral CT, MSCT) 扫描全肺仅需 10 s 左右, 解决了扫描速度和屏气时间之间的矛盾, 大多数患者均能顺利完成扫描, 而后处理软件的应用, 自动将图像中肺组织与其他组织区分开, 提高了肺容积和肺密度定量分析的准确性^[1,2]。现有的

CT 肺容积定量分析一般进行吸气相及呼气相两次扫描, 扫描剂量的问题值得关注。有关低剂量对密度分辨率的影响仅局限在肺结节的识别上, 真正有关扫描剂量对肺容积测量影响的相关报道较少。本研究拟通过 MSCT 扫描结合阈值限定图像分割及表面遮盖显示三维肺模型 (SSD 3D-lung) 建模三维后处理技术, 明确扫描剂量对肺容积及肺密度值的影响, 探讨 16 层螺旋 CT 低剂量扫描肺容积和密度定量分析的可行性。

1 资料和方法

1.1 研究对象 本研究共筛选病例 100 例, 所有检查均征得

[作者简介] 邹利光 (1964—), 男, 四川人, 硕士, 主任医师, 教授。

E-mail: zoulg@mail.tmmu.com.cn

[通讯作者] 戚跃勇, 第三军医大学新桥医院放射科, 400037。

E-mail: qyyzbh@mail.tmmu.com.cn

[收稿日期] 2007-04-24

[修回日期] 2007-07-25

患者本人书面签字同意,严格除外因胸廓畸形、大面积肺部感染、大量胸水、肺内实质性病灶直径大于4 cm等影响肺功能的疾病。根据CT扫描方法的不同分为3组。A组20例,常规剂量(220 mA×0.8 s)和60 mAs低剂量(120 mA×0.5 s)MSCT部分肺段扫描,纵向扫描范围3 cm,其中男13例,女7例,年龄32~65岁,平均(47±10)岁。B组:深吸气末及深呼气末低剂量MSCT全肺扫描,共60例,其中男36例,女24例,年龄18~84岁,平均(57±14)岁。C组20例,40 mAs低剂量(80 mA×0.5 s)和80 mAs低剂量(160 mA×0.5 s)MSCT部分肺段扫描,纵向扫描范围3 cm,其中男15例,女5例,年龄34~61岁,平均(49±9)岁。

1.2 CT扫描技术 成像设备为美国GE公司LightSpeed 16型16层螺旋CT成像系统。受试者取仰卧位,双手抱头,头先进扫描体位,扫描前反复训练受试者深吸气末及深呼气末屏气。常规剂量及低剂量扫描所用参数见表1。

扫描序列及图像重建方式。A组:平静呼吸状态下屏气,一次屏气先后完成常规剂量及60 mAs低剂量部分肺段MSCT扫描,纵向扫描范围3 cm,常规剂量MSCT扫描由肺尖至肺底方向,低剂量扫描由肺底至肺尖方向。B组:深吸气末及深呼气末屏气60 mAs低剂量全肺MSCT扫描,由肺底至肺尖方向,图像重建方式采用层厚1.25 mm、间隔1.25 mm标准重建。C组:除扫描条件不同外,扫描方法同A组,80 mAs低剂量扫描由肺尖至肺底方向,40 mAs低剂量扫描由肺底至肺尖方向。A、C两组图像重建方式均采用层厚1.25 mm、间隔1.25 mm标准重建及骨重建。

1.3 图像分析及后处理 MSCT扫描图像由放射诊断科2名主治医师和1名教授盲法对常规剂量和低剂量扫描图像质量进行评价,评价等级分为优秀、一般和较差。优秀图像指图像信噪比高,表面结构平滑,CT工作站基本能自动完成图像的阈值限定分割重建。一般图像指图像噪声较大,局部图像不连续,经人为手工干预能够完成阈值限定分割重建,能够满足诊断需要。较差图像噪声明显,重建图像不完整,不能满足诊断需要。

16层螺旋CT随机配备的AW4.2工作站中集成肺定量分析软件,图像分割采用阈值限定技术,成像域值上限分别设定为-200 Hu及-300 Hu,成像域值下限均设定为-1024 Hu。SSD技术用于3D-lung建模,多方位旋转观察3D-lung,如有含气管腔(如食管腔、结肠脾曲、胃泡)与3D-lung连接,进行手工切除校正。

A组20例,测量在不同扫描剂量、重建方式、成像域值下部分肺容积(part lung volume, Vp)和平均肺密度(mean lung density, MLD)。B组60例,测量计算低剂量全肺扫描在不同呼吸时相的下列肺容积、密度指标:深吸气末全肺容积(Vin)和深呼气末全肺容积(Vex)、肺容积差(Vin-Vex)、肺容积比(Vex/Vin)、深吸气末MLD(MLDin)和深呼气末MLD(MLDex)、平均肺密度差(MLDin-MLDex)。C组20例,评价2种不同低剂量CT扫描图像质量,并与A组图像质量相比较。

1.4 统计学处理 使用SPSS 12.0统计软件进行统计学分

析,数据用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,配对t检验方法检验不同扫描参数、重建层厚、重建方式、成像域值CT定量指标。统计结果以 $P < 0.05$ 为有显著性差异, $P < 0.01$ 为有非常显著性差异, $P > 0.05$ 为无显著性差异。

2 结果

2.1 常规剂量与低剂量扫描肺容积评估图像质量 A组20例常规剂量和低剂量扫描图像质量均为优秀,B组60例低剂量扫描图像质量也均为优秀,能够满足临床放射医生阅片诊断和肺容积定量分析的需要(图1、2)。C组20例中,80 mAs低剂量扫描图像质量均为优秀,40 mAs低剂量扫描图像质量优秀、一般和较差分别为14、5、1例。根据肺气肿MSCT形态学诊断标准^[3],3组100例受试者中,CT诊断肺部正常者59例,肺气肿患者41例。

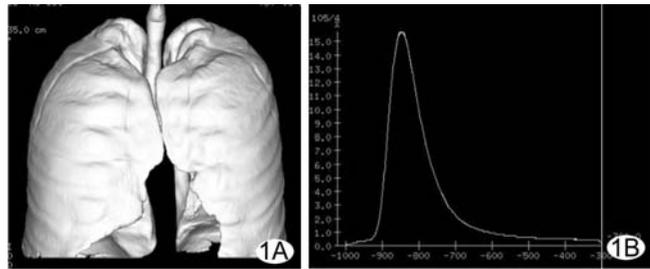


图1 常规剂量1.25 mm层厚标准重建,SSD 3D-lung及体素分布图

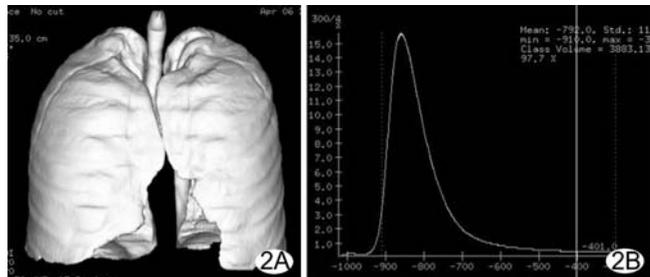


图2 同图1患者,低剂量1.25 mm层厚标准重建,SSD 3D-lung及体素分布图

2.2 常规剂量与低剂量扫描Vp、MLD测量结果 根据A组20例部分肺段CT扫描结果,在层厚、成像域值上限及图像重建方式相同的情况下,低剂量扫描测得的Vp较常规剂量扫描小,在标准重建下有非常显著性差异($P < 0.01$),在骨重建下具有显著差异($P < 0.05$),显示扫描剂量对Vp有显著影响。在其他条件相同的情况下,低剂量扫描获得的MLD较常规剂量高,但它们之间差异无显著性($P > 0.05$),说明扫描剂量对MLD无显著影响(表2)。

2.3 低剂量扫描不同成像域值上限V、MLD测量结果 根据B组60例测量计算结果,在扫描剂量为60 mAs、层厚为1.25 mm、标准重建情况下,除Vin-Vex差异无显著性外,-200 Hu及-300 Hu成像域值上限的CT肺容积、肺密度指标均有非常显著性差异($P < 0.01$),-200 Hu成像域值上限测量结果显著大于-300 Hu成像域值上限结果(表3)。

表1 胸部 MSCT 扫描参数

剂量	电压 (kV)	电流 (mA)	扫描时间 (s/圈)	准直器宽度 (mm)	螺距	进床速度 (mm/圈)
常规	120	220	0.8	20	1.375:1	27.50
40 mAs	120	80	0.5	10	1.375:1	13.75
60 mAs	120	120	0.5	10	1.375:1	13.75
80 mAs	120	160	0.5	10	1.375:1	13.75

表2 常规剂量与低剂量 MSCT 扫描 V_p、MLD 测量结果

参数	重建方式(Hu)	常规剂量	低剂量	<i>t</i>	<i>P</i>
V _p (ml)	标准重建-200	323.11±62.61	316.84±62.64	4.372	0.001
	标准重建-300	319.76±62.28	313.52±62.27	4.374	0.001
	骨重建-200	317.18±59.46	304.70±56.72	3.122	0.010
	骨重建-300	314.18±59.08	301.81±56.33	3.075	0.011
MLD(Hu)	标准重建-200	-790.75±9.85	-790.33±10.06	-0.212	0.836
	标准重建-300	-796.42±9.10	-795.67±9.35	-0.421	0.682
	骨重建-200	-798.00±8.46	-795.83±8.53	-1.125	0.285
	骨重建-300	-802.83±8.30	-800.92±8.47	-1.008	0.335

表3 低剂量扫描不同阈值上限肺容积、肺密度指标测量结果

参数	-200 Hu 成像阈值上限	-300 Hu 成像阈值上限	<i>t</i>	<i>P</i>
V _{in} (ml)	4431.51±1137.32	4365.66±1129.78	33.899	0.000
V _{ex} (ml)	3509.25±1180.11	3442.27±1172.98	33.942	0.000
V _{in} -V _{ex} (ml)	922.19±668.92	923.32±669.68	-1.643	0.106
V _{ex} /V _{in} (%)	79.00±14.91	78.56±15.18	6.760	0.000
MLD _{in} (Hu)	-816.25±35.27	-824.97±34.16	36.579	0.000
MLD _{ex} (Hu)	-764.17±51.46	-774.27±50.49	28.994	0.000
MLD _{ex} -MLD _{in} (Hu)	52.08±44.38	50.69±43.19	5.003	0.000

3 讨论

MSCT 特别是 16 层螺旋 CT 的应用,缩短了靶器官的扫描时间,全肺扫描仅需 10 s 左右,解决了扫描速度和屏气时间之间的矛盾,大多数患者均能顺利完成扫描,减少了运动伪影的发生,而容积扫描方式的采用,使得到的原始数据更为精确,并能以任意层厚及重建方式进行图像重建,高质量扫描图像获得,不仅显著地改善了三维图像的成像质量和显示效果,更提高了定量研究的准确性。

CT 肺容积定量分析中三维后处理关键技术是自动从扫描图像中将肺组织与其他组织分割开,目前常用的图像分割技术有自动边缘检测、阈值限定、种子限域生长等^[2-5],各种方法都有其自身特点,但使用目的在于尽量减少手工操作,加快处理速度,做到自动化的同时,又保证测量数据的准确性。本研究使用了与 Akihiko^[2]研究中类似的阈值限定分割技术,通过成像阈值上下限设定,自动切除该阈值区域外组织,仅保留目标阈值内组织。肺 CT 值与周围组织 CT 值差异较大,通过阈值限定分割能较好地分离出肺组织。

分割后图像的三维可视化显示,不仅在于三维模型直观的表达方式,更重要在于通过这种直观的表达方法,发现上述分割方法未完全分割的组织,并对其进行手工校正,确保图像

分割的准确性,以提高测量数据的准确性。表面再现(surface rendering, SR)和容积再现(volume rendering, VR)是目前常采用的两种显示技术。VR 运算量大,且难以进行定量测量和对三维物体进行加工,在肺定量测定时显得并不合适,然而其体素半透明化处理,在三维图像显示上有其优势。SSD 作为一种 SR 技术,其优点在于立体感强,数据运算量小,易于定量测量和对三维物体进行加工^[2]。研究中发现通过 SSD 显示的 3D-lung,部分病例有食管腔、结肠脾曲、胃泡等含气结构无法与 3D-lung 分离,需从 3D-lung 或二维分离肺组织图像上进行手工切除校正,以确保被测目标物体的单一性。

CT 肺容积是由肺内血流、气体、肺组织各部分组成,而 CT 肺密度是由肺内血流、气体、肺组织的相对比例决定,呼吸幅度将是影响这种组成与相对比例的主要因素,研究显示呼吸幅度的不一致对测值的影响可能混淆病理与正常肺结构^[6]。本研究中为探讨扫描剂量对肺容积及肺密度测值的影响,A 组病例在同一屏气状态下常规剂量及低剂量部分肺扫描,以排除呼吸因素的影响。研究结果低扫描剂量获得的 MLD 较常规剂量的稍高,但无统计学意义。MLD 的增高,表明低剂量情况下部分体素的 CT 值增高,由于阈值限定图像分割技术的使用,使得保留在 3D-lung 中的体素总数及体素密度之和较常规剂量减小,这种两两减少对基于“体素密度之和÷体素总数”获得的平均肺密度无显著影响。然而低剂量扫描对肺容积测量结果的影响是显著的,“肺容积=体素总数×每个体素体积”,1.25 mm 的层厚决定了每个体素的体积较小,影响肺容积的主要因素是体素总数,因而即便体素总数较轻微的减少,肺容积的变化也是显著的。

现有的 CT 肺容积定量分析一般进行吸气相及呼气相两次扫描,扫描剂量的问题值得关注^[7]。低扫描剂量会增加图像噪声,减低图像的空间和密度分辨率,目前有关低剂量胸部 MSCT 检查的研究主要集中在对其空间分辨率的影响,有关低剂量对密度分辨率的影响主要局限在肺结节内钙化灶的识别上^[5],由于钙化灶与软组织 CT 值差异相对较大,且其识别还有赖于空间分辨率,因而真正有关扫描剂量对密度分辨率影响的相关报道并不多。本研究 A、C 两组分别采用常规剂量(176 mAs)、40、60、80 mAs 低剂量平静呼吸状态下屏气部分肺节段扫描,标准重建图像及骨重建图像分别在 -200 Hu 及 -300 Hu 成像阈值上限下进行图像自动分割及 SSD 3D-lung 建模,结果显示 60 mAs 和 80 mAs 扫描剂量所获的图像质量均为优秀,能够满足阈值限定图像分割的需要,40 mAs 扫描在部分病例(6/20)获得的图像质量为一般或较差,不能

满足图像重建的需要。鉴于阈值限定图像分割技术对图像的密度分辨率要求相对较高,研究中选用了 60 mAs 的扫描剂量。在这一扫描剂量下,对于一个 40 cm 长的扫描范围,其单次扫描的 CT 剂量指数(CT dose index, CTDI)为 4.57 mGy,全肺扫描的剂量长度乘积(dose-length product, DLP)为 185.34 mGy·cm,仅为常规剂量 176 mAs 的三分之一,两次 60 mAs 的全肺扫描 CTDI、DLP 之和仍在欧共体工作文件(1997)推荐的标准体型患者肺部螺旋 CT 检查的 CTDI 为 27 mGy、DLP 为 650 mGy·cm 范围内^[8]。Zompatori 等研究亦显示 64 mAs 与 192 mAs 的 CTDI、DLP 有显著性差异,两种剂量的肺容积检测结果之间及其与 PFT 指标有较好的相关性。因而我们认为 60 mAs 的扫描剂量在减低患者辐射剂量和满足诊断之间是一个较合理的选择。

[参考文献]

[1] Ge XJ, Zhang GZ, Zhu YP, et al. Multi-slice CT pulmonary function evaluation in emphysema [J]. Chin J Radiol, 2007, 41(3): 243-247.
葛焜俊,张国桢,朱砚萍,等. 多层螺旋 CT 评价肺气肿患者肺功能的可行性[J]. 中华放射学杂志,2007,41(3):243-247.

[2] Akihiko A, Yasuyuki Y, Yoshiharu N, et al. Assessment of lung volumes in pulmonary emphysema using multidetector helical CT: comparison with pulmonary function tests [J]. Computerized Medical Imaging and Graphics, 2001, 25(2):399-404.

[3] Wu EH. Medical Imaging [M]. 5th ed. Beijing: Peoples' Medical Publishing House, 2004:111.
吴恩惠. 医学影像学[M]. 第 5 版. 北京:人民卫生出版社,2004:111.

[4] He LY, Ma ZL, Cao BX, et al. Clinical application of low dose multislice spiral CT scanning of lung [J]. Chinese J Med Imaging, 2006, 14(6):450-453.
贺丽英,麻增林,曹保信,等. 多层螺旋 CT 肺部低剂量扫描的应用价值[J]. 中国医学影像学杂志,2006,14(6):450-453.

[5] Karabulut N, Toru M, Gelebek V, et al. Comparison of low dose and standard dose helical CT in the evaluation of pulmonary nodules [J]. Euro Radiol, 2002, 12:2764-2769.

[6] Ekta S, Robert G, Krishna S, et al. Comparison of computer-aided calculation of emphysema volumetry with manual quantification using CT images [J]. International Congress Series, 2004, 1268(5):956-960.

[7] Shao GR, Liu C, Wang T, et al. Evaluation of double-phase scanning of spiral CT in the diagnosis and functional estimation of pulmonary emphysema [J]. Chin J Med Imaging Technol, 2001, 17(11):1067-1069.
邵广瑞,柳澄,王涛,等. 螺旋 CT 双相扫描在肺气肿诊断与功能评价中的价值探讨[J]. 中国医学影像技术,2001,17(11):1067-1069.

[8] Remy J, Remy JM, Artaud D, et al. Multiplanar and three-dimensional reconstruction techniques in CT: impact on chest diseases [J]. Eur Radiol, 1998, 8(3):335-351.

本刊投稿须知(二)

10. 参考文献 ①每条中文参考文献必须附对应的英文,为保证文献质量,请作者认真查阅原文献;②仅限于作者直接阅读过的文章,且以引用近年发表的论著为主;③参考文献的格式必须严格按照 GB7714-87《文后参考文献著录规则》中规定采用“顺序编码制”。④各类参考文献条目的编排格式如下:a. 专著、论文集、学位论文、报告类序号:主要责任者. 文献题名[文献类型标识]. 出版地:出版者,出版年. 起止页码. b. 期刊文章类序号:主要责任者. 文献题名[J]. 刊名,年,卷(期);起止页码. c. 论文集中的析出文献序号:析出文献责任者. 析出文献题名[A], 原文献主要责任者. 原文献题名[C]. 出版地:出版者,出版年. 析出文献起止页码. ”其中主要责任者为 3 人以上的只列出前 3 个,其后加“等”或“et al”,多名作者之间用逗号隔开。例如:

[1] Chen DM. Study on radioactive Annexin V as cell apoptosis imaging agent[C]. Beijing: Institute of Chinese Atomic Energy Scientific Research, 2004.
陈大明. 放射性 Annexin V 的细胞凋亡显像剂研究[C]. 北京:中国原子能科学研究院,2004.

[2] Jiang XX, Wang XY, Xiao JX. MRI in the following up of the osteonecrosis in SARS patients[J]. Chin J Med Imaging Technol, 2003, 19(10):1279-1280.
蒋学祥,王霄英,肖江喜. MRI 在 SARS 患者骨坏死随访中的应用[J]. 中国医学影像技术,2003,19(10):1279-1280.

11. 稿件处理 ①本刊概不退回原稿(包括图片),请自留底稿来稿。6 周内即可在本刊网站(www. cjmit. com)查询处理结果;②本刊将严肃处理一稿多投问题;③在稿件处理过程中如有异议,可电子邮件和编辑部联系。

12. 修改稿 文章审阅后的修改意见将通过电子邮件发至“作者简介”或“通讯作者”中标注的邮箱,修改稿必须电子邮件发回,主题应标明“稿号+第一作者姓名+修改稿”。不能按修改要求修回稿件者按退稿处理。

13. 收费 投稿须及时交纳审稿费(短篇报道及个案类 20 元,论著、综述类 30 元)。稿件一经录用将向作者收取发表费,一个月未收到来款者,本刊将按退稿处理。

14. 校对稿 一般在收费后 3 周内会将校样寄给第一作者,请认真核对本刊一校稿,用钢笔或圆珠笔直接在校样上修改,确定无误后注明联系电话,一周内寄回编辑部。

15. 联系方式 北京市海淀区知春路罗庄南里宏嘉丽园 1-301 中国医学影像技术编辑部;邮政编码:100088。电话:010-82050373/4;传真:010-82050374。E-mail:cjmit@cjmit.com;网址:www. cjmit. com。