

# 不同成像和重建参数对模拟肺结节多排螺旋 CT 容积测量准确度影响

周丹, 贾鹏, 南楠, 郭宁, 刘乐, 王娜琴, 王继琛\*

(南京医科大学附属明基医院放射科, 江苏 南京 210019)

**[摘要]** 目的:探讨不同成像和重建参数对模拟肺结节多排螺旋 CT 容积测量准确度的影响。方法:选用 CT 值为-900 HU 的塑料模拟肺基底,用直径不同的球体模拟肺结节(直径分别为 20.0、10.0、5.0 及 2.5 mm)。使用 64 排螺旋 CT 扫描仪(GE VCT-XT)扫描。选择 3 个不同的管电流(180、120 及 60 mA),4 个不同层厚从原始数据重建(0.625、1.250、2.50 和 5.00 mm)图像,3 个重建间隔(0.625、1.250、2.500 mm),使用肺图像 Std 重建,使用肺小结节处理软件(Lung VCAR)。采用 ANOVA 方差分析进行单因素分析,多元线性回归法进行多因素分析。结果:实验表明层厚对绝对误差百分率(APE)的影响最大,并且给出了不同直径时各因素的最佳方案。结论:管电流对于容积测量没有统计学意义,证明可以用更低的剂量达到相同的效果,从而减低对患者的辐射剂量。层厚越薄,结节容积测量越准确,尤其结节容积越小,层厚就更为重要。重建间隔越薄,结节容积测量越准确。照射野(FOV)越小,结节容积测量越准确。从而得到不同容积结节的最佳扫描方案。

**[关键词]** 肺结节;容积测量;体层摄影术;X 线计算机

**[中图分类号]** R814.42

**[文献标志码]** A

**[文章编号]** 1007-4368(2014)01-106-05

**doi:** 10.7655/NYDXBNS20140126

对于  $\leq 10$  mm 的肺内孤立性结节(solitary pulmonary nodule, SPN),虽然大部分都是良性病变<sup>[1]</sup>,但随访观察结节的体积倍增时间(volume doubling time, VDT),排除恶性病变是一个重要的临床评价过程。由于这类病灶需要重复多次的 CT 检查,合理选择检查时间间隔,降低每次扫描的辐射剂量就成一项关键的因素。经常采用的方法包括:降低管电流、扫描层厚、重建间隔和改变照射野(FOV)、重建算法。国内外很多学者作了多种参数对肺结节测量准确性影响的研究,但国内目前尚无对扫描剂量、层厚、重建间隔和 FOV 的共同影响的报道。本文通过使用 4 个不同的 MDCT 关键参数(扫描剂量、层厚、重建间隔和 FOV)对模拟肺结节进行容积测量,分析其对小结节容积测量的影响,以期发现对不同大小的结节的关键影响因素,优化小结节随访中 CT 扫描方案。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

采用 FUYO 肺结节模型(图 1)。选用 CT 值为 -900 HU 的塑料模拟肺基底,用直径不同的球体模

拟肺结节(直径分别为 20.0、10.0、5.0 及 2.5 mm);每种直径的结节分别由 3 种不同材料(其 CT 值分别为:100、60 及 -100 HU)构成,其圆心位于轴位同一断面上,分别固定在半径各为 5.0、7.5、10.0 cm 的 3 个圆周上,且每种材料的 4 种直径结节均被固定在同一半径的圆周上。此外,在半径为 7.5 cm 的圆周的 4 个象限处各固定 1 个结节;2 个直径为 20.0 mm,CT 值分别为 100 和 -100 HU;另 2 个为直径 10.0 mm 的混杂密度结节,其平均 CT 值分别约为 0 及 -60 HU。因此模型内共有 5 种密度的 16 个结节。肺模型基底中央由上述 3 种材料分别制成的 3 个圆柱体固定。

### 1.2 方法

采用 GE LightSpeed VCT/XT 64 排 CT,扫描前进行日常 CT 值校准。扫描参数:使用  $64 \times 0.625$  mm 准直、120 kV,在螺旋模式下 500 ms 旋转时间。在其他条件不变的情况下,选择 3 个不同的管电流(180、120 及 60 mA)及 3 个不同的 sFOV(15、25、36 cm)扫描;选择 4 个不同层厚(0.625、1.250、2.500 和 5.000 mm)及 3 个重建间隔(0.625、1.250、2.500 mm)。在每次改变管电流后均用水模校正,以确保 CT 值测量的准确性。通过使用肺图像 Std 重建成三维图像,所有的 CT 图像被传到 GE AW4.4 工作站。

使用肺小结节处理软件(Lung VCAR)得到肺结

**[基金项目]** 南京市卫生局医学科技发展项目(YK10171)

\*通信作者(Corresponding author), E-mail: Max.wang@benqmedicalcenter.com.

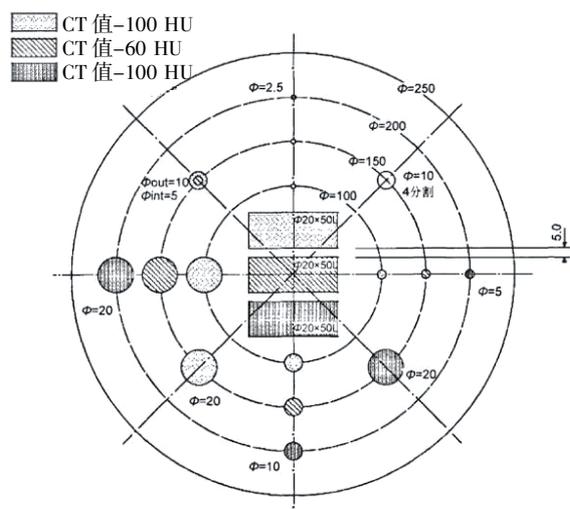


图 1 肺结节模型横轴位示意图

节容积值。用鼠标单击屏幕标识一个小结节,以全自动灰阶阈值将其分割(图 2)。所有的小结节体积测量由一名专业放射人员进行。共 1 728 个小结节容积测量(4 种层厚 × 3 种 FOV × 3 种重建间隔 × 3 种管电流 × 16 个结节)被求值。容积测量的准确性用 Lung VCAR 软件测量获得的容积相对于参考标准容积的绝对误差百分率 (absolute percentage error, APE) 表示;  $APE=100\% \times (V_m - V_{rs}) / V_{rs}$ , 式中  $V_m$  和  $V_{rs}$  分别表示 Lung VCAR 软件测得的容积和结节参考标准容积,  $V_{rs}=(4/3)\pi r^3$ , 单位为  $mm^3$ 。模型内直径为 2.5、5.0、10.0 和 20.0 mm 结节的参考标准容积( $V_{rs}$ )分别为 8.18、65.45、523.58、4 188.67  $mm^3$ 。由于 FOV 在 15、20 cm 时不能显示所有结节(部分结节位于扫描野外),故研究中规定,在进行 FOV 相关统计时,只统计 3 种 FOV 全部显示的结节。

### 1.3 统计学方法

应用 SAS9.1 软件,采用 ANOVA 方差分析进行单因素分析,评估结节直径、扫描管电流、层厚、扫描间隔及 FOV 对各结节的 APE 值影响的差异性并筛选最优参数。采用多元线性回归法进行多因素分析。以  $P \leq 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 将直径( $z_j$ )、管电流( $F_1$ )、层厚( $F_2$ )、重建间隔( $F_3$ )、FOV( $F_4$ )纳入多元线性回归方程分析

回归方程的方程分析结果为  $F = 101.40, P < 0.001$ , 说明整个模型有意义。其中回归系数有意义的因素有:直径 ( $z_j$ ) ( $P < 0.001$ ), 层厚 ( $F_2$ ) ( $P < 0.001$ ), 重建间隔 ( $F_3$ ) ( $P < 0.001$ ), FOV ( $F_4$ ) ( $P = 0.004$ ); 建立回归方程:  $Y(APE) = 7.16 - 1.37z_j + 6.09F_2 + 3.66F_3 - 0.24F_4$

其中,  $z_j, F_2, F_3, F_4$  的标准化回归系数分别为  $-0.296, 0.331, 0.092, -0.065$ ; 说明层厚对 APE 的影响最大。

### 2.2 分析不同直径下各因素不同水平差别是否有统计学意义

#### 2.2.1 层厚的影响

不同直径的结节在不同层厚对结节的容积测量比较差异均有统计学意义 ( $P < 0.001$ , 表 1)。其中, 2.5 mm 的结节在层厚为 0.625 mm 时、5 mm 的结节在层厚为 1.25 mm 时、10 mm 的结节在层厚 2.5 mm 时、20 mm 的结节在层厚 5 mm 时其可信区间最小, 可以认为是最佳条件。不同直径的结节在 0.625 mm 和 1.25 mm 层厚之间 APE 值差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 但与 2.5、5.0 mm 层厚间均存在差异 ( $P < 0.05$ ), 且 2.5 和 5.0 mm 层厚之间差异也具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

#### 2.2.2 管电流的影响

管电流在 60、120、180 mA 时对结节的容积测量的比较 ( $P > 0.05$ ), 对于容积测量的准确性没有显著差异(表 2)。同一直径组内, 不同管电流间两两比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。

#### 2.2.3 重建间隔的影响

直径为 2.5 和 5.0 mm 的结节在不同重建间隔对结节的容积测量比较差异均有统计学意义 ( $P < 0.001$ , 表 3), 在重建间隔 2.5 mm 时 APE 值明显大于重建间隔 0.625 与 1.25 mm 时 ( $P < 0.05$ ), 且均在重建间隔为 0.625 mm 时可信区间最小, 可以认为是最佳条件。而直径为 10 和 20 mm 的结节在不同重建间隔对结节的容积测量比较差异没有统计学意义

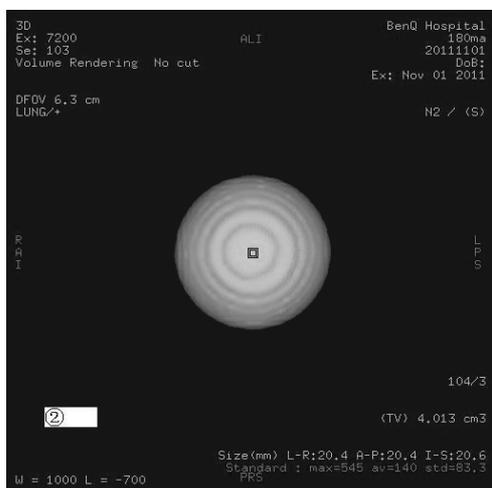


图 1 使用肺小结节处理软件(Lung VCAR)得到肺结节图像

表1 不同层厚下4组不同直径结节的APE值(%)均数与可信区间及比较

层厚(mm)	结节直径(mm)			
	2.5	5.0	10.0	20.0
0.625	2.21(-1.00~5.42)	-1.83(-2.85~-0.81)	-4.86(-5.20~-4.52)	-3.81(-3.99~-3.62)
1.250	4.79(1.59~7.98)	-0.86(-1.89~0.17)	-4.29(-4.68~-3.89)	-4.33(-5.81~-2.85)
2.500	23.80(20.38~27.22)	8.75(7.44~10.06)	-1.85(-2.22~-1.48)	-2.91(-3.13~-2.69)
5.000	91.39(62.32~120.46)	33.85(30.17~37.53)	6.36(5.59~7.13)	-0.23(-0.60~0.14)
F值	41.14	322.15	439.60	21.75
P值	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

表2 不同管电流下4组不同直径结节的APE值(%)均数与可信区间及比较

管电流(mA)	结节直径(mm)			
	2.5	5.0	10.0	20.0
60	32.22(17.84~46.59)	10.19(6.70~13.68)	-0.87(-1.68~-0.05)	-2.76(-3.07~-2.44)
120	31.15(16.65~45.65)	8.61(5.39~11.83)	-1.13(-1.85~-0.40)	-2.56(-2.90~-2.22)
180	21.43(10.24~32.63)	11.14(7.07~15.20)	-1.48(-2.30~-0.66)	-3.14(-4.29~-2.00)
F值	1.19	2.54	2.10	0.77
P值	0.306	0.081	0.124	0.462

表3 不同重建间隔下4组不同直径结节的APE值(%)均数与可信区间及比较

重建间隔(mm)	结节直径(mm)			
	2.5	5.0	10.0	20.0
0.625	15.66(4.57~26.74)	6.59(4.19~8.98)	-1.36(-1.96~-0.76)	-3.42(-4.55~-2.29)
1.250	22.98(11.34~34.61)	8.21(5.36~11.05)	-0.99(-1.72~-0.26)	-2.41(-2.68~-2.14)
2.500	54.10(36.00~72.20)	15.14(10.30~19.98)	-1.12(-2.11~-0.13)	-2.62(-3.03~-2.21)
F值	12.35	32.09	0.77	2.48
P值	< 0.001	< 0.001	0.463	0.085

( $P > 0.05$ ,表3),且在重建间隔为1.25 mm时可信区间最小,可以认为是最佳条件。

### 2.2.4 FOV的影响

直径为2.5与10 mm的结节在不同FOV对结节容积测量差异有统计学意义( $P < 0.05$ ,表4)。结节直径为2.5 mm时,在FOV为36 cm的APE与其

他两组比较差异显著;结节直径为10 mm时,在FOV为25 cm的APE与其他两组比较差异显著。2.5 mm的结节在FOV为36 cm时、10 mm的结节在FOV 15 cm时其可信区间最小,可以认为是最佳条件。直径为5 mm与20 mm的结节在不同FOV对结节容积测量差异无统计学意义( $P > 0.05$ ,表4)。

表4 不同FOV下4组不同直径结节的APE值(%)均数与可信区间及比较

FOV(cm)	结节直径(mm)			
	2.5	5	10	20
15	37.53(22.77~52.29)	8.01(2.22~13.81)	-0.56(-1.34~0.22)	-2.20(-2.58~-1.81)
25	29.92(18.26~41.58)	10.45(7.09~13.80)	-2.04(-2.86~-1.22)*	-3.20(-4.20~-2.19)
36	10.22(-0.60~21.04)*	10.16(7.21~13.12)	-0.87(-1.62~-0.12)	-2.82(-3.11~-2.52)
F值	5.65	1.54	13.19	1.89
P值	0.004	0.216	< 0.001	0.152

与其他两组比较,\* $P < 0.05$ 。

## 3 讨论

肺小结节的计算机辅助测定容积评估已经得到广泛的认同<sup>[2-3]</sup>。目前,结节大小是比较一个结节对治疗反应的系列扫描中最有代表性的评价。依照固体肿瘤评价标准(response evaluation criteria in solid

tumors,RECIST),实体结节病变疾病稳定类别中重复扫描直径上可能是20%增大或30%缩小<sup>[4]</sup>。

有很多扫描和重建参数能影响小结节容积的定量。很多研究者已经在研究各种参数如小结节的大小、扫描的层厚、重建算法、重建间隔及FOV对小结节容积测量的影响,并且希望能在保证测量准确性

的前提下尽量减少病患的辐射剂量。Honda 等<sup>[5]</sup>认为图像采集参数比如层厚、重建间隔、FOV 以及卷积滤过能够影响容积的测量,因此在复查多次检查中应保持一致的扫描参数。在小结节容积的测量上的这些重建参数的重要性并不是相等的,而且可能取决于小结节的大小。Honda 等<sup>[5]</sup>研究了 50 个 <2 cm 的病患结节,比较了层厚、FOV、算法以及重建间隔的影响,发现重建算法和 FOV 对临床肺结节的评估没有明显意义,层厚对其有显著影响,特别是对体积小的结节。Ravenel 等<sup>[6]</sup>进行了一个体模研究,采用自动结节容积软件对 7 种重建算法和 FOV 以及层厚对结节容积测量的各自独立的影响,结果发现 7 种重建算法对容积测量准确性没有实质性的差异,骨算法被认为是比较理想的一种算法;结节的直径是对结节容积测量准确性有显著关联;FOV 的缩小对球形结节测量准确性有相关性,而对分叶结节的容积测量准确性没有显著影响;而层厚对结节容积尤其是小的结节容积测量准确性影响有显著性。Way 等<sup>[7]</sup>对比了 16 层 CT 的管电流、螺距、FOV 和层厚等几个参数对体模的肺结节的影响,发现层厚对容积误差的影响最大;而增加 FOV 能使横轴位上的像素增加,而且能影响像素的大小。国内也有许多类似的报道<sup>[8-9]</sup>。

肺结节的可见度与图像噪声(取决于扫描剂量和层厚等)、结节体积和密度(影响病灶与肺组织背景的反差大小)均相关,本研究同时考虑了上述 3 种因素对结节检出的影响。利用体模可进行反复多次扫描,同时避免患者体型不同及呼吸等因素造成的影响;使用最小直径为 2.5 mm 的不同密度不同大小的系列结节以明确不同扫描参数管电流、层厚、重建间隔及 FOV 对小结节容积测量的影响。

### 3.1 扫描层厚对体积测量的影响

本研究显示扫描层厚越薄,结节体积测量越准确,而且层厚对 APE 的影响最大,也证实了文献的报道<sup>[5-7]</sup>;尤其结节体积越小,层厚就更为重要。本研究中直径为 2.5 mm 的结节在在层厚为 0.625 mm 时最接近真实值,直径为 5 mm 的结节在层厚为 1.25 mm 时最接近真实值,直径为 10 mm 的结节在在层厚为 2.5 mm 时最接近真实值,直径为 20 mm 的结节在在层厚为 5 mm 时最接近真实值。层厚太薄会使图像噪声增加,因此,在直径相对较大时,层厚反而不是最薄的最接近真实值。

### 3.2 扫描管电流对于体积测量的影响

管电流即扫描剂量的变化的研究旨在保证图像

质量的前提下尽量减少病患的辐射剂量,因此国内外已有大量关于此项研究的结果<sup>[10-11]</sup>。X 线球管电流决定了阴极灯丝发射电子的数量,也就是 X 线的量,即管电流愈大,阴极发射的电子数愈多,电子撞击阳极靶的 X 线剂量也愈大。大多数低剂量研究都关注于降低管电流上。固定毫安秒是目前低剂量 CT 研究中最常用的方法。有报道<sup>[11-12]</sup>认为 50 mA 是一个较为稳定的低毫安界限值。20 mA 时伪影增多,从而影响病变的检出。本研究中管电流的变化对于体积测量的准确性没有统计学意义,说明在 60 mAs 的情况下和 180 mAs 情况下对结节的体积测量都是一样的,证明可以用更低的剂量达到相同的效果,从而减低对患者的辐射剂量。

### 3.3 重建间隔对体积测量的影响

直径为 2.5 及 5 mm 的结节在重建间隔为 0.625 mm 时最接近真实值,直径为 10 及 20 mm 的结节在重建间隔为 1.25 mm 时最接近真实值。证明在直径较小时,间隔应用薄层,直径较大时,用稍厚间隔即可。

### 3.4 FOV 对体积测量的影响

FOV 的大小对于图像质量及辐射剂量的影响也非常明显。减小 FOV 可以提高图像空间分辨率,但图像噪声也有所增加,在相同的曝光量条件下,选择小的 FOV 可以使图像质量有明显的提高,同样在相同的图像质量前提下,选用小的 FOV 可以减少 CT 扫描的曝光量。本研究中 FOV 15 cm 和 36 cm 有显著的统计学差异,说明 FOV 越小,结节体积测量越准确。与文献结果<sup>[6-7]</sup>相仿。直径为 2.5 mm 的结节 FOV 为 36 cm 时,直径为 10 mm 的结节在 FOV 为 15 cm 时,直径为 5 及 20 mm 的结节在 FOV 对结节容积测量没有显著差异。

### 3.5 结节直径、扫描管电流、层厚、扫描间隔及 FOV 对结节体积测量影响

结节直径、扫描管电流、层厚、扫描间隔及 FOV 对结节体积测量的共同影响,与单因素分析结果基本一致,层厚对 APE 的影响最大。

### 3.6 不同直径结节的最佳扫描方案

直径 2.5 mm 结节,层厚 0.625 mm、重建间隔 0.625 mm、FOV15、管电流 60 mAs;直径 5 mm 结节,层厚 1.25 mm、重建间隔 0.625 mm、FOV15、管电流 60 mAs;直径 10 mm 结节,层厚 2.5 mm、重建间隔 1.250 mm、FOV15、管电流 60 mAs;直径 20 mm 结节,层厚 5 mm、重建间隔 1.250 mm、FOV15、管电流 60 mAs。

本研究的优点是利用体模可进行反复多次扫描,避免人体扫描的巨大辐射剂量,同时避免患者体型不同及呼吸等因素造成的影响。但这同时也是其缺点。文献报道,结节的部位对检出敏感度有显著影响,Shigeki等<sup>[13]</sup>研究均表明,肺尖部结节的发现明显低于其他部位,Rusinek等<sup>[14]</sup>研究发现低剂量对肺门区或血管周围结节的检出率减低,而对肺外带或远离血管结节的检出无明显影响。在对人体实际扫描中,骨骼产生的伪影、肺内血管、支气管的干扰及呼吸、心博运动可能会对结节的检出产生影响,本研究中未能予以考虑。因此,还有待下一步进行活体研究。

#### [参考文献]

- [1] Fischbach F,Knollmann F,Griesshaber V,et al. Detection of pulmonary nodules by multislice computed tomography;improved detection rate with reduced slice thickness[J]. *Eur Radiol*,2003,13(10):2378-2383
- [2] Ko JP,Rusinek H,Jacobs EL,et al. Small pulmonary nodules;volume measurement at chest CT-phantom study[J]. *Radiology*,2003,228(3):864-870
- [3] Kostis WJ,Reeves AP,Yankelevitz DF,et al. Three-dimensional segmentation and growth-rate estimation of small pulmonary nodules in helical CT images [J]. *IEEE Trans Med Imaging*,2003,22(10):1259-1274
- [4] Therasse P,Arbuck SG,Eisenhauer EA,et al. New guidelines to evaluate the response to treatment in solid tumors [J]. *J Natl Cancer Inst*,2000,92(3):205-216
- [5] Honda O,Sumikawa H,Johkoh T,et al. Computer-assisted lung nodule volumetry from multi-detector row CT;Influence of image reconstruction parameters[J]. *Eur J Radiol*,2007,62(1):106-113
- [6] Ravenel JG,Leue WM,Nietert PJ,et al. Pulmonary nodule volume;effects of reconstruction parameters on automated measurements-A Phantom Study [J]. *Radiology*,2008,247(2):400-408
- [7] Way TW,Chan HP,Goodsitt MM,et al. Effect of CT scanning parameters on volumetric measurements of pulmonary nodules by 3D active contour segmentation;a phantom study[J]. *Phys Med Biol*,2008,53(5):1295-1312
- [8] 孙海宁,于铁链,李 东. 重建算法和层厚对肺结节容积定量的影响 [J]. *中国医学影像技术*,2010,26(5):947-950
- [9] 杨荣荣,于铁链,王 颖,等. 重建参数对 CT 肺结节容积测量的影响[J]. *中国肺癌杂志*,2012,15(2):72-76
- [10] 贺丽英,麻增林,曹保信,等. 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
- [11] Fraioli F,Catalano C,Almberger M,et al. Evaluation of effectiveness of a computer system (CAD) in the identification of lung nodules with low dose MSCT;scanning technique and preliminary results [J]. *Radiol Med*,2005,109(1-2):40-48
- [12] 黄明刚,王 青,郑桂芳,等. 螺旋 CT 胸部低剂量参数优化[J]. *实用放射学杂志*,2008,24(7):976-979
- [13] Itoh S,Ikeda M,Mori Y,et al. Lung;feasibility of a method for changing tube current during low-dose helical CT[J]. *Radiology*,2002,224(3):905-912
- [14] Rusinek H,Naidich DP,McGuinness G,et al. Pulmonary nodule detection;low-dose versus conventional CT [J]. *Radiology*,1998,209(1):243-249

[收稿日期] 2013-04-17