

<https://doi.org/10.17816/mechnikov44920>

肺部CT图像重建参数对病理灶体积误差的影响

HOW CT RECONSTRUCTION PARAMETERS EFFECT MEASUREMENT ERROR OF PULMONARY NODULES VOLUME

Z.A. Alderov¹, E.V. Rozengauz^{2,3}, D.V. Nesterov^{2,3,4}

¹ Mytishchi City Clinical Hospital, Moscow region, Mytishchi, Russia;

² Central Research Institute of Roentgenology and Radiology named after Academician A.M. Granov, Saint Petersburg, Russia;

³ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;

⁴ National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Petrov, Saint Petersburg, Russia

For citation: Alderov ZA, Rozengauz EV, Nesterov DV. How CT reconstruction parameters effect measurement error of pulmonary nodules volume. *Herald of North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov*. 2020;12(3):73-77. <https://doi.org/10.17816/mechnikov44920>

Received: August 28, 2020

Revised: September 14, 2020

Accepted: September 23, 2020

◆ **研究现实性。**评估肿瘤过程的一个关键方法是分析病源规模的动态。在明显高灵敏度的情况下，体积计误差可达60%，大大限制了该方法的使用。

目的是评估图像重建参数在多大程度上影响到固体温床体积测量误差。

材料与方法。对32名肺癌患者进行了检查，发现326个病灶。对于每一个炉体和一个可变的重建参数，即剪切厚度和岩心厚度，计算了测量误差。使用回归分析评估因素对测量误差的影响程度。

结果。随机和绝对测量误差受切片厚度，重建内核，焦点的位置及其直径的影响。使用FC07内核并增加切片厚度会增加系统误差。两个组成部分的错误随着焦点直径的增加而减小。肺内病灶的特点是所有重建参数的测量误差最小。

为了预测随着切片厚度的变化而计算各种直径的病灶体积时的系统误差，创建了一个数学模型。该模型的标准误差为6.7%。模型残差的标准偏差（随机误差），焦距，切片厚度和重建内核之间发现了一种关系。

结论。系统误差取决于焦点的直径，切片厚度和重建内核。它可以通过拟议的6%误差模型进行评估。随机误差主要取决于焦点的直径。

◆ **关键词：**容积；炉；体积误差；转移性肺疾病；系统误差；随机误差；重建内核。

◆ One of the the widely used way to follow up oncological disease is estimation of lesion size differences. Volumetry is one of the most accurate approaches of lesion size estimation. However, being highly sensitive, volumetric errors can reach 60%, which significantly limits the applicability of the method.

Purpose was to estimate the effect of reconstruction parameters on volumetry error.

Materials and methods. 32 patients with pulmonary metastases underwent a CT scanning with 326 foci detected. 326 pulmonary were segmented. Volumetry error was estimated for every lesion with each combination of slice thickness and reconstruction kernel. The effect was measured with linear regression analysis

Results. Systematic and stochastic errors are impacted by slice thickness, reconstruction kernel, lesion position and its diameter. FC07 kernel and larger slice thickness is associated with high systematic error. Both systematic

and stochastic errors decrease with lesion enlargement. intrapulmonary lesions have the lowest error regardless the reconstruction parameters.

Lineal regression model was created to prognose error rate. Model standart error was 6.7%. There was corelation between model remnants deviation and slice thickness, reconstruction kernel, lesion position and its diameter.

Conclusion. The systematic error depends on the focal diameter, slice thickness and reconstruction kernel. It can be estimated using the proposed model with a 6% error. Stochastic error mainly depends on lesion size.

◆ **Keywords:** volumetry; lesion; volumetry error; pulmonary metastasis; systematic error; stochastic error; reconstruction kernel.

绪论

评估肿瘤过程的一个关键方法是分析病源规模的动态[1, 6]。可以通过几种方式估算尺寸：测量直径，体积，组合两个尺寸。与线性测量相比，病灶容积法是一种可能更敏感的技术[2]。但是，测量误差可以达到60%，这极大地限制了该方法的应用[3]。测量误差取决于焦点的大小[4]，用于处理图像的滤镜和切片的厚度[5]。

目的是评估图像重建参数在多大程度上影响到固体温床体积测量误差。

材料与方 法

我们检查了32位肺转移性病变患者，其中发现326位病灶。

扫描和重建选项

所有研究均在AquilionOne和Aquilion CX（东芝）计算机断层扫描仪上进行。使用SureExposure软件（东芝）以64螺旋模式进行扫描，切片厚度为0.5毫米，间距为1，每管电压为120 kW，并自动进行电流控制。

使用标准切片厚度（0.5、1.5和3毫米）和重建滤镜（FC07，FC14）将每个图像重建3次，并开始不同的重建级别。

按位置划分重点

所有确定的病灶分为以下几组：肺内，不与任何正常胸部结构相邻的部位以及接触部位-肝门旁，胸膜旁，血管旁。无法自动确定最后三组的数量，因此执行了“手动”的，因此，主观调整的轮廓。

圈定边发病区

圈定边肺内灶被程序会自动产生。这种情况下，将真实炉床的不规则形状减小为理想球体的形状，并计算其直径，以下将其称为“有效直径”。

使用具有Seg3d半自动轮廓功能的程序进行轮廓加工。放射科医师目视评估了肺和胸壁正常结构对焦点轮廓的穿透力，如果发现附着，则手动校正轮廓以细化测量结果。

测量误差估计

对于每一个炉体以及切片厚度和岩心重建的组合，计算出测量误差为测量量与所指体积之差。重新设计的0.5毫米切割厚度图像和FC14过滤器上确定的体积被选定为测量误差的参照值。通过回归分析评估因素对测量误差的影响程度。使用所得模型，计划确定测量误差的系统成分，并根据模型残差分布的变化性确定随机成分。

结果

已对改建参数对容积测量结果的影响进行了评估。

图表在1图上，证明了使用不同的过滤器和焦点类型时，测量体积和有效直径时误差的依赖性。三个垂直列（从左到右）显示了以0.5、1.5的厚度执行的重构；3.5毫米在两个水平行（从上到下）中研究了重建内核FC07和FC14。每个字段中，以横坐标标尺绘制从0到30毫米的焦点直径；纵坐标标尺显示相对测量误差。彩色圆点表示病灶定位的选项。

图中可以看出，所用的岩心复盖厚度、震源的定位和其直径都会影响到偶然的和绝对的测量误差。使用FC07内核并增加切片厚度时，系统误差会增加。两个组成部分的错误随着焦点直径的增加而减小。肺内病灶的特点是所有重建参数的测量误差最小。

为了预测随着切片厚度的变化而计算各种直径的病灶体积时的系统误差，创建了一个数学模型。

$$\Delta V = 3 \text{厚度} + 183 / \text{直径} + 26_{\text{如 FC07}} + 23.$$

所有模型系数均具有统计学意义 ($p < 0.001$)。模型的确定系数为0.85，模型的标准误差为6.7%。

模型残差的标准偏差（随机误差），焦距，切片厚度和重建内核之间发现了一种关系（图2）。

直径为6毫米，切片厚度为1毫米且FC14内核的随机误差为6.84毫米。它不会随着

图 2 体积估计值的随机误差与焦点有效直径的发病区

Fig. 2. The dependence of the volume estimate random error on the effective lesion diameter

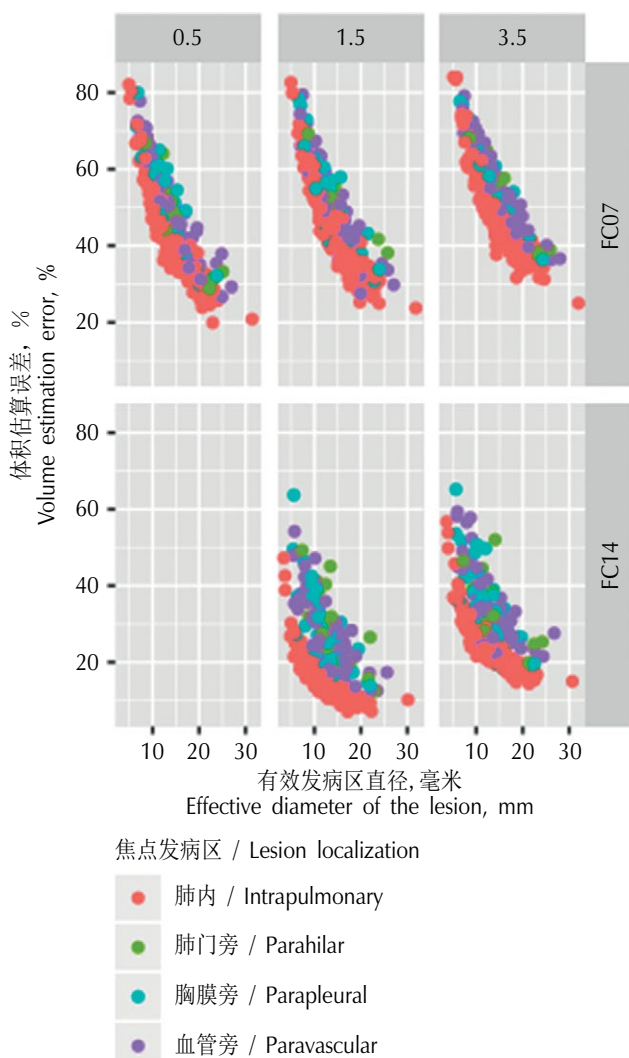
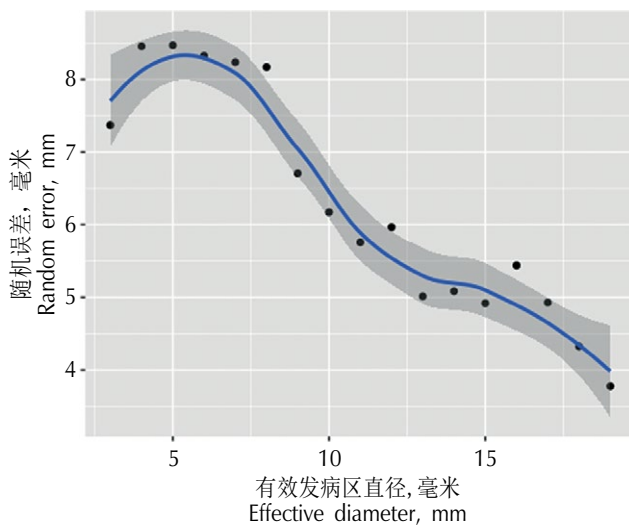


图 1 系统误差与有效源直径发病区，震源重建和发病区的本地化

Fig. 1. The dependence of volume estimation systematic error on effective diameter of the lesion, reconstruction kernel and the lesion localization



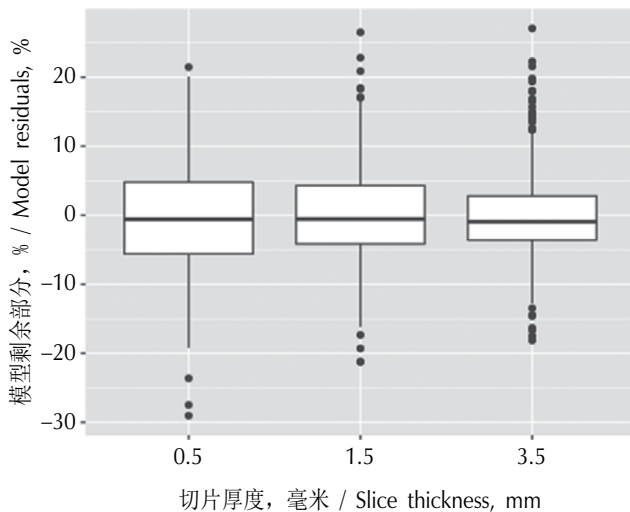


图3 体积估计的随机误差与切片厚度的关系图

Fig. 3. The dependence of volume estimate random error from slice thickness

直径减小而变化，而随着直径增加1 毫米而减小0.09毫米。

随着切片厚度的增加，注意到模型残差的标准偏差减小（图3）。

数量估算的随机误差降低了0.5%，切片厚度每增加一毫米。

当使用FC07重建内核时，随机误差降低了2.5%（图4）。

讨论

病变大小的分析是评估治疗结果的关键步骤，对于制定治疗方案尤其重要。确定尺寸的测量误差对于形成对所获得数据的可靠性的信心至关重要。

确定此错误的不同组成部分很重要：系统的和随机的。随机测量误差直接确定尺寸动态的阈值，在该阈值以下无法将实际尺寸动态与测量误差区分开。

超出随机测量误差范围的动态变化也不总是表明可以估计这些尺寸的实际变化，因为在测量过程中可能存在不同的系统误差。这些情况下，大小的表观动力学可能与估计病灶体积的不同系统误差有关。

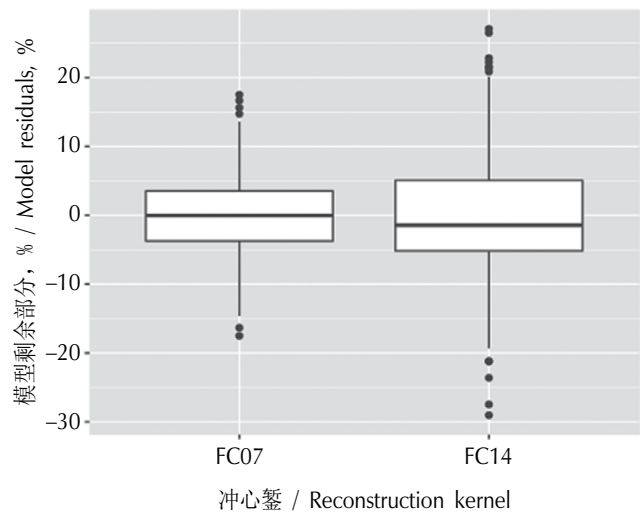


图4 数量估计随机误差曲线图

Fig. 4. The dependence of volume estimate random error on the reconstruction kernel

测量误差取决于焦点的大小[4, 9]，与其他软组织结构接触的区域以及扫描参数。我们提出的模型中，可以预测测量误差的系统性和随机性。这使得它可以在比较使用不同重建参数制作的图像时应用。

例如，根据我们的数据，在评估10毫米炉床体积时使用FC07内核会导致系统误差增加26%，随机误差增加7%。如果在动态观察过程中，第一张图像是使用FC14获得的，第二张图像是使用FC07获得的，则焦点的体积必须至少增加 $26 + 7 = 33\%$ ，以便可以将记录的更改视为可靠的增加。如果测得的差异小于 $26 - 7 = 19\%$ ，则表示焦点没有增加，而是减少了。

使用该模型获得的估计值与Wormanns等人的实验结果一致 [7]和Gietema等[8]。两项研究中，肺转移小的患者均在同一天进行了两次检查。其他所有因素均未改变。这两种情况下，对于直径最大为10 mm的病灶，观察到相似的95%置信区间，总计约为 $\pm 25\%$ 。

幻影研究表明，测量的标准偏差为4-28%，具体取决于焦距[3]。

结论

因此，系统误差取决于震源的直径、剪切厚度和基内尔的改造。它可以用拟议的模型计算出6%的误差。随机误差主要取决于焦点的直径。

References

1. Choi H, Charnsangavej C, de Castro Faria S, et al. CT evaluation of the response of gastrointestinal stromal tumors after imatinib mesylate treatment: a quantitative analysis correlated with FDG PET findings. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;183(6):1619-1628. <https://doi.org/10.2214/ajr.183.6.01831619>.
2. Devaraj A, van Ginneken B, Nair A, Baldwin D. Use of volumetry for lung nodule management: Theory and practice. *Radiology.* 2017;284(3):630-644. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017151022>.
3. Li Q, Gavrielides MA, Sahiner B, et al. Statistical analysis of lung nodule volume measurements with CT in a large-scale phantom study. *Med Phys.* 2015;42(7):3932-3947. <https://doi.org/10.1118/1.4921734>.
4. Liang M, Yip R, Tang W, et al. Variation in screening CT-detected nodule volumetry as a function of size. *AJR Am J Roentgenol.* 2017;209(2):304-308. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.17159>.
5. Petrou M, Quint LE, Nan B, Baker LH. Pulmonary nodule volumetric measurement variability as a function of CT slice thickness and nodule morphology. *AJR Am J Roentgenol.* 2007;188(2):306-312. <https://doi.org/10.2214/AJR.05.1063>.
6. Schwartz LH, Litière S, de Vries E, et al. RECIST 1.1 and clarification: From the RECIST committee. *Eur J Cancer.* 2016;62:132-137. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2016.03.081>.
7. Wormanns D, Kohl G, Klotz E, et al. Volumetric measurements of pulmonary nodules at multi-row detector CT: *In vivo* reproducibility. *Eur Radiol.* 2004;14(1):86-92. <https://doi.org/10.1007/s00330-003-2132-0>.
8. Gietema HA, Wang Y, Xu D, et al. Pulmonary nodules detected at lung cancer screening: Interobserver variability of semiautomated volume measurements. *Radiology.* 2006;241(1):251-257. <https://doi.org/10.1148/radiol.2411050860>.
9. Gietema HA, Schaefer-Prokop CM, Mali WP, et al. Pulmonary nodules: interscan variability of semiautomated volume measurements with multisection CT — influence of inspiration level, nodule size, and segmentation performance. *Radiology.* 2007;245(3):888-894. <https://doi.org/10.1148/radiol.2452061054>.

◆ 提交人的通信地址 (Information about the author)

Zaur A. Alderov

<https://orcid.org/0000-0002-6255-1583>

E-mail: zaurzz@rambler.ru