

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

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕКОНСТРУКЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТОМОГРАММ ЛЕГКИХ НА ПОГРЕШНОСТЬ ВОЛЮМЕТРИИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ ОЧАГОВ

З.А. Альдеров<sup>1</sup>, Е.В. Розенгауз<sup>2, 3</sup>, Д.В. Нестеров<sup>2, 3, 4</sup>

<sup>1</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Мытищинская городская клиническая больница, Мытищи;

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург;

<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург;

<sup>4</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

Для цитирования: Альдеров З.А., Розенгауз Е.В., Нестеров Д.В. Влияние параметров реконструкции компьютерных томограмм легких на погрешность волюметрии патологических очагов // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – 2020. – Т. 12. – № 3. – С. 73–77. <https://doi.org/10.17816/mechnikov44920>

Поступила: 28.08.2020

Одобрена: 14.09.2020

Принята: 23.09.2020

♦ **Актуальность.** Одним из ключевых способов оценки течения онкологического процесса является анализ динамики размеров очагов. При очевидной высокой чувствительности погрешность волюметрии может достигать 60 %, что значительно ограничивает возможности применения метода.

**Цель** — оценка степени влияния параметров реконструкции изображений на погрешность волюметрии солидных очагов в легких.

**Материалы и методы.** Обследовано 32 пациента с метастазами почечно-клеточного рака в легких, у которых было обнаружено 326 очагов. Для каждого очага и переменного параметра реконструкции — толщины среза и зеркала — была рассчитана погрешность измерения. Степень влияния факторов на погрешность измерения оценивали с помощью регрессионного анализа.

**Результаты.** На случайную и абсолютную погрешность измерений влияют толщина среза, зеркала реконструкции, локализация очага и его диаметр. Применение зеркала FC07 и увеличение толщины среза увеличивают систематическую погрешность. Обе компоненты погрешности уменьшаются с увеличением диаметра очага. Интрапульмональные очаги характеризуются наименьшей погрешностью измерений при всех параметрах реконструкции.

Для прогнозирования систематической погрешности при вычислении объема очагов различного диаметра с изменением толщины среза создана математическая модель. Стандартная ошибка модели составила 6,7 %. Выявлена связь между стандартным отклонением остатков модели (случайной погрешностью) диаметром очага, толщиной среза и зеркалом реконструкции.

**Заключение.** Систематическая погрешность зависит от диаметра очага, толщины среза и зеркала реконструкции. Она может быть оценена с помощью предлагаемой модели с ошибкой 6 %. Случайная погрешность преимущественно зависит от диаметра очага.

♦ **Ключевые слова:** волюметрия; очаг; погрешность волюметрии; метастатическое поражение легких; систематическая погрешность; случайная погрешность; зеркала реконструкции.

## HOW CT RECONSTRUCTION PARAMETERS EFFECT MEASUREMENT ERROR OF PULMONARY NODULES VOLUME

Z.A. Alderov<sup>1</sup>, E.V. Rozengauz<sup>2, 3</sup>, D.V. Nesterov<sup>2, 3, 4</sup>

<sup>1</sup> Mytishchi City Clinical Hospital, Moscow region, Mytishchi, Russia;

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

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

<sup>4</sup> 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

♦ 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 correlation 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.

## Введение

Одним из ключевых способов оценки течения онкологического процесса является анализ динамики размеров очагов [1, 6]. Размеры можно оценить несколькими способами: измерение диаметра, объема, двух размеров в комбинации. Волюметрия очагов потенциально более чувствительная методика по сравнению с линейными измерениями [2]. Однако погрешность измерений может достигать 60 %, что значительно ограничивает применение метода [3]. Погрешность измерений зависит от размера очага [4], фильтра, которым обработаны изображения, и толщины среза [5].

**Цель** — оценка степени влияния параметров реконструкции изображений на погрешность волюметрии солидных очагов в легких.

## Материалы и методы

Обследовано 32 пациента с метастатическим поражением легких, у которых было обнаружено 326 очагов.

## Параметры сканирования и реконструкции

Все исследования были проведены на компьютерных томографах AquilionOne и Aquilion CX (Toshiba). Сканирование выполняли в 64-спиральном режиме с толщиной среза 0,5 мм, питчем 1, напряжением на трубку 120 кВт и автоматическим контролем тока с помощью программы SureExposure (Toshiba).

Каждое изображение было трижды реконструировано со стандартными варианта-

ми толщины среза (0,5; 1,5 и 3 мм) и фильтра реконструкции (FC07, FC14) и разным началом уровня реконструкции.

## Деление очагов по локализации

Все выявленные очаги были разделены на группы: интрапульмональные, не прилегающие ни к какой из нормальных структур грудной клетки, и контактирующие — парахилярные, параплевральные, параваскулярные. Автоматически определить объемы последних трех групп невозможно, поэтому выполняли «ручную» и потому субъективную коррекцию контуров.

## Оконтуривание очагов

Оконтуривание интрапульмональных очагов программа производит автоматически, при этом неправильная форма реального очага приводится к форме идеального шара, вычисляется его диаметр, который в дальнейшем обозначается как «эффективный диаметр».

Оконтуривание осуществляли с помощью программы с функцией полуавтоматического оконтуривания Seg3d. Врач-рентгенолог визуально оценивал попадание в контур очага нормальных структур легкого и грудной стенки и, если обнаруживал прилегание, с целью уточнения измерения вручную корректировал контур.

## Оценка погрешности измерения

Для каждого очага и сочетания толщины среза и кернеля реконструкции была рассчитана погрешность измерения как разница между

измеренным и референтным объемами. Для оценки погрешности измерения в качестве референтного был выбран объем, определенный на реконструированных изображениях с толщиной среза 0,5 мм и фильтром FC14. Степень влияния факторов на погрешность измерения оценивали путем проведения регрессионного анализа. С помощью получаемой в итоге модели планировали определять систематическую компоненту погрешности измерения, а исходя из вариабельности распределения остатков модели — случайную компоненту.

## Результаты

Произведена оценка влияния параметров реконструкции на результаты волюметрии.

График, представленный на рис. 1, демонстрирует зависимость ошибки измерения объема и эффективного диаметра при использовании разных фильтров и типов очагов. В трех вертикальных столбцах (слева направо) отображены реконструкции, выполненные с толщиной 0,5, 1,5; 3,5 мм. В двух горизонтальных рядах (сверху вниз) изучены кернели реконструкции FC07 и FC14. В каждом поле по шкале абсцисс отложен диаметр очага от 0 до 30 мм, по шкале ординат показана относительная погрешность измерения. Цветными точками обозначены варианты локализации очагов.

Из графика следует, что и на случайную, и на абсолютную погрешность измерений влияет толщина среза, применяемый кернель реконструкции, локализация очага и его диаметр. При применении кернеля FC07 и увеличении толщины среза увеличивается систематическая погрешность. Обе компоненты погрешности уменьшаются с увеличением диаметра очага. Интрапульмональные очаги характеризуются наименьшей погрешностью измерений при всех параметрах реконструкции.

Для прогнозирования систематической погрешности вычисления объема для очагов различного диаметра с изменениями толщины среза создана математическая модель вида

$$\Delta V = 3 \cdot \text{Толщина} + \frac{183}{\text{Диаметр}} + 26_{\text{если FC07}} + 23.$$

Рис. 2. График зависимости случайной погрешности оценки объема от эффективного диаметра очага

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

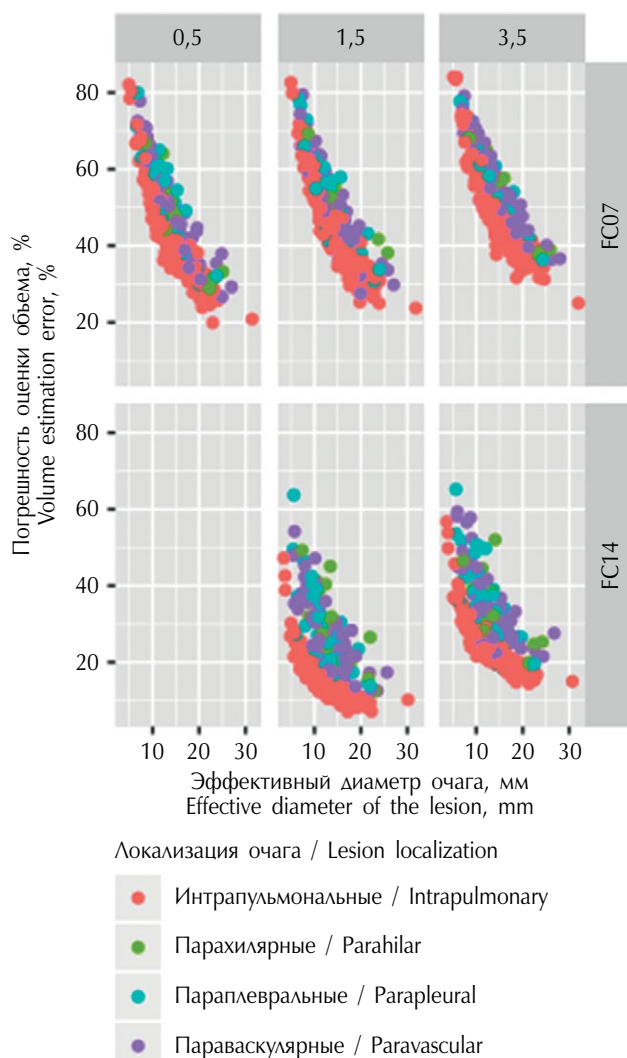
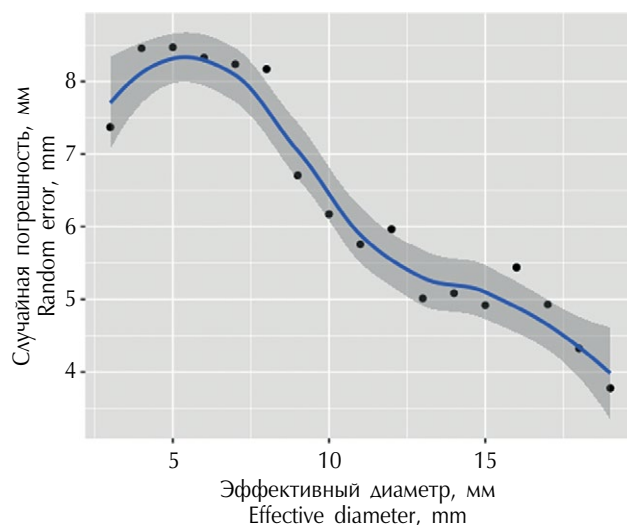
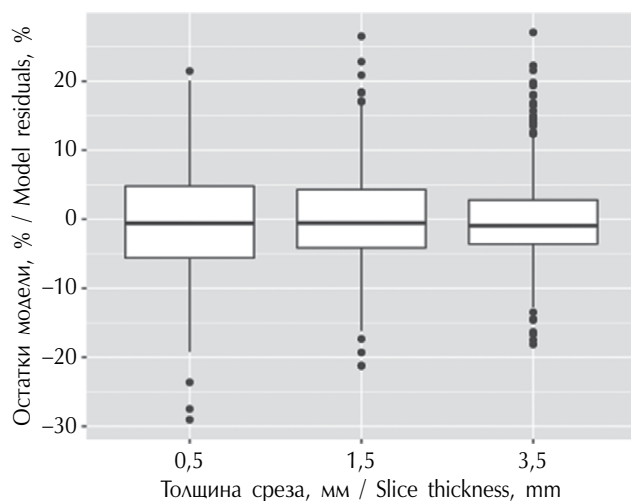


Рис. 1. График зависимости систематической погрешности оценки объема от эффективного диаметра очага, кернеля реконструкции и локализации очага

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





**Рис. 3.** График зависимости случайной погрешности оценки объема от толщины среза

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

Все коэффициенты модели были статистически значимы ( $p < 0,001$ ). Коэффициент детерминации модели составил 0,85, стандартная ошибка модели — 6,7 %.

Выявлена связь между стандартным отклонением остатков модели (случайной погрешностью), диаметром очага, толщиной среза и ядром реконструкции (рис. 2).

Случайная погрешность при диаметре 6 мм, толщине среза 1 мм и ядре FC14 составляет 6,84 мм. Она не изменяется при уменьшении диаметра и снижается на 0,09 мм при увеличении диаметра на 1 мм.

При увеличении толщины среза отмечается уменьшение стандартного отклонения остатков модели (рис. 3).

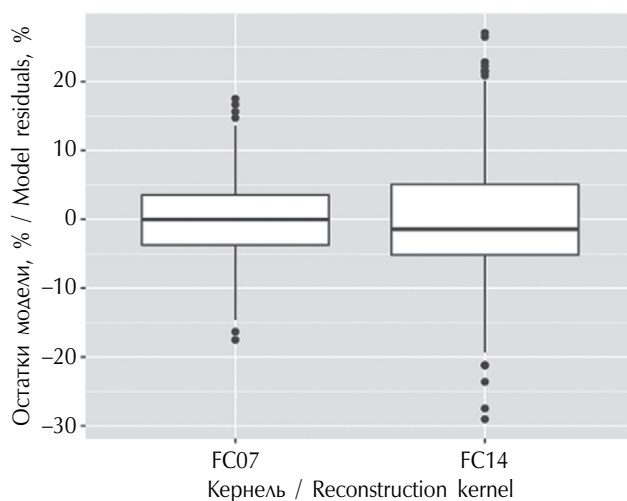
Случайная погрешность оценки объема снижается на 0,5 % при увеличении толщины среза на каждый миллиметр.

При применении ядра реконструкции FC07 случайная погрешность уменьшается на 2,5 % (рис. 4).

### Обсуждение

Анализ размеров патологических образований — ключевой этап оценки результатов лечения и особенно важен для разработки протоколов лечения. Определение погрешности измерений размеров имеет большое значение для формирования уверенности в достоверности полученных данных.

Важным является определение разных компонент этой погрешности: систематической



**Рис. 4.** График зависимости случайной погрешности оценки объема от ядра реконструкции

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

и случайной. Случайная погрешность измерений напрямую определяет пороговые значения динамики размеров, ниже которого невозможно отличить реальную динамику размеров от ошибки измерения.

Динамика, выходящая за пределы случайной ошибки измерения, также не всегда говорит о том, что удалось оценить реальное изменение этих размеров, так как существует вероятность, что при измерении была разная систематическая погрешность. В этих случаях кажущаяся динамика размеров может быть связана с разной систематической погрешностью оценки объемов очагов.

Погрешности измерений зависят от размеров очага [4, 9], площади контакта с другими мягкоткаными структурами и параметрами сканирования. В предлагаемой нами модели возможно прогнозировать как систематический, так и случайный компонент погрешности измерений. Это позволяет применять ее при сопоставлении изображений, выполненных с разными параметрами реконструкции.

Например, согласно нашим данным, применение ядра FC07 при оценке объема очага диаметром 10 мм сопряжено с увеличением систематической погрешности на 26 % и случайной на 7 %. Если в ходе динамического наблюдения первые изображения получены с применением FC14, а вторые с FC07, объем очага должен увеличиться не меньше чем на  $26 + 7 = 33$  %, чтобы зарегистрированные изменения можно было принимать как достоверное увеличение. Если же измеренная разница



составляет менее  $26 - 7 = 19$  %, значит, очаг не увеличился, а уменьшился.

Получаемые с помощью модели оценки соответствуют экспериментальным результатам Wormanns et al. [7] и Gietema et al. [8]. В обоих исследованиях пациенты с малыми метастазами в легкие были обследованы дважды за один и тот же день. Все другие факторы не менялись. И в том и в другом случае были отмечены похожие 95 % доверительные интервалы очагов диаметром до 10 мм, составляющие около  $\pm 25$  %.

Исследования на фантоме показали, что стандартное отклонение измерений составляет 4–28 % в зависимости от диаметра очага [3].

## Выводы

Таким образом, систематическая погрешность зависит от диаметра очага, толщины среза и зерна реконструкции. Она может быть оценена с ошибкой 6 % с помощью предлагаемой модели. Случайная погрешность преимущественно зависит от диаметра очага.

## Литература

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>.

♦ Адрес автора для переписки (*Information about the author*)

Заур Амирсултанович Альдеров / Zaur A. Alderov  
<https://orcid.org/0000-0002-6255-1583>  
 E-mail: zaurzz@rambler.ru