

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)  
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-107-113>

## Возможности применения модель-базированных итеративных реконструкций при компьютерной томографии легких

© **Силин А.Ю.<sup>1,2\*</sup>, Груздев И.С.<sup>3</sup>, Беркович Г.В.<sup>4</sup>, Николаев А.Е.<sup>2</sup>, Морозов С.П.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ООО “Клинический госпиталь на Яузе”; 111033 Москва, Волочаевская ул., 15, к. 1, Российская Федерация

<sup>2</sup> ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы”; 125124 Москва, ул. Расковой, д. 16/26, стр. 1, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБУ “НМИЦ хирургии имени А.В. Вишневского” Минздрава России; 117997 Москва, ул. Большая Серпуховская, д. 27, Российская Федерация

<sup>4</sup> ФГБУ “НМИЦ имени В.А. Алмазова” Минздрава России; 197341 Санкт-Петербург, ул. Акkuratова, д. 2, Российская Федерация

**Цель исследования:** литературный обзор возможностей применения модельной итеративной реконструкции (МИР) при компьютерной томографии (КТ) для улучшения качества изображения, в том числе при низкодозовых протоколах сканирования.

**Материал и методы.** Проведен анализ публикаций, посвященных применению МИР для снижения дозы облучения и улучшения качества изображений при КТ-диагностике патологии легких с акцентом на значение достигнутой дозы облучения.

**Результаты.** Применение МИР позволяет устранять цифровой шум с медицинских изображений, улучшая их качество. Это свойство позволяет значительно снижать лучевую нагрузку при низкодозовых протоколах без потери диагностического качества. В среднем использование МИР позволяет снизить дозу облучения на 70% по сравнению со стандартным протоколом, не повышая шумность КТ-изображений и сохраняя соотношение контраст/шум. Предыдущие исследования показали положительный опыт использования МИР в программах скрининга рака легкого и мониторинге онкологических пациентов.

**Заключение.** Внедрение МИР в клиническую практику может оптимизировать лучевую нагрузку на популяцию, не снижая качество КТ-изображений, однако пороговые значения дозы облучения для достижения удовлетворительного качества изображения остаются неизученными.

**Ключевые слова:** модельная итеративная реконструкция, низкодозовая компьютерная томография, грудная клетка

**Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.**

**Для цитирования:** Силин А.Ю., Груздев И.С., Беркович Г.В., Николаев А.Е., Морозов С.П. Возможности применения модель-базированных итеративных реконструкций при компьютерной томографии легких. *Медицинская визуализация*. 2020; 24 (3): 107–113. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-107-113>

**Поступила в редакцию:** 07.06.2020. **Принята к печати:** 22.06.2020. **Опубликована online:** 30.09.2020.

## Possibilities of applying model-based iterative reconstructions in computed tomography of the lungs

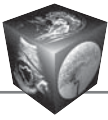
© **Anton Yu. Silin<sup>1,2\*</sup>, Ivan S. Gruzdev<sup>3</sup>, Gleb V. Berkovich<sup>4</sup>, Aleksandr E. Nikolaev<sup>2</sup>, Sergey P. Morozov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Clinical hospital on Yauza; 15-1, Volochaevskaya str., Moscow, 111033, Russian Federation

<sup>2</sup> Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow; 16-26-1, Raskovoy str., Moscow, 125124, Russian Federation

<sup>3</sup> A.V. Vishnevsky National Medical Research Center of Surgery; 27, Bol'shaya Serpukhovskaia str., Moscow, 117997, Russian Federation

<sup>4</sup> Almazov National Medical Research Centre; 2, Akkuratova str., St. Petersburg, 197341, Russian Federation



**Aim:** A literature review of the possibilities of applying model iterative reconstruction (MIR) in computed tomography to improve image quality, including in low-dose scanning protocols.

**Materials and methods.** The analysis of publications devoted to the application of MIR to reduce the radiation dose and improve the quality of images in CT diagnostics of lung pathology with an emphasis on the value of the achieved radiation dose was carried out.

**Results.** The use of MIR eliminates digital noise from medical images, improving their quality. This feature can significantly reduce radiation exposure with low-dose protocols without loss of diagnostic quality. On average, application of MIR allows to reduce the radiation dose by 70% compared to a standard protocol, without increasing the noise level of CT images and maintaining the contrast-to-noise ratio. Previous studies have shown positive experience with the use of MIR in lung cancer screening programs and monitoring of cancer patients.

**Conclusion.** The introduction of MIR in clinical practice can optimize the radiation exposure on the population without reducing the quality of CT images, however, the threshold dose to achieve a satisfactory image quality remains unexplored.

**Keywords:** model-based iterative reconstruction, low dose computed tomography, chest

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

**For citation:** Silin A.Yu., Gruzdev I.S., Berkovich G.B., Nikolaev A.E., Morozov S.P. Possibilities of applying model-based iterative reconstructions in computed tomography of the lungs. *Medical Visualization*. 2020; 24 (3): 107–113. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-2020-3-107-113>

**Received:** 07.06.2020.

**Accepted for publication:** 22.06.2020.

**Published online:** 30.09.2020.

## Введение

В России по данным Фонда независимого мониторинга “Здоровье” в 2014 г. было выполнено 6,2 млн исследований, а в 2015 г. уже 7,2 млн. При этом средняя доза при КТ (в зависимости от аппарата) на одно сканирование составляет 15 мЗв для взрослых и 30 мЗв для новорожденных. Результаты доступных исследований о наличии связи с проведенной КТ и возникновением онкологических заболеваний противоречивы и требуют дополнительного изучения. Однако есть данные, что в популяции Австралии, подвергшейся проведению КТ-исследования, частота возникновения рака на 24% выше, чем в популяции, не проходившей КТ-сканирование [1]. В связи с этим снижение лучевой нагрузки при КТ-исследованиях стало одним из ключевых вопросов в снижении онкологических рисков в популяции.

Существенным вкладом в снижение лучевой нагрузки на популяцию стала разработка новых алгоритмов реконструкции КТ-изображений. Алгоритм итеративной реконструкции был представлен в 2009 г. вместо существовавшего ранее алгоритма обратного проецирования взвешенных фильтрованных проекций (filtered back projection – FBP).

Использование метода итеративных реконструкций позволяет улучшить качество изображения и снизить уровень шума по сравнению с FBP и как следствие позволяет получить изображение с тем же качеством при уменьшенной дозе облучения.

Итеративная реконструкция (от англ. iterative – повторяющийся) повторяет реконструкцию несколько раз для лучшей оценки математических

допущений, что позволяет получить изображения с более низким шумом [2]. Конечной целью всех итеративных реконструкций является выделение шума и получение изображения, максимально приближенного к реальному объекту, следствием чего является возможность снижения дозы при КТ-исследовании. Надо понимать, что сама итеративная реконструкция не снижает лучевую нагрузку, а позволяет сохранить качество изображения при более низких значениях дозы [3].

Основным преимуществом модельных итеративных реконструкций (МИР) является возможность снижения дозы облучения при сохранении и даже повышении качества изображения по сравнению с FBP [4]. Опубликованы данные о возможности снижения дозы в среднем на 65–70% от стандартной, а в некоторых исследованиях на 90% [5, 6] и более с сохранением диагностического качества изображения. Например, A. Neroladaki и соавт. [6] практически сравняли ультранизкодозовую КТ с рентгенографией органов грудной клетки в двух проекциях.

В большинстве исследований было установлено повышение объективного качества изображения при использовании МИР по сравнению с FBP, подтверждено снижение шума в изображениях на 60–90% и повышение соотношения контраст/шум в 3–6 раз [4, 6, 7]. Аналогичные результаты получены и в российских публикациях, посвященных итеративным реконструкциям последнего поколения [8].

## МИР при КТ легких

Учитывая, что обследование органов грудной клетки является одним из наиболее часто приме-



няемых методов КТ-сканирования, изучение возможности оптимизации лучевой нагрузки при данном обследовании представляется крайне перспективным.

Применение МИР открывает возможности для разработки новых низкодозовых протоколов сканирования. Особенно актуальным это является для России, где согласно СанПиН суммарная лучевая нагрузка профилактических исследований не должна превышать 1 мЗв в год. Такое ограничение получаемой лучевой нагрузки существенно ограничивает применение низкодозовых протоколов, особенно у пациентов с высоким индексом массы тела (ИМТ), за счет необходимости повышать силу тока на рентгеновской трубке. Однако МИР является наименее чувствительной к появлению шума при снижении силы тока на трубке [7].

После появления технологии МИР многие исследователи заинтересовались возможностями получения лучевой нагрузки при КТ органов грудной клетки менее 1 мЗв, что может практически приравнять КТ к рентгенографии органов грудной клетки в двух проекциях. Опубликовано большое количество данных об использовании МИР при субмиллизивертовой КТ органов грудной клетки с лучевой нагрузкой менее 0,4 мЗв. Использование МИР позволяет выявить столько же солидных очагов при УНДКТ с лучевой нагрузкой 0,16 мЗв, как и при НДКТ с нагрузкой более 1 мЗв [6]. А. Padole и соавт. [9] при УНДКТ с дозой 0,4 мЗв выявили 97% некальцинированных легочных очагов, обнаруженных при референсной КТ с лучевой нагрузкой 4 мЗв. Все невыявленные очаги были средним диаметром менее 4 мм.

Диагностическое качество изображения при УНДКТ достигалось практически для всех типов легочной патологии. Исключение составляли изменения со сниженной плотностью (эмфизема или воздушные ловушки) и очаговые изменения по типу “матового стекла” менее 4 мм. Только 60% изменений со сниженной плотностью было диагностировано, большинство не визуализируемых патологий располагалось в верхних отделах легких [10]. Аналогичные данные о худшей визуализации эмфиземы и очагов по типу “матового стекла” опубликованы и в других исследованиях [6, 11]. Y.H. Ju [12] в своем исследовании у пациентов со средним ИМТ = 27 и лучевой нагрузкой 0,4 мЗв отмечают, что УНДКТ позволяет выявить очаговые изменения по типу “матового стекла”, но рекомендуют выполнение контрольной (follow-up) КТ со стандартной дозой для дифференциальной диагностики. Однако сразу две независимые группы ученых показали 100% диагностическое качество при КТ легких с применением МИР и лучевой на-

грузкой 0,7–1 мЗв, что также укладывается в требования российских СанПиН [13, 14].

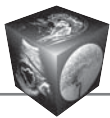
Также большое количество статей посвящено изучению влияния МИР на количественные измерения при КТ легких. Большинство исследователей соглашаются, что использование МИР обеспечивает наиболее точное измерение дыхательных путей [15–18]. Y. Jia и соавт. [17] отмечали возможность измерения более мелких бронхов, лучшую продолжительность и полноценность бронхиальных стенок, меньшую вариабельность результатов при КТ легких с дозой менее 1 мЗв по сравнению со стандартной КТ и использованием итеративных реконструкций второго поколения. Аналогичные результаты были получены D. Gomez-Cardona и соавт. при измерениях на фантоме дыхательных путей [19]. Использование модифицированных STELLAR-детекторов и МИР при лучевой дозе 0,75 мГр позволило получить результаты измерений с минимальной разницей по сравнению со стандартной КТ [20]. В публикациях за 2018 г. отмечают, что использование МИР обеспечивает наилучшее измерение объема эмфиземы и площади стенок бронхов [18], а также наилучшую корреляцию результатов между НДКТ и КТ со стандартной дозой [16].

Остаются неясными возможности применения низкодозовых протоколов у пациентов с ИМТ > 25 кг/м<sup>2</sup>, а также лучевая нагрузка, при которой возможна качественная оценка изменений с низкой плотностью, например эмфизематозного вздутия.

Как видно из анализа данных литературы, основной акцент использования итеративных модельных при КТ органов грудной клетки направлен на выявление очаговых образований легких, при этом визуализации другой легочной патологии посвящается лимитированное количество публикаций.

M. Katsura и соавт. [21] оценивали применение МИР при КТ высокого разрешения (ВРКТ) при интерстициальных заболеваниях легких. Использование МИР обеспечило снижение шумности изображения на 60%, уменьшение количества streak-артефактов и повышение пространственного разрешения изображения. В отличие от A. Laqmani [11] при стандартной дозе визуализация нормальных легочных структур не снижалась. Некоторая “пластилиновость” изображения также не влияла на диагностическое качество исследования. Использование МИР обеспечивает ВРКТ-изображения лучшего качества, чем использование предыдущих поколений реконструкции КТ-данных.

Пациенты со злокачественными новообразованиями после проведенного лечения вынуждены



проходить КТ 2–3 раза в год для оценки ответа опухоли на лечение. Таким образом, они рискуют получить суммарную дозу облучения более 50 мЗв в год. В связи с этим являются перспективными разработка низкодозовых протоколов мониторинга онкологических пациентов и изучение возможности применения МИР.

В исследовании С. de Margerie-Mellon [22] использование МИР при УНДКТ с дозой облучения 0,22 мЗв позволило выявить всю патологию, ранее выявленную при стандартной КТ органов грудной клетки у пациентов с гематологическими злокачественными опухолями и известной патологией легких. Исследователи отмечали лучшую визуализацию очагов по типу “матового стекла” и эмфиземы при использовании МИР благодаря уменьшению окружающего шума и количества streak-артефактов. При этом визуализация патологии и диагностическая уверенность рентгенологов были значительно выше при использовании МИР.

L.N. Morimoto и соавт. [5] использовали МИР и НДКТ для мониторинга пациентов с онкологическими заболеваниями и получили более четкую визуализацию контуров образований и воспроизводимые по сравнению со стандартной КТ данные о размерах целевых очагов.

Х. Хин и соавт. [23] отобрали 47 пациентов с диагностированным злокачественным заболеванием (рак легкого, рак печени, рак желудка, колоректальный рак, рак молочной железы и рак шейки матки), которым проводилось лечение в виде оперативного вмешательства или химиотерапии. Пациентам в качестве мониторинга дважды с периодом менее 6 мес выполнялась КТ органов грудной клетки и брюшной полости с внутривенным болюсным контрастированием. Первое сканирование выполнялось по стандартному протоколу с последующей реконструкцией изображений с помощью FBP. Средняя лучевая нагрузка составила 27 мЗв. Повторное сканирование выполнялось по низкодозовому протоколу с последующей реконструкцией с помощью алгоритмов FBP и МИР. Средняя лучевая нагрузка была снижена практически на 55% и составила 12 мЗв. Два рентгенолога с опытом работы, проводившие сравнение между двумя методами реконструкции, отметили более низкий шум, более высокое соотношение сигнал/шум, субъективное качество у изображений, реконструированных с помощью МИР. При этом все изменения, выявленные при референсной КТ, были выявлены при использовании МИР, в то время как 2 образования диаметром до 3 мм в почке и надпочечнике были пропущены при FBP-реконструированных изображениях, что

указывает на превышающее диагностическое качество последнего поколения реконструкции данных.

## Заключение

Учитывая большое количество научных работ по оценке отдельных примеров легочной патологии, представляется перспективным изучение возможностей применения МИР при КТ легких в условиях первичного звена здравоохранения, что может не только повысить диагностическое качество исследований, но и существенно оптимизировать лучевую нагрузку на популяцию. До сих пор не проведена оценка качества КТ органов грудной клетки при применении МИР в зависимости от ИМТ. В большинстве исследований средний ИМТ пациентов не превышал 25, а пациентов с ИМТ более 30 было не более 8 человек. Остаются неизвестными пороговые значения лучевой нагрузки в зависимости от массы тела пациента для выявления не только легочных очагов, но и другой патологии, которая встречается в условиях первичного звена здравоохранения.

## Участие авторов

Силян А.Ю. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста, ответственность за целостность всех частей статьи, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

Груздев И.С. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, подготовка, создание опубликованной работы, утверждение окончательного варианта статьи.

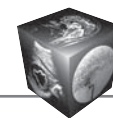
Беркович Г.В. – анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, участие в научном дизайне.

Николаев А.Е. – сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста.

Морозов С.П. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

## Authors' participation

Silin A.Yu. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, responsibility for the integrity of all parts of the article, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.



Gruzdev I.S. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, preparation and creation of the published work, approval of the final version of the article.

Berkovich G.V. – analysis and interpretation of the obtained data, writing text, participation in scientific design.

Nikolaev A.E. – collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, writing text.

Morozov S.P. – concept and design of the study, analysis and interpretation of the obtained data, writing text, text preparation and editing, participation in scientific design, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

### Список литературы

- Mathews J.D., Forsythe A.V., Brady Z., Butler M.W., Goergen S.K., Byrnes G.B., Giles G.G., Wallace A.B., Anderson P.R., Guiver T.A., McGale P., Cain T.M., Dowty J.G., Bickerstaffe A.C., Darby S.C. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *Br. Med. J.* 2013; f2360. <https://doi.org/10.1136/bmj.f2360>
- Padole A., Ali Khawaja R.D., Kalra M.K., Singh S. CT radiation dose and iterative reconstruction techniques. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 204 (4): W384–W392. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13241>
- Mayo-Smith W.W., Hara A.K., Mahesh M., Sahani D.V., Pavlicek W. How I do it: managing radiation dose in CT. *Radiology.* 2014; 273 (3): 657–672. <https://doi.org/10.1148/radiol.14132328>
- Aurumskjold M.L., Ydstrom K., Tingberg A., Soderberg M. Model-based iterative reconstruction enables the evaluation of thin-slice computed tomography images without degrading image quality or increasing radiation dose. *Radiation Protection Dosimetry.* 2016; 169 (1–4): 100–106. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv474>
- Morimoto L.N., Kamaya A., Boulay-Coletta I., Fleischmann D., Molvin L., Tian L., Fisher G., Wang J., Willmann J.K. Reduced dose CT with model-based iterative reconstruction compared to standard dose CT of the chest, abdomen, and pelvis in oncology patients: intra-individual comparison study on image quality and lesion conspicuity. *Abdom. Radiol.* 2017; 42 (9): 2279–2288. <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1140-5>
- Neroladaki A., Botsikas D., Boudabbous S., Becker C.D., Montet X. Computed tomography of the chest with model-based iterative reconstruction using a radiation exposure similar to chest X-ray examination: preliminary observations. *Eur. Radiol.* 2013; 23 (2): 360–366. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2627-7>
- Mehta D., Thompson R., Morton T., Dhanantwari A., Shefer E. Iterative model reconstruction: simultaneously lowered computed tomography radiation dose and improved image quality. *Med. Phys. Int. J.* 2013; 2 (1): 147–155.
- Беркович Г.В. Оценка параметров качества КТ-изображений, полученных с использованием различных поколений алгоритмов реконструкций. *Лучевая диагностика и терапия.* 2017; (3): 109–110.
- Padole A., Digumarthy S., Flores E., Madan R., Mishra S., Sharma A., Kalra M.K. Assessment of chest CT at CT DIvol less than 1 mGy with iterative reconstruction techniques. *Br. J. Radiol.* 2017; 90 (1071): 20160625. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160625>
- Lee S.W., Kim Y., Shim S.S., Lee J.K., Lee S.J., Ryu Y.J., Chang J.H. Image quality assessment of ultra low-dose chest CT using sinogram-affirmed iterative reconstruction. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (4): 817–826. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3090-9>
- Laqmani A., Avanesov M., Butscheidt S., Kurfurst M., Sehner S., Schmidt-Holtz J., Derlin T., Behzadi C., Nagel H.D., Adam G., Regier M. Comparison of image quality and visibility of normal and abnormal findings at sub-millisievert chest CT using filtered back projection, iterative model reconstruction (IMR) and iDose4™. *Eur. J. Radiol.* 2016; 85 (11): 1971–1979. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.09.001>
- Ju Y.H., Lee G., Lee J.W., Hong S.B., Suh Y.J., Jeong Y.J. Ultra-low-dose lung screening CT with model-based iterative reconstruction: an assessment of image quality and lesion conspicuity. *Acta Radiol.* 2018; 59 (5): 553–559. <https://doi.org/10.1177%2F0284185117726099>
- Baumueeller S., Winklehner A., Karlo C., Goetti R., Flohr T., Russi E.W., Frauenfelder T., Alkadhi H. Low-dose CT of the lung: potential value of iterative reconstructions. *Eur. Radiol.* 2012; 22 (12): 2597–2606. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2524-0>
- Kim Y., Kim Y.K., Lee B.E., Lee S.J., Ryu Y.J., Lee J.H., Chang J.H. Ultra-low-dose CT of the thorax using iterative reconstruction: evaluation of image quality and radiation dose reduction. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 204 (6): 1197–1202. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13629>
- Hammond E., Sloan C., Newell J.D. Jr., Sieren J.P., Saylor M., Vidal C., Hogue S., de Stefano F., Sieren A., Hoffman E.A., Sieren J.C. Comparison of low- and ultra-low-dose computed tomography protocols for quantitative lung and airway assessment. *Med. Phys.* 2017; 44 (9): 4747–4757. <https://doi.org/10.1002/mp.12436>
- Hata A., Yanagawa M., Kikuchi N., Honda O., Tomiyama N. Pulmonary Emphysema Quantification on Ultra-Low-Dose Computed Tomography Using Model-Based Iterative Reconstruction With or Without Lung Setting. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2018; 42 (5): 760–766. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000755>
- Jia Y., Ji X., He T., Yu Y., Yu N., Duan H., Guo Y. Quantitative Analysis of Airway Tree in Low-dose Chest CT with a New Model-based Iterative Reconstruction Algorithm: Comparison to Adaptive Statistical Iterative Reconstruction in Routine-dose CT. *Acad. Radiol.* 2018; 25 (12): 1526–1532. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.03.021>
- Kim C., Lee K.Y., Shin C., Kang E.Y., Oh Y.W., Ha M., Ko C.S., Cha, J. Comparison of filtered back projection, hybrid iterative reconstruction, model-based iterative reconstruction, and virtual monoenergetic reconstruction images at both low-and standard-dose settings in measurement of emphysema volume and airway wall thickness: a CT phantom study. *Korean J. Radiol.* 2018; 19(4):809–817. <https://doi.org/10.3348/kjr.2018.19.4.809>
- Gomez-Cardona D., Nagle S.K., Li K., Robinson T.E., Chen G.H. Influence of radiation dose and reconstruction algorithm in MDCT assessment of airway wall thickness: A phantom study. *Med. Phys.* 2015; 42 (10): 5919–5927. <https://doi.org/10.1118/1.4930797>



20. Hammond E., Chan K.S., Ames J.C., Stoyles N., Sloan C.M., Guo J., Newell J.D. Jr., Sieren J.C. Impact of advanced detector technology and iterative reconstruction on low-dose quantitative assessment of lung computed tomography density in a biological lung model. *Med. Phys.* 2018; 45(8): 3657–3670. <https://doi.org/10.1002/mp.13057>
21. Katsura M., Sato J., Akahane M., Mise Y., Sumida K., Abe O. Effects of pure and hybrid iterative reconstruction algorithms on high-resolution computed tomography in the evaluation of interstitial lung disease. *Eur. J. Radiol.* 2017; 93: 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.06.003>
22. de Margerie-Mellon C., de Bazelaire C., Montlahuc C., Lambert J., Martineau A., Coulon P., de Kerviler E., Beigelman C. Reducing radiation dose at chest CT: comparison among model-based type iterative reconstruction, hybrid iterative reconstruction, and filtered back projection. *Acad. Radiol.* 2016; 23(10): 1246–1254. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.05.019>
23. Xin X., Shen J., Yang S., Liu S., Hu A., Zhu B., Jiang Y., Li B., Zhang B. Improved image quality of low-dose CT combining with iterative model reconstruction algorithm for response assessment in patients after treatment of malignant tumor. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2018; 8 (7): 648. <https://dx.doi.org/10.21037/qims.2018.08.05>
7. Mehta D., Thompson R., Morton T., Dhanantwari A., Shefer E. Iterative model reconstruction: simultaneously lowered computed tomography radiation dose and improved image quality. *Med. Phys. Int. J.* 2013; 2 (1): 147–155.
8. Berkovich G.V. Estimating of CT image quality with different generations of image reconstructions. *Lučevaya diagnostika i terapiya.* 2017; 3: 109–110. (In Russian)
9. Padole A., Digumarthy S., Flores E., Madan R., Mishra S., Sharma A., Kalra M.K. Assessment of chest CT at CTDIvol less than 1 mGy with iterative reconstruction techniques. *Br. J. Radiol.* 2017; 90 (1071): 20160625. <https://doi.org/10.1259/bjr.20160625>
10. Lee S.W., Kim Y., Shim S.S., Lee J.K., Lee S.J., Ryu Y.J., Chang J.H. Image quality assessment of ultra low-dose chest CT using sinogram-affirmed iterative reconstruction. *Eur. Radiol.* 2014; 24 (4): 817–826. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3090-9>
11. Laqmani A., Avanesov M., Butscheidt S., Kurfurst M., Sehner S., Schmidt-Holtz J., Derlin T., Behzadi C., Nagel H.D., Adam G., Regier M. Comparison of image quality and visibility of normal and abnormal findings at sub-millisievert chest CT using filtered back projection, iterative model reconstruction (IMR) and iDose4™. *Eur. J. Radiol.* 2016; 85 (11): 1971–1979. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.09.001>
12. Ju Y.H., Lee G., Lee J.W., Hong S.B., Suh Y.J., Jeong Y.J. Ultra-low-dose lung screening CT with model-based iterative reconstruction: an assessment of image quality and lesion conspicuity. *Acta Radiol.* 2018; 59 (5): 553–559. <https://doi.org/10.1177%2F0284185117726099>
13. Baumueller S., Winklehner A., Karlo C., Goetti R., Flohr T., Russi E.W., Frauenfelder T., Alkadhi H. Low-dose CT of the lung: potential value of iterative reconstructions. *Eur. Radiol.* 2012; 22 (12): 2597–2606. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2524-0>
14. Kim Y., Kim Y.K., Lee B.E., Lee S.J., Ryu Y.J., Lee J.H., Chang J.H. Ultra-low-dose CT of the thorax using iterative reconstruction: evaluation of image quality and radiation dose reduction. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 204 (6): 1197–1202. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13629>
15. Hammond E., Sloan C., Newell J.D. Jr., Sieren J.P., Saylor M., Vidal C., Hogue S., de Stefano F., Sieren A., Hoffman E.A., Sieren J.C. Comparison of low- and ultra-low-dose computed tomography protocols for quantitative lung and airway assessment. *Med. Phys.* 2017; 44 (9): 4747–4757. <https://doi.org/10.1002/mp.12436>
16. Hata A., Yanagawa M., Kikuchi N., Honda O., Tomiyama N. Pulmonary Emphysema Quantification on Ultra-Low-Dose Computed Tomography Using Model-Based Iterative Reconstruction With or Without Lung Setting. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2018; 42 (5): 760–766. <https://doi.org/10.1097/RCT.0000000000000755>
17. Jia Y., Ji X., He T., Yu Y., Yu N., Duan H., Guo Y. Quantitative Analysis of Airway Tree in Low-dose Chest CT with a New Model-based Iterative Reconstruction Algorithm: Comparison to Adaptive Statistical Iterative Reconstruction in Routine-dose CT. *Acad. Radiol.* 2018; 25 (12): 1526–1532. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.03.021>
18. Kim C., Lee K.Y., Shin C., Kang E.Y., Oh Y.W., Ha M., Ko C.S., Cha, J. Comparison of filtered back projection, hybrid iterative reconstruction, model-based iterative reconstruction, and virtual monoenergetic reconstruction images at both low-and standard-dose settings in

## References

1. Mathews J.D., Forsythe A.V., Brady Z., Butler M.W., Goergen S.K., Byrnes G.B., Giles G.G., Wallace A.B., Anderson P.R., Guiver T.A., McGale P., Cain T.M., Dowty J.G., Bickerstaffe A.C., Darby S.C. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *Br. Med. J.* 2013; f2360. <https://doi.org/10.1136/bmj.f2360>
2. Padole A., Ali Khawaja R.D., Kalra M.K., Singh S. CT radiation dose and iterative reconstruction techniques. *Am. J. Roentgenol.* 2015; 204 (4): W384–W392. <https://doi.org/10.2214/AJR.14.13241>
3. Mayo-Smith W.W., Hara A.K., Mahesh M., Sahani D.V., Pavlicek W. How I do it: managing radiation dose in CT. *Radiology.* 2014; 273 (3): 657–672. <https://doi.org/10.1148/radiol.14132328>
4. Aurumskjold M.L., Ydstrom K., Tingberg A., Soderberg M. Model-based iterative reconstruction enables the evaluation of thin-slice computed tomography images without degrading image quality or increasing radiation dose. *Radiation Protection Dosimetry.* 2016; 169 (1–4): 100–106. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncv474>
5. Morimoto L.N., Kamaya A., Boulay-Coletta I., Fleischmann D., Molvin L., Tian L., Fisher G., Wang J., Willmann J.K. Reduced dose CT with model-based iterative reconstruction compared to standard dose CT of the chest, abdomen, and pelvis in oncology patients: intra-individual comparison study on image quality and lesion conspicuity. *Abdom. Radiol.* 2017; 42 (9): 2279–2288. <https://doi.org/10.1007/s00261-017-1140-5>
6. Neroladaki A., Botsikas D., Boudabbous S., Becker C.D., Montet X. Computed tomography of the chest with model-based iterative reconstruction using a radiation exposure similar to chest X-ray examination: preliminary observations. *Eur. Radiol.* 2013; 23 (2): 360–366. <https://doi.org/10.1007/s00330-012-2627-7>



- measurement of emphysema volume and airway wall thickness: a CT phantom study. *Korean J. Radiol.* 2018; 19(4):809–817. <https://doi.org/10.3348/kjr.2018.19.4.809>
19. Gomez-Cardona D., Nagle S.K., Li K., Robinson T.E., Chen G.H. Influence of radiation dose and reconstruction algorithm in MDCT assessment of airway wall thickness: A phantom study. *Med. Phys.* 2015; 42 (10): 5919–5927. <https://doi.org/10.1118/1.4930797>
  20. Hammond E., Chan K.S., Ames J.C., Stoyles N., Sloan C.M., Guo J., Newell J.D. Jr., Sieren J.C. Impact of advanced detector technology and iterative reconstruction on low-dose quantitative assessment of lung computed tomography density in a biological lung model. *Med. Phys.* 2018; 45(8): 3657–3670. <https://doi.org/10.1002/mp.13057>
  21. Katsura M., Sato J., Akahane M., Mise Y., Sumida K., Abe O. Effects of pure and hybrid iterative reconstruction algorithms on high-resolution computed tomography in the evaluation of interstitial lung disease. *Eur. J. Radiol.* 2017; 93: 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.06.003>
  22. de Margerie-Mellon C., de Bazelaire C., Montlahuc C., Lambert J., Martineau A., Coulon P., de Kerviler E., Beigelman C. Reducing radiation dose at chest CT: comparison among model-based type iterative reconstruction, hybrid iterative reconstruction, and filtered back projection. *Acad. Radiol.* 2016; 23(10): 1246–1254. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.05.019>
  23. Xin X., Shen J., Yang S., Liu S., Hu A., Zhu B., Jiang Y., Li B., Zhang B. Improved image quality of low-dose CT combining model reconstruction algorithm for response assessment in patients after treatment of malignant tumor. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2018; 8 (7): 648. <https://dx.doi.org/10.21037/qims.2018.08.05>

**Для корреспонденции\***: Силин Антон Юрьевич – 111033 Москва, ул. Волочаевская, д. 15, к. 1. Тел.: +7-926-932-70-98. E-mail: [silin@yamed.ru](mailto:silin@yamed.ru)

**Силин Антон Юрьевич** – врач-рентгенолог высшей квалификационной категории, руководитель отделения лучевой диагностики ООО “Клинический госпиталь на Яузе”; научный сотрудник ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4952-2347>

**Груздев Иван Сергеевич** – аспирант отделения рентгенологии и магнитно-резонансных методов исследования ФГБУ “НМИЦ хирургии имени А.В. Вишневского” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>

**Беркович Глеб Владимирович** – заведующий кабинетом рентгеновской компьютерной томографии ФГБУ “НМИЦ имени В.А. Алмазова” Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-7077-7320>

**Николаев Александр Евгеньевич** – младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>

**Морозов Сергей Павлович** – доктор медицинских наук, профессор, директор ГБУЗ “Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ”, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>

**Contact\***: Anton Yu. Silin – 15-1 Volochaevskaya str., Moscow, 111033, Russian Federation. Phone: +7-926-932-70-98. E-mail: [silin@yamed.ru](mailto:silin@yamed.ru)

**Anton Yu. Silin** – Radiologist of the Highest Qualification Category, Head of Radiology Department, Clinical hospital on Yauza, Researcher, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4952-2347>

**Ivan S. Gruzdev** – graduate student of Radiology Department, A.V. Vishnevsky National Medical Research Centre of Surgery, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-0781-9898>

**Gleb V. Berkovich** – Head of the CT office, Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-7077-7320>

**Aleksandr E. Nikolaev** – junior researcher of Department of Radiology Quality Development, Moscow Center for Diagnostics and Telemedicine, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5151-4579>

**Sergey P. Morozov** – Medical doctor, Professor, Director, Research and Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Department of Health Care of Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>