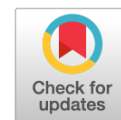


DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении компьютерной томографии для оценки изменений в лёгких, характерных для COVID-19: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции

Д.А. Филатова, В.Е. Сеницын, Е.А. Мершина

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Большинство пациентов с COVID-19 во время госпитализации проходит многократные визуализационные обследования, кумулятивный эффект которых может значительно увеличивать общую дозу полученного облучения. Эффективная доза облучения может быть снижена за счёт уменьшения тока и напряжения рентгеновской трубки, что, однако, снижает качество изображения. Возможным решением этой проблемы может стать внедрение технологии адаптивной статистической итерационной реконструкции «сырых данных» компьютерной томографии (КТ) — Adaptive Statistical Iterative Reconstruction (ASIR). В последнее время в литературе появились сведения об эффективности низкодозной КТ (НДКТ) в диагностике COVID-19.

Цель — анализ качества и диагностической ценности НДКТ-изображений лёгких после применения итеративного алгоритма обработки; оценка возможности снижения лучевой нагрузки на пациента при диагностике COVID-19.

Материал и методы. В проспективном исследовании приняли участие пациенты, проходившие стационарное лечение в инфекционном отделении МНОЦ МГУ им. М.В. Ломоносова. Исследования КТ выполнялись при поступлении и выписке; в период госпитализации их повторяли по мере клинической необходимости. При первом исследовании использовался стандартный протокол КТ с напряжением тока на трубке 120 кВ и автоматическим модулированием силы тока в диапазоне 200–400 мА, при повторных КТ применяли протокол НДКТ с уменьшенными параметрами напряжения тока на трубке (100 или 110 кВ) и автоматической модуляцией тока в диапазоне 40–120 мА. Для оценки диагностической ценности НДКТ по сравнению со стандартной КТ было проведено анкетирование среди врачей отделения лучевой диагностики МНОЦ МГУ. Анкета включала в себя сравнительную характеристику двух методик при выявлении таких патологических процессов, как уплотнение лёгочной ткани по типу матового стекла, уплотнение по типу матового стекла с ретикулярными изменениями, участки консолидации лёгочной ткани, лимфаденопатия.

Результаты. В исследовании принял участие 151 пациент; средний возраст $58 \pm 14,2$ года; 53,6% мужчин. При НДКТ в сравнении со стандартной КТ лучевая нагрузка снижалась в среднем в 2,96 раза, компьютерно-томографический индекс дозы (CTDI) — в 2,6 раза, средняя поглощённая доза (DLP) — в 3,1 раза, сила тока на трубке — в 1,83 раза, напряжение на трубке — в 1,2 раза. Полученные анкетные данные свидетельствуют о том, что при проведении НДКТ эффективность выявления основных признаков вирусной пневмонии и оценки динамики состояния пациента существенно не меняется по сравнению с КТ, проведённой по стандартному протоколу.

Заключение. Результаты сравнения стандартной и НДКТ демонстрируют отсутствие значимых потерь диагностической информации и качества при снижении лучевой нагрузки. Таким образом, НДКТ грудной клетки может использоваться в рутинной практике для успешной диагностики COVID-19.

Ключевые слова: COVID-19; НДКТ; лёгкие; лучевая нагрузка; SARS-CoV-2.

Как цитировать

Филатова Д.А., Сеницын В.Е., Мершина Е.А. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении компьютерной томографии для оценки изменений в лёгких, характерных для COVID-19: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 2. С. 94–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

Opportunities to reduce the radiation exposure during computed tomography to assess the changes in the lungs in patients with COVID-19: use of adaptive statistical iterative reconstruction

Daria A. Filatova, Valentin E. Sinitsin, Elena A. Mershina

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Several COVID-19 patients are subjected to multiple imaging examinations during hospitalization, the cumulative effect of which can significantly increase the total dose of radiation received. The effective radiation dose can be reduced by lowering the current and voltage of the X-ray tube, but this reduces image quality. One possible solution is to use adaptive statistical iterative reconstruction technology on the «raw» CT data. Recently, data on the efficacy of low-dose CT (LDCT) in the diagnosis of COVID-19 have appeared in the literature.

AIM: To analyze the quality and diagnostic value of LDCT images of the lungs after applying an iterative processing algorithm and to assess the possibility of reducing the radiation load on the patient when diagnosing COVID-19.

MATERIALS AND METHODS: Patients from the Infectious Diseases Department of the Moscow State University Hospital participated in the prospective study. CT examinations were performed at the time of patient admission and discharge and were repeated as needed during hospitalization. In the first study, a standard CT protocol with a tube voltage of 120 kV and automatic current modulation in the range of 200–400 mA was used; in repeated CT scans, the LDCT protocol was used with reduced tube voltage parameters (100 or 110 kV) and automatic current modulation in the range of 40–120 mA. To assess the diagnostic value of LDCT in comparison with standard CT, a survey was conducted among doctors from the Department of Radiation Diagnostics at Moscow State University Hospital. The questionnaire included a comparison of the two methods for identifying the following pathological processes: «ground-glass» opacities, compaction of the lung tissue with reticular changes, areas of lung tissue consolidation, and lymphadenopathy.

RESULTS: The study included 151 patients. The average age was 58 ± 14.2 years, with men accounting for 53.6% of the population. During LDCT the radiation load was reduced by 2.96 times on average, CTDI by 2.6 times, DLP by 3.1 times, the current on the tube by 1.83 times, and the voltage on the tube by 1.2 times. The results indicate that the effectiveness of detecting the main signs of viral pneumonia and assessing the dynamics of the patient's condition does not differ significantly from CT performed according to the standard protocol.

CONCLUSIONS: The results of a comparison of standard and low-dose CT show that there is no significant loss of diagnostic information and image quality as the radiation load is reduced. Thus, chest LDCT can be used to successfully diagnose COVID-19 in routine practice.

Keywords: COVID-19; X-ray computed tomography; lung; radiation protection; SARS-CoV-2.

To cite this article

Filatova DA, Sinitsin VE, Mershina EA. Opportunities to reduce the radiation exposure during computed tomography to assess the changes in the lungs in patients with COVID-19: use of adaptive statistical iterative reconstruction. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):94–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

Received: 02.03.2021

Accepted: 20.05.2021

Published: 28.06.2021

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

在计算机断层扫描期间减少辐射负荷以评估 COVID-19 肺特性变化的可能性：使用自适应统计迭代重建

Daria A. Filatova, Valentin E. Sinitsin, Elena A. Mershina

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

简评

论证大多数 COVID-19 患者在住院期间接受多次成像检查，其累积效应可以显著增加接受的辐射总剂量。有效辐射剂量可以通过降低 x 射线管的电流和电压来降低，然而，这会降低图像质量。这个问题的一个可能的解决方案是引入自适应统计迭代重建（Adaptive Statistical Iterative Reconstruction (ASIR)）技术，用于计算机断层扫描 (CT) 的原始数据的自适应统计迭代重建。最近，有关低剂量 CT (LDCT) 有效性的信息已经出现在 COVID-19 诊断中的文献中。

目的是在应用迭代处理算法后分析肺部 LDCT 图像的质量和诊断价值，以评估在 COVID-19 诊断期间减少患者辐射负荷的可能性。

材料与方法。这项前瞻性研究涉及在罗蒙诺索夫莫斯科国立大学医学中心传染病部门接受住院治疗的患者。CT 研究在入院和出院时进行；在住院期间，根据临床需要重复进行。在第一项研究中，使用 120kV 管电压和 200–400mA 范围内的自动电流调制的标准 CT 协议，通过重复 CT 扫描的时候，LDCT 协议使用管电压（100 或 110kV）和 40–120mA 范围内的自动电流调。为了评估 LDCT 与标准 CT 相比的诊断价值，在莫斯科国立大学医学中心辐射诊断系的医生中进行了问卷调查。调查问卷包括两种方法的比较描述，用于检测这种病理过程，如通过磨砂玻璃类型压实肺组织，通过磨砂玻璃类型压实具有网状变化，肺组织固结区域，淋巴结病。

结果该研究涉及 151 名患者；平均年龄为 58 ± 14.2 岁；男性为 53.6%。使用 LDCT，与标准 CT 相比，辐射负荷平均下降 2.96 倍，计算机断层扫描剂量指数 (CTDI) – 2.6 倍，平均吸收剂量 (DLP) – 3.1 倍，管上的电流 – 1.83 倍，管上的电压 – 1.2 倍。获得的问卷数据表明，在 LDCT 期间，与根据标准协议进行的 CT 相比，检测病毒性肺炎的主要体征和评估患者病情动态的有效性没有显著变化。

结论比较标准的 CT 和 LDCT 的结果表明，在辐射负荷降低的情况下，诊断信息和质量没有显著损失。因此，胸部的 LDCT 扫描可以在常规实践中用于成功诊断 COVID-19。

关键词： COVID-19; LDCT; 肺; 辐射负荷; SARS-CoV-2。

引用本文：

Filatova DA, Sinitsin VE, Mershina EA. 在计算机断层扫描期间减少辐射负荷以评估 COVID-19 肺特性变化的可能性：使用自适应统计迭代重建. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2):94–104. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD62477>

收到: 02.03.2021

接受: 20.05.2021

发布日期: 28.06.2021

ОБОСНОВАНИЕ

Во время пандемии COVID-19 для диагностики коронавируса пневмонии как в амбулаторных, так и стационарных условиях часто применяются компьютерно-томографические исследования (КТ), которые рекомендовано проводить у пациентов с подозрением или верифицированным COVID-19 в день госпитализации для начального обследования, затем повторно через 2–3 дня при недостижении требуемого терапевтического эффекта и через 5–7 дней при отсутствии или улучшении динамики симптомов [1–5].

Ряд пациентов с COVID-19 в ходе госпитализации проходят через многократные визуализационные исследования, кумулятивный эффект которых может значительно увеличивать суммарную дозу полученного облучения. Принцип «as low as reasonably achievable» (ALARA) гласит, что всякий раз, когда необходимо излучение, воздействие должно быть настолько низким, насколько это разумно достижимо. Имея в виду этот важный принцип, крайне важно помнить, что любая КТ должна сопровождаться обоснованием обследования и оптимизацией дозы облучения [6]. Хотя КТ является большим подспорьем в установлении диагноза COVID-19, потенциал для увеличения радиационного облучения большого числа пациентов по всей стране нельзя игнорировать. Важно балансировать между потребностью в эффективной визуализации для быстрой диагностики и попытками минимизировать радиационное облучение.

Эффективная доза облучения при выполнении КТ-исследований может быть уменьшена за счёт снижения тока и напряжения рентгеновской трубки, но это приводит к искажению качества изображений вследствие увеличения количества шума и артефактов. Возможным решением данной проблемы может служить внедрение технологии адаптивной статистической итеративной реконструкции «сырых данных» КТ, например с помощью технологии ASIR (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction) и ряда подобных ей методик [7–9].

В последнее время в литературе появляются данные об эффективности в диагностике COVID-19 низкодозной КТ (НДКТ) в сравнении со стандартной. Стоит отметить, что низкодозной считается КТ с лучевой нагрузкой 0,2 мЗв и менее. В ретроспективном исследовании НДКТ с итеративной реконструкцией в диагностике COVID-19 продемонстрировала чувствительность, специфичность и прогностическую ценность около 90%. Если у пациентов симптоматика наблюдалась более 48 ч, значения этих параметров увеличивались до 96%. У пациентов с положительной КТ вероятность заболевания повышалась с 43,2% (до теста) до 91,1% или 91,4% (после теста); у пациентов с отрицательной КТ вероятность заболевания снизилась с 43,2% (до теста) до 9,6% или 3,7%

(после теста). Кроме того, НДКТ продемонстрировала аддитивное диагностическое преимущество у пациентов с сопутствующей бактериальной пневмонией или альтернативным диагнозом, отличным от COVID-19 [10]. Исследования в этом перспективном направлении активно продолжаются.

Цель исследования — проанализировать качество и диагностическую ценность НДКТ-изображений лёгких после применения ASIR-алгоритма обработки, оценить возможности снижения лучевой нагрузки на пациента при диагностике COVID-19.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

В проспективном одноцентровом неконтролируемом исследовании приняли участие пациенты, проходившие стационарное лечение в инфекционном отделении МНОЦ МГУ имени М.В. Ломоносова. Исследования КТ выполняли при поступлении и выписке пациента; в период госпитализации их повторяли по мере клинической необходимости, но не реже чем 1 раз в 5 дней. Первое исследование всем пациентам проводили в режиме стандартной КТ, последующие — в режиме НДКТ.

Первичная конечная точка исследования — отсутствие значимых потерь диагностической информации при проведении НДКТ в сравнении со стандартной КТ.

Критерии соответствия

К критериям соответствия относились верифицированное молекулярно-генетическими исследованиями (метод полимеразной цепной реакции, ПЦР) инфицирование новой коронавирусной инфекцией; прохождение стационарного лечения.

Условия проведения

Исследование выполнено в инфекционном отделении МНОЦ МГУ с участием госпитализированных пациентов с новой коронавирусной инфекцией.

Продолжительность исследования

Исследование проводилось с 21 апреля по 11 мая 2020 г.

Описание медицинского вмешательства

КТ лёгких и органов грудной клетки выполняли на 32-рядном компьютерном томографе Somatom Score производства компании Siemens (ФРГ). Исследования выполняли с толщиной среза 1 мм. При первом исследовании использовали стандартный протокол КТ с напряжением тока на трубке 120 кВ и автоматическим модулированием силы тока на трубке в диапазоне 200–400 мА; при повторных КТ применяли протокол НДКТ с уменьшенными параметрами

напряжения тока на трубке (100 или 110 кВ) и автоматической модуляцией тока на трубке в диапазоне 40–120 мА; для снижения лучевой нагрузки применяли алгоритм ASIR (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction). Все полученные изображения в формате DICOM хранили в радиологической информационной сети (PACS/RIS) МНОЦ МГУ. Для обработки и анализа КТ использовали рабочие станции Syngo. via (Siemens, ФРГ).

Для оценки диагностической ценности НДКТ в сравнении со стандартной КТ было проведено анкетирование врачей отделения лучевой диагностики МНОЦ МГУ имени М.В. Ломоносова. Анкета включала в себя сравнительную характеристику двух методик при выявлении следующих патологических процессов: уплотнение лёгочной ткани по типу матового стекла, уплотнение по типу матового стекла с ретикулярными изменениями (утолщённые междольковые перегородки; картина «лоскутного одеяла», «булыжной мостовой»), участки консолидации лёгочной ткани, лимфаденопатия. Врачи оценивали каждую из двух методик по пятибалльной шкале, где наихудшая выявляемость того или иного патологического процесса соответствовала 1 баллу, наилучшая — 5, затем по каждому пункту вычисляли среднее арифметическое. В заключение предлагалось оценить в целом, эффективна ли диагностика COVID-19 с помощью НДКТ. Каждое исследование оценивалось двумя врачами, решение в каждом случае принималось независимо.

Основной исход исследования

Основной исход исследования: сопоставимая диагностическая ценность КТ, выполненной по стандартному протоколу, и НДКТ.

Этическая экспертиза

Тема данной статьи была утверждена на заседании ЛЭК Медицинского научно-образовательного центра (МНОЦ) МГУ имени М.В. Ломоносова от 25 мая 2020 г. (в рамках научной темы по диагностике и лечению COVID-19 в МНОЦ).

Статистический анализ

Статистический анализ производили на базе программного обеспечения MS Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Участники исследования

В исследовании принял участие 151 пациент, проходивший стационарное лечение в инфекционном отделении МНОЦ МГУ имени М.В. Ломоносова. Средний возраст пациентов $58 \pm 14,2$ года; женщин 70 (46,4%), мужчин 81 (53,6%). Диагноз новой коронавирусной инфекции был подтверждён результатами ПЦР.

Основные результаты исследования

Характеристики первого по счёту исследования (стандартная КТ): средняя лучевая нагрузка $3,76 \pm 1,28$ мЗв; средний компьютерно-томографический индекс дозы (Computed Tomography Dose Index, CTDI) $6,69 \pm 2,18$ мГр; средняя поглощённая доза (Dose Length Product, DLP) $222,28 \pm 76,33$ мГр/см; средняя сила тока на трубке $2165,97 \pm 682,83$ мА/с; среднее напряжение на трубке $129,43 \pm 3,21$ мВ. Характеристика последующих исследований (НДКТ): лучевая нагрузка $1,27 \pm 0,47$ мЗв; CTDI $1,57 \pm 1,40$ мГр; DLP $73,01 \pm 19,94$ мГр/см; сила тока на трубке $1182,55 \pm 366,55$ мА/с; напряжение на трубке $111,79 \pm 5,73$ мВ. Если пациенту проводили несколько исследований НДКТ, то при вычислении статистических показателей учитывали среднее арифметическое между ними.

При сравнении стандартной и низкодозной КТ были получены следующие результаты: при проведении НДКТ лучевая нагрузка снижалась в среднем в 2,96 раза, CTDI — в 2,6 раза, DLP — в 3,1 раза, сила тока на трубке — в 1,83 раза, напряжение на трубке — в 1,2 раза. Данные значения суммированы в табл. 1.

Результаты анкетирования врачей отделения лучевой диагностики МНОЦ МГУ по оценке диагностической точности НДКТ в сравнении со стандартной КТ отражены в табл. 2.

Таблица 1. Сравнительная характеристика стандартной и низкодозной компьютерной томографии

Показатель	Стандартная КТ	Низкодозная КТ	Разница, раз
Средняя лучевая нагрузка, мЗв	$3,76 \pm 1,28$	$1,27 \pm 0,47$	2,96
CTDI, мГр	$6,69 \pm 2,18$	$1,57 \pm 1,40$	2,6
DLP, мГр/см	$222,28 \pm 76,33$	$73,01 \pm 19,94$	3,1
Средняя сила тока на трубке, мА/с	$2165,97 \pm 682,83$	$1182,55 \pm 366,55$	1,83
Напряжение на трубке, мВ	$129,43 \pm 3,21$	$111,79 \pm 5,73$	1,2

Примечание. КТ — компьютерная томография; CTDI (Computed Tomography Dose Index) — средний компьютерно-томографический индекс дозы; DLP (Dose Length Product) — средняя поглощённая доза.

Таблица 2. Результаты анкетирования врачей отделения лучевой диагностики МНОЦ МГУ

Характеристика	Стандартная КТ	НДКТ
Выявление уплотнений лёгочной ткани по типу матовых стёкол	5	5
Выявление участков уплотнения по типу матового стекла с ретикулярными изменениями (утолщённые междольковые перегородки) — картина «лоскутного одеяла», «булыжной мостовой»	5	4,43
Выявление участков консолидации лёгочной ткани	5	5
Выявление лимфаденопатии	5	4

Примечание. Указаны средние значения выставленных по каждому пункту баллов: минимальный балл — 1, максимальный — 5. КТ — компьютерная томография; НДКТ — низкодозная компьютерная томография.

Как видно из табл. 2, при НДКТ эффективность выявления основных признаков вирусной пневмонии и оценки динамики состояния пациента существенно не меняется в сравнении со стандартной КТ. Следует также отметить, что, согласно результатам анкетирования, 7 врачей (100% опрошенных) считают, что НДКТ в целом эффективна для диагностики COVID-19.

Приведём наглядные примеры клинических случаев (рис. 1–6), демонстрирующих схожесть диагностической ценности двух вышеописанных методик исследования. На столбцах слева (а) расположены изображения стандартной КТ, выполненной при поступлении пациента в стационар, на столбцах справа (b) — НДКТ в динамике. Верхняя строчка изображений показывает режим лёгочного окна, нижняя — режим медиастинального окна. Для сравнения приведены значения лучевой нагрузки в каждом случае. Временные интервалы между стандартной КТ и НДКТ

составляли 2–7 дней. Таким образом, первичная конечная точка достигнута у всех пациентов, вовлечённых в исследование.

Нежелательные явления

В ходе исследования нежелательных явлений в результате КТ по стандартному протоколу и НДКТ не зафиксировано.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Результаты проведённого исследования подтверждают отсутствие значимых потерь диагностической информации при НДКТ органов грудной клетки у пациентов с COVID-19. Таким образом, НДКТ грудной клетки может использоваться в рутинной практике для успешной диагностики данного заболевания.

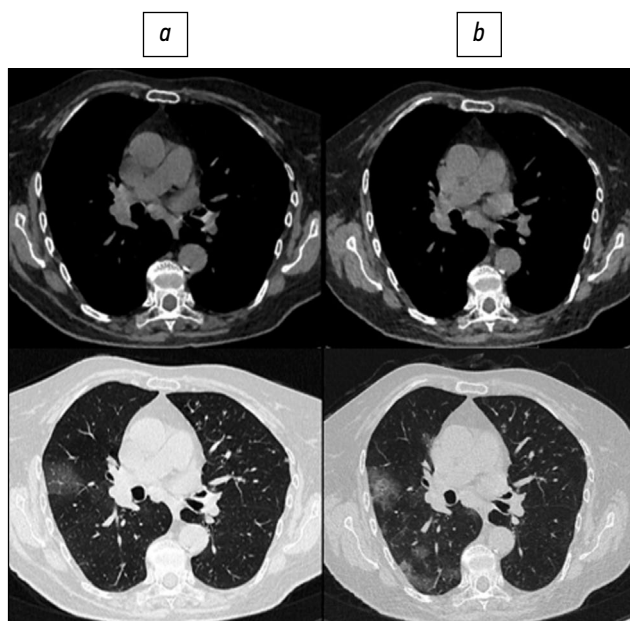


Рис. 1. Пациентка, 78 лет: стандартная компьютерная томография при поступлении выполнена с лучевой нагрузкой 2,5 мЗв (а), низкодозная компьютерная томография — 1,0 мЗв (b).

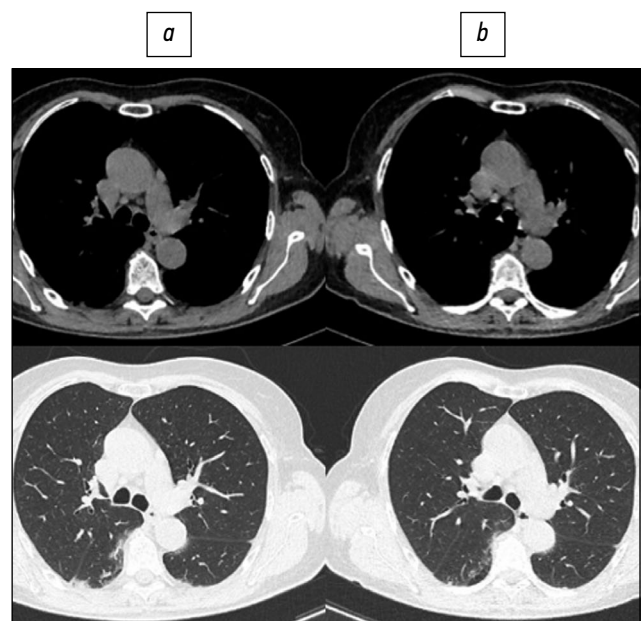


Рис. 2. Пациент, 72 года: стандартная компьютерная томография при поступлении выполнена с лучевой нагрузкой 2,1 мЗв (а), низкодозная компьютерная томография — 0,87 мЗв (b).

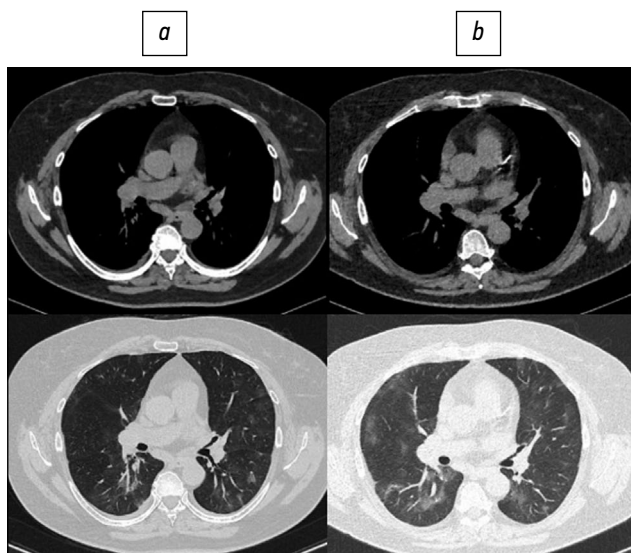


Рис. 3. Пациент, 60 лет: стандартная компьютерная томография при поступлении выполнена с лучевой нагрузкой 3,3 мЗв (a), низкодозная компьютерная томография — 1,1 мЗв (b).

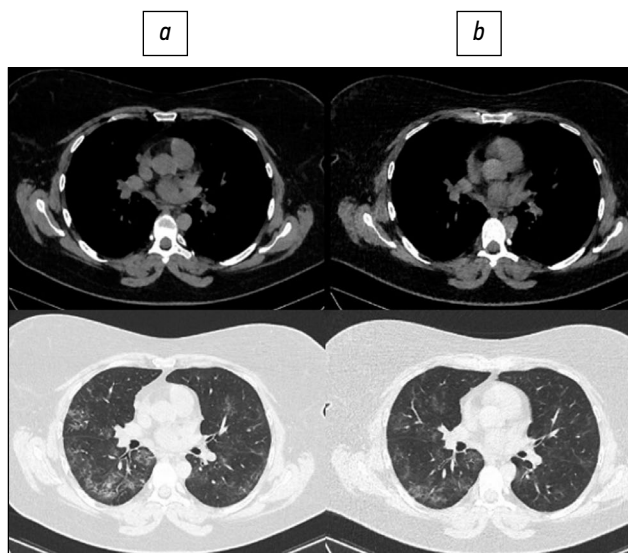


Рис. 4. Пациент, 46 лет: стандартная компьютерная томография при поступлении выполнена с лучевой нагрузкой 5,6 мЗв (a), низкодозная компьютерная томография — 1,7 мЗв (b).

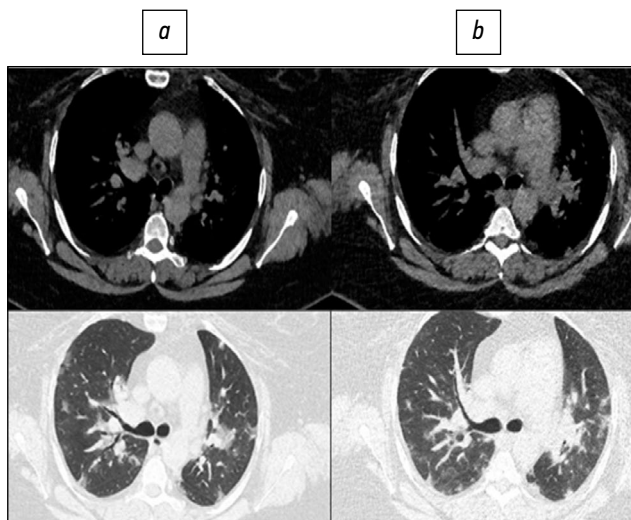


Рис. 5. Пациент, 40 лет: стандартная компьютерная томография при поступлении выполнена с лучевой нагрузкой 6,8 мЗв (a), низкодозная компьютерная томография — 2,0 мЗв (b).

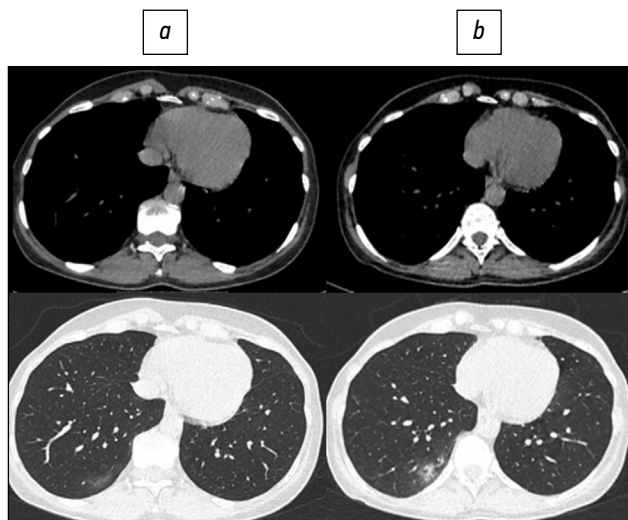


Рис. 6. Пациент, 56 лет: стандартная компьютерная томография при поступлении выполнена с лучевой нагрузкой 1,6 мЗв (a), низкодозная компьютерная томография — 0,87 мЗв (b).

Обсуждение основного результата исследования

В условиях отсутствия этиотропного лечения коронавирусной инфекции особенно важно диагностировать заболевание на ранней стадии и немедленно изолировать инфицированного человека. Согласно клиническим рекомендациям, диагноз коронавирусной инфекции устанавливается на основании клинического обследования, данных эпидемиологического анамнеза и результатов лабораторных исследований [11]. Задачей этиологической лабораторной диагностики является поиск РНК SARS-CoV-2 с помощью методов амплификации нуклеиновых кислот (ПЦР с обратной транскрипцией, ОТ-ПЦР). Обнаружение возбудителя в мазке из носоглотки

возможно уже за неделю до начала клинических проявлений инфекции [12]. Тем не менее получены данные о том, что ОТ-ПЦР может давать и ложноотрицательные результаты. Так, Ch. Long и соавт. [13] сообщили, что среди 36 пациентов с диагностированной коронавирусной инфекцией у 35 пациентов на КТ были признаки характерной пневмонии, в то время как положительный результат ОТ-ПЦР в первый раз был получен только у 30 пациентов. Оставшиеся 6 случаев были подвергнуты повторному тестированию: у 3 из них положительный результат был получен при втором тестировании (через 2 дня), ещё у 3 — при третьем (через 6 дней). Таким образом, чувствительность КТ составила 97,2%, ОТ-ПЦР при первом исследовании — 84,6% [13]. В исследовании Y. Fang и соавт. [14] получили схожие результаты:

чувствительность КТ оказалась равна 98%, ОТ-ПЦР — 71% (при первом исследовании положительный результат был получен у 36 пациентов из 51 с симптомами пневмонии на КТ и подходящим эпидемиологическим анамнезом, при втором исследовании диагноз был подтверждён ещё у 12 пациентов, при третьем — у 2, при четвёртом — у 1). Среди причин того, что чувствительность ОТ-ПЦР в диагностике коронавирусной инфекции оказалась ниже, чем КТ, можно предположить следующие: несовершенство технологий амплификации нуклеиновых кислот; вариабельность порога чувствительности тестов разных производителей; низкая вирусная нагрузка; неправильная техника взятия материала для анализа. Кроме того, количество вирусных частиц варьирует в зависимости от того, откуда взят материал для анализа: имеются данные, что предпочтительнее всего первично исследовать мокроту, следом по чувствительности стоит мазок из носоглотки [15]. Таким образом, даже несмотря на отрицательный результат ОТ-ПЦР, при наличии у пациента характерных симптомов и эпидемиологического анамнеза рекомендуется КТ для визуализации изменений в лёгких. При обнаружении на КТ признаков пневмонии необходимо принять меры к экстренной изоляции пациента, после чего следует провести повторный лабораторный анализ.

В условиях возросшего количества КТ-исследований встаёт вопрос о значительном повышении лучевой нагрузки и ассоциированным с ней риском: так, имеются данные, что порядка 2% онкологических заболеваний в США связаны с радиационными дозами, полученными в результате КТ [16]. Несмотря на отсутствие больших эпидемиологических исследований по этой тематике, имеется большое количество данных относительно радиационно-индуцированного рака у выживших после сброшенных на Японию в 1945 г. атомных бомб. В подгруппе людей, получивших дозы облучения в диапазоне от 5 до 150 мЗв, наблюдалось значительное увеличение общего риска развития рака, средняя доза в этой подгруппе составляла 40 мЗв [17], а средняя эффективная доза облучения при стандартной КТ органов грудной клетки составляет 5 мЗв [18]. Относительно же НДКТ грудной клетки с лучевой нагрузкой порядка 0,4 мЗв в настоящее время не получено достаточных доказательств эффективности в контексте скрининга и диагностики коронавирусной инфекции [3].

Доза облучения, получаемая пациентом по время КТ-исследования, зависит от силы тока на трубке, напряжения, времени сканирования, толщины среза, объёма сканирования и шага. Хотя при использовании современных моделей спиральных томографов время сканирования сокращается, радиационное облучение порой даже возрастает из-за увеличения силы тока и объёма сканирования. В данных условиях разумно прибегнуть к методикам снижения дозы облучения. Известно, что доза прямо пропорциональна току на трубке;

в последнее время было проведено несколько исследований, показавших, что выполнение НДКТ грудной клетки при 10–140 мАс не даёт серьёзного снижения качества изображений, и на них всё ещё обнаруживаются узелковые структуры [19–21]. В исследовании X. Zhu и соавт. [22] показано, что имеется линейная корреляция между током на трубке и поглощённой дозой при постоянном напряжении и времени сканирования, а также оценена целесообразность оптимизации дозы облучения за счёт уменьшения тока на трубке. Путём сравнения изображений, получаемых при разных значениях CTDI, было определено пороговое значение данного параметра, позволяющее получать изображения без существенной потери информативности (25 мАс), причём с увеличением толщины срезов потеря качества изображения происходила медленнее. Статистический анализ не выявил существенной разницы между изображениями, полученными при 115; 40 и 25 мАс. Таким образом, 25 мАс и более — это приемлемый параметр экспозиции для обеспечения удовлетворительного качества изображения для КТ грудной клетки; при этом CTDI при 25 мАс снижается на 70% по сравнению с CTDI при 115 мАс. Несмотря на точность данного параметра, клиницистам стоит учитывать, что его значение может варьировать при использовании различных систем КТ; кроме того, необходимо корректировать его с учётом биологических особенностей пациентов (например, доза облучения должна быть увеличена для пациентов с ожирением и при исследовании верхней доли лёгкого из-за ложной тени, вызываемой лопаткой). Полученные в данном исследовании пороговые значения параметра CTDI согласуются с результатами исследования T. Kubo и соавт. [23], в котором стандартная и низкодозная КТ сравнивались при определении основных характеристик образований в лёгких, позволяющих подтвердить или исключить злокачественную природу. Параметров 20–50 мАс оказалось достаточно для определения природы образования без проведения дополнительной стандартной КТ. При определении таких параметров образований, как структура, характеристика краёв, кальцификация, дольчатость, а также реакция плевры, стандартная и низкодозная КТ показали одинаковую эффективность.

В течение многих лет дискуссионным оставался вопрос, безопасно ли применять НДКТ для скрининга онкологических заболеваний, например, рака лёгких [24]. В исследовании C. Rampinelli и соавт. [25] были проанализированы возможные риски развития радиационного рака лёгких и лейкемии у здоровых людей, которые в течение 10 лет регулярно проходили скрининг с использованием НДКТ. Оказалось, что суммарная кумулятивная доза радиации составила примерно 9 мЗв для мужчин и 13 мЗв для женщин, что эквивалентно одному стандартному исследованию КТ. Кроме того, учитывая, что средняя доза от фоновых источников в США

составляет примерно 30 мЗв за 10 лет, можно заключить, что на долю скрининга с помощью НДКТ приходится лишь 1/3 от воздействия естественного радиационного фона за аналогичный период времени. Результаты исследования показали, что после 10 лет скрининга с помощью НДКТ у 5203 бессимптомных пациентов в возрасте старше 50 лет, имеющих стаж курения более 20 пачколет, примерно 1,5 случая рака лёгких и 2,4 случая других видов рака были вызваны воздействием радиации. По сравнению с количеством выявленных случаев рака лёгких можно подсчитать, что на каждый радиационно-индуцируемый рак приходится порядка 100 выявленных посредством скрининга раков. Кроме того, результаты исследования скрининга НДКТ в популяции курильщиков в возрасте 55–74 лет показали снижение смертности от рака лёгких на 20% [26]. Все эти данные свидетельствуют о том, что, несмотря на возможные риски, связанные с воздействием радиационного излучения, метод НДКТ в целом безопасен и эффективен для многократного повторения в рамках скрининга или отслеживания динамики состояния пациента в стационаре. Не вызывает сомнений важность применения НДКТ для снижения лучевой нагрузки и обеспечения большей безопасности исследования для пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При сравнительном анализе эффективности и диагностической ценности НДКТ и КТ, выполняемой по стандартному протоколу, выявлено, что НДКТ является не только полноценной альтернативой, но также и более предпочтительным вариантом, т.к. её проведение позволяет существенно снизить лучевую нагрузку на пациента. С учётом того, что при стационарном лечении COVID-19 пациент проходит через несколько визуализирующих исследований, вопрос о радиационной безопасности встаёт остро. По мнению практикующих врачей,

объём информации, предоставляемый НДКТ, не уступает по качеству и точности стандартной методике КТ, поэтому для исследований в динамике целесообразно предпочесть НДКТ — метод, позволяющий снизить лучевую нагрузку.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Вклад авторов. Д.А. Филатова — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; В.Е. Сеницын — концепция исследования, экспертная оценка информации, редактирование текста рукописи, утверждение финальной версии; Е.А. Мершина — формирование набора данных, экспертная оценка информации, редактирование текста рукописи, утверждение финальной версии. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Authors' contribution. D.A. Filatova — search for publications on the article topic, writing the text of the manuscript; V.E. Sinitin — the concept of research, expert evaluation of information, editing the text of the manuscript, final version approval; E.A. Mershina — formation of a data set, expert evaluation of information, editing of the text of the manuscript, final version approval. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Временные методические рекомендации: профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции. Версия 8 (03.09.2020). Москва, 2020. Режим доступа: <https://base.garant.ru/74596434/>. Дата обращения: 14.03.2021.
2. Романов Б.К. Коронавирусная инфекция COVID-2019 // Безопасность и риск фармакотерапии. 2020. Т. 8, № 1. С. 3–8. doi: 10.30895/2312-7821-2020-8-1-3-8
3. Морозов С.П., Проценко Д.Н., Сметанина С.В., и др. Лучевая диагностика коронавирусной болезни (COVID-19): организация, методология, интерпретация результатов: препринт № ЦДТ – Версия 2 от 17.04.2020. Москва; 2020. 78 с.
4. Udugama B., Kadhiresan P., Kozłowski H.N., et al. Diagnosing COVID-19: The disease and tools for detection // ACS Nano. 2020. Vol. 14, N 4. P. 3822–3835. doi: 10.1021/acsnano.0c02624
5. Zhao W., Zhong Z., Xie X., et al. Relation between chest ct findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study // AJR Am J Roentgenol. 2020. Vol. 214, N 5. P. 1072–1077. doi: 10.2214/AJR.20.22976
6. Beregi J.P., Greffier J. Low and ultra-low dose radiation in CT: Opportunities and limitations // Diagn Interv Imaging. 2019. Vol. 100, N 2. P. 63–64. doi: 10.1016/j.diii.2019.01.007
7. Cheng L., Fang T., Tyan J. Fast Iterative adaptive reconstruction in low-dose CT imaging // 2006 International Conference on Image Processing. Atlanta: GA: IEEE; 2006. P. 889–892. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4106673/>. Дата обращения: 14.03.2021.
8. Hara A.K., Paden R.G., Silva A.C., et al. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study // AJR Am J Roentgenol. 2009. Vol. 193, N 3. P. 764–771. doi: 10.2214/AJR.09.2397

9. Prakash P., Kalra M., Kambadakone A., et al. Reducing abdominal CT radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction technique // *Invest Radiol*. 2010. Vol. 45, N 4. P. 202–210. doi: 10.1097/RLI.ob013e3181dzfeec
10. Chen L.G., Wu P.A., Sheu M.H., et al. Automatic current selection with iterative reconstruction reduces effective dose to less than 1 mSv in low-dose chest computed tomography in persons with normal BMI // *Medicine (Baltimore)*. 2019. Vol. 98, N 28. P. e16350. doi: 10.1097/MD.00000000000016350
11. Dangis A., Gieraerts C., De Brueker Y., et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19 // *Radiology Cardiothoracic Imaging*. 2020. Vol. 2, N 2. P. e200196. doi: 10.1148/ryct.2020200196
12. Sethuraman N., Jeremiah S.S., Ryo A. Interpreting diagnostic tests for SARS-CoV-2 // *JAMA*. 2020. Vol. 323, N 22. P. 2249–2251. doi: 10.1001/jama.2020.8259
13. Long C., Xu H., Shen Q., et al. Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): rRT-PCR or CT? // *Eur J Radiology*. 2020. Vol. 126. P. 108961. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.108961
14. Fang Y., Zhang H., Xie J., et al. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR // *Radiology*. 2020. Vol. 296, N 2. P. E115–E117. doi: 10.1148/radiol.2020200432
15. Yang Y., Yang M., Shen C., et al. Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-nCoV infections // *medRxiv*. 2020. doi: 10.1101/2020.02.11.20021493
16. Brenner D.J., Hall E.J. Computed tomography — an increasing source of radiation exposure // *N Engl J Med*. 2007. Vol. 357, N 22. P. 2277–2284. doi: 10.1056/NEJMra072149
17. Pierce D.A., Preston D.L. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors // *Radiat Res*. 2000. Vol. 154, N 2. P. 178–186. doi: 10.1667/0033-7587(2000)154[0178:rrcral]2.0.co;2
18. Маткевич Е.И., Синицын В.Е., Мершина Е.А. Сравнительный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии в федеральном лечебном учреждении // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2016. Т. 97, № 1. С. 33–39. doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40
19. Naidich D.P., Marshall C., Gribbin C., et al. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations // *Radiology*. 1990. Vol. 175, N 3. P. 729–731. doi: 10.1148/radiology.175.3.2343122
20. Prasad S.R., Wittram C., Sherard J.A., et al. Standard-dose and 50%-reduced-dose chest CT: comparing the effect on image quality // *AJR Am J Roentgenol*. 2002. Vol. 179, N 2. P. 461–465. doi: 10.2214/ajr.179.2.1790461
21. Zwirowich C.V., Mayo J.R., Müller N.L. Low-dose high-resolution CT of lung parenchyma // *Radiology*. 1991. Vol. 180, N 2. P. 413–417. doi: 10.1148/radiology.180.2.2068303
22. Zhu X., Yu J., Huang Z. Low-dose chest CT: optimizing radiation protection for patients // *AJR Am J Roentgenol*. 2004. Vol. 183, N 3. P. 809–816. doi: 10.2214/ajr.183.3.1830809
23. Kubo T., Ohno Y., Takenaka D., et al. Standard-dose vs. low-dose CT protocols in the evaluation of localized lung lesions: Capability for lesion characterization – iLEAD study // *Eur J Radiol Open*. 2016. Vol. 3. P. 67–73. doi: 10.1016/j.ejro.2016.03.002
24. Гомболевский В.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А. Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легкого // *Туберкулез и болезни легких*. 2021. Т. 99, № 1. С. 61–70. doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70
25. Rampinelli C., De Marco P., Origgi D., et al. Exposure to low dose computed tomography for lung cancer screening and risk of cancer: secondary analysis of trial data and risk-benefit analysis // *BMJ*. 2017. Vol. 356. P. j347. doi: 10.1136/bmj.j347
26. Chiles C. Lung cancer screening with low dose CT // *Radiol Clin North Am*. 2014. Vol. 52, N 1. P. 27–46. doi: 10.1016/j.rcl.2013.08.006

REFERENCES

1. Ministry of Health of the Russian Federation. Temporary guidelines: prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection. Version 8 (03.09.2020). Moscow; 2020. (In Russ). Available from: <https://base.garant.ru/74596434/>
2. Romanov BK. Coronavirus infection COVID-19. *Safety and Risk of Pharmacotherapy*. 2020;8(1):3–8. (In Russ.)
3. Morozov SP, Protsenko DN, Smetanina SV, et al. Radiation diagnostics of coronavirus disease (COVID-19): organization, methodology, interpretation of results: preprint No. CDT-Version 2 of 17.04.2020. Moscow; 2020. 78 p. (In Russ.)
4. Udugama B, Kadhiresan P, Kozlowski HN, et al. Diagnosing COVID-19: the disease and tools for detection. *ACS Nano*. 2020;14(4):3822–3835. doi: 10.1021/acsnano.0c02624
5. Zhao W, Zhong Z, Xie X, et al. Relation between chest ct findings and clinical conditions of coronavirus disease (COVID-19) pneumonia: a multicenter study. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;214(5):1072–1077. doi: 10.2214/AJR.20.22976
6. Beregi JP, Greffier J. Low and ultra-low dose radiation in CT: Opportunities and limitations. *Diagn Interv Imaging*. 2019;100(2):63–64. doi: 10.1016/j.diii.2019.01.007
7. Cheng L, Chen Y, Fang T, et al. Fast iterative adaptive reconstruction in low-dose CT imaging. In: 2006 International Conference on Image Processing. Atlanta, GA: IEEE; 2006. P. 889–892. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4106673/>
8. Hara AK, Paden RG, Silva AC, et al. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study. *AJR Am J Roentgenol*. 2009;193(3):764–771. doi: 10.2214/AJR.09.2397
9. Prakash P, Kalra M, Kambadakone A, et al. Reducing abdominal CT radiation dose with adaptive statistical iterative reconstruction technique. *Invest Radiol*. 2010;45(4):202–210. doi: 10.1097/RLI.ob013e3181dzfeec
10. Chen LG, Wu PA, Sheu MH, et al. Automatic current selection with iterative reconstruction reduces effective dose to less than 1 mSv in low-dose chest computed tomography in persons with normal BMI. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(28):e16350. doi: 10.1097/MD.00000000000016350
11. Dangis A, Gieraerts C, De Brueker Y, et al. Accuracy and reproducibility of low-dose submillisievert chest CT for the diagnosis of COVID-19. *Radiology Cardiothoracic Imaging*. 2020;2(2):e200196. doi: 10.1148/ryct.2020200196
12. Sethuraman N, Jeremiah SS, Ryo A. Interpreting diagnostic tests for SARS-CoV-2. *JAMA*. 2020;323(22):2249–2251. doi: 10.1001/jama.2020.8259

13. Long C, Xu H, Shen Q, et al. Diagnosis of the Coronavirus disease (COVID-19): rRT-PCR or CT? *Eur J Radiol.* 2020;126:108961. doi: 10.1016/j.ejrad.2020.108961
14. Fang Y, Zhang H, Xie J, et al. Sensitivity of chest CT for COVID-19: comparison to RT-PCR. *Radiology.* 2020;296(2):E115–E117. doi: 10.1148/radiol.2020200432
15. Yang Y, Yang M, Shen C, et al. Evaluating the accuracy of different respiratory specimens in the laboratory diagnosis and monitoring the viral shedding of 2019-nCoV infections. *medRxiv.* 2020. doi: 10.1101/2020.02.11.20021493
16. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357(22):2277–2284. doi: 10.1056/NEJMra072149
17. Pierce DA, Preston DL. Radiation-related cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res.* 2000;154(2):178–186. doi: 10.1667/0033-7587(2000)154[0178:rrcral]2.0.co;2
18. Matkevich E, Sinitsyn V, Mershina E. Comparative analysis of radiation doses of patients with computed tomography in a Federal medical institution. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine.* 2016;97(1):33–39. (In Russ). doi: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-40
19. Naidich DP, Marshall CH, Gribbin C, et al. Low-dose CT of the lungs: preliminary observations. *Radiology.* 1990;175(3):729–731. doi: 10.1148/radiology.175.3.2343122
20. Prasad SR, Wittram C, Shepard JA, et al. Standard-dose and 50%-reduced-dose chest CT: comparing the effect on image quality. *AJR Am J Roentgenol.* 2002;179(2):461–465. doi: 10.2214/ajr.179.2.1790461
21. Zwirewich CV, Mayo JR, Müller NL. Low-dose high-resolution CT of lung parenchyma. *Radiology.* 1991;180(2):413–417. doi: 10.1148/radiology.180.2.2068303
22. Zhu X, Yu J, Huang Z. Low-dose chest CT: optimizing radiation protection for patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2004;183(3):809–816. doi: 10.2214/ajr.183.3.1830809
23. Kubo T, Ohno Y, Takenaka D, et al. Standard-dose vs. low-dose CT protocols in the evaluation of localized lung lesions: Capability for lesion characterization – iLEAD study. *Eur J Radiol Open.* 2016;3:67–73. doi: 10.1016/j.ejro.2016.03.002
24. Gombolevsky VA, Chernina VY, Blokhin IA. Main achievements of low-dose computed tomography in lung cancer screening. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2021;99(1):61–70. (In Russ). doi: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-7025.
25. Rampinelli C, De Marco P, Origgi D, et al. Exposure to low dose computed tomography for lung cancer screening and risk of cancer: secondary analysis of trial data and risk-benefit analysis. *BMJ.* 2017;356:j347. doi: 10.1136/bmj.j347
26. Chiles C. Lung cancer screening with low dose CT. *Radiol Clin North Am.* 2014;52(1):27–46. doi: 10.1016/j.rcl.2013.08.006

ОБ АВТОРАХ

* Филатова Дарья Андреевна;

адрес: Россия, 143430, Московская обл., п.г.т. Нахабино, ул. Школьная, д. 1а; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0894-1994>; eLibrary SPIN: 2665-5973; e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

Синицын Валентин Евгеньевич, д.м.н., профессор;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>; eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: vsini@mail.ru

Мершина Елена Александровна, к.м.н., доцент;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>; eLibrary SPIN: 6897-9641; e-mail: elena_mershina@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Daria A. Filatova;

address: 1a Shkolnaya street, 143430 Nakhabino, Moscow region, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0894-1994>; eLibrary SPIN: 2665-5973; e-mail: dariafilatova.msu@mail.ru

Valentin E. Sinitsin, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5649-2193>; eLibrary SPIN: 8449-6590; e-mail: vsini@mail.ru

Elena A. Mershina, MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1266-4926>; eLibrary SPIN: 6897-9641; e-mail: elena_mershina@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author